

#### 4. Torrential processes

---

In view of its climatic, orographic, geological and geomorphologic characteristics, the mountainous terrain of the Alps is particularly fragile and vulnerable. In order to limit risks to inhabited areas of the mountains with regards to watercourses and slope instability, works of protection and containment have always been necessary.

The hydrological processes and transportation of sediment that characterise Alpine torrents are markedly different from those of a watercourse on flat land. The particular characteristics of torrent flows are due to the high average gradient of the watercourse and catchment as a whole, the availability of material to transport downstream (mobilised following events of instability inside the catchment) and an extremely variable flow regime, characterised by considerable oscillations in flow, often in the space of less than an hour.

The main factors that trigger these processes are the characteristics of rainfall events, the type of rocky substrate and the overlying terrain, vegetation cover, and the shape and extension of the catchment. According to the local relief, torrent flows transport water and sediment downstream in three main ways: 1) ordinary transport of sediment, where the fluid is composed of water and particles, with a Newtonian behaviour pattern (hydrodynamic mechanism); 2) concentrated transport of sediment or torrent debris, characterised by flows with considerable amounts of solid material, and mathematical models of complex movement; 3) flows composed of considerable amounts of debris of varying sizes from fine grain size to large items of vegetation and water which travel down torrent channels, even for long distances, in patterns which have not yet been completely understood (mud/debris flow).

#### 4. Wildbachprozesse

---

Das Berggebiet der Alpen ist durch seine klimatischen, orographischen, geologischen und geomorphologischen Besonderheiten besonders fragil und verwundbar. Um die Risiko zu begrenzen, denen die anthropisierten Berggebiete durch Tätigkeiten der Wasserläufe und Instabilität der Hänge ausgesetzt sind, war der Mensch seit jeher, heute ebenso wie in der Vergangenheit, gezwungen, auf die Errichtung von Begrenzungs- und Schutzbauten zurückzugreifen.

Die hydrologischen und Feststofftransportprozesse, die für Alpenbäche typisch sind, unterscheiden sich in signifikanter Weise von denen eines Wasserlaufs in der Ebene. Die Besonderheit der Wildbachprozesse ist auf das durchschnittlich hohe Gefälle des Wasserlaufs und des Einzugsgebiets insgesamt sowie auf die Verfügbarkeit von transportierbarem Material (das durch Hangbewegungen innerhalb des Gebiets mobilisierbar wird) und auf die sehr variablen hydrologischen Regime zurückzuführen, die von starken Schwankungen der Wassermenge in Zeiträumen von kaum mehr als zehn Minuten geprägt sind.

Die wichtigsten Faktoren, die zum Entstehen von Wildbachprozessen führen, sind die pluviometrischen Eigenschaften, der Typ der bedrock und des darauf liegenden Bodens, die Vegetationsdeckschicht sowie Form und Ausdehnung des Einzugsgebietes. Abhängig von der Höhenenergie zeigt sich die Wildbachtätigkeit im Transport von Wasser und Material zum Tal in drei Hauptformen: 1) Transport von gewöhnlichen Feststoffen, bei dem das Mischung aus Wasser und Geschiebe und Newtonsches Verhalten aufweist (hydrodynamischer Mechanismus); 2) Transport von konzentrierten Feststoffen oder Wildbachgeschiebetransport, geprägt von Strömen mit erheblichem Feststoffanteil und komplexer mathematischer Bewegungsentwicklung; 3) Ströme aus

#### 4. Processi torrentizi

---

Il territorio montano delle Alpi è per le sue peculiarità climatiche, orografiche, geologiche e geomorfologiche particolarmente fragile e vulnerabile. Per limitare i rischi cui sono esposte le aree montane antropizzate in relazione all'attività dei corsi d'acqua e all'instabilità dei versanti, l'uomo ha sempre dovuto ricorrere, oggi come in passato, alla realizzazione di opere di contenimento e di difesa.

I processi idrologici e di trasporto solido che caratterizzano i torrenti alpini si differenziano in maniera significativa da quelli che si instaurano in un corso d'acqua di pianura. La peculiarità dei processi torrentizi è riconducibile all'elevata pendenza media del corso d'acqua e del bacino idrografico nel suo complesso, alla disponibilità di materiale trasportabile a valle (reso mobilizzabile a seguito di eventi di dissesto all'interno del bacino) e al regime idrologico molto variabile caratterizzato da forti oscillazioni della portata nell'arco di poche decine di minuti.

I principali fattori che determinano l'instaurarsi di processi torrentizi sono le caratteristiche pluviometriche, la tipologia del substrato roccioso e del terreno sovrastante, la copertura vegetale, la forma e l'estensione del bacino idrografico. In funzione dell'energia di rilievo, l'attività torrentizia si esplica nel trasporto di acqua e materiale verso valle secondo tre principali modalità: 1) trasporto solido ordinario, in cui il fluido è costituito da acqua e particelle ed ha comportamento newtoniano (meccanismo idrodinamico); 2) trasporto solido concentrato o trasporto detritico torrentizio, caratterizzato da correnti con componente solida rilevante e trattazione matematica del moto complessa; 3) flussi costituiti da abbondante materiale detritico di pezzatura variabile da fine a molto grossolana materiale vegetale ed acqua, che percorrono le incisioni torrentizie per distanze anche rilevanti secondo modalità non anco-

Peak flow events, and mud/debris flows in particular, can be extremely destructive due to their rapid speed and intensity in terms of the total volume of the flow. This is combined with a markedly irregular recurrence of events in any given area studied, which means they are difficult to predict in temporal terms. In view of the long interval of time that may pass between one event and another in the same catchment, the risk associated with this type of phenomenon is often underestimated.

In order to analyse the trigger conditions and evolution in the catchment of flow surges and mud/debris flows it is possible to set up specific monitoring systems, positioning sophisticated equipment (ultrasound sensors, geophones, video cameras) at strategic points in the channel to record the passage of the flow surge or mud flow, assessing the speed and characteristics of the flow. If this is combined with one or more pluviometers to measure precipitation, it is possible to make observations about trigger conditions. Monitoring equipment is indispensable to activate an effective warning system (§ 4.1).

In terms of assessing the levels of hazard that concern areas near the mouth of the torrent down valley, there are many approaches recorded in the literature; in the context of this project a number of semi-quantitative and quantitative methods have been applied in many areas of northern Italy and Canton Ticino (§ 4.2).

The statistical/probabilistic model which applies on a regional scale to estimate the return period of precipitations heavy enough to trigger flow surges put forward by the Styria region (§ 5.1), has a wide scope for application in relation to the catchment being studied (from 1'500 km<sup>2</sup> to less than 10 km<sup>2</sup>), and can be used to study small Alpine catchments which lack the equipment to measure precipitation directly. Its usage in contexts outside the area

reichlichem Geschiebematerial in variabler Größe von fein bis sehr grob, Pflanzenmaterial und Wasser, die auch über erhebliche Entfernungen nach noch nicht vollständig bekannten Modalitäten durch die Bacheinschnitte fließen (Murgänge oder *mud/debris flow*).

Die Wildbachprozesse und insbesondere die Murgänge zeichnen sich durch große zerstörerische Kraft aus, die durch ihre Schnelligkeit und erhebliche Intensität im Hinblick auf die Gesamtvolumen der von der Bewegung betroffenen Stoffe verursacht wird. Dazu kommt ein sehr unregelmäßiges Auftreten der Ereignisse unter gleichen Verhältnissen der untersuchten Gebiete, was zu einem zeitlich relativ geringen Grad an Vorhersehbarkeit führt. Aufgrund der langen Zeitabstände, die zwischen den Ereignissen im gleichen Einzugsgebiet verstreichen können, wird die Gefahr durch diese Art von Phänomenen häufig unterschätzt.

Um die Auslöse- und Entwicklungsbedingungen der Wildbachhochwasser und Muren im Einzugsgebiet zu analysieren, kann man entsprechende Überwachungssysteme organisieren, die durch Installation von technologischen Geräten (Ultraschallsensoren, Geophone, Videokameras) an strategischen Stellen des Wildbachzweigs den Durchfluss von Hochwasser/Muren registrieren können, indem sie Bewegungsgeschwindigkeit und -eigenschaften auswerten. Ergänzt man eine solche Ausrüstung mit einem oder mehreren Pluviometern für die direkte Niederschlagsmessung, lassen sich Betrachtungen über die auslösenden Bedingungen anstellen. Derartige Überwachungsinstrumente sind unerlässlich, um ein wirksames Warnsystem einzurichten (§ 4.1).

Um die Gefährdung der Gebiete in der Umgebung der Talmündung zu beurteilen, die den Wildbachprozessen ausgesetzt sind, gibt es in der Literatur vielfältige Ansätze; in diesem Projekt wur-

ra completamente note (colate fangose/detritiche o *mud/debris flow*).

I processi torrentizi e in modo particolare le colate fangose o detritiche sono caratterizzati da grande potere distruttivo a causa della rapidità e della notevole intensità, in termini di volumi complessivi di materiale interessati dal moto, con la quale si verificano. A ciò si associa una ricorrenza degli eventi marcatamente irregolare a parità di area indagata; ciò comporta un grado di prevedibilità dal punto di vista temporale relativamente basso. A causa del lungo intervallo di tempo che può intercorrere tra un evento e l'evento successivo nello stesso bacino idrografico, il rischio connesso a questa tipologia di fenomeni è spesso sottovalutato.

Per analizzare le condizioni d'innescò e di evoluzione nel bacino delle piene torrentizie e delle colate è possibile organizzare sistemi appositi di monitoraggio che, attraverso il posizionamento di apparecchiature sofisticate (sensori ultrasonici, geofoni, videocamere) in punti strategici dell'asta torrentizia, permettono di registrare il passaggio delle piene/colate, valutandone velocità e caratteristiche del moto; affiancando a tale attrezzatura uno o più pluviometri per la misura diretta delle precipitazioni, si possono fare considerazioni sulle possibili condizioni innescanti. La strumentazione di monitoraggio è indispensabile per attivare un sistema di allertamento efficace (§ 4.1).

Per la valutazione del grado di pericolosità cui sono esposte ai processi torrentizi le aree poste in prossimità dello sbocco nel fondovalle, molteplici sono gli approcci disponibili in letteratura; nel presente Progetto sono stati applicati in molte regioni del nord-Italia e in Canton Ticino diversi metodi semi-quantitativi e quantitativi (§ 4.2).

Il modello statistico-probabilistico valido a scala regionale per la stima del tempo di ritorno delle precipitazioni in grado di innescare fenomeni di piena, suggerito dalla Regione Stiria (§ 5.1), ha ampio

where it was validated obviously calls for prior calibration.

den verschiedene semi-quantitative und quantitative Methoden in mehreren Regionen Norditaliens und im Kanton Tessin angewendet (§ 4.2).

Das statistisch-probabilistische Modell für die Schätzung der Wiederkehrdauer von Niederschlägen, die Hochwasserereignisse auslösen können, das von der Region Steiermark vorgeschlagen wurde und auf regionaler Ebene gilt (§ 5.1), bietet ein breites Anwendungsfeld in Bezug auf die Ausdehnung des Studiengebiets (von 1.500 km<sup>2</sup> bis unter 10 km<sup>2</sup>) und kann für die Untersuchung der kleinen Alpengebiete ohne Ausrüstung für die direkte Niederschlagsmessung nützlich sein. Für den Einsatz in anderen Kontexten als denen, für die es validiert wurde, muss natürlich zunächst eine angemessene Kalibrierung erfolgen.

campo di applicabilità in relazione all'estensione del bacino di studio (da 1.500 km<sup>2</sup> a meno di 10 km<sup>2</sup>) e può essere utile per lo studio dei piccoli bacini alpini privi di strumentazione per la misura diretta delle precipitazioni. L'utilizzo a contesti diversi da quello nel quale è stato validato deve naturalmente essere preceduto da opportuna calibrazione.

#### 4.1. Field studies for debris flow analysis

---

A goal of the study is the evaluation of the erosion dynamics in the range of the slope movements and the expanded sources of debris. The investigation concentrates on debris flows events. The effect of the defence works on the expiration and the intensity of the events has to be examined. The mobilization and the transport of solids has to be evaluated in connection with the defence works. The results of different scenarios are the basics for the protection planning and point out necessary restructuring and completion of the existing defence works.

The prediction of such phenomena, that is the evaluation of runoff discharge which triggers it, assumes a great interest in the risk analyses. Therefore a monitoring system was installed in order to get knowledge about the trigger precipitation and the debris flow phenomena. The technical equipment contains a precipitation gauge, hail detection, ultra sonic devices, geophones and two video cameras to record debris flow events at different locations in the catchment. With the stored data a better knowledge about precipitation and discharge behaviour, flow velocity of debris flow phenomena can be achieved. The monitoring has to be operated on a long-term basis, *i.e.* during the project period, in order to receive comprehensive data of the relationship between precipitation and triggering of debris flows.

#### 4.1. Geländestudien zur Analyse der Murgänge

---

Ziel des Projektes ist die Beurteilung der Erosionsdynamik im Bereich der Hangbewegungen und der ausgedehnten Feststoffquellen. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf Mureignisse. Es soll die Wirkung der Verbauungen auf den Ablauf und die Intensität der Ereignisse beurteilt werden. Die Mobilisierung und der Transport von Feststoffen soll im Zusammenhang mit den Verbauungen erfasst und verschiedene Szenarien abgeleitet werden. Die Szenarien sollen fiktive Ereignisse beschreiben, die auf den Erhebungen und der Chronik aufbauen. Die Ergebnisse der Szenarien sollen für die Schutz- und Maßnahmenplanung herangezogen werden und auf allenfalls erforderliche Sanierungs- und Ergänzungsmaßnahmen bei den bestehenden Verbauungen hinweisen. Die Bestimmung des ereignisauslösenden Niederschlags ist im Zuge eines Risikokonzeptes von großem Interesse. Deshalb wurde ein Monitoring System installiert, um grundlegende Erkenntnisse über den ereignisauslösenden Niederschlag und das Murverhalten zu bekommen. Das Überwachungssystem beinhaltet eine Niederschlagswaage, Hageldetektor, Ultraschallsensoren, Geophone und zwei Videokameras zur Aufzeichnung von Murgängen an verschiedenen Stellen im Einzugsgebiet. Aus diesen aufgezeichneten Daten kann die Niederschlags-/Abflussbeziehung, die Fließgeschwindigkeit und die Mureigenschaft bestimmt werden. Das Monitoring soll langfristig, d.h. über den Projektzeitraum hinweg betrieben werden, um umfassende Datengrundlagen über die Beziehungen zwischen Niederschlag, Murgangentstehung und Ereignisablauf zu erhalten.

#### 4.1. Studi di terreno per l'analisi di colate di fango e detriti

---

Obiettivo del presente studio è la valutazione delle dinamiche dei processi erosivi nell'ambito dei movimenti di versante e delle aree sorgenti di detrito. Le ricerche, incentrate in special modo sullo studio dei processi di colata di fango e detriti, sono state mirate ad analizzare il ruolo delle opere di mitigazione in termini di condizionamento e riduzione dell'intensità dei fenomeni di colata. In particolare sono state indagate le modalità di mobilitazione e di trasporto del materiale detritico, considerando la presenza delle opere di difesa. I risultati dello studio, riferiti a differenti scenari d'evento, costituiscono la base di partenza per la pianificazione di interventi di mitigazione ed evidenziano i punti, all'interno del bacino, in cui sono necessarie operazioni di manutenzione o il completamento delle opere esistenti.

La previsione dei processi di colata, attraverso la stima della portata liquida che ne può causare l'insacco, assume grande importanza nell'ambito delle analisi di rischio. Per tale ragione è stato installato un sistema di monitoraggio, che consente di acquisire maggiori informazioni riguardo le precipitazioni innescanti e in generale sui fenomeni di colata. L'attrezzatura tecnica, dislocata in diversi punti del bacino, consiste in una stazione di misura delle precipitazioni, un sistema di rilevamento della grandine, sensori ultrasonici, geofoni e due telecamere per la registrazione delle colate in corso d'evento. I dati archiviati grazie a questo sistema consentono una migliore conoscenza a scala locale della distribuzione delle precipitazioni, delle portate e della velocità del flusso che caratterizzano i fenomeni di colata. Affinché sia pienamente efficace il sistema deve essere mantenuto in funzione per un periodo sufficientemente lungo, confrontabile con la durata del Progetto, in modo da raccogliere un quantitativo sufficiente di dati circa le relazioni tra la distribuzione delle precipitazioni e l'insacco delle colate di fango e detriti.

#### **4.1.1. Methods applied within the Project**

---

##### **4.1.1.A Monitoring activities in an instrumented watershed**

###### *General introduction to the method*

The aim of the monitoring system is to get a better knowledge about debris flow triggering conditions to derive precipitation threshold values for a event warning system. Event warning systems detect a debris flow while it is already in progress and provide an alarm.

###### *Purposes*

The focus of the field studies is the evaluation of the erosion dynamics in the range of the slope movements and the expanded sources of debris within the catchment. Furthermore a monitoring system is important to derive parameters for debris flow forecast and warning and to increase knowledge about debris flow velocity, rheology and discharge. With this data a scheme of a possible debris flow warning system is possible. The work contains the documentation and analysis of debris flow events, the determination of the trigger precipitation and the estimation of possible losses from debris flow events. The field studies include also the evaluation of the mobilization and the transport of solids in connection with the defence works.

###### *Potentiality*

The monitoring system provides an alarm when a debris flow occurs and is in progress.

The passive measurement with an information system can be an addition to the active technical countermeasures.

With the stored data from the monitoring system threshold values can be derived. The data are also useful input parameters for the hydrologic and

#### **4.1.1. Verwendete Methoden**

---

##### **4.1.1.A Überwachung in einem Becken mit Messgeräten**

###### *Allgemeine Einführung der Methode*

Mit den Meß-, Überwachungs- und Aufzeichnungseinheiten sollen einerseits bessere Erkenntnisse über Auslösebedingungen von Muren ermöglicht werden. Gleichzeitig wird versucht über den Niederschlag einen Schwellenwert für die Alarmauslösung zu definieren. Bei Erkennung eines größeren Abflußereignisses soll ein Alarm ausgelöst werden.

###### *Ziel*

Das Ziel der Studie ist die Abschätzung der Erosionsabläufe im Einzugsgebiet des Lattenbaches im Zusammenhang mit den großräumigen Hangbewegungen und den damit verbundenen enormen Mengen an abtransportierbarem Geschiebe. Zur Erfassung wichtiger murenspezifischer Parameter (Geschwindigkeit, Abfluß und Rheologie) und für die Murenprognose und Vorwarnung wurde ein Monitoringsystem eingerichtet. Mit den ersten Daten wurde ein Entwurf für einen Alarmplan erstellt. Die Arbeit der Studie umfasst die Dokumentation und Analyse der einzelnen Ereignisse, die Bestimmung des relevanten Grenzwertes für die Alarmauslösung und die Bewertung von möglichen Schäden. Gleichzeitig soll die Wirkung verschiedener Verbauungsmaßnahmen im Zusammenhang mit der Geschiebemobilisierung und dem Geschiebetransport beurteilt werden.

###### *Potentialität*

Mit dem installierten Überwachungs- und Frühwarnsystem soll die Auslösung eines Alarmes im Falle eines Murganges erfolgen. Das

#### **4.1.1. Metodi applicati nel Progetto**

---

##### **4.1.1.A Attività di monitoraggio in un bacino strumentato**

###### *Introduzione generale sul metodo*

L'obiettivo del sistema di monitoraggio consiste nel fornire una più approfondita conoscenza delle condizioni d'innescò delle colate di fango e detriti, mirata a ricavare i valori soglia delle precipitazioni, che a loro volta consentono di allestire un sistema di allertamento. I sistemi di allertamento registrano una colata mentre si sta verificando nel bacino e permettono di attivare un allarme.

###### *Finalità*

I rilievi sul terreno consentono di valutare le dinamiche dei processi erosivi nell'ambito dei movimenti di versante e l'espansione delle aree sorgenti di detrito presenti nel bacino. Inoltre un sistema di monitoraggio è importante per ricavare i parametri necessari per la previsione delle colate di fango e detriti, per l'allertamento e per incrementare le conoscenze relative a velocità, portata e reologia dei processi in esame. Con l'ausilio di tutte queste informazioni è possibile costruire lo schema di un sistema di allertamento.

Il lavoro comprende la documentazione e l'analisi relative ad eventi di colata, la quantificazione delle precipitazioni innescanti e la stima dei danni che possono essere indotti in caso di evento. Il lavoro di terreno comprende anche la valutazione dei quantitativi di materiale detritico che viene mobilizzato e trasportato a valle, tenendo conto delle opere di difesa esistenti.

###### *Potenzialità*

Il sistema di monitoraggio attiva un allarme nel momento in cui si sta verificando una colata. Gli inter-



hydraulic simulation. With the results from the historical documentation and field survey a better knowledge about the debris phenomena (rheology) is possible. Also the visual interpretation with two video cameras is necessary for further investigations.

#### *Limits*

The peculiar characteristics of debris flows, such as extemporaneousness, rapidity of occurrence, high propagation velocity, short duration and destructiveness make the task of dealing with their management in real time particularly difficult. Due to the difficulty of definition of release data, you can get an acceptance problem in case of wrong alarms. Consequently information systems are more reliable for the protection of transportation routes than for the protection of villages.

As well the use of information systems requires an accurate education of the interested population.

#### *Activities*

The following activities have been carried out:

- conception of a monitoring system;
- selection of adequate locations;
- selection of sensors to detect debris flows;
- data recording and analysis;
- suggestion to optimize the monitoring system.

#### *Expected products*

The result of the monitoring is a better knowledge of the debris flow phenomena. The project result is part of an indispensable decision base for a comprehensive protection concept for the endangered objects on the fan (§ 4.2). The monitoring has to be operated on a long-term basis, i.e. during the project period, in order to receive comprehensive data of the relationship between precipitation and triggering of debris flows.

Frühwarnsystem ist eine Ergänzung zu den technischen Schutzmaßnahmen.

Mit den gewonnenen Daten werden Schwellenwerte und Risikoindikatoren abgeleitet. Weiters können diese Daten für Simulationen (hydrologische und hydraulische) verwendet werden. Gemeinsam mit den Daten aus den Felderhebungen und der Chronik wird der Wissenstand über *Muren* erhöht. Die visuelle Murenerfassung mittels zweier Videokameras gibt ebenfalls wichtige Aufschlüsse und Ansätze für weitere Untersuchungen.

#### *Grenzen*

Die charakteristischen Mureigenschaften, wie schnelles Anschwellen, hohe Geschwindigkeit, kurze Dauer des Ereignisses, Zerstörungsgewalt zeigen die Grenzen der Machbarkeit einer Vorwarnung in Echtzeit deutlich auf. Die Festlegung der Alarmauslöseparameter ist äußerst schwierig und ist die Möglichkeit von Fehlalarmen gegeben. Zu viele Fehlalarme setzen die Glaubwürdigkeit des Systems und die Akzeptanz in der Bevölkerung deutlich herab. Die Sperre einer Straße ist rasch umsetzbar und daher das System für diese Fälle gut geeignet. Die Vorwarnung bietet für Gebäude keinen Schutz – Todesopfer können durch Vorwarnung und Evakuierung jedoch verhindert werden.

Mit dem Einsatz von Frühwarnsystemen ist eine laufende Schulung und Übung mit der betroffenen Bevölkerung verbunden.

#### *Aktivitäten*

Folgende Maßnahmen wurden umgesetzt.

- Erstellung eines Monitoringkonzeptes;
- Festlegung der geeigneten Meßstandorte;
- Auswahl der erforderlichen Meßparameter für eine geeignete Murenerkennung und –aufzeichnung;
- Datenaufzeichnung und –analyse.
- Vorschläge zur Optimierung des

venti passivi connessi ad un tale sistema possono essere considerati un'utile integrazione degli interventi strutturali di difesa.

Grazie all'analisi dei dati archiviati nel sistema di monitoraggio si possono dedurre i valori soglia delle precipitazioni che innescano le colate. Tali dati possono essere anche utili parametri di ingresso per simulazioni idrologiche ed idrauliche. Attraverso l'analisi dei documenti storici e i rilievi di terreno è possibile conseguire una discreta conoscenza della reologia dei processi che interessano un dato bacino. Per ulteriori approfondimenti diventa però indispensabile l'impiego di due telecamere che registrino ciò che si verifica in corso d'evento.

#### *Limiti*

Le caratteristiche peculiari delle colate di fango e detriti, quali l'attivazione improvvisa, la rapidità di evoluzione, l'elevata velocità di propagazione, la breve durata e l'elevato potere distruttivo, rendono particolarmente complessa la loro gestione in corso d'evento. A causa della difficoltà intrinseca nella definizione delle soglie, il sistema di monitoraggio può riscuotere scarso consenso in caso di ripetuti falsi allarmi. Di conseguenza tali sistemi risultano più adatti alla protezione della viabilità piuttosto che per la difesa di centri abitati. L'utilizzo dei sistemi di monitoraggio richiede inoltre un'accurata educazione e sensibilizzazione della popolazione interessata.

#### *Attività*

Sono state condotte le seguenti attività:

- messa a punto di un sistema di monitoraggio;
- scelta dell'ubicazione idonea;
- selezione dei sensori adatti a registrare il transito di una colata;
- registrazione dei dati e relativa analisi;
- proposte di miglioramento del sistema di monitoraggio.

Beobachtungssystems und Ausarbeitung eines Frühwarnsystems.

#### *Erwartete Produkte*

Mittels der Murenbeobachtung soll der Wissensstand hinsichtlich des Phänomens Mure erhöht werden. Das Ergebnis des Projektes ist die maßgebliche Entscheidungsgrundlage für das Schutzkonzept. In Ergänzung zu den bereits in den letzten hundert Jahren getätigten aktiven Schutzmaßnahmen soll diese passive Schutzmaßnahme, das Frühwarnsystem, verwendet und laufend optimiert werden (§ 4.2). Durch die geplanten Langzeiterhebungen werden einerseits wissenschaftlich interessante Daten über Murgangereignisse gewonnen und andererseits eine Optimierung der Auslösewerte bewirkt.

#### *Prodotti attesi*

Il risultato del monitoraggio consiste in una migliore comprensione dei processi di colata di fango e detriti, parte integrante di un'indispensabile base decisionale per la progettazione di un sistema di protezione delle infrastrutture esposte a pericolo sul conoide (§ 4.2).

Il monitoraggio deve essere condotto a lungo termine, vale a dire per un periodo di tempo confrontabile con la durata del Progetto, in modo da ricavare utili informazioni circa le relazioni tra precipitazioni ed innesco delle colate.

§ 4.1.1.A/1 LAND TIROL

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Austria – Tirol
Village - Ort - Comune	Pians
Basin - Becken - Bacino	Lattenbach
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Lattenbach

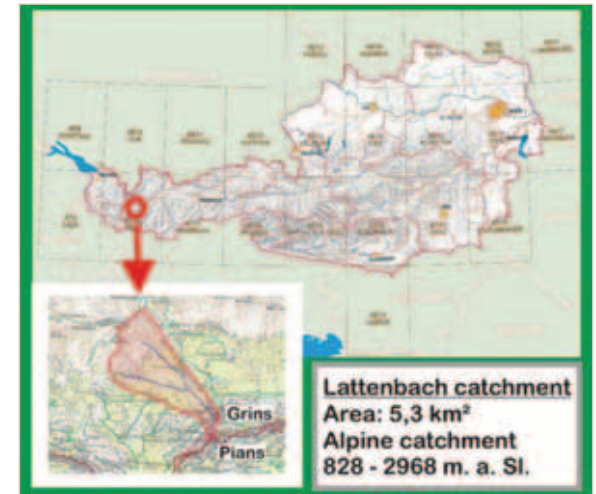


Figure 4.1.1.A/1.1 Lattenbach geographical location and basin views with the limestone alps and the typical scree slope.

Figur 4.1.1.A/1.1 Geographische Lage von Lattenbach, Überblicke des im kalkhaltigen Material eingegrabenen Wasserbeckens und der typische Hangschutt.

Figura 4.1.1.A/1.1 Ubicazione geografica del rio Lattenbach e panoramiche delle unità calcaree e del detrito di versante che caratterizzano il bacino.



#### 4.1.1.A/1.1 Preliminary tasks

In the catchment area of Lattenbach the tectonic border between Silvrettakristallin and the northern limestone alps is located, whereby spacious mass movements arise. The Lattenbach erodes the toe of the slide slope. Therefore viscous debris flows arise frequently. Numerous buildings of the village Pians are endangered by events of debris flows because of a blockage of the bridge of the old federal highway bridge (B171) and/or obstruction of the channel due to the too small transportation capacity. Debris flows accumulated frequently in the receiving stream (Sanna), whereby the buildings at the banks of the receiving stream were inundated. The defence works could prevent this partially and/or not always.

The aim of the study is the evaluation of the erosion dynamics in the range of the slope movements and the expanded sources of debris, the installation of a monitoring system to derive parameters for debris flow information system and to increase knowledge about debris flow velocity, rheology and discharge.

#### 4.1.1.A/1.1 Vorarbeiten

Im Einzugsgebiet des Lattenbaches verläuft die tektonische Grenze zwischen Silvrettakristallin und den Nördlichen Kalkalpen, wodurch großräumige Massenbewegungen auftreten. Der Lattenbach erodiert den Hangfuß der in Bewegung befindlichen Einhänge, sodass ständig mit hohen Feststoffeinträgen zu rechnen ist. Dies äußert sich in häufig auftretenden viskosen Murgängen. Zahlreiche Gebäude der Gemeinde Pians sind in diesem Bereich durch Mureignisse bei einer Verklauung des Brückendurchlasses der alten Bundesstraßenbrücke (B171) bzw. bei Überbordung des Gerinnes aufgrund der zu geringen Transportleistung des Gerinnes gefährdet. Muren stauten schon öfter den Vorfluter (Sanna) zurück, wodurch die Gebäude am flussaufwärtigen Sannaufer überschwemmt wurden. Die Verbauungen konnten dies nur zum Teil bzw. nicht immer verhindern.

Ziel des Projektes ist die Beurteilung der Erosionsdynamik im Bereich der Hangbewegungen und der ausgedehnten Feststoffquellen. Weiters die Installation eines Überwachungssystems zur Verifizierung murauslösender Parameter für den Aufbau eines Warnsystems. Gleichzeitig sollen weitere Erkenntnisse (Geschwindigkeit, Rheologie, Abfluß,...) über den Murenprozess gewonnen werden.

#### 4.1.1.A/1.1 Fasi preliminari

Nel bacino del rio Lattenbach affiora il contatto tettonico tra il massiccio cristallino della Silvretta e le unità calcaree settentrionali, in corrispondenza del quale si verificano numerosi ed importanti processi di instabilità di versante. Il rio Lattenbach erode alla base i versanti in frana, provocando di frequente l'innescare di dense colate di fango e detriti. Molti edifici di Pians sono stati ripetutamente danneggiati da eventi di colata a causa dell'ostruzione del ponte (B171) e/o per l'intasamento dell'alveo, dovuti alla ridotta capacità di trasporto. I depositi di colata si accumulano frequentemente in corrispondenza della confluenza del rio nel corso d'acqua ricettore (Sanna), provocando l'inondazione delle costruzioni presenti lungo le sponde di quest'ultimo. Le opere di protezione possono impedire solo parzialmente e solo in alcuni casi che ciò si verifica.

Scopo del presente lavoro è la valutazione delle dinamiche dei processi erosivi connessi alle instabilità di versante ed all'espansione delle aree sorgenti di detrito, l'installazione di un sistema di monitoraggio, che consenta di ricavare i parametri necessari per l'implementazione di un sistema informativo relativo alle colate fangose e detritiche, e l'incremento delle conoscenze riguardo la velocità, la reologia e la portata delle colate medesime.

#### 4.1.1.A/1.2 Activities

The following activities have been carried out:

- documentation and analysis of debris flow events;
- determination of the trigger precipitation;
- estimation of the losses from the debris flow events;
- proof of the effectiveness of the defence works;
- evaluation of the mobilization and the transport of solids in connection with the defence works;
- conception of a monitoring system;
- selection of adequate locations;
- selection of sensors to detect debris flows;
- data recording and analysis;
- suggestion to optimize the monitoring system.

The results obtained by the field observations has been coupled with the hydrological computations of runoff discharge based on the rainfall recorded by the precipitation gauge in the catchment in order to have a realistic scenario of the triggering phenomena. The quantity of triggering precipitations and their intensities were determined and thus triggering values for the release of debris flows were derived. Besides that, based on the historical documentation and field survey, the input parameters for the hydraulic simulation on the fan were made. During the Project period new experiences about the position of monitoring devices, the energy supply and data transfer were made.

#### 4.1.1.A/1.2 Aktivitäten

Umgesetzte Aktivitäten:

- Dokumentation und Analyse von Mureereignissen;
- Bestimmung der ereignisauslösenden Niederschlagsmenge;
- Bewertung möglicher Schäden;
- Untersuchung der bestehenden Verbauung auf ihre Wirksamkeit;
- Beurteilung der Wirkung verschiedener Verbauungsmaßnahmen im Zusammenhang mit der Geschiebемobilisierung und dem Geschiebetransport;
- Erstellung eines Überwachungskonzeptes;
- Festlegung der Meßstandorte;
- Auswahl der erforderlichen Meßparameter für eine geeignete Murenerkennung und –aufzeichnung;
- Datenaufzeichnung und Datenanalyse;
- Vorschläge zur Optimierung des Monitoring- und Frühwarnsystems.

Die Ergebnisse der Felderhebungen (Abflußprofile, Stumme Zeugen,...) wurden mit den Ergebnissen der Abflußsimulationen, basierend auf den erfassten Niederschlagswerten der Meaßstation des Einzugsgebietes, verglichen um realistische Auslöseszenarien zu unterstellen.

Die maßgebliche Niederschlagsmenge und –intensität wurden bestimmt und der Auslösewert für einen Murgang hergeleitet. Gleichzeitig wurden basierend auf der historischen Dokumentation der Mureereignisse und in Kombination mit den Felderhebungen am Schwemmkegel die Parameter für die Abflußsimulation gewonnen.

Im Laufe des Projektes wurden hinsichtlich der Meßstandorte, Energieversorgung und Datentransfermöglichkeiten neue Erkenntnisse gewonnen und diese umgehend in die Praxis umgesetzt.

#### 4.1.1.A/1.2 Attività

Sono state condotte le seguenti attività:

- raccolta di documentazione ed analisi di eventi di colata detritica;
- determinazione delle precipitazioni d’innescio;
- stima dei danni derivanti da eventi di colata;
- verifica dell’efficacia delle opere di difesa;
- stima dell’entità di mobilitazione e di trasporto del materiale detritico, tenendo conto delle opere di difesa;
- sviluppo di un sistema di monitoraggio;
- scelta delle localizzazioni idonee;
- scelta dei sensori adatti a registrare il passaggio di una colata;
- registrazione dei dati e relativa analisi;
- formulazione di proposte per il miglioramento del sistema di monitoraggio.

I risultati conseguiti con le indagini sul terreno sono stati integrati con i calcoli idrologici, per la stima della portata, basati sull’entità di precipitazione misurata dalla stazione pluviometrica presente all’interno del bacino, in modo da ricostruire uno scenario realistico delle condizioni d’innescio. Sono state determinate le entità delle precipitazioni innescanti e le relative intensità, derivando di conseguenza valori soglia per l’innescio delle colate. Oltre a ciò, sulla base della documentazione storica e dei rilievi di terreno, sono stati ricavati i parametri di ingresso per la simulazione idraulica sul conoide.

Durante il periodo di durata del Progetto sono state acquisite nuove conoscenze riguardo il posizionamento ottimale dei sensori, il quantitativo di energia richiesto e le modalità di trasferimento dei dati.



#### 4.1.1.A/1.3 Results

During the field survey in the upper catchment the mobilization and the transport of solids can be determined; additionally to this results the rheology analysis in the laboratory (Figure 4.1.1.A/1.8) supplied the necessary input parameter for the hydraulic simulation with the model FLO-2D (see § 4.2.2.B). With this model different scenarios were simulated. The result is a risk index map on the fan (Figure 4.1.1.A/1.7).

Since the full installation of the monitoring system no debris flow event occurred. After collection of all relevant and available data of the catchment area (geological, geomorphologic, hydrological data), some activities concentrated on the debris flow triggering conditions to derive precipitation threshold values for the information system. The threshold values related to some debris flow events were implemented in the *ID-relationship* on the bases of *small* rainfall events at Lattenbach. Thus it appears that nearly all of the *small* precipitation events under the threshold value did not trigger a debris flow event. Therefore further investigations are necessary to increase accuracy of forecast.

#### 4.1.1.A/1.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Feldarbeiten wurden die Transport- und Mobilisierungsparameter bestimmt. Ergänzend wurden die rheologischen Parameter im Labor (Figur 4.1.1.A/1.8) für die Simulation mit dem FLO-2D Programm (siehe 4.2.2.B) bestimmt. Es wurden verschiedene Szenarien durchgerechnet und eine Gefahrenindexkarte für den Schwemmkegelbereich erstellt (Figur 4.1.1.A/1.7).

Nach Abschluß der Grundlagen- (Geologie, Geomorphologie, Hydrologie,...) und Erhebungsarbeiten wurde versucht Auslöseparameter zu definieren. Nach Installation der Instrumente ereignete sich leider kein Muren- bzw. hochwasserabflußereignis. Diese mussten rückwirkend über historische Ereignisse (Stumme Zeugen Methode) und kleinere Abflußereignisse während der Beobachtungszeit hergeleitet werden. Die kleinen Abflußereignisse zeigten zumindest, dass hier keine Murenauslösung stattfindet und der Grenzwert darüber liegen muß. Weitere Untersuchungen für genauere Vorhersage sind erforderlich.

#### 4.1.1.A/1.3 Risultati

Durante i rilievi condotti nella zona di testata del bacino, è stata quantificata l'entità di materiale solido mobilizzabile e trasportabile; inoltre le analisi di laboratorio relative allo studio della reologia dei processi (Figura 4.1.1.A/1.8) hanno fornito i parametri di ingresso necessari per la simulazione idraulica condotta con il modello FLO-2D (vedi § 4.2.2.B). Il modello fornisce differenti scenari d'evento, da cui deriva una mappa degli indici di rischio sul conoide (Figura 4.1.1.A/1.7).

A partire dal momento in cui il sistema di monitoraggio è stato completamente installato, non si sono verificati eventi di colata.

A seguito della raccolta di tutti i dati significativi relativi al bacino (geologici, geomorfologici, idrologici), alcune attività hanno riguardato l'analisi delle condizioni d'innescò delle colate, al fine di determinare i valori soglia delle precipitazioni da inserire nel sistema informativo. I valori soglia relativi ad alcuni eventi di colata sono stati introdotti nella relazione *ID* a partire da eventi di precipitazione non particolarmente intensa che hanno interessato l'area di Lattenbach. Emerge che pressoché tutti gli eventi di precipitazione *modesta*, ricadenti al di sotto del valore di soglia, non hanno innescato eventi di colata.

Per migliorare l'accuratezza della previsione sono pertanto richieste ulteriori indagini.



Monitoring activities in an instrumented watershed  
§ 4.1.1.A/1 LAND TIROL

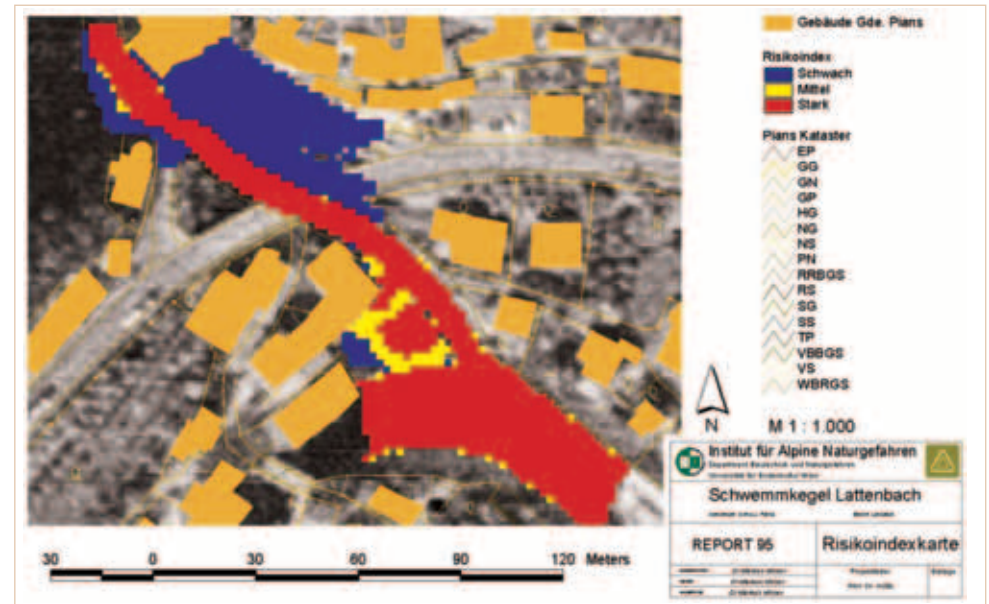
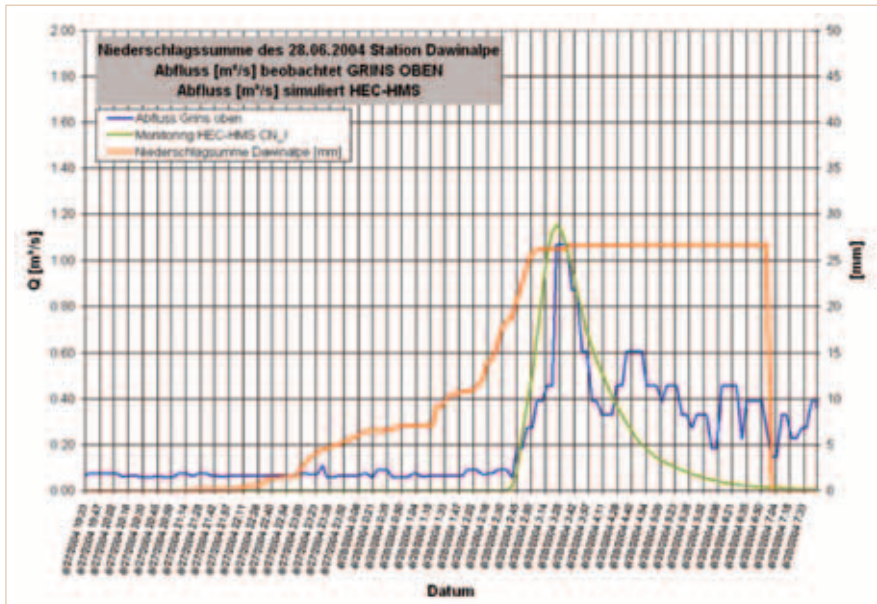


Figure 4.1.1.A/1.6 Data from the monitoring system.  
Figur 4.1.1.A/1.6 Aus dem Überwachungssystem stammenden Daten.  
Figura 4.1.1.A/1.6 Dati derivanti dal sistema di monitoraggio.

Figure 4.1.1.A/1.7 Risk index map.  
Figur 4.1.1.A/1.7 Karte des Risikoindizes.  
Figura 4.1.1.A/1.7 Carta degli indici di rischio.



Figure 4.1.1.A/1.8 Rheology experiments in the laboratory.  
Figur 4.1.1.A/1.8 Experimenten im Labor auf die Rheologie der Verfahren.  
Figura 4.1.1.A/1.8 Esperimenti in laboratorio sulla reologia dei processi.

#### 4.1.1.A/1.4 Conclusions

The prevailing topographic situation in the catchment area and the settled surface and/or infrastructure facilities ranges for active and passive measures are separated. Passive measures are a useful alternative to the existing desolate active technical countermeasures. The peculiar characteristics of debris flows, such as extemporaneousness, rapidity of occurrence, high propagation velocity, short duration, destructiveness make the task of dealing with their management in real time particularly difficult. One of the consequences is that information systems are more reliable for the protection of transportation routes than for the protection of villages. In fact it is simpler to impede in time the use of an infrastructure to a temporary user than to move in time an inhabitant from an endangered dwelling. Moreover precise information is needed about the warning time available and the time needed to reliably evacuate an area to make a decision as to whether event-triggered warning and evacuation is a suitable hazard mitigation strategy. It is likely that an event-triggered information system will not give sufficient time for reliable evacuation. In the catchment Lattenbach the protection of the roads can be achieved with a traffic light regulation. (Figure 4.1.1.A/1.9). Additionally, the inhabitants of the villages of Pians and Grins will be informed about the processes going on in the catchment area by means of a warning light placed near the church. (Figure 4.1.1.A/1.10). Nevertheless it is important to clearly state that the use of information systems requires an accurate education of the interested population.

#### 4.1.1.A/1.4 Schlussfolgerungen

Die vorherrschende Topographie des Einzugsgebietes mit der großen Entfernung von Niederschlagssammelgebiet zu den Siedlungsbereichen und Infrastruktureinrichtungen erlaubt die Kombination aktiver und passiver Schutzmaßnahmen. Die Passiven stellen eine gute Ergänzung zu den großteils mechanisch beschädigten Verbauungsmaßnahmen dar. Die charakteristischen Mureigenschaften, wie schnelles anschwellen, hohe Geschwindigkeit, kurze Dauer des Ereignisses und große Zerstörungsgewalt zeigen die Grenzen der Machbarkeit einer Vorwarnung in Echtzeit bei Muren deutlich auf. Die Sperre einer Straße ist rasch umsetzbar und daher das System für diese Fälle gut geeignet. Die Vorwarnung bietet für Gebäude keinen Schutz – Todesopfer können durch Vorwarnung und Evakuierung jedoch verhindert werden. Benötigt werden dabei natürliche exakte Informationen über das Ereignis und die Vorlaufzeiten für Sperr- und Evakuierungsmaßnahmen. Nur in Ausnahmefällen steht genügend Zeit für eine Evakuierung zur Verfügung. Im Einzugsgebiet des Lattenbach wird die Sperre der Straßen über ein ampelgesteuertes System erreicht (Figur 4.1.1.A/1.9.). Zusätzlich wird die Bevölkerung der Gemeinden Grins und Pians über die im Einzugsgebiet laufenden Mureignisse durch Warnblinkleuchten in Kenntnis gesetzt (Figur 4.1.1.A/1.10). Mit dem Einsatz von Frühwarnsystemen ist eine laufende Schulung und Übung mit der betroffenen Bevölkerung verbunden.

#### 4.1.1.A/1.4 Conclusioni

La situazione topografica dominante nel bacino è tale da consentire misure di sicurezza sia passive sia attive, data la distanza tra bacino e le aree insediate e/o interessate da infrastrutture.

Gli interventi passivi nel caso in studio sono un'utile alternativa alle poco efficaci opere di protezione di tipo attivo esistenti.

Le caratteristiche peculiari delle colate fangose e detritiche, vale a dire l'attivazione improvvisa, la rapidità con cui si verificano, l'elevata velocità di propagazione, la breve durata, l'enorme potere distruttivo, ne rendono particolarmente complessa la gestione in corso d'evento. Di conseguenza l'utilizzo dei sistemi di monitoraggio risulta maggiormente efficace per la protezione della viabilità piuttosto che dei centri abitati. Infatti è più semplice impedire in tempo utile l'utilizzo di un'infrastruttura ad un utente temporaneo piuttosto che evacuare gli abitanti da un edificio esposto a pericolo.

Inoltre è indispensabile conoscere precisamente il tempo disponibile per effettuare l'allertamento ed il tempo necessario per evacuare un'area, in modo da poter stabilire se l'allertamento, basato sulla conoscenza del momento d'inscendio del processo, e l'evacuazione delle strutture a rischio siano strategie adeguate per la mitigazione del pericolo.

Nel bacino del rio Lattenbach la sicurezza della viabilità può essere garantita mediante regolazione semaforica (Figura 4.1.1.A/1.9), mentre gli abitanti dei paesi di Pians e Grins possono essere informati sui processi in corso nel bacino tramite una sirena ubicata in corrispondenza della chiesa (Figura 4.1.1.A/1.10).

Ciononostante è importante rimarcare in modo chiaro che per l'utilizzo pienamente efficace del sistema di monitoraggio è richiesta un'accurata educazione e sensibilizzazione della popolazione interessata.



Figure 4.1.1.A/1.9 Traffic light regulation at Pians.  
Figur 4.1.1.A/1.9 Verkehr-Management durch Ampel in Pians.  
Figura 4.1.1.A/1.9 Regolazione del traffico con l'ausilio di un semaforo a Pians.



Figure 4.1.1.A/1.10 Warning light regulation at Pians.  
Figur 4.1.1.A/1.10 Ansteuerung der akustischen Warnleuchte in Pians.  
Figura 4.1.1.A/1.10 Sirena per l'allarme sonoro a Pians.



## 4.2. Torrential processes on alluvial fan

Alluvial fans are deposits of torrent sediment at a modest gradient which occur in correspondence with the mouth of the channel in the catchment receptor down valley.

In Alpine valleys alluvial fans have represented desirable sites for habitation and urban development since the earliest times, but the transport of solids and/or flows which led to their creation represent a source of danger for the residential, industrial and communications structures present. Mud and debris flows are particularly dangerous because they represent a serious risk to human life and property, in view of the fact that it is not easy to predict and quantify the amount of material which can be transported, the route taken, and the degree of correlation with the intensity and duration of rainfalls.

In view of the fact that trigger mechanisms, sedimentation processes and particle size distribution of torrent deposits take their characteristics from the type of transport, it is necessary to make some distinctions (F.E.M.A., 1996): debris flow fans (Whipple & Dunne, 1992), at a considerable gradient and of a moderate size, are mainly created by processes such as debris flows; while alluvial fans (Bull, 1977), at a moderate gradient and of a considerable size compared to the size of the catchment, are usually linked to the transport of solids; while composite fans are formed by the alternation of the two previous processes, but may be characterised by a prevalence of debris flows.

Although damage to urban areas over past centuries and decades is well documented, the recent expansion for the purposes of tourism in many Alpine valleys has led to an increase in risk for built up fan areas, road infrastructures (including high traffic international mountain passes) and railway infrastructures. The expansion of residential areas tends

## 4.2. Wildbachprozesse im Kegel

Schwemmkegel sind Ablagerungsformen von Wildbächen mit mäßigem Gefälle, die sich an der Mündung der Nebenflüsse in den Hauptfluss in der Talsohle entwickeln.

In den Alpentälern waren Schwemmkegel seit der Antike privilegierte Orte für die Ansiedlung und Entwicklung von urbanen Zentren; die Phänomene von Feststofftransport bzw. Muren, die für ihre Entstehung verantwortlich sind, stellen allerdings eine Gefahrenquelle für die Siedlungs-, Produktions- und Verkehrsstrukturen dar. Murgänge sind besonders gefährlich und setzen die Unversehrtheit von Personen und Sachen einem ernsthaften Risiko aus, denn die Menge von beweglichem Material, der Verlauf und die Beziehung zu Intensität und Dauer der Niederschläge sind nicht leicht vorherzusehen und zu quantifizieren.

Da die Auslösemechanismen, die Ablagerungsprozesse und die Korngrößenverteilung der Wildbachsedimente besondere Eigenschaften in Bezug zur jeweiligen Art des Transports annehmen, müssen Unterscheidungen eingeführt werden (F.E.M.A., 1996): Die Schwemmkegel oder *debris flow fans* (Whipple & Dunne, 1992) mit erheblichem Gefälle und mäßiger Ausdehnung werden vorwiegend von Prozessen in der Art von Murengängen erzeugt; die Schwemmkegel oder *stream flow fans* (Bull, 1977) mit mäßigem Gefälle und starker Ausdehnung im Verhältnis zur Größe des Einzugsgebiets sind genetisch mit vorherrschenden Phänomenen von Feststofftransport verbunden; die gemischten Kegel oder *composite fans* bilden sich durch den Wechsel der beiden vorigen Prozesse, können aber von vorherrschendem Geschiebetransport geprägt sein.

Obwohl die Schäden in bebauten Gebieten in den vergangenen Jahrhunderten und Jahrzehnten doku-

## 4.2. Processi torrentizi in conoide

I conoidi alluvionali sono forme deposizionali di origine torrentizia a modesta pendenza che si sviluppano in corrispondenza dello sbocco delle aste tributarie nel ricettore di fondovalle.

Nelle vallate alpine i conoidi alluvionali sono stati fin dall'antichità siti privilegiati per l'insediamento e lo sviluppo dei centri urbani; però i fenomeni di trasporto solido e/o colata responsabili della loro edificazione rappresentano una fonte di pericolo per le strutture insediative, produttive e di comunicazione presenti. Le colate fangose e detritiche sono particolarmente pericolose e mettono a serio rischio l'incolumità di persone e cose, poiché la quantità di materiale movimentabile, il percorso seguito e il grado di correlazione con intensità e durata delle precipitazioni non sono facilmente prevedibili e quantificabili.

Dal momento che i meccanismi d'innescio, i processi di sedimentazione e la distribuzione granulometrica dei depositi torrentizi assumono caratteristiche peculiari in relazione al tipo di trasporto, è necessario operare delle distinzioni (F.E.M.A., 1996): i conoidi detritici o *debris flow fans* (Whipple & Dunne, 1992), a pendenza rilevante ed estensione moderata, sono generati prevalentemente da processi tipo colata di detrito; i conoidi alluvionali o *stream flow fans* (Bull, 1977), a modesta pendenza ed estensione elevata in rapporto alle dimensioni del bacino, sono geneticamente legati a prevalenti fenomeni di trasporto solido; i conoidi misti o *composite fans*, sono formati dall'alternanza dei due processi precedenti, ma possono essere caratterizzati da prevalenza di trasporto detritico torrentizio.

Benché siano documentati i danni indotti nei secoli e decenni passati sulle zone edificate, la recente espansione per ragioni turistiche di molte vallate alpine ha determinato un incremento delle condizioni di rischio per le zone di conoide edificate, le infrastrut-



to rob the channel of its natural runoff area, forcing the flow to travel in channels across the urban area which are too narrow for the magnitude of the torrent flow. As the value of expected damage tends to increase, it is ever more indispensable to carry out a careful, accurate assessment of the evolution patterns of torrent flows and deposits on fans. The mapping of areas subject to hazards and the expected levels of intensity (magnitude, height of deposit, speed) represent a source of preventive information for land planning for the authorities concerned and a tool to support clean-up activities and safety measures for the community and the area.

mentiert sind, hat die jüngere Expansion vieler Alpentäler aus touristischen Gründen zu einem Anstieg der Risikokonditionen für bebaute Kegelzonen, Straßen (einschließlich internationaler Passstraßen mit großem Verkehrsaufkommen) und Eisenbahninfrastrukturen geführt. Außerdem tendiert die Siedlungserweiterung dazu, dem Wasserlauf die natürlichen Abflussgebiete zu entziehen, er wird für die Durchquerung der Wohnsiedlungen in Kanäle gezwängt, die im Verhältnis zur *Magnitude*, die die Wildbachphänomene auszeichnet, unterdimensioniert sind. Da der Wert des erwarteten Schadens zunimmt, wird eine gründliche und präzise Auswertung der Entwicklungsweisen von Wildbach- und Ablagerungsprozessen an den Kegeln unerlässlich. Die Kartierung der gefährdeten Gebiete und die erwarteten Intensitätswerte (*Magnitude*, Ablagerungshöhen, Geschwindigkeit) bieten vorbeugende Informationen für die Gebietsplanung zur Nutzung durch die Gemeinden und dafür bestimmten Körperschaften und bilden ein Instrument der Unterstützung für die Wiederherstellung und zum Schutz der Bevölkerung und des Gebiets.

ture stradali (comprese le vie di valico internazionale di grande traffico) e le infrastrutture ferroviarie. Inoltre l'espansione insediativa tende a sottrarre al corso d'acqua le aree di naturale sfogo, che viene costretto in canali di attraversamento degli abitati sottodimensionati rispetto alla *magnitudo* che caratterizza i fenomeni torrentizi. Dal momento che il valore del danno atteso tende ad aumentare, si rivela sempre più indispensabile una valutazione attenta e precisa delle modalità di evoluzione dei processi torrentizi e di deposizione sui conoidi. La mappatura delle aree esposte a pericolo ed i valori di intensità (*magnitudo*, altezze di deposito, velocità) attese rappresentano una fonte di informazione preventiva per la pianificazione territoriale ad uso di comuni e enti preposti e uno strumento di supporto alle attività di ripristino e messa in sicurezza della popolazione e del territorio.

#### 4.2.1. Generale framework

In order to identify the areas that can be reached by peak flows or debris flows spreading onto fans two approaches can be used, together if necessary: 1) historic/geomorphologic analysis and 2) mathematical modelling.

1) The first type of analysis represents a powerful initial tool to sketch out the areas at risk of hazards, in terms of the envelope of past events. It should however be remembered that the map of the furthest areas reached by flows in the past cannot always be directly applied to the present situation, due to modifications in the morphological structure (subsequent events, creation of infrastructures, preventive measures). This set of methods includes: 1a) the method put forward by Aulitzky (1980), and the series of methods derived from that, and 1b) the *probable frequency* method.

1a) The Aulitzky method, both the original and the methods derived from it, aims to interpret the so-called *mute witnesses* of past events, (flow lobes, traces on the vegetation, etc.), using the field observations made as the basis for a series of questions regarding: the dimension of the transported/eroded materials present on the fan, the maximum thickness of the single layer of deposits, the gradient of the fan, vegetation cover, the morphology of the terrain in relation to the erosion created by the torrent and runoff conditions. The method enables us to define a *peak flow* index for the catchment being studied (the type of sediment transport it may be subject to) and to perform a qualitative classification of the hazard levels of various areas of the fan.

The estimate of maximum volumes available and transportable in a single event must never be ignored. The use of empiric formulas to

#### 4.2.1. Zusammenfassung des Kenntnisstandes

Um die Gebiete, die von Wildbachhochwasser oder Murengängen im Kegel betroffen werden können, zu identifizieren, kann man zwei Ansätze anwenden, auch in Synergie: 1) eine historisch-geomorphologische Analyse und 2) die mathematische Modellierung.

1) Die erste Art der Analyse stellt ein anfängliches und leistungsfähiges Untersuchungsinstrument für die Begrenzung der gefährdeten Gebiete hinsichtlich der Bündelung der vergangenen Ereignisse dar. Es sollte allerdings berücksichtigt werden, dass die Extremgrenzen der Murgänge nicht immer direkt auf die aktuelle Situation übertragbar sind, da Änderungen in der morphologischen Anlage eingetreten sein können (Folgeereignisse, Bau von Infrastrukturen oder Milderungsmaßnahmen). Zu dieser Gruppe von Methoden gehören: 1a) die von Aulitzky vorgeschlagene Methode (1980) sowie eine Reihe davon abgeleiteter konsolidierter Methoden und 1b) die Methode der *wahrscheinlichen Häufigkeit*.

1a) Die Methode von Aulitzky zielt in ihrer ursprünglichen und in den abgeleiteten Formen darauf ab, die so genannten *stummen Zeugen* von vergangenen Ereignissen zu interpretieren (Murenausläufer, Spuren an der Vegetation, etc.). Dazu werden die Betrachtungen aus den Bodenvermessungen auf eine Reihe von Fragen hin untersucht, und zwar: Größe des transportierten/Erosionsmaterials im Kegel, maximale Mächtigkeit der einzelnen Sedimentschicht, Hangneigung, Vegetationsdeckschicht, Morphologie des Geländes in Bezug auf Wildbacherosion und Abflussverhältnisse. Mit dieser Methode kann ein *Index für die Wildbachaktivität* des untersuchten Beckens definiert (welcher Art von

#### 4.2.1. Breve sintesi delle conoscenze

Per l'individuazione delle aree che possono essere raggiunte dalle piene torrentizie o dalle colate in conoide, si può ricorrere all'applicazione anche sinergica di due approcci: 1) analisi storica-geomorfologica e 2) modellazione matematica.

1) Il primo tipo di analisi rappresenta un iniziale e potente strumento di indagine per la delimitazione delle aree esposte a pericolo, in termini di inviluppo degli effetti degli eventi avvenuti nel passato. È opportuno però considerare che i limiti estremi raggiunti dalle colate non sono sempre direttamente trasferibili alla situazione attuale, a causa di modifiche indotte nell'assetto morfologico (eventi successivi, realizzazione di infrastrutture o interventi di mitigazione). In questo gruppo di metodi si ricordano: 1a) il metodo proposto da Aulitzky (1980) e una serie di metodi consolidati da esso derivati e 1b) il metodo della *frequenza probabile*.

1a) Il metodo Aulitzky, nella forma originale e nelle forme derivate, mira ad interpretare i cosiddetti *testimoni silenziosi* di eventi passati (lobi di colata, tracce sulla vegetazione, etc.), riconducendo le considerazioni emerse dai rilievi di terreno ad una serie di quesiti relativi a: dimensione del materiale trasportato/eroso presente sul conoide, massimo spessore del singolo strato dei depositi, acclività del conoide, copertura vegetale, morfologia del terreno in relazione all'erosione torrentizia e condizioni di deflusso delle acque. Il metodo consente di definire l'*indice di torrenzialità* del bacino di studio (a che tipo di trasporto solido può essere soggetto) e a classificare in modo qualitativo la pericolosità sulle varie parti del conoide. La stima dei volumi massimi disponibili e mobilizzabili da un singolo evento non deve mai essere trascurata. L'utilizzo di formule di

estimate the magnitude, flow peaks and runoff speed, and above all a careful analysis of different types of instability in the catchment require a careful assessment of all aspects (climatological, topographical, morphological and geological) which may contribute to trigger an event.

- 1b) The probable frequency method, which derives from a slightly modified version of a procedure established by the *Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft Office* (BUWAL) of the Helvetic Confederation, estimates hazard levels in areas subject to instability in the past, according to the characteristics of the events in question. In the case of debris flows, the method evaluates the width and speed of the flow, which can be deduced both from morphological traces left on the scene, and from records. The possible recurrence of the phenomenon is also evaluated, using all the information available (type of instability, historic records, current morphological conditions, man-made features *etc.*)  
The possibility of recurrence, which is not statistically valid, is termed probable frequency, and is divided into categories according to time span. Hazard levels are evaluated using matrices that combine width and/or speed of flow and probable frequency.
- 2) With the advent and spread of new technology, mathematical models able to simulate peak flows and debris flows have been developed: the wide range of models available can be divided into three main categories.
  - 2a) The first category includes all the empirical/statistical models: the various processes involved (trigger, transportation, deposit) are described using probability distributions, by analysing the connection between

Feststofftransport dieses ausgesetzt sein kann) und die Gefahr an den verschiedenen Teilen des Kegels in qualitativer Hinsicht klassifiziert werden.

Die Schätzung der Maximalvolumen, die verfügbar sind und von einem einzigen Ereignis mobilisiert werden können, darf nie vernachlässigt werden. Die Anwendung von empirisch abgeleiteten Formeln für die Schätzung von *Magnitude*, Stromspitzen und Abflussgeschwindigkeit und vor allem die gründliche Analyse der verschiedenen Zerrüttungsphänomene im Einzugsgebiet erfordern eine aufmerksame Auswertung aller Aspekte durch den Vermesser (klimatologische, topographische, morphologische und geologische), die synergetisch zur Auslösung von paroxystischen Phänomenen führen können.

- 1b) Die Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit, die mit einigen Änderungen von einem Verfahren abgeleitet ist, das vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) der Schweizerischen Eidgenossenschaft eingeführt wurde, schätzt die Gefährdung der Gebiete, die in der Vergangenheit von Zerrüttungsphänomenen betroffen waren, auf der Grundlage der jeweiligen Ereignisse. Im Fall von Muren werden Dicke und Geschwindigkeiten ausgewertet, die sowohl von morphologischen Spuren im Gebiet als auch aus Dokumenten abgeleitet werden können. Außerdem wird die Möglichkeit der Wiederholung des Phänomens auf der Grundlage der insgesamt verfügbaren Informationen beurteilt (Art der Zerrüttung, historische Nachrichten, derzeitige morphologische Konditionen, anthropische Eingriffe, *etc.*).  
Die Möglichkeit der Wiederkehr, die keinen sta-

derivazione empirica per la stima di *magnitudo*, picchi di portata e velocità di deflusso e soprattutto l'analisi attenta dei diversi fenomeni di dissesto nel bacino richiedono da parte del rilevatore un'attenta valutazione di tutti gli aspetti (climatologici, topografici, morfologici e geologici), che sinergicamente possono condurre all'innescare di fenomeni parossistici.

- 1b) il metodo della frequenza probabile, derivante, con qualche modifica, da una procedura predisposta dall'Ufficio *Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft* (BUWAL) della Confederazione Elvetica, stima la pericolosità delle aree coinvolte in passato da fenomeni di dissesto in base alle caratteristiche degli eventi che le hanno coinvolte. Nel caso delle colate detritiche vengono valutati spessori e velocità che possono essere dedotti sia da tracce morfologiche rimaste sul campo sia da documenti. Viene valutata inoltre la possibilità di ricorrenza del fenomeno sulla base dell'insieme delle informazioni disponibili (tipologia del dissesto, notizie storiche, condizioni morfologiche attuali, interventi antropici, *etc.*).  
La possibilità di ricorrenza, che non ha valore statistico, viene denominata *frequenza probabile* ed è suddivisa in classi riferite ad intervalli temporali. Alla valutazione della pericolosità si perviene attraverso l'uso di matrici che permettono la combinazione dei valori di spessore e/o velocità e *frequenza probabile*.
- 2) Con l'avvento e la diffusione delle nuove tecnologie, sono stati sviluppati modelli matematici in grado di simulare fenomeni di piena e di colata; all'interno dell'ampio spettro della modellistica disponibile si distinguono tre grandi classi di modelli.
  - 2a) La prima classe comprende tutti i modelli empirico-statistici: i diversi processi coinvolti (innescare, trasporto, deposizione) sono

the probability of an event and pluviometric readings (threshold values).

2b) The second type of model includes all momentum-based methods, which identify the average gradient of the route between the detachment area and the deposit area, as a value which represents the energy of the mass in movement. Based on this it is possible to sketch out the areas covered by the flow and classify them in terms of hazard level.

2c) The third group contains mathematical models which are expressly structured around the retention of sediment, and the quantity of movement and energy. Mathematical modelling of stony debris flows can be traced back to the first approaches put forward in Japan (Takahashi, 1991), which used a dilatant approach, while for mudflows of smaller particle sizes the Bingham rheological model is often used. One well-known difficulty involved lies in specifying the initial and contextual conditions (free edges, area concerned variable over time).

One category of models, originally developed to calculate avalanche trajectories (starting from Voellmy, 1955), allows a satisfactory reconstruction of observed speeds and the trajectories of debris flows (Perla *et al.*, 1980; Rickenmann, 1990; Rickenmann *et al.*, 1997). The principle of energy retention is the basis for this type of approach. Another class of models, which describes the phenomenon from the hydraulic point of view (defining the water/sediment hydrograph on the basis of parameters taken from the physics and rheological characteristics of the process), can be applied to reconstruct historic events, but not so easily for predictive purposes. The simulation of the process of bidimensional deposit-

tistischen Wert darstellt, wird als wahrscheinliche Häufigkeit bezeichnet und ist nach den Zeitabständen in Klassen aufgeteilt. Die Gefährdung wird mit Hilfe von Matrizes beurteilt, nach denen die Mächtigkeit und/oder Geschwindigkeit mit der wahrscheinlichen Häufigkeit kombiniert wird.

2) Mit der Einführung und Verbreitung von neuen Technologien wurden mathematische Modelle entwickelt, die Hochwasser- und Murenphänomene simulieren können. Innerhalb des breiten Spektrums der verfügbaren Modellistik unterscheidet man drei große Klassen:

2a) Die erste Klasse umfasst alle empirisch-statistischen Modelle: Die verschiedenen beteiligten Prozesse (Auslösung, Transport, Ablagerung) werden nach Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben, dazu wird die Verbindung zwischen der Eintretenswahrscheinlichkeit des Phänomens und der Pluviometrie analysiert (Schwellenwerte).

2b) Die zweite Klasse umfasst die Methoden mit *Energielinie*, die das durchschnittliche Gefälle zwischen der Ablösezone und der Ablagerungszone als repräsentative Größe für die Energie der Masse in Bewegung benennen. Auf dieser Grundlage kann man die Invasionszonen des Murenabgangs umreißen und sie nach der Gefährdung klassifizieren.

2c) Die dritte Klasse umfasst die mathematischen Modelle, die in ihrer Struktur explizit die Bewahrung der Masse, die Bewegungsmenge und die Energie vorsehen. Die mathematische Modellierung der *stony debris flow* kann auf die ersten in Japan vorgeschlagenen Ansätze zurückgeführt werden (Takahashi, 1991), wobei ein erweiterter Ansatz verwendet wurde. Im Gegensatz dazu wird für *Mudflows* mit feinerer Korngröße häufig das rheologische Modell von

descritti secondo distribuzioni di probabilità, attraverso l'analisi del legame esistente tra probabilità di occorrenza del fenomeno e pluviometria (valori soglia).

2b) La seconda classe di modelli comprende i metodi *a linea di energia*, che individuano la pendenza media del percorso tra zona di distacco e zona di deposizione come grandezza rappresentativa dell'energia posseduta dalla massa in movimento. Su questa base è possibile procedere alla delimitazione delle zone di invasione della colata e ad una loro classificazione in termini di grado di pericolo.

2c) La terza classe raggruppa i modelli matematici che esplicitamente prevedono nella loro struttura la conservazione di massa, quantità di moto ed energia. La modellazione matematica dei *stony debris flow* può essere fatta risalire ai primi approcci proposti in Giappone (Takahashi, 1991), facendo uso di un approccio dilatante; al contrario per i *mudflows* a granulometria più fine si adotta spesso il modello reologico di Bingham. Una difficoltà ben nota consiste nella specificazione delle condizioni iniziali e al contorno (contorni liberi, area interessata variabile con il tempo).

Una classe di modelli, originariamente sviluppati per il calcolo delle traiettorie delle valanghe (a partire da Voellmy, 1955), consente una buona ricostruzione dei campi di velocità osservati e delle traiettorie descritte dalle colate di detrito (Perla *et al.*, 1980; Rickenmann, 1990; Rickenmann *et al.*, 1997). Il principio di conservazione dell'energia costituisce l'ipotesi di fondo di tale approccio. Un'altra classe di modelli che descrivono il fenomeno dal punto di vista idraulico (definizione dell'idrogramma liquido e solido sulla base di parametri ricavati dalla fisica e dalla



ing on the fan has been studied in detail by Mizuyama *et al.* (1984), using a combination of hydraulics and random trajectories. The hydraulic/bidimensional model FLO-2D (O'Brien *et al.*, 1993) developed to simulate peak flows and for specific applications to model mud and debris flows, is being used increasingly.

Models developed by European writers such as Laigle (1997) and ALCO-2D (Ghilardi *et al.*, 2000) should also be remembered.

One important contribution to emerge from analytical modelling is the creation of algorithms to calculate the stresses on structures generated by debris flows.

Bingham eingesetzt. Eine wohlbekannte Schwierigkeit besteht in der Spezifizierung der Ausgangsbedingungen und dem Umriss (freie Randlinie, betroffenes Gebiet zeitlich variabel). Eine Modellklasse, die ursprünglich für die Berechnung von Lawinensturzbahnen entwickelt wurde (ausgehend von Voellmy, 1955), ermöglicht eine gute Rekonstruktion der beobachteten Geschwindigkeitsfelder und der Sturzbahnen, die der Murenabgang beschreibt (Perla *et al.*, 1980; Rickenmann, 1990; Rickenmann *et al.*, 1997). Die grundlegende Hypothese für diesen Ansatz ist das Prinzip der Energiebewahrung. Eine weitere Klasse von Modellen beschreibt das Phänomen vom hydraulischen Standpunkt aus (Definition des Hydrogramms für Flüssig- und Feststoffe mit Parametern, die aus Physik und Rheologie des Prozesses gewonnen werden); sie werden für die Rekonstruktion von historischen Ereignissen angewendet, sind aber für die Voraussage schwer anwendbar. Die zweidimensionale Simulation des Ablagerungsprozesses am Kegel wird im Detail von Mizuyama *et al.* (1984) untersucht, wobei eine Kombination von Hydraulik und zufälligen Sturzbahnen verwendet wird. Immer breiteren Einsatz findet das zweidimensionale hydraulische Modell FLO-2D (O'Brien *et al.*, 1993), das für die Simulation von Hochwasserereignissen und für spezifische Anwendungen zur Modellierung von Murgänge erarbeitet wurde. Des Weiteren wird an die Modelle erinnert, die von europäischen Autoren wie Laigle (1997) und ALCO-2D (Ghilardi *et al.*, 2000) entwickelt wurden.

Ein bedeutender Beitrag, den die Modellanalyse leisten kann, besteht in der Formulierung von Berechnungsalgorithmen für die Belastungen, die Muren an Strukturen verursachen können.

reologia del processo), trovano applicazione nella ricostruzione di eventi storici ma risultano di difficile applicazione in termini previsionali. La simulazione del processo di deposizione bidimensionale sul conoide è studiata in dettaglio da Mizuyama *et al.* (1984) facendo uso di una combinazione idraulica e di traiettorie casuali. Sempre maggiore applicazione trova il modello idraulico bidimensionale FLO-2D (O'Brien *et al.*, 1993) messo a punto per la simulazione di eventi di piena e per specifiche applicazioni di modellazione delle colate fangose e detritiche. Si ricordano inoltre i modelli sviluppati da autori europei quali Laigle (1997) e ALCO-2D (Ghilardi *et al.*, 2000).

Un importante contributo che può emergere dall'analisi modellistica riguarda la formulazione di algoritmi di calcolo delle sollecitazioni indotte da colate detritiche sulle strutture.

## 4.2.2. Methods applied within the Project

### 4.2.2.A Heuristic approaches by means of geomorphic analysis

#### *General introduction to the method*

The geomorphologic approach mainly consists in analysing the morphological features connected to flow processes, careful historical research into past events and gathering information on measures that interact with runoff. This category of approaches includes the method developed by Aulitzky (1980), its variants and the probable frequency method.

#### *Definition*

Qualitative multi-factor analysis (Aulitzky 1980 method and variants) and the *probable frequency* method (modified by BUWAL).

#### *Aims*

The aims of the approach are:

- to provide information on the type of transport and the level of hazard that a fan is subject to, outlining the areas of the fan exposed to different levels of flow (Aulitzky 1980 method and variants);
- to give a rapid indication of the level of hazard in areas subject to peak flows/debris flows in the past (*probable frequency* method).

#### *Potential*

The geomorphologic approach does not require input other than that already possessed by scientists working in the area.

One specific advantage of the *probable frequency* method is that it can be applied to a vast area using GIS.

#### *Limits*

The Aulitzky method (and its variants) present the following limits:

## 4.2.2. Verwendete Methoden

### 4.2.2.A Heuristische Ansätze auf der Basis von geomorphologischen Analysen

#### *Allgemeine Einführung der Methode*

Der geomorphologische Ansatz umfasst im Wesentlichen die Feldanalyse der morphologischen Evidenzen in Verbindung mit der Wildbachtätigkeit, die gründliche historische Erforschung von Nachrichten vergangener Ereignisse und die Informationssammlung über Bauten, die mit dem Wasserabfluss interagieren können. Zu dieser Kategorie von Ansätzen gehören die Methode Aulitzky (1980) und seine Varianten sowie die Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit.

#### *Definition*

Multifaktorielle Analyse qualitativer Art (Methode Aulitzky 1980 und Varianten) und Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit (BUWAL mit Änderungen).

#### *Ziel*

Die Ziele des Ansatzes sind:

- Angaben über die Art des Transports und die Gefährdung eines Kegels zu liefern, indem die Kegelsektoren begrenzt werden, die den Wildbachphänomenen in unterschiedlicher Weise ausgesetzt sind (Methode Aulitzky 1980 und ihre Varianten);
- rasch eine erste Indikation der Gefährdung für Gebiete zu liefern, die in der Vergangenheit von Wildbachhochwasser/Murenabgängen betroffen waren (Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit).

#### *Potenzialität*

Der geomorphologische Ansatz erfordert keine Ausrüstung, die nicht bereits zum Gepäck der im Gebiet arbeitenden Techniker gehören würde.

## 4.2.2. Metodi applicati nel Progetto

### 4.2.2.A Approcci euristici basati su analisi geomorfologiche

#### *Introduzione generale sul metodo*

L'approccio geomorfologico comprende principalmente l'analisi sul campo delle evidenze morfologiche connesse all'attività torrentizia, l'accurata ricerca storica di notizie relative ad eventi passati e la raccolta di informazioni sulle opere che possono interagire con il deflusso delle acque. A questa categoria di approcci appartengono il metodo Aulitzky (1980) e le sue varianti e il metodo della *frequenza probabile*.

#### *Definizione*

Analisi multi-fattoriale di tipo qualitativo (metodo Aulitzky 1980 e varianti) e metodo della *frequenza probabile* (BUWAL modificato).

#### *Finalità*

Gli obiettivi dell'approccio sono:

- fornire indicazioni sul tipo di trasporto e sul grado di pericolosità cui è soggetto un conoide, delimitando i settori di conoide a diverso grado di esposizione ai fenomeni torrentizi (metodo Aulitzky 1980 e sue varianti);
- fornire rapidamente una prima indicazione della pericolosità cui sono esposte aree in passato interessate da piene torrentizie/colate (metodo della frequenza probabile).

#### *Potenzialità*

L'approccio geomorfologico non richiede strumentazioni che non siano già bagaglio dei tecnici che operano sul territorio.

Un vantaggio specifico del metodo della frequenza probabile è l'applicabilità su vasto territorio attraverso l'utilizzo di tecniche GIS.

- it contains a subjective element, during surveys and the application of parameters to the elements studied;
- as it was developed on fans which are not built on, its application has severe limits with regards to inhabited areas down valley (with a consequent reduction in its degree of reliability);
- it disregards the natural triggers of the event.

The probable frequency method:

- does not supply any information on new events;
- to provide significant results it requires: significant data on the speed of past debris flows and the extension and thickness of the relevant deposits.

#### *Activities*

The approaches described entail:

- 1) gathering and analysing cartographic databases and the available aerial photographs;
- 2) reconstructing and creating a logical archive of recorded historic events, in order to reconstruct the spatial and temporal framework of the events affecting the fan, providing information on the frequency of events, location of areas and man-made structures damaged, with interviews in situ, variations in the characteristics/diversions of the channel, man-made intervention on the fan;
- 3) geomorphologic and hydraulic characterisation of fans, with analytical and interpretative graphs, including:
  - 3a) analysis of the aspect of the catchment with the aim of defining the type and magnitude of the processes expected to hit the fan (Aulitzky method and variants);
  - 3b) hydrological analysis, to quantify the expected flows of water (Aulitzky method and variants);
  - 3c) geological and geomorphologic analysis of the fan (from existing data and land surveys), with the aim of characterising the forms which can be traced back to debris flows, any

Ein spezifischer Vorteil der Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit ist die Anwendbarkeit auf ein ausgedehntes Gebiet mit Hilfe von GIS-Techniken.

#### *Grenzen*

Die Methode Aulitzky (und Varianten) weist folgende Einschränkungen auf:

- Sie ist in der Erhebungsphase und bei der Parametrierung der analysierten Elemente subjektiv;
- da sie für nicht urbanisierte Kegel erarbeitet wurde, ist sie nur mit starken Einschränkungen auf besiedelte Gebiete in der Talsohle anwendbar (mit entsprechender Verringerung der Zuverlässigkeit);
- sie sieht von den natürlichen Ursachen der Auslösung ab.

Die Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit:

- liefert keine Angaben zu Ereignissen einer Neubildung;
- erfordert, um signifikante Ergebnisse zu liefern, signifikante Daten zur Geschwindigkeit der vergangenen Murgänge und über die Ausdehnung und Dicke der entsprechenden Ablagerungen.

#### *Activitäten*

Die beschriebenen Ansätze sehen folgende Tätigkeiten vor:

- 1) Beschaffung und Analyse der kartographischen Basisdaten und der verfügbaren Luftaufnahmen;
- 2) Rekonstruktion und logische Katalogisierung der historisch dokumentierten Ereignisse mit dem Ziel, eine räumliche und zeitliche Übersicht über die Phänomene zu rekonstruieren, von denen der Kegel betroffen war, indem Angaben über die Häufigkeit der Ereignisse, Lokalisierung der beschädigten Gebiete und Gebäuden mit Interviews vor Ort, Veränderungen der Eigenschaften/Abweichungen des Bachbetts und

#### *Limiti*

Il metodo Aulitzky (e varianti) presenta i seguenti limiti:

- è soggettivo in fase di rilevamento e di parametrizzazione degli elementi analizzati;
- essendo stato messo a punto in conoidi non urbanizzati, è applicabile con forti limitazioni nelle aree popolate di fondovalle (con conseguente diminuzione del grado di affidabilità);
- prescinde dalle cause naturali d'innescio.

Il metodo della frequenza probabile:

- non fornisce alcuna indicazione relativamente ad eventi di neoformazione.
- per fornire risultati significativi necessita di: dati significativi sulle velocità delle colate passate e sulle estensioni e spessori dei relativi depositi.

#### *Attività*

Gli approcci descritti prevedono:

- 1) acquisizione ed analisi delle basi-dati cartografiche e delle foto aeree disponibili;
- 2) ricostruzione e catalogazione logica degli eventi storicamente documentati, mirata a ricostruire il quadro spaziale e temporale dei fenomeni che hanno interessato il conoide, dando indicazioni su frequenza degli eventi, localizzazione di aree e manufatti danneggiati con interviste in loco, variazioni delle caratteristiche/divagazioni dell'alveo, incidenza antropica sul conoide;
- 3) caratterizzazione geomorfologica ed idraulica dei conoidi, attraverso la stesura di elaborati grafici analitici ed interpretativi, che comprende:
  - 3a) analisi dell'assetto del bacino di alimentazione, finalizzato a definire tipologia e magnitudo dei processi attesi in conoide (metodo Aulitzky e varianti);
  - 3b) analisi idrologica, per la quantificazione delle portate liquide attese (metodo Aulitzky e varianti);
  - 3c) analisi geologica e geomorfologica del

deposits outside the channel, the aspect of the main flow channel and any secondary or reactivable channels, the distribution of vegetation cover, the role of preventive works (surveyed and evaluated in terms of efficacy and efficiency);

- 3d) identification and description of the critical points of the fan (narrow sections, crossings, bends) and outlining of the areas with degrees of influence on runoff of sediment/water flows (narrowing, decrease in gradient); identification of the areas that can alter, capture or deviate runoff (previous channels, viability and bed crossings) (Aulitzky method and variants);
- 3e) analysis of natural or artificial sections, attributing speeds according to the indicators, witness accounts and compared with the literature (*probable frequency method*).
- 4) Evaluation of the width and speed of previous flow events; creation of thematic maps (areas concerned and widths); application of matrices of magnitude/probable period or speed/ probable period (*probable frequency method*).

#### *Expected products*

- Indexes of flow processes (Aulitzky and variants);
- archive of historic events;
- geomorphologic map of the fan;
- hazard matrix (*probable frequency method*);
- hazard maps.

#### *Appropriate professional figures*

Geologists, forestry scientists, hydraulic and environmental engineers.

anthropischer Einfluss auf den Kegel erarbeitet werden;

- 3) geomorphologische und hydraulische Charakterisierung der Kegel durch Erstellung von analytischen und interpretativen graphischen Darstellungen, einschließlich:
- 3a) Analyse der Lage des Zuflussgebiets mit dem Ziel, Art und Magnitude der im Kegel erwarteten Prozesse zu definieren (Methode Aulitzky und Varianten);
- 3b) Hydrologische Analyse für die Quantifizierung der erwarteten Flüssigkeitsmengen (Methode Aulitzky und Varianten);
- 3c) geologische und geomorphologische Analyse des Kegels (aus vorhandenen Daten und Bodenvermessung) mit dem Zweck, die auf Muren zurückzuführenden Formen, eventuelle Ablagerungen außerhalb des Bachbetts, die Lage des Hauptflusskanals und eventuelle Sekundär- oder reaktivierbare Kanäle, die Verteilung der Vegetationsdeckschicht, die Rolle der Verbauung zu charakterisieren (sie werden registriert und im Hinblick auf Wirksamkeit und Leistungsfähigkeit ausgewertet);
- 3d) Identifizierung und Beschreibung der kritischen Punkte am Kegel (enge Abschnitte, Übergänge, Kurven) und Begrenzung der Abschnitte, die den Abfluss der Feststoff- und Flüssigkeitsmengen in anderer Weise beeinflussen (Verengungen, Verringerung des Gefälles); Identifizierung der Zonen, die den Abfluss ändern, aufhalten oder ableiten können (Urbetten, Wegeföhrung und Überquerungen des Bettbodens) (Methode Aulitzky und Varianten);
- 3e) Analyse der natürlichen oder künstlichen Sektionen und Zuweisung der Geschwindigkeit auf der Grundlage von Indikatoren, Zeugnissen oder durch Vergleich

conoide (da dati esistenti e rilevamento di terreno), finalizzata a caratterizzare le forme riconducibili a fenomeni di colata detritica, eventuali depositi fuori-alveo, l'assetto del canale principale di scorrimento e di eventuali canali secondari o riattivabili, la distribuzione della copertura vegetale, il ruolo delle opere di sistemazione (censite e valutate in termini di efficacia e di efficienza);

- 3d) individuazione e descrizione dei punti critici sul conoide (sezioni ristrette, attraversamenti, curve) e delimitazione dei settori con diversa influenza sul deflusso delle portate solido-liquide (restringimenti, diminuzione della pendenza); individuazione delle zone che possono modificare, catturare o deviare il deflusso (paleoalvei, viabilità e attraversamenti di fondo alveo) (metodo Aulitzky e varianti);
- 3e) analisi di sezioni naturali o artificiali e assegnazione di velocità sulla base di indicatori, testimonianze o per confronto con dati di letteratura (metodo della frequenza probabile).
- 4) Valutazione di spessore e velocità significativa degli eventi di colata pregressi; stesura di carte tematiche (aree interessate e spessori); applicazione di matrici magnitudo/periodo probabile o velocità/periodo probabile (metodo della frequenza probabile).

#### *Prodotti attesi*

- Indici di torrenzialità (Aulitzky e varianti);
- catalogazione eventi storici;
- carta geomorfologica del conoide;
- matrici di pericolosità (metodo della frequenza probabile);
- mappe di pericolosità.



mit Daten aus der Literatur (Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit).

4) Auswertung von Dicke und Geschwindigkeit, die für die vorangegangenen Stromereignisse signifikant waren; Erstellung von thematischen Karten (betroffene Gebiete und Dicke); Anwendung der Matrizes Magnitude/wahrscheinlicher Zeitraum oder Geschwindigkeit/wahrscheinlicher Zeitraum (Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit).

*Erwartete Produkte*

- Indizes der Wildbachtätigkeit (Aulitzky und Varianten);
- Katalogisierung historischer Ereignisse;
- geomorphologische Karte des Kegels;
- Matrizes der Gefährdung (Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit);
- Gefährdungskarten.

*Geeignete Berufsbilder*

Geologen, Forstwirte, Wasserbau- und Umweltingenieure.

*Figure professionali idonee*

Geologi, dottori forestali, ingegneri idraulici ed ambientali.

§ 4.2.2.A/1 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy – Provincia Autonoma di Trento
Village - Ort - Comune	Mazzin di Fassa (TN)
Basin - Becken - Bacino	Avisio
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Dona
Notes – bemerkungen –note	Debris flow in 1989; see § 4.2.2.B/1, § 4.2.2.B/2

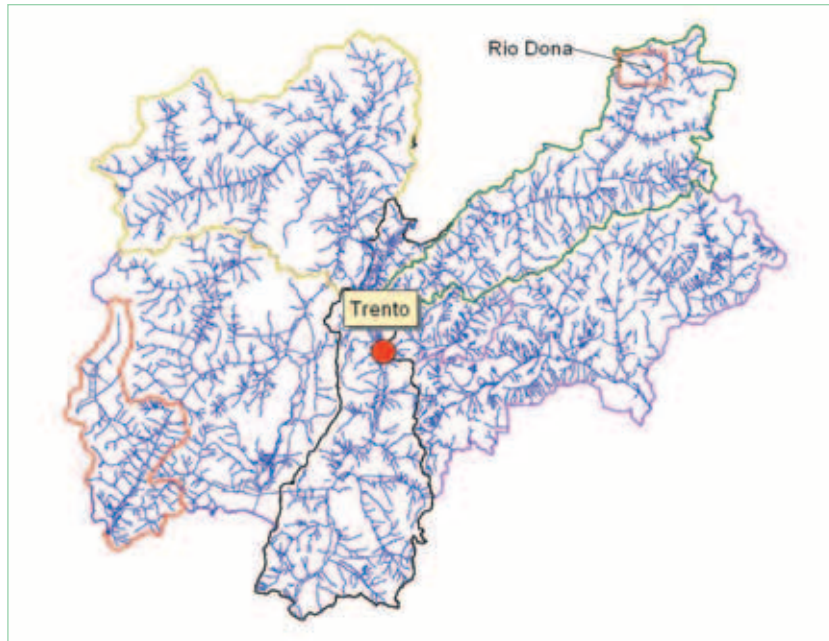


Figure 4.2.2.A/1.1 Geographical context of Rio Dona alluvial fan.  
Figur 4.2.2.A/1.1 Geografische Einordnung des Schwemmkegels  
des Rio Dona.

Figura 4.2.2.A/1.1 Inquadramento geografico  
del conoide alluvionale del Rio Dona.



Figure 4.2.2.A/1.2 Rio Dona hydrographic catchment and alluvial fan.  
Figur 4.2.2.A/1.2 Zuflussgebiet und Schwemmkegel des Rio Dona.

Figura 4.2.2.A/1.2 Il bacino idrografico  
e il conoide alluvionale del Rio Dona.

#### 4.2.2.A/1.1 Preliminary tasks

In order to start studying the sample area, the initial task was to carry out a careful analysis of a calamitous event which took place on the Rio Dona fan on 9 July 1989. The event was triggered by an extremely heavy storm which lasted for just over an hour, after a lengthy period of heavy rains, which, combined with late snow melt at higher altitudes, meant that the soil was approaching saturation. The debris flow started in the middle section of the catchment, triggered by a small landslide. The abundant plant matter transported by winter avalanches the previous year probably contributed to the formation of a temporary dam, which gave way suddenly, giving rise to a debris flow of considerable power. The debris flow overflowed from the main channel in the upper section of the fan and flowed towards houses, depositing 15.000 m<sup>3</sup> of sediment on an area of 1.5 ha. Fortunately the strength of the flow decreased as it neared the houses and only lower floors and cellars were reached by gravel and mud; there was only one building subjected to structural damage. After this event a flow breaker was built above the town which lies on the fan, but it is not sufficient to guarantee the safety of the inhabitants in the event of another incident of the same magnitude.

The 1989 flood uncovered old preventive works and masses of considerable size, testifying to the fact that in the past there were certainly peak flow surges in the Rio Dona before 1989, despite the fact that this did not emerge from historical research.

#### 4.2.2.A/1.1 Vorarbeiten

Um die Untersuchung des Prüfgebietes aufzunehmen, wurde zunächst eine gründliche Analyse der Naturkatastrophe durchgeführt, die am 9. Juli 1989 im Kegel des Rio Dona eintrat. Das Ereignis war von einem sehr starken Gewitter ausgelöst worden, das kaum länger als eine Stunde dauerte und nach einer längeren Periode intensiver Niederschläge eintrat, die zusammen mit der ziemlich späten Schneeschmelze in höheren Lagen dazu beitrug, Bodenbedingungen nahe an der Sättigung zu erzeugen. Der Murenabgang hatte seinen Ursprung im mittleren Teil des Beckens auf Grund der Reaktivierung eines Erdrutsches geringen Ausmaßes. Das reichliche Vegetationsmaterial, das von den Lawinen im vorangegangenen Winter bewegt worden war, hatte wahrscheinlich eine vorübergehende Barriere gebildet, die plötzlich nachgab und so zu einem Strom mit erheblicher Energie führte. Die Mure, die im oberen Kegelteil aus dem Hauptkanal austrat, richtete sich auf die Wohnsiedlungen, wobei sie 15.000 m<sup>3</sup> Material auf einer Fläche von 1.5 ha ablagerte. Glücklicherweise war die Flussenergie in der Nähe der Häuser geringer und nur die unteren Geschosse und die Keller wurden von Kies und Schlamm erreicht; nur in einem Fall wurden strukturelle Schäden an den Gebäuden festgestellt. Infolge dieses Ereignisses war oberhalb der Siedlung, die im Kegel liegt, eine Erdrutschsperre errichtet worden, aber sie reicht nicht aus, um die Sicherheit der Einwohner im Fall eines Ereignisses von gleicher *Magnitude* zu garantieren.

Die Überschwemmung von 1989 hat alte Verbauungen, deren Spuren sich verloren hatten, und Felsbrocken erheblicher Größe ans Licht gebracht; dies bezeugt, dass in der Vergangenheit vor 1989 sicherlich Hochwasserereignisse im Rio Dona vorgekommen waren, obwohl dies nicht aus der historischen Forschung hervorgeht.

#### 4.2.2.A/1.1 Fasi preliminari

Per avviare lo studio sull'area campione è stata preliminarmente effettuata un'attenta analisi dell'evento calamitoso che il 9 Luglio 1989 ha interessato il conoide del Rio Dona. L'evento è stato innescato da un temporale di fortissima intensità durato poco più di un'ora, verificatosi dopo un periodo prolungato di precipitazioni intense che, unitamente alla fusione nivale piuttosto tardiva alle quote più alte, ha contribuito a creare condizioni del suolo prossime alla saturazione. Una colata detritica ha avuto origine nella parte media del bacino, a causa della riattivazione di una frana di ridotte dimensioni. L'abbondante materiale vegetale movimentato dalle valanghe nell'inverno precedente ha probabilmente contribuito a formare uno sbarramento temporaneo, che cedendo improvvisamente ha dato luogo ad una colata con notevole energia. La colata detritica, fuoriuscita dal canale principale nella parte superiore del conoide, si è indirizzata verso le abitazioni depositando 15.000 m<sup>3</sup> di materiale su un'area di 1.5 ha. Fortunatamente l'energia del flusso in prossimità delle case era ridotta e solo i piani bassi e le cantine sono stati raggiunti da ghiaia e fango; in un unico caso si sono registrati danni strutturali agli edifici. In seguito a questo evento è stata realizzata una briglia frangicolata a monte dell'abitato che sorge sul conoide, ma non è sufficiente a garantire la sicurezza degli abitanti in caso di evento di pari *magnitudo*.

L'alluvione del 1989 ha portato alla luce vecchie opere di sistemazione, di cui si era persa traccia, e massi di notevoli dimensioni; ciò testimonia il fatto che in passato si sono verificati sicuramente eventi di piena torrentizia nel Rio Dona prima del 1989, contrariamente a quanto emerso dalla ricerca storica.

#### 4.2.2.A/1.2 Activities

The activities carried out in the study were as follows:

- historic and morphological analysis for the application of the Aulitzky model;
- hydrological analysis to characterise the area in terms of rainfall and quantify flows and possible return periods.

After an initial analysis of the catchment with surveys of the area of study, we proceeded to carry out a morphological analysis of the catchment and calculate flows for different return periods using a specific software programme. Starting from the estimates of water flows, we deduced the potential sediment content and based on a detailed topographic survey, we applied a mathematical model to identify critical sections and estimate overflow volumes.

The calculation of the peak flow hydrograph for different return periods was carried out using a flow/runoff simulation model based on equations put forward by the *Soil Conservation Service* (S.C.S.) (1972), which enables the effective rain or runoff volume to be calculated. This expresses the propensity to generate surface runoff as a numeric parameter CN (*Curve Number*) varying from 0 to 100, relating to total permeability and total impermeability respectively. Another aspect of the S.C.S. method is the quantification of initial losses: the hydrological model adopted quantifies initial loss as 10 % of the water content of the soil, based on numerous studies carried out in the Alpine area, recorded in scientific literature.

As for estimating flow speed, figures which reflect the runoff conditions in the catchment as accurately as possible were chosen; the speed varies according to the changing intensity of the event and therefore the return period of the event.

As regards estimating the transport of sediment, various authors have developed different methods to

#### 4.2.2.A/1.2 Aktivitäten

Die Untersuchung bestand aus folgenden Tätigkeiten:

- Analysen historischer und morphologischer Art für die Anwendung der Methode Aulitzky;
- hydrologische Analysen für die Einordnung des Gebiets im Hinblick auf die Niederschlagsmenge und für die Quantifizierung der Mengen mit den verschiedenen Abflusszeiten.

Nach einer einleitenden Untersuchungsphase des Gebiets mit Ortsterminen folgten die morphometrische Analyse des Beckens und die Berechnung der Mengen für verschiedene Abflusszeiten mit Hilfe einer spezifischen Software. Ausgehend von der Schätzung der Abflussmenge der Gewässer wurden die potenziellen Feststoffmengen abgeleitet, und auf der Grundlage einer topographischen Detailvermessung wurde ein mathematisches Modell angewandt, um die kritischen Sektionen zu erkennen und die austretenden Volumina zu schätzen.

Die Berechnung des Hochwasserhydrogramms für verschiedene Abflusszeiten wurde mit einem Zufluss-Abfluss-Simulationsmodell durchgeführt, das auf den vom *Soil Conservation Service* (SCS) (1972) vorgeschlagenen Gleichungen basiert. Es ermöglicht eine Berechnung des tatsächlichen Regens oder des Abflussvolumens. Die vom S.C.S. vorgeschlagene Methode fasst die Neigung zur Produktion von Oberflächenabfluss in einem numerischen Parameter CN (*Curve Number*) zusammen, der von 0 bis 100 variabel ist, und zwar für Bedingungen vollständiger Durchlässigkeit und für Undurchlässigkeit. Ein anderer Aspekt bei der Anwendung der Methode des SCS ist die Quantifizierung der Anfangsverluste: Das hydrologische Modell quantifiziert die Anfangsverluste in Höhe von 10 % des Bodenwassergehalts, wobei es sich auf zahlreiche Experimente im Alpengebiet stützt, die in der Fachliteratur dokumentiert sind.

#### 4.2.2.A/1.2 Attività

Le attività condotte per lo svolgimento delle indagini sono state:

- analisi di tipo storico e di tipo morfologico per l'applicazione della metodologia Aulitzky;
- analisi idrologiche per l'inquadramento dell'area in termini di piovosità e per la quantificazione delle portate con diversi tempi di ritorno.

Dopo una preliminare fase di analisi del bacino con sopralluoghi sull'area di studio, si è proceduto all'analisi morfometrica del bacino e al calcolo delle portate per diversi tempi di ritorno mediante un *software* specifico. A partire dalla stima delle portate liquide, sono state dedotte le potenziali portate solide e utilizzando come base di riferimento un rilievo topografico di dettaglio, è stato applicato un modello matematico per l'individuazione delle sezioni critiche e per la stima dei volumi fuoriuscenti.

Il calcolo dell'idrogramma di piena per diversi tempi di ritorno è stato eseguito utilizzando un modello di simulazione afflussi-deflussi basato sulle equazioni proposte dal *Soil Conservation Service* (S.C.S.) (1972), che consente di calcolare la pioggia efficace o il volume di deflusso. Il metodo proposto dal S.C.S. sintetizza la propensione a produrre deflusso superficiale attraverso un parametro numerico CN (*Curve Number*) variabile da 0 a 100, rispettivamente per condizioni di perfetta permeabilità e condizioni di impermeabilità. Un altro aspetto insito nell'applicazione del metodo del S.C.S. è la quantificazione delle perdite iniziali: il modello idrologico adottato quantifica le perdite iniziali pari al 10 % del contenuto idrico del suolo, sulla base delle numerose esperienze condotte in ambiente alpino documentate in letteratura tecnica.

Per quanto riguarda la stima della velocità del flusso, sono stati scelti valori che riflettono il più possibile le condizioni di deflusso all'interno del bacino; in parti-



determine the volume of sediment which can be transported in any given catchment. These methods fall into two main groups: methods which can be adopted for channels with transport of bed sediment and sediment in suspension, and those for channels characterised by debris flows. Historic records, as well as the indexes of Melton and Autlizky, indicate that the Rio Dona catchment is subject to debris flows.

In the context of methods to determine magnitude, in this specific case empirical and semi-empirical formulae were used (Takei, 1984; Kronfellner-Kraus, 1985; D'Agostino *et al.*, 1996; D'Agostino & Marchi, 2001). The application of a number of formulae, preferably prepared in the geographic area in question or in similar morphological/climatic areas, always leads to uncertainties in the choice of the results obtained, which may even differ by a whole unit. As the results only provide broad indications, when analysing the Rio Dona catchment it was decided to use empiric and semi-empiric formulae only as an initial tool to check the volume calculated according to geomorphic characteristics. In view of the general conditions of stability of the catchment it is believed that the results obtained from geomorphic calculations reflect the situation more accurately.

Was die Schätzung der Fließgeschwindigkeit angeht, wurden Werte gewählt, die so weit wie möglich die Abflusskonditionen innerhalb des Beckens spiegeln; die Geschwindigkeit ändert sich mit der Intensitätsvariation und damit der Abflusszeit des Ereignisses.

In Bezug auf die Schätzung des Feststofftransports wurden von verschiedenen Autoren Methoden entwickelt, um die mobilisierbaren Sedimentvolumina für ein bestimmtes Zuflussgebiet zu bestimmen. Sie lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen: Methoden, die für Sammelleitungen nur mit Feststofftransport am Grund und in Suspension gelten und Methoden für Leitungen, die von Muren geprägt sind. Die historischen Nachweise sowie die Indizes von Melton und Aulitzky weisen darauf hin, dass das Becken des Rio Dona von Muren betroffen ist.

Im Rahmen der verschiedenen Methoden für die Bestimmung der *Magnitude* wurden im spezifischen Fall empirische und halbempirische Formeln verwendet (Takei, 1984; Kronfellner-Kraus, 1985; D'Agostino *et al.*, 1996; D'Agostino & Marchi, 2001). Die Anwendung mehrerer Formeln, die bevorzugt im untersuchten geographischen Gebiet oder in ähnlichen morphoklimatischen Umgebungen erarbeitet wurden, führen immer zu Unsicherheiten bei der Auswahl aus den verschiedenen erhaltenen Werten, die auch in der Größenordnung voneinander abweichen können. Da die Ergebnisse nur annähernde Angaben liefern, wurde bei der Analyse des Rio Dona-Beckens beschlossen, empirische und halbempirische Formeln nur als Instrument der ersten Untersuchung und zur Kontrolle des auf der Basis der geomorphischen Charaktere berechneten Volumens zu verwenden. Angesichts der generellen Stabilitätsbedingungen des Beckens ist man in der Tat überzeugt, dass das Ergebnis der geomorphischen Auswertungen eher der Realität entspricht.

colare la velocità varia al variare dell'intensità dell'evento e quindi del tempo di ritorno dell'evento.

Per ciò che attiene la stima del trasporto solido, sono state messe a punto da vari autori diverse metodologie per determinare i volumi di sedimento mobilizzabile per un assegnato bacino idrografico, distinte in due grandi gruppi: le metodologie adottabili per collettori con solo trasporto solido al fondo ed in sospensione e quelle per collettori caratterizzati da colate detritiche. I riscontri storici, nonché gli indici di Melton e Autlizky, indicano che il bacino del Rio Dona è soggetto a colate detritiche.

Nell'ambito delle varie metodologie applicabili per la determinazione della *magnitudo* sono state utilizzate nel caso specifico formulazioni empiriche e semi-empiriche (Takei, 1984; Kronfellner-Kraus, 1985; D'Agostino *et al.*, 1996; D'Agostino & Marchi, 2001). L'applicazione di più formule, preferibilmente messe a punto nell'area geografica di studio o in ambienti morfoclimatici simili, portano sempre ad incertezze nella scelta tra i diversi valori ottenuti, che possono divergere anche di un ordine di grandezza. Poiché i risultati forniscono solo indicazioni di larga massima, nell'analisi del bacino del Rio Dona si è deciso di utilizzare le formule empiriche e semi-empiriche solo come strumento di prima indagine e di controllo del volume calcolato sulla base dei caratteri geomorfici. Considerate le condizioni generali di stabilità del bacino si ritiene infatti che il valore ottenuto con le valutazioni di tipo geomorfico siano più rispondenti alla realtà.

Heuristic approaches by means of geomorphic analysis  
 § 4.2.2.A/1 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

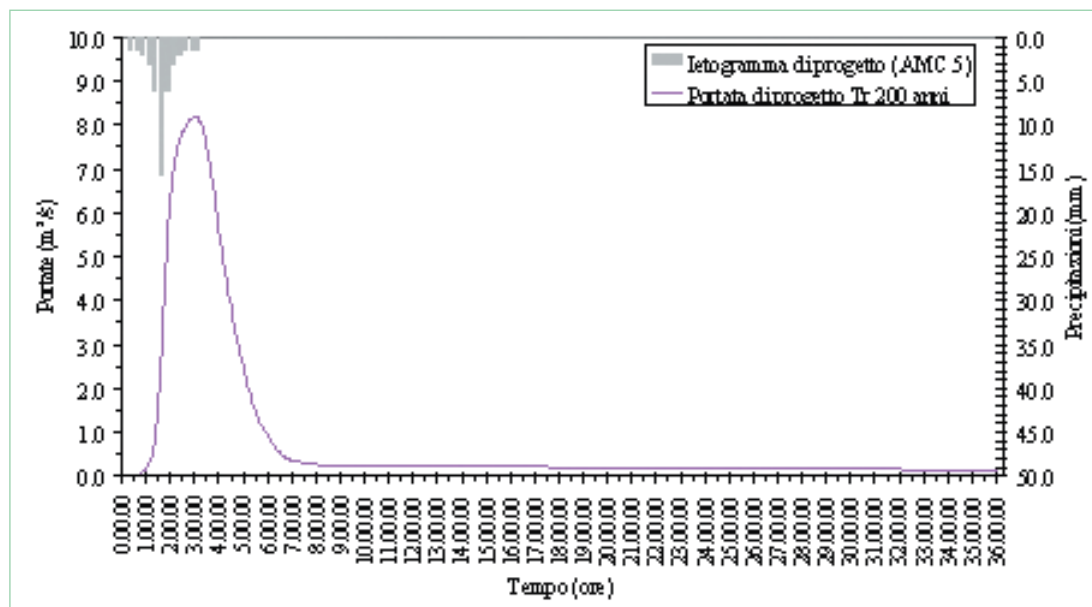


Figure 4.2.2.A/1.3 Rainfall graph and hydrograph of peak flow, with return period of 200 years and AMC 5.  
 Figur 4.2.2.A/1.3 Hyetogramm und Hydrogramm des Hochwassers mit 200-jährlicher Wiederkehrdauer und AMC 5.  
 Figura 4.2.2.A/1.3 Ietogramma e idrogramma di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni e AMC 5.

Table 4.2.2.A/1.1 Geomorphic estimate of material available in the channel.  
 Tabelle 4.2.2.A/1.1 Geomorphische Schätzung des im Flussbett verfügbaren Materials.  
 Tabella 4.2.2.A/1.1 Stima geomorfica del materiale disponibile in alveo.

SETTORE (m s. l. m.)	LUNGHEZZA (m)	LARGHEZZA MEDIA (m)	PRODUZIONE UNITARIA SEDIMENTO (m³/m)	VOLUME TOTALE (m³)
2.200-2.000	2.010	1.5-2.0	1.0-1.5	2.010-3.015
2.000-1.700	590	2.0-3.0	1.5-2.5	885-1.475
1.700-1.440				
1.700-1.650	150	4.0	2.0-2.5	300-375
1.650-1.550	390	4.0	2.0-3.5	780-1365
1.550-1.480	300	4.0-6.0	8.0-13	2.400-3.900
1.480-1.440	50	4.0	2.0-4.0	100-200
		<b>VOLUME TOTALE</b>	<b>6.475-10.330</b>	

#### 4.2.2.A/1.3 Results

This method enabled us to:

- 1) describe the Rio Dona catchment and fan below from the geomorphologic and hydrological points of view;
- 2) create a hazard map dividing the surface of the fan into high, medium and low risk areas;
- 3) formulate hypotheses on the measures to adopt in the future to protect the area.

The study also highlighted:

- the main erosive processes occurring in the medium-low section of the catchment;
- a number of sections which had not been hydraulically verified;
- that the volume upstream of the flow breaker at the top of the fan is reduced.

In view of recent building work in the central area of the fan, we recommend:

- 1) consolidating areas being eroded;
- 2) creating protection for the residential area
- 3) rebuilding the bridge on the main road
- 4) maintenance of existing works and clean-up of the river bed.

§ 4.2.2.B/1 illustrates the results of the application of a bidimensional model (FLO-2D) in the same sample area.

#### 4.2.2.A/1.3 Ergebnisse

Die Methode ermöglichte folgende Ergebnisse:

- 1) Einordnung des Zuflussgebiets des Rio Dona und des darunter liegenden Kegels vom geomorphologischen und hydrologischen Standpunkt aus;
- 2) Erstellung einer Gefährdungskarte, in der die Kegeloberfläche in Zonen hoher, mittlerer und niedriger Gefährdung aufgeteilt wird;
- 3) Hypothesen über zukünftige Maßnahmen für die Sicherung des Gebiets.

Die Studie hat außerdem ergeben:

- dass die größten Erosionsprozesse im mittleren bis unteren Teil des Beckens auftreten;
- dass einige Sektionen hydraulisch nicht nachgewiesen sind;
- dass das Nutzvolumen oberhalb der Erdrutschsperre an der Spitze des Kegels gering ist.

Angesichts der jüngeren Urbanisierung im mittleren Teil des Kegels wird vorgeschlagen:

- 1) Konsolidierung der Erosionsgebiete;
- 2) Realisierung von Schutzbauten für die Wohnhäuser;
- 3) Erneuerung der Brücke auf der Staatsstraße;
- 4) Wartung der bestehenden Bauten und Reinigung des Bachbetts.

In § 4.2.2.B/1 sind die Ergebnisse aus der Anwendung eines zweidimensionalen Modells (FLO-2D) im gleichen Studiengebiet aufgeführt.

#### 4.2.2.A/1.3 Risultati

Il metodo ha consentito di:

- 1) inquadrare il bacino idrografico del Rio Dona e il conoide sotteso dal punto di vista geomorfologico e idrologico;
- 2) produrre una carta della pericolosità in cui la superficie del conoide viene suddivisa in zone ad alta pericolosità, media pericolosità e bassa pericolosità;
- 3) stilare ipotesi sugli interventi da realizzare in futuro per la messa in sicurezza dell'area.

Lo studio ha inoltre messo in evidenza che:

- i maggiori processi erosivi si verificano nella parte medio-bassa del bacino;
- alcune sezioni non sono idraulicamente verificate;
- il volume utile a monte della briglia frangicolata posta all'apice del conoide è ridotto.

Considerata la recente urbanizzazione nella parte centrale del conoide si suggerisce:

- 1) il consolidamento delle aree in erosione;
- 2) la realizzazione di opere di protezione delle abitazioni;
- 3) il rifacimento del ponte sulla strada statale;
- 4) la manutenzione delle opere esistenti e la pulizia dell'alveo.

Nel § 4.2.2.B/1 sono esposti i risultati dell'applicazione di un modello bidimensionale (FLO-2D) nella medesima area campione.



Heuristic approaches by means of geomorphic analysis  
§ 4.2.2.A/1 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

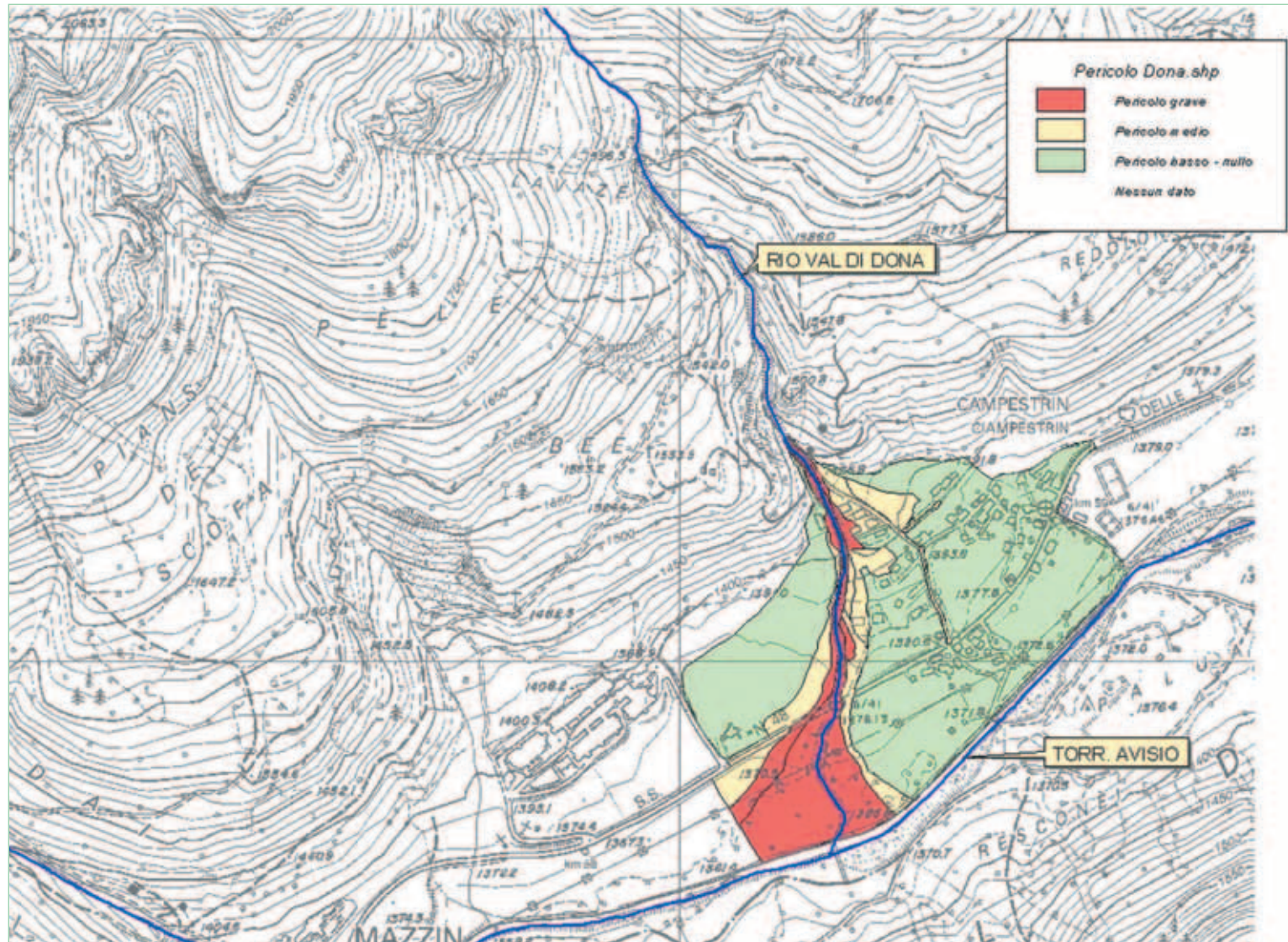


Figure 4.2.2.A/1.4 Map of hazard areas of the Rio Dona fan using the Aulitzky method.  
Figur 4.2.2.A/1.4 Karte der Gefahrenzonen im Kegel des Rio Dona nach der Methode Aulitzky.  
Figura 4.2.2.A/1.4 Mappa delle aree di pericolo sul conoide del Rio Dona secondo la metodologia Aulitzky.



#### 4.2.2.A/1.4 Conclusions

Beyond the previous considerations of its strengths and weaknesses (§ 4.2.2.A), if applied rigorously the geomorphologic model provides reliable results which are certainly comparable with what can be obtained using more sophisticated methods. In order to accomplish this it is necessary to make careful field surveys and carry out detailed historical research (local records to analyse events further back, and interviews with the community for information on more recent events). The professional experience of the scientist is also fundamental: he/she has the task of identifying and making a correct interpretation of all the traces and signs of past flows (so-called *mute witnesses*) that the correct application of the method is based on.

#### 4.2.2.A/1.4 Schlussfolgerungen

Abgesehen von den vorangegangenen Ausführungen über Vor- und Nachteile der geomorphologischen Methode (§ 4.2.2.A) bietet diese, wenn sie rigoros angewendet wird, zuverlässige Ergebnisse, die sicher vergleichbar sind mit den Resultaten, die man mit komplizierteren Methoden erhalten kann. Dafür ist es allerdings notwendig, dass man sorgfältige Messungen im Feld und eine gründliche historische Untersuchung durchführt (lokale Archive für die Untersuchung der weiter zurückliegenden Ereignisse und Interviews in der Bevölkerung für Informationen über die jüngeren). Von wesentlicher Bedeutung ist außerdem die spezifische Berufserfahrung des Technikers, der alle Spuren und Evidenzen von vergangenen Wildbachtätigkeiten (den so genannten *stummen Zeugen*) erkennen und korrekt interpretieren muss, denn darauf stützt sich die richtige Anwendung der Methode.

#### 4.2.2.A/1.4 Conclusioni

Al di là di quanto esposto precedentemente su pregi e difetti (§ 4.2.2.A), se applicato in modo rigoroso, il metodo geomorfologico fornisce risultati attendibili e sicuramente paragonabili a ciò che si può ottenere con metodologie più sofisticate. Perché questo possa avvenire è necessario procedere effettuando attenti rilievi sul campo e un'approfondita indagine storica (archivi locali per l'analisi degli eventi più remoti e interviste alla popolazione per le informazioni su quelli più recenti). È inoltre di fondamentale importanza l'esperienza professionale specifica del tecnico che deve individuare e interpretare correttamente tutte le tracce ed evidenze di passata attività torrentizia (cosiddetti *testimoni silenziosi*) su cui si basa la corretta applicazione del metodo.

Heuristic approaches by means of geomorphic analysis  
§ 4.2.2.A/2 REGIONE LOMBARDIA

§ 4.2.2.A/2 REGIONE LOMBARDIA

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy – Regione Lombardia
Village - Ort - Comune	Cortenova (LC)
Basin - Becken - bacino	Pioverna
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Rossiga
Notes – Bemerkungen - Note	see § 4.2.2.B/3



Figure 4.2.2.A/2.1 Geographical context of the sample area.  
Figur 4.2.2.A/2.1 Geographische Einordnung des Untersuchungsgebiets.  
Figura 4.2.2.A/2.1 Inquadramento geografico dell'area campione.

#### 4.2.2.A/2.1 Preliminary tasks

The Val Rossiga alluvial fan was chosen as a test area, as it is the most active area of the Valsassina, and in view of the availability of a great quantity of data regarding both the fan and the catchment: specifically databases of historic events, local rainfall records, geology and land use. There is also a detailed Digital Elevation Model available for this area. Technical studies and scientific publications regarding Val Rossiga were also taken into consideration, and we sourced the aerial photographs taken over the period 1954-2000 (Figure 4.2.2.A/2.2).

Data regarding the debris flow event in the Rossiga Torrent in November 2002 was not taken into consideration for the application of this method, but used as a comparison and the basis for a back analysis, in order to calibrate the FLO-2D model to simulate over-flow processes on the fan (§ 4.2.2.B/3).

The urban area of the Rossiga Torrent fan includes a number of businesses, residential buildings and buildings linked to farming and tourism, concentrated near the channel and the tip of the fan.

#### 4.2.2.A/2.1 Vorarbeiten

Der Schwemmkegel des Val Rossiga wurde als *Testgebiet* gewählt, da er als der aktivste im Valsassina gilt und sowohl zum Kegel als auch zum Zuflussgebiet zahlreiche Daten vorliegen: Im Einzelnen verfügt man hier über Datenbanken zu den historischen Ereignissen, zur lokalen Niederschlagsmessung, zur Geologie und zur Bodennutzung. Für den Studienfall ist außerdem ein detailliertes digitales Geländemodell vorhanden. Für die hier beschriebene Analyse wurden ebenso technische Studien und wissenschaftliche Veröffentlichungen über das Val Rossiga berücksichtigt, und schließlich wurden multitemporale Luftaufnahmen aus dem Zeitraum 1954-2000 gefunden (Figur 4.2.2.A/2.2).

Die Daten zum Murenereignis des T. Rossiga im November 2002 wurden nicht für die Anwendung dieser Methode berücksichtigt, sondern als Vergleich und Basis der *Back Analysis* für die Tarierung des Modells FLO-2D herangezogen, um die Aggradationsprozesse im Kegel zu simulieren (§ 4.2.2.B/3).

Die urbanistische Situation im Kegel des T. Rossiga ist von der Präsenz einiger Industriebetriebe, von Wohngebäuden und Gebäuden in Verbindung mit Agrar- und Weide- sowie Agritourismusbetrieben geprägt, die in der Nähe des derzeitigen Bachbetts und der Kegelspitze konzentriert sind.

#### 4.2.2.A/2.1 Fasi preliminari

Il conoide alluvionale della Val Rossiga è stato scelto come area *test* in quanto è considerato il più attivo della Valsassina e per la grande quantità di dati disponibili relativi sia al conoide sia al bacino: si dispone in particolare di banche dati relative agli eventi storici, alla pluviometria locale, alla geologia e all'uso del suolo. È inoltre disponibile per il caso di studio un Modello Digitale del Terreno di dettaglio. Sono stati considerati per l'analisi qui descritta altresì gli studi tecnici e le pubblicazioni scientifiche riferite alla Val Rossiga; infine sono state reperite foto aree riprese in serie multitemporale relative al periodo 1954-2000 (Figura 4.2.2.A/2.2)

I dati relativi all'evento di colata che ha interessato il T. Rossiga nel novembre 2002 non sono stati presi in considerazione per l'applicazione di questo metodo, ma sono stati utilizzati come raffronto e come base per la *back analysis* di taratura del modello FLO-2D per la simulazione dei processi di sovralluvionamento in conoide (§ 4.2.2.B/3).

L'assetto urbanistico del conoide del T. Rossiga è caratterizzato dalla presenza di alcune industrie, da edificazioni a carattere residenziale e da edifici legati ad attività agro-pastorali e agrituristiche, concentrati in prossimità dell'alveo attuale e dell'apice di conoide.

Heuristic approaches by means of geomorphic analysis  
§ 4.2.2.A/2 REGIONE LOMBARDIA

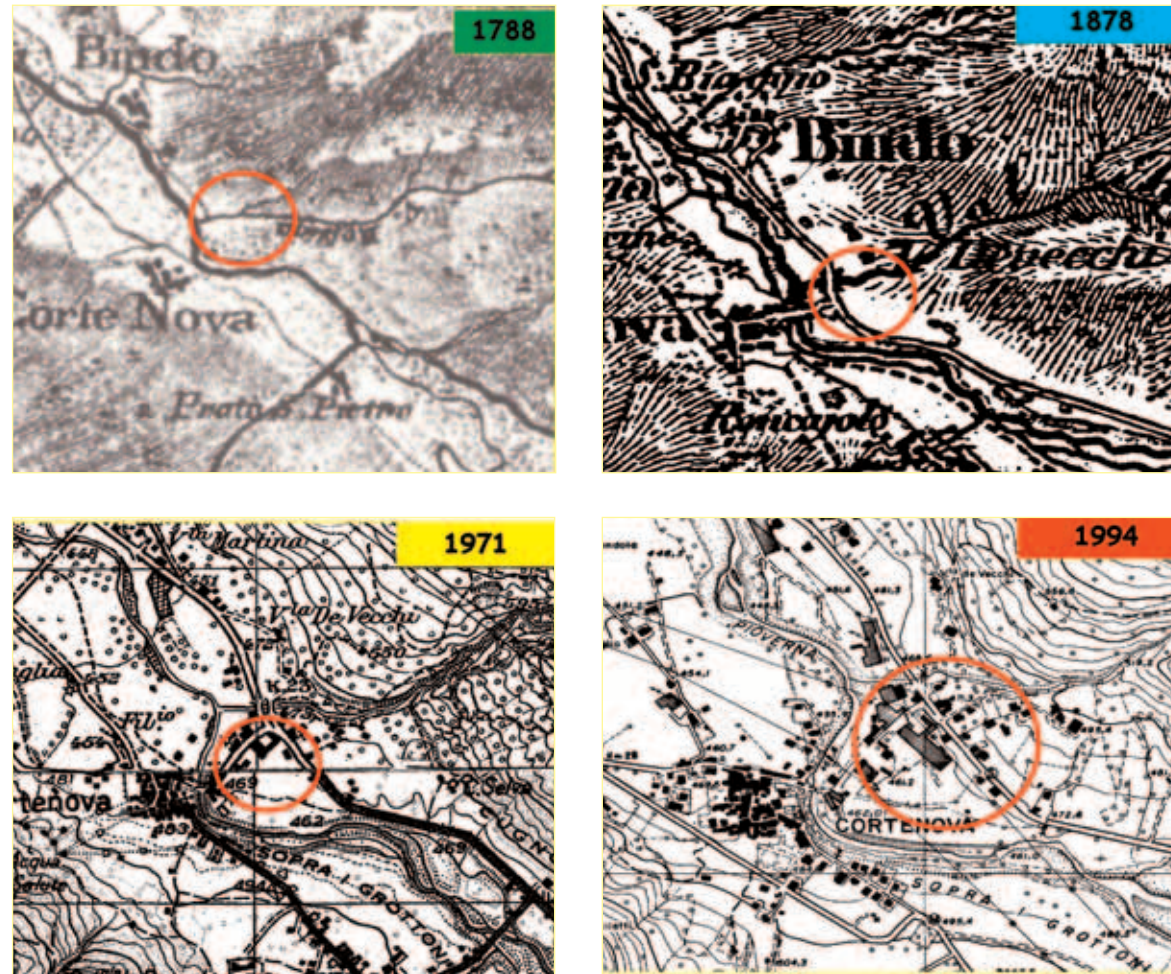


Figure 4.2.2.A/2.2 Temporal succession of topographic maps of the Rossiga Torrent fan. Note the development of the town of Cortenova.  
Figur 4.2.2.A/2.2 Topographische Karten des Kegels T. Rossiga in zeitlicher Folge. Man beachte die Entwicklung der Wohnsiedlung Cortenova.  
Figura 4.2.2.A/2.2 Carte topografiche in successione temporale del conoide del T. Rossiga. Si noti lo sviluppo del centro abitato di Cortenova.



#### 4.2.2.A/2.2 Activities

The first stage of the study involved gathering and carrying out a statistical analysis of historic data regarding the area of study. Particular attention was devoted to gathering, creating records and carrying out statistical studies of local precipitation in order to determine annual rainfall, rainfall probability curves and other trigger thresholds for debris flows. Using photo interpretation (Figure 4.2.2.A/2.37 it was possible to outline the main morphological areas, identify the runoff channels of the Rossiga Torrent and sketch out the interactions with the main watercourse (the Pioverna Torrent). Photo interpretation also enabled us to identify currently inactive channels to the hydrographic left of the fan, and evaluate the lie of the drainage basin. We determined the morphometrical parameters of the fan (length and gradient of the channel, *etc.*) and drainage basin (maximum and minimum elevations, length of drainage network, *etc.*) with relevant statistical analysis in order to classify the main type of transport and formulate a prediction of the expected magnitude of events.

The second stage involved much field work, which enabled us to identify the main characteristics of the fan, by means of geomorphologic and hydraulic observations, and a census of the hydraulic works present in the main channel, with the aim of identifying critical areas (Figure 4.2.2.A/2.4).

This data was entered on the specific survey sheet used by the Region of Lombardy Authority (2000). Interviews with members of the population enabled us to outline at-risk areas with greater accuracy.

All the information gathered in the first two stages contributed to the creation of a hazard map, which was divided into three categories: low, medium and high.

The areas with a low level of hazard are those with morphological characteristics which mean they have

#### 4.2.2.A/2.2 Aktivitäten

Die erste Untersuchungsphase umfasst die Sammlung und statistische Analyse der historischen Daten zum geprüften Gebiet. Besondere Aufmerksamkeit galt der Sammlung, Archivierung und statistischen Untersuchung der lokalen Niederschlagswerte für die Bestimmung des jährlichen Niederschlags, der Kurve des Niederschlagspotenzials und der Auslöseschwellen für Murenabgänge. Mit Hilfe der Fotointerpretation (Figur 4.2.2.A/2.3) konnten die wichtigsten morphologischen Gebiete abgegrenzt, die Abflusskanäle des T. Rossiga erkannt und die Wechselwirkungen mit dem Hauptwasserlauf (T. Pioverna) festgestellt werden. Die Bildinterpretation ermöglichte weiter, die derzeit nicht aktiven Kanäle auf der hydrographisch linken Seite des Kegelgebiets zu identifizieren und die Situation des Einzugsbereichs zu bewerten.

Die morphometrischen Parameter des Kegels (Länge und Neigung des Sammelkanals *etc.*) und des Einzugsbereichs (maximale und minimale Höhe, Länge des Drännetzes, *etc.*) wurden bestimmt und statistisch untersucht, um eine Klassifizierung der vorherrschenden Transportart und eine Vorhersage der erwarteten *Magnitude* der Phänomene zu ermöglichen.

Die zweite Phase war gekennzeichnet durch eine intensive Bodentätigkeit, durch die die wichtigsten Kegeleigenschaften festgestellt werden konnten, und zwar durch Beobachtungen geomorphologischer und hydraulischer Art sowie durch Registrierung der im Hauptsammelkanal vorhandenen Wasserschutzbauten, um die vorhandenen Kritizitäten erkennen zu können (Figur 4.2.2.A/2.4).

Diese Daten wurden für den zur Prüfung stehenden Fall in einen Erhebungsbogen eingegeben, der bei der Region Lombardei verwendet wird (2000). Durch Interviews mit der Bevölkerung konnten die gefährdeten Gebiete genauer umgrenzt werden.

Alle in den beiden Hauptphasen gesammelten Informationen trugen zur Erstellung der

#### 4.2.2.A/2.2 Attività

La prima fase di studio è stata caratterizzata dalla raccolta e dall'analisi statistica dei dati storici inerenti il territorio in esame. Particolare attenzione è stata dedicata alla raccolta, archiviazione e studio statistico dei valori delle precipitazioni locali per la determinazione del regime pluviometrico annuale, delle curve di possibilità pluviometrica e delle soglie d'innescio delle colate detritiche. Attraverso la fotointerpretazione (Figura 4.2.2.A/2.3) è stato possibile delimitare le aree morfologiche principali, riconoscere i canali di deflusso del T. Rossiga e mettere in relazione le interazioni con il corso d'acqua principale (T. Pioverna). Inoltre la fotointerpretazione ha permesso di identificare i canali non attivi allo stato attuale presenti in sinistra idrografica dell'area di conoide e di valutare l'assetto del bacino di drenaggio.

Sono stati determinati i parametri morfometrici del conoide (lunghezza e pendenza del collettore, *etc.*) e del bacino di drenaggio (quota massima e minima, lunghezza della rete di drenaggio, *etc.*), con relativa analisi statistica ai fini di una classificazione della tipologia di trasporto prevalente e della previsione della *magnitudo* attesa dei fenomeni.

La seconda fase è stata contraddistinta da un'intensa attività di terreno che ha permesso di individuare le caratteristiche principali del conoide, attraverso osservazioni di carattere geomorfologico ed idraulico, nonché da un censimento delle opere idrauliche presenti sul collettore principale, con lo scopo d'individuare le criticità presenti (Figura 4.2.2.A/2.4).

Tali dati per il caso in esame sono stati inseriti in un'apposita scheda di rilevamento in uso presso la Regione Lombardia (2000). Le interviste alla popolazione hanno permesso di delimitare con maggior precisione le aree esposte al rischio.

Tutte le informazioni raccolte nelle due fasi principali

a low, or no probability of being affected by peak flows, or areas never affected by the flood events recorded in the past, or areas protected by defensive works which will be effective even in extreme events.

Areas with a medium level of hazard are those which have been subject to recorded flow surges or bank erosion in the past, or areas with a moderate probability of being flooded or affected by bank erosion. These areas may expect limited depth of runoff (20 cm to 30 cm maximum) and transport of sand/gravel. The areas which are classified as a high level of hazard have a high probability of being affected by bank erosion and transport of mass and/or sediment, with the deposit of large quantities of sediment and damage to structures and property. This category includes the active channel and its surroundings and any channels that may be reactivated in the event of a flow surge.

The current condition and role of protective structures is as follows: just uphill from the tip of the fan are two stone and mortar dykes around 5 m - 6 m high: the first was completely overflowed upstream. Near the tip of the fan (rock threshold) is the first of the six dykes/thresholds that characterise the tip area of the Torrent, to the hydrographic left an embankment (a stone wall) greatly reduces the runoff section (around 3 m - 4 m); in the area upstream of the main road bridge and arched bridge there are a number of embankments and slides on the bed.

Gefährdungskarte bei, die in drei Klassen unterteilt ist: niedrig, mittel und hoch.

In die niedrige Gefährdungsklasse wurden die Gebiete eingeordnet, die durch ihre morphologischen Eigenschaften geringe oder keine Wahrscheinlichkeit aufweisen, von Wildbachprozessen betroffen zu werden, die in der Vergangenheit nie von dokumentierten Überschwemmungsphänomenen betroffen waren oder die durch Verteidigungsbauten geschützt sind, die auch für Extremereignisse ausgelegt sind.

In die mittlere Gefährdungsklasse wurden Gebiete eingestuft, die in der Vergangenheit von historisch dokumentierten Hochwasserereignissen und von Ufererosion betroffen waren, oder Gebiete, die mit mäßiger Wahrscheinlichkeit von Überschwemmungen oder Ufererosion betroffen werden. Im Einzelnen können Abflüsse mit geringer Wasserhöhe (maximal 20 cm - 30 cm) und Transport von sand- und kieshaltigem Material auftreten.

In die Klasse mit hoher Gefährdung wurden Gebiete eingestuft, in denen hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass sie von Ufererosionsphänomenen und Massen- bzw. Feststofftransport mit Ablagerung von riesigen Feststoffmengen und Beschädigung von Bauten und Gebäuden betroffen werden. Außerdem gehören zu dieser Klasse der aktive Kanal mit seiner Umgebung und eventuelle Kanäle, die im Hochwasserfall reaktiviert werden könnten.

Die derzeitige Situation und Aufgabe der Verbauungen ist folgende: Wenig oberhalb der Spitze sind zwei Sperren aus Gestein und Mörtel mit zirka 5 m – 6 m Höhe vorhanden, von denen die erste oberhalb vollständig aggradiert ist. In der Nähe der Kegelspitze (Felsschwelle) befindet sich die erste von sechs Schwellensperren, die den Spitzenabschnitt auszeichnen. Auf der hydrographisch linken Seite verringert ein Damm (Steinmauer) den Abflussquerschnitt erheblich (zirka 3 m - 4 m); im Abschnitt oberhalb der Brücke auf der Provinzstraße und der Bogenbrücke wurden einige Klippen an beiden Ufern und Rutschen am Boden gebaut.

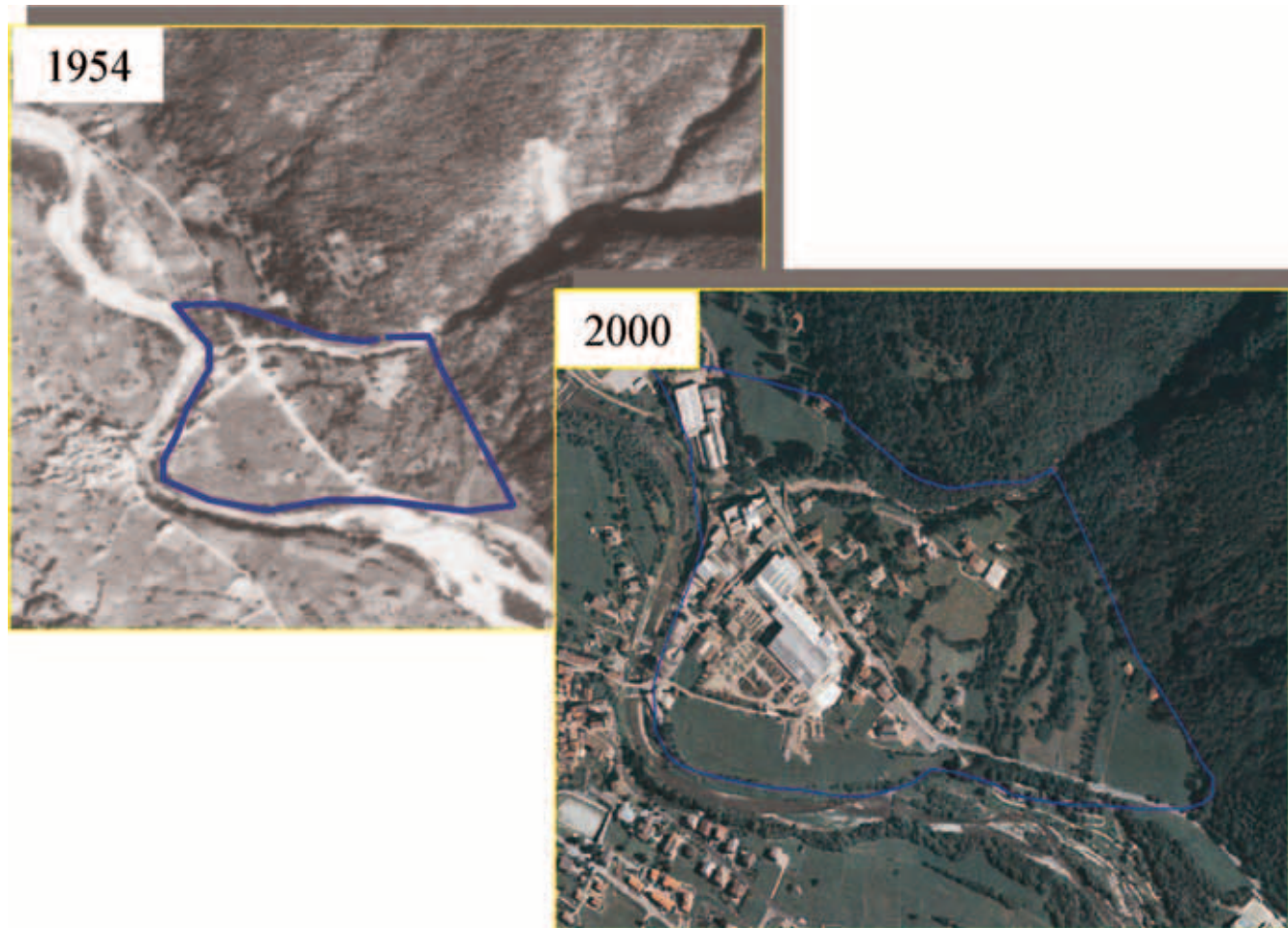
hanno concorso all'elaborazione della carta di pericolosità con suddivisione in tre classi: bassa, media ed alta.

Le aree che rientrano nella classe di bassa pericolosità sono quelle che, per caratteristiche morfologiche, hanno basse o nulle probabilità di essere interessate dai processi torrentizi, oppure aree mai interessate nel passato da fenomeni alluvionali documentati o aree protette da opere di difesa efficaci anche per eventi estremi.

Le aree che rientrano nella classe di media pericolosità sono quelle interessate nel passato da eventi di piena e da erosioni di sponda documentati su base storica oppure aree con moderata probabilità di essere esposte a inondazione o a erosioni di sponda. In particolare si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20 cm - 30 cm) e trasporto di materiali sabbioso-ghiaiosi.

Le aree che rientrano nella classe ad alta pericolosità sono quelle con alta probabilità di essere interessate da fenomeni di erosione di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido e danneggiamento di opere e manufatti. Inoltre in questa classe rientrano il canale attivo con le sue pertinenze ed eventuali canali riattivabili in caso di piena.

Lo stato ed il ruolo attualmente svolto dalle opere di sistemazione è il seguente: poco a monte dell'apice sono presenti due briglie in pietrame e malta dell'altezza di circa 5 m - 6 m, di cui la prima risulta completamente sovralluvionata a monte. In prossimità dell'apice del conoide (soglia in roccia) è presente la prima di sei briglie-soglia che caratterizzano il tratto apicale; in sinistra idrografica un argine (muro in pietrame) riduce notevolmente la sezione di deflusso (circa 3 m - 4 m); nel tratto a monte del ponte sulla strada provinciale e del ponte ad archi sono state realizzate alcune scogliere su entrambe le sponde e degli scivoli sul fondo.



*Figure 4.2.2.A/2.3 Aerial photos of the Rossiga Torrent fan.  
Figur 4.2.2.A/2.3 Luftaufnahmen des Kegels T. Rossiga.  
Figura 4.2.2.A/2.3 Foto aeree del conoide del T. Rossiga.*





*Figure 4.2.2.A/2.4 Critical points on the channel.*  
*Figur 4.2.2.A/2.4 Kritische Punkte am Sammelkanal.*  
*Figura 4.2.2.A/2.4 Punti critici sul collettore.*



#### 4.2.2.A/2.3 Results

The Val Rossiga Torrent fan lies at the mouth of the Pialo Valley, throughout which, in the event of exceptional meteorological events, there may be debris flows affecting the area of the fan. The accentuated bend in the Pioverna Torrent at the mouth of the Rossiga Torrent illustrates the intense flow activity that the latter is subject to. The Rossiga Torrent currently runs to the right of the fan, but there are clear signs of migration to the left side in earlier periods. The morphological characteristics of the tip greatly condition the level of hazard of the fan; much depends on the possibility of the flow to travel in this section of the channel without overflowing from the main channel, and in the event of mass transport of high magnitude the central and left-hand channels of the fan may open again. Medium hazard areas (in yellow) have been identified around the high hazard areas (in red), also taking possible runoff directions into consideration. Low hazard areas (in green) are in outlying sectors (except the possible influence of the receptor) and in the right section of the fan, which is higher than the channel (Figure 4.2.2.A/2.5).

#### 4.2.2.A/2.3 Ergebnisse

Der Kegel des Val Rossiga befindet sich an der Mündung des Valle del Pialo, in dem bei außergewöhnlichen Witterungsereignissen Murenphänomene eintreten, die das Kegelgebiet betreffen können. Die akzentuierte Biegung, die der Hauptfluss T. Pioverna am Zufluss des T. Rossiga vollzieht, beweist die intensive Wildbachtätigkeit, die im letzteren auftritt. Derzeit fließt der T. Rossiga in den rechten Abschnitt des Kegels, aber es gibt klare Hinweise auf historische Migration im linken Abschnitt. Die morphologische Anlage der Spitze prägt die Gefährdung des Kegels stark; viel hängt von der Möglichkeit ab, dass der Strom diesen Abschnitt durchqueren kann, ohne aus dem Hauptkanal auszutreten; bei Ereignissen mit Massentransport starker *Magnitude* könnten nämlich Kanäle im mittleren und linken Abschnitt des Kegels reaktiviert werden. Die Gebiete mit mittlerer Gefährdung (gelb) wurden um die stark gefährdeten Gebiete (rot) herum bezeichnet, auch in Anbetracht der möglichen Abflussrichtungen. Die gering gefährdeten Gebiete (grün) sind in den distalen Sektoren (mit Ausnahme der möglichen Einflüsse des Hauptflusses) und im rechten Teil des Kegels zu erkennen, der im Verhältnis zum Flussbett erhöht ist (Figur 4.2.2.A/2.5).

#### 4.2.2.A/2.3 Risultati

Il conoide della Val Rossiga si trova allo sbocco della Valle del Pialo, lungo la quale in caso di eventi meteorici eccezionali si verificano fenomeni di colata detritica che possono interessare l'area di conoide. L'accentuata curvatura che il ricettore T. Pioverna compie in corrispondenza dello sbocco del T. Rossiga dimostra l'intensa attività torrentizia cui quest'ultimo è soggetto. Attualmente il T. Rossiga scorre nel settore destro del conoide, ma vi sono chiare evidenze di migrazione in epoca storica nel settore sinistro. L'assetto morfologico dell'apice condiziona fortemente le condizioni di pericolosità del conoide; molto dipende dalla possibilità che la colata riesca a transitare in questo tratto senza fuoriuscire dal canale principale; infatti nel caso di eventi di trasporto in massa di forte *magnitudo* potrebbero essere riattivati canali nel settore centrale e sinistro del conoide. Le aree a pericolosità media (gialle) sono individuate in un intorno delle aree ad alta pericolosità (rosse) anche in considerazione delle possibili direzioni di deflusso. Le aree a bassa pericolosità (verdi) si individuano nei settori distali (fatta eccezione per le possibili influenze del ricettore) e nel settore destro del conoide, rialzato rispetto all'alveo (Figura 4.2.2.A/2.5).

Heuristic approaches by means of geomorphic analysis  
 § 4.2.2.A/2 REGIONE LOMBARDIA

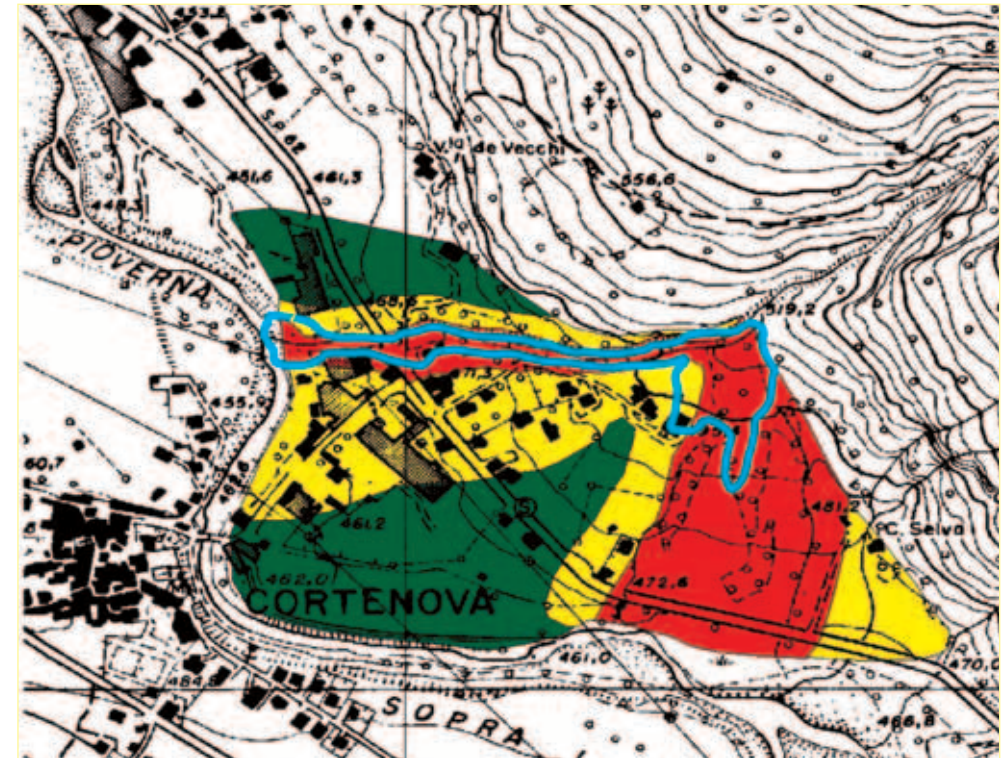
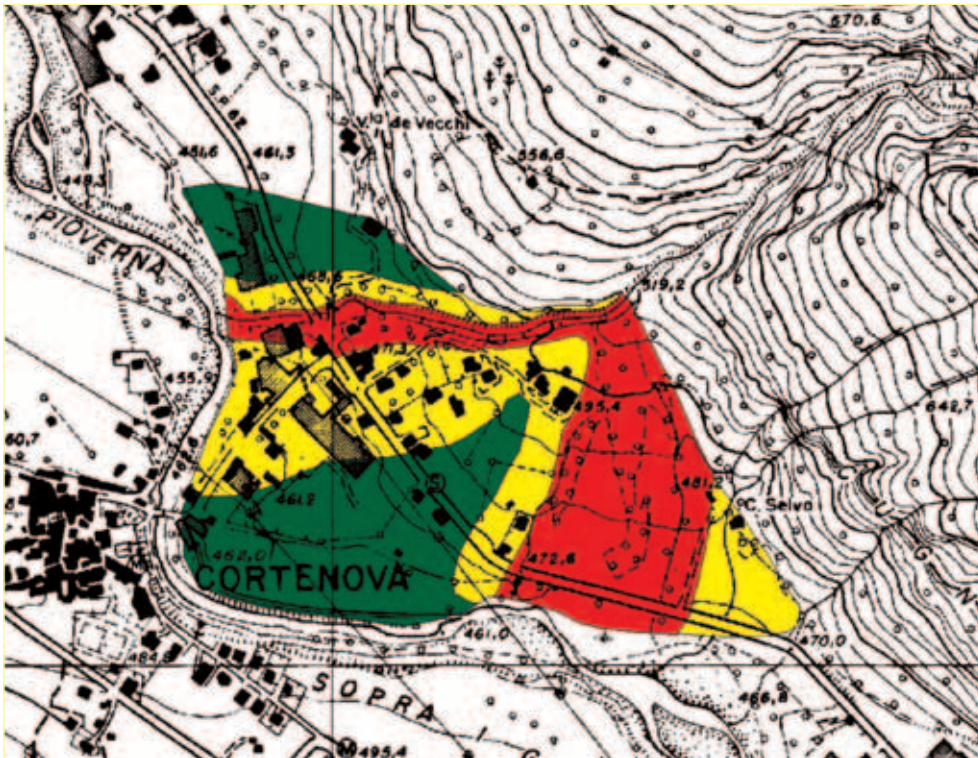


Figure 4.2.2.A/2.5 Outline of levels of hazard (red areas – high level of hazard, yellow areas – medium level of hazard, green areas – low level of hazard).  
 Figur 4.2.2.A/2.5 Begrenzung der Gefährdung (rote Flächen – hohe Gefährdung, gelbe Flächen – mittlere Gefährdung, grüne Flächen – geringe Gefährdung).  
 Figura 4.2.2.A/2.5 Delimitazione della pericolosità (aree rosse - elevata pericolosità, aree gialle - media pericolosità, aree verdi - bassa pericolosità).

Figure 4.2.2.A/2.6 Comparison between the areas affected by the 2002 event (blue line) and the high hazard level areas identified using the geomorphologic method.  
 Figur 4.2.2.A/2.6 Vergleich zwischen den Gebieten, die vom Ereignis 2002 betroffen waren (blaue Linie), und den stark gefährdeten Gebieten, die mit der geomorphologischen Methode festgestellt wurden.  
 Figura 4.2.2.A/2.6 Confronto tra le aree interessate dall'evento 2002 (linea azzurra) e le aree ad elevata pericolosità individuate con il metodo geomorfologico.

#### 4.2.2.A/2.4 Conclusions

The hazard map for the Rossiga Torrent fan, created using the historic/geomorphologic method, was compared with what occurred during the November 2002 event: these data were purposefully not taken into account when the method was applied. The comparison revealed a satisfactory congruity between the area determined by the method and that of the actual event (Figure 4.2.2.A/2.6); in the first case as a precautionary measure a high hazard level was attributed to the left bank area up to the Pioverna Torrent, which was not involved in November 2002.

As a further element of comparison § 4.2.2.B/3.4 illustrates the results of applying a bidimensional numeric model (FLO-2D) to the same sample area (Figure 4.2.2.B/3.3).

#### 4.2.2.A/2.4 Schlussfolgerungen

Die Gefährdungskarte des Kegels T. Rossiga, die mit der historisch-geomorphologischen Methode erstellt wurde, wurde mit den Ereignissen von November 2002 verglichen. Diese Daten wurden in der Tat bewusst nicht für die Anwendung der Methode selbst verwendet. Der Vergleich hat eine gute Übereinstimmung zwischen dem von der Methode bestimmten Expansionsgebiet und dem des realen Ereignisses ergeben (Figur 4.2.2.A/2.6). Im ersten Fall wurde im Vergleich zum zweiten vorsichtshalber eine hohe Gefährdung für das Gebiet am linken Ufer bis zum T. Pioverna definiert, das von dem Ereignis im November 2002 nicht betroffen war.

Als weiteres Vergleichselement wird auf § 4.2.2.B/3.4 verwiesen, in dem die Ergebnisse der Anwendung eines numerischen zweidimensionalen Modells (FLO-2D) auf das gleiche Untersuchungsgebiet dargestellt sind (Figur 4.2.2.B/3.3).

#### 4.2.2.A/2.4 Conclusioni

La carta della pericolosità del conoide del T. Rossiga realizzata con il metodo storico-geomorfologico è stata raffrontata con quanto avvenuto nell'evento del novembre 2002; tali dati non sono stati infatti volutamente considerati per l'applicazione del metodo stesso. Il confronto ha messo in evidenza una buona congruità tra l'area di espansione determinata dal metodo e quella dell'evento reale (Figura 4.2.2.A/2.6); nel primo caso è stata definita in modo cautelativo rispetto al secondo una elevata pericolosità all'area in sponda sinistra sino al T. Pioverna, non interessata dall'evento del novembre 2002.

Come ulteriore elemento di confronto si rimanda al § 4.2.2.B/3.4, in cui sono esposti i risultati dell'applicazione alla medesima area campione di un modello numerico bidimensionale (FLO-2D) (Figura 4.2.2.B/3.3).



§ 4.2.2.A/3 ARPA PIEMONTE

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione Italy - Piemonte  
Village - Ort - Comune Vinadio (CN)  
Basin - Becken - bacino Stura di Demonte  
Stream - Ffluß - Corso d'acqua Neraissa di Vinadio



Figure 4.2.2.A/3.1 The area of study and location of the catchment described.

Figur 4.2.2.A/3.1 Untersuchungsgebiete und Standort des beschriebenen Beckens.

Figura 4.2.2.A/3.1 Aree d'indagine e ubicazione del bacino descritto.



Figure 4.2.2.A/3.2 Front view of the Rio Neraissa fan.

Figur 4.2.2.A/3.2 Vorderansicht des Kegels Rio Neraissa.

Figura 4.2.2.A/3.2 Vista frontale del conoide del Rio Neraissa.

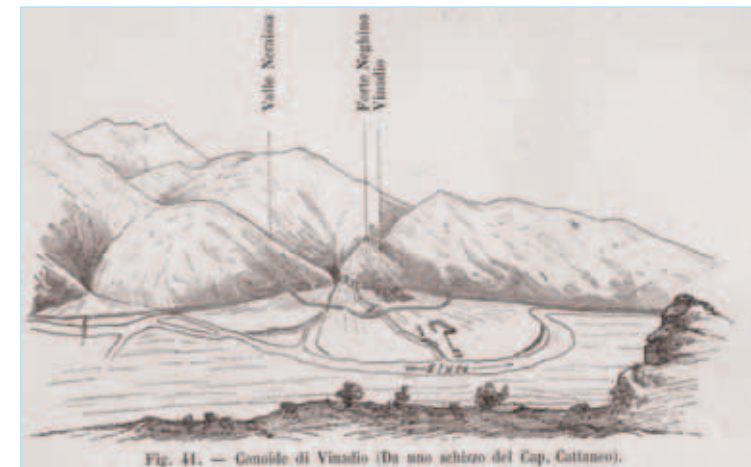


Figure 4.2.2.A/3.3 Historical cartography of Rio Neraissa (Porro, 1898).  
Figur 4.2.2.A/3.3 Historische Kartographie des Rio Neraissa (Porro, 1898).  
Figura 4.2.2.A/3.3 Cartografia storica del Rio Neraissa (Porro, 1898).



#### 4.2.2.A/3.1 Preliminary tasks

Piedmont has many large Alpine valleys characterised by minor channels with typical Torrent flow characteristics. The 100 tributary catchments selected in Orco and Stura di Demonte valleys repeatedly experience peak flows, as recorded in the GIS documentation of Arpa Piemonte.

These historic records start by characterising the type of process which occurred and then describe the effects caused on buildings and infrastructures. With regards to the eight hydrographic basins selected for the present project to trial this type of study there is considerable information referring to reactivations of the fan area in the 20<sup>th</sup> century.

In the previous project, *Collection and organisation of local data; hazard and risk assessment of natural phenomena and creation of Communal Plans for Civil Protection*, carried out in the context of the INTERREG IIC Programme (Regione Piemonte, 2001), the hazard level of 110 fans in the Susa Valley was evaluated and outlined. For the purposes of a homogeneous approach this information was brought into line with the data produced for the Orco and Stura di Demonte valleys for the CatchRisk Project. There is much urban development in three valley areas in consideration, and due to this the hazard assessment represents a fundamental procedure for a subsequent risk analysis.

#### 4.2.2.A/3.1 Vorarbeiten

Das Piemont umfasst eine beträchtliche Anzahl von bedeutenden Alpentälern, die sich durch Evolution der kleineren Zweige mit typischem Wildbachcharakter auszeichnen. Besonders die 100 Zuflussbecken der Täler Valle Orco und Valle Stura di Demonte werden wiederholt von Phänomenen des Wildbachhochwassers betroffen, wie aus der Dokumentation im Geologischen Informationssystem von Arpa Piemonte hervorgeht. Die historische Dokumentation geht von der Charakterisierung des eingetretenen Prozesses aus und gelangt dann zur Beschreibung seiner Auswirkungen auf Gebäude und Infrastrukturen. Vor allem die acht Zuflussgebiete, die für das vorliegende Projekt für das Experiment einer gründlicheren Untersuchung ausgewählt wurden, zeichnen sich durch zahlreiche Daten zu Reaktivierungen des Kegelapparats im XX. Jahrhundert aus.

Im Laufe des vorangegangenen Projekts *Sammlung und Organisation von Territorialdaten; Auswertung von Gefährdung und Risiko der Naturphänomene und Vorbereitung für kommunale Pläne zum Zivilschutz* im Rahmen des Programm INTERREG IIC (Region Piemont, 2001) wurde die Gefährdung von 110 Kegeln im Susatal beurteilt und umrissen; aus Gründen der Homogenität wurden diese Informationen im Projekt CatchRisk mit den Daten abgeglichen, die für die Täler Orco und Stura di Demonte produziert wurden.

Die drei untersuchten Talkontexte sind ziemlich anthropisiert; aus diesem Grunde stellt eine Beurteilung der Gefährdung ein wesentliches Element für eine spätere Risikoanalyse dar.

#### 4.2.2.A/3.1 Fasi preliminari

Il Piemonte comprende un numero consistente di valate alpine importanti, caratterizzate da evoluzione delle aste minori a carattere tipicamente torrentizio. In particolare i 100 bacini tributari delle Valli Orco e Stura di Demonte, selezionati nel presente Progetto, sono stati ricorrentemente interessati da fenomeni di piena torrentizia, come testimoniato dalla documentazione disponibile nel Sistema Informativo Geologico di Arpa Piemonte. Tale documentazione storica parte dalla caratterizzazione della tipologia di processo verificato per giungere alla descrizione degli effetti indotti su edificati ed infrastrutture. In particolare gli otto bacini idrografici selezionati nel presente Progetto per sperimentare un approfondimento sono caratterizzati da un numero consistente di dati riferiti a riattivazioni dell'apparato di conoide nel XX secolo.

Nel corso del precedente Progetto *Raccolta ed organizzazione di dati territoriali; valutazione di pericolosità e rischio dei fenomeni naturali e predisposizione di Piani Comunali di Protezione Civile* nell'ambito del Programma INTERREG IIC (Regione Piemonte, 2001) è stata valutata e perimetrata la pericolosità di 110 conoidi ricadenti in Val di Susa; per esigenze di omogeneità tali informazioni sono state riallineate nel Progetto CatchRisk ai dati prodotti per le Valli Orco e Stura di Demonte.

I tre contesti vallivi oggetto di studio sono discretamente antropizzati; per questa ragione una valutazione della pericolosità costituisce un fondamentale tassello per una successiva analisi di rischio.

#### 4.2.2.A/3.2 Activities

##### *Assessment of hazard level on the fan*

The work to assess levels of hazard, carried out on 40 fans in the Orco Valley and 60 in the Stura di Demonte Valley, including the Rio Neraissa fan, is described below.

- Multitemporal cartographic analysis aimed at reconstructing the most evident morphological and physiographic alterations to the fan from the 19<sup>th</sup> century onwards caused by the combined effect of violent flow processes, human inhabitation and the conditioning of the torrent bed with works of protection;
- Multitemporal analysis of aerial photographs with the aim of identifying the main developmental characteristics of the active areas of the fan: position and width of the main discharge channel(s), the development of any works to condition the torrent bed, the interference of inhabitation/infrastructures, vegetation, relations between the dynamics of deposits on the fan and the morphological evolution of the receptor watercourse;
- Analysis of documentation and creation of an archive of recorded historic events, consolidating the database by filtering records of the same event from more than one source;
- Establishing the morphometric parameters of the catchment, fan and hydrographic network, identifying the main channel, tributary channels and the main discharge channel on the fan; the reference cartography used was the numeric Regional Technical Map of Regione Piemonte on a scale of 1:10'000 and the Digital Elevation Model of Arpa Piemonte (10 x 10 m<sup>2</sup> grid);
- A field survey of the particular geomorphologic features of the fan and hydraulic works present in the main discharge channel(s): systematic acqui-

#### 4.2.2.A/3.2 Aktivitäten

##### *Bewertung der Gefährdung im Kegel*

Die Tätigkeiten für die Gefährdungsanalyse, die an 40 Kegeln im Valle Orco und 60 im Valle Stura di Demonte durchgeführt wurden, darunter am Kegel des Rio Neraissa, werden im Folgenden dargestellt.

- Kartographische multitemporale Analyse mit dem Ziel, die deutlichsten morphologischen und physiographischen Änderungen der Kegelapparate ab dem 19. Jahrhundert zu rekonstruieren, die durch die kombinierte Wirkung von heftigen Wildbachprozessen, anthropischer Besiedlung und Konditionierung der Bachbetten mit Verteidigungsbauten entstanden;
- Multitemporale Luftbildinterpretation, um die wichtigsten Evolutionseigenschaften der aktiven Kegelsektoren zu erkennen: Lage und Amplitude des/der wichtigsten Abflusskanäle, Entwicklung eventueller Konditionierungsbauten des Bachbetts, Interferenzen mit Siedlungen/Infrastrukturen, Vegetationssituation, Beziehung zwischen Ablagerungsdynamik im Kegel und morphologischer Evolution des aufnehmenden Wasserlaufs;
- dokumentarische Analyse und Katalogisierung der historisch belegten Ereignisse, wobei die Datenbank entsprechend bereichert wurde, nachdem die in verschiedenen Quellen verzeichneten Berichte zum gleichen Ereignis gefiltert wurden;
- morphometrische Parametrierung des Zuflussbeckens, des Kegels und des hydrographischen Netzes getrennt nach: Hauptzweig, Zuflusszweige zum Becken und wichtigster Abflusskanal im Kegel. Die kartographische Bezugsbasis sind die digitale Grundkarte der Region Piemont im Maßstab 1:10'000 und das digitale Geländemodell von Arpa Piemonte (Raster 10 x 10 m<sup>2</sup>);

#### 4.2.2.A/3.2 Attività

##### *Valutazione della pericolosità in conoide*

Le attività per la valutazione della pericolosità, condotte su 40 conoidi in Valle Orco e 60 in Valle Stura di Demonte, tra i quali ricade il conoide del Rio Neraissa, sono di seguito esposte.

- Analisi cartografica multitemporale mirata a ricostruire le più evidenti modificazioni morfologiche e fisiografiche degli apparati di conoide dal XIX secolo, subite per effetto combinato di processi di violenta attività torrentizia, insediamento antropico e condizionamento degli alvei con opere di difesa;
- analisi aereofotografica multi-temporale finalizzata al riconoscimento delle principali caratteristiche evolutive dei settori attivi del conoide: posizione ed ampiezza del/i canale/i di scarico principale/i, sviluppo di eventuali opere di condizionamento dell'alveo, interferenze con insediamenti/infrastrutture, assetto vegetazionale, rapporti tra dinamica deposizionale in conoide ed evoluzione morfologica del corso d'acqua recettore;
- analisi documentale e catalogazione degli eventi storici documentati, consolidando opportunamente la base-dati previo filtraggio dei record relativi al medesimo evento censito da più fonti;
- parametrizzazione morfometrica del bacino di alimentazione, del conoide e del reticolo idrografico distinto in: asta principale, aste tributarie nel bacino e canale di scarico principale in conoide; le basi cartografiche di riferimento sono la Carta Tecnica Regionale numerica della Regione Piemonte alla scala 1:10'000 ed il Modello Digitale del Terreno di Arpa Piemonte (maglia 10 x 10 m<sup>2</sup>);
- rilievo di campagna dei peculiari elementi geomorfologici dell'apparato di conoide e delle opere idrauliche presenti lungo il/i canale/i principale/i di scarico: acquisizione sistematica delle informazio-

sition of information regarding the degree of incision and the path of the channel at the tip, middle and end sections of the fan, presence and type of overflow deposits, the presence of characteristics and the role of erosion grooves and channels, survey and evaluation in terms of function and effectiveness of the containment works present. This information, once sorted into parameters and classified, is translated into maps, and by overlaying these thematic maps, according to the due weighting to each one, we arrive at levels of hazard (Figure 4.2.2.A/3.4);

- Evaluation of the magnitude of transport of sediment using the empirical formulae developed by Bianco & Franzi (2000) and Ceriani *et al.* (2000), identifying in parallel the factors which increase or reduce potential debris in the catchment (presence of gravitational movements uphill of the tip of the fan, presence of man-made or natural barriers along the watercourse, *etc.*)
- Hydrological analysis of the catchment: an estimate of the maximum flows of water generated (Anselmo, 1985) and the type of process expected.

#### *Studies of the sample catchment*

In order to verify these hazard assessments, detailed studies were carried out in eight sample catchments, including the Rio Neraissa catchment, to quantify the debris effectively available to be transported on the flows, 1) down the current watercourse, taking the presence and role of preventive structures into account, 2) originating from the slope, due to the process of erosion in the area and gravitational movements of the slope.

1) To quantify debris in the channel the following criteria were applied: for each major section of the network (presence of protective works, confluence, major morphological variations, instabili-

- Landvermessung der besonderen geomorphologischen Elemente des Kegelapparats und der Wasserbauten am Hauptabflusskanal/den Hauptabflusskanälen: systematische Erfassung der Informationen zum Einschnittgrad und planimetrischen Verlauf des Kanals im Spitzen-, Mittel- und Endabschnitt, Präsenz und Art der Sedimente außerhalb des Betts, charakteristisches Auftreten und Rolle von Furchen und Erosionskanälen, Registrierung und Auswertung der vorhandenen Verbauungen im Hinblick auf Funktionalität und Wirksamkeit. Diese Informationen wurden nach der Parametrierung und Klassifizierung in angemessene kartographische Darstellungen übersetzt; die Überlagerung der thematischen Elemente mit der gewichteten Summe der Punktzahlen ermöglichte die Einstufung in Gefährungsklassen (Figur 4.2.2.A/3.4);
- Auswertung der *Magnitude* der erwarteten Phänomene von Feststofftransport mit den empirischen Formeln von Bianco & Franzi (2000) und Ceriani *et al.* (2000), wobei parallel die Faktoren erarbeitet wurden, die in der Lage sind, das im Becken mobilisierbare Geschiebepotenzial zu steigern oder zu verringern (Auftreten von Gravitationsbewegungen oberhalb der Kegelspitze, künstliche oder natürliche Sperren am Zweig *etc.*);
- hydrologische Analyse des Beckens im Hinblick auf Schätzung der Wassermengen, die bei Ereignissen maximaler Intensität erzeugt werden können (Anselmo, 1985) und erwarteter Typ des Prozesses.

#### *Gründlichere Untersuchungen in den Stichprobenbecken*

Für einen Nachweis der bisherigen Gefährdungsbewertungen wurden in acht

ni relative a grado di incisione e andamento planimetrico del canale nei settori apicale, mediano e terminale del conoide, presenza e tipologia dei depositi fuori alveo, presenza caratteristiche e ruolo di solcature e canali d'erosione, censimento e valutazione in termini di funzionalità ed efficacia delle opere di sistemazione presenti. Tali informazioni, parametrizzate e classificate, vengono tradotte in opportuni elaborati cartografici; la sovrapposizione dei tematismi con somma pesata dei punteggi permette di ricavare classi di pericolosità (Figura 4.2.2.A/3.4);

- valutazione della *magnitudo* dei fenomeni di trasporto solido atteso con le formule empiriche di Bianco & Franzi (2000) e Ceriani *et al.* (2000), individuando parallelamente i fattori in grado di esaltare o ridurre il potenziale detritico mobilizzabile nel bacino (presenza di movimenti gravitativi a monte dell'apice del conoide, presenza di sbarramenti artificiali o naturali lungo l'asta, *etc.*);
- analisi idrologica del bacino in termini di stima delle portate liquide che possono essere generate in eventi di massima intensità (Anselmo, 1985) e valutazione del tipo di processo atteso.

#### *Approfondimenti nei bacini-campione*

Per una verifica delle valutazioni di pericolosità effettuate, in otto bacini-campione tra i quali il bacino del Rio Neraissa, sono state condotte indagini di dettaglio nel bacino per quantificare il detrito effettivamente disponibile ad essere movimentato nel corso di processi torrentizi: 1) presente lungo le aste torrentizie, nello stato attuale, tenendo conto della presenza e del ruolo delle opere di sistemazione, 2) derivante dai versanti per effetto di processi erosivi areali e movimenti gravitativi di versante.

1) Per la quantificazione lungo le aste i criteri sono stati i seguenti: per ogni sezione significativa del reticolo (presenza di opere, confluenza, rilevante

ty,...) information regarding the following areas must be gathered: nature of the bed substrate, dimensions of the cross section and availability of transportable sediment, in order to evaluate the *unit* magnitude, that is the volume of debris present in a lengthwise unit of that section. Analysing the variations in intensity of this parameter throughout the channel provides an immediate visualisation of potential areas of mass transport.

- 2) To analyse the slopes the following factors were taken into consideration: 2a) the events of instability recorded by the I.F.F.I. Project (Italian Inventory of Landslides) on a scale of 1:10'000, which are given a theoretical value calculated from the surface of rupture multiplied by the percentage of the volume of the landslide which could be moved again during an event (taking into account the effects on the hydrographical network and considering the maximum and minimum trigger situations); 2b) accelerated processes of erosion, partial movement of debris slopes and small landslides which would affect the hydrographical network; these processes were calculated taking into account the volume which would affect the hydrographical network in maximum and minimum scenarios.

It is also important to estimate the volume of debris physically available in the high and very high risk areas of the fan. To this end we reconstructed three theoretical deposit surfaces in correspondence with these areas, to reflect three scenarios of increasing intensity (expressed as the height of the expected deposits), starting from a series of points representative of the current landscape. The volume present in the three scenarios is calculated automatically, as the difference between the theoretical deposit surfaces and the current morphological surfaces. To verify the level of caution in outlining the areas subject to risk,

Stichprobenbecken, darunter dem des Rio Neraissa, Detailuntersuchungen durchgeführt, um das Geschiebe zu quantifizieren, das tatsächlich verfügbar ist, um im Laufe von Wildbachprozessen bewegt zu werden, und zwar 1) entlang den Bachzweigen im derzeitigen Zustand, wobei das Vorhandensein und die Rolle der Verbauungen berücksichtigt wurde, und 2) von den Hängen kommend, durch Auswirkung von Flächenerosionsprozessen und Gravitationsbewegungen des Hangs.

- 1) Für die Quantifizierung an den Zweigen wurden folgende Kriterien angewendet: Für jeden signifikanten Abschnitt des Netzes (Bauten, Zusammenfluss, relevante morphologische Veränderung, Zerrüttung o.ä.) werden Informationen zu folgenden Aspekten eingeholt: Natur des Substrats im Bachbett, Größe des Querschnitts und Verfügbarkeit von mobilisierbaren Sedimenten, um die *einzelne Magnitude* auszuwerten, d.h. das Geschiebevolumen im Querschnitt in einem einzelnen Längsabschnitt. Untersucht man die Variation der Intensität dieses Parameters entlang den Zweigen, kann man unmittelbar die Zonen ersehen, die potenzielle Quellen für Massentransportphänomene sind.
- 2) Für die Analyse der Hänge wurden berücksichtigt: 2a) die vom Projekt I.F.F.I. (Inventar der Erdrutschphänomene in Italien) im Maßstab 1:10'000 registrierten Zerrüttungen, für die man ausgehend von der Erdrutschoberfläche und der durchschnittlichen Tiefe der Bruchfläche ein theoretisches Volumen schätzt. Die wird mit dem Prozentsatz des Erdrutschvolumens multipliziert, das bei einem Ereignis erneut mobilisiert werden kann (wobei die Afferenz zum hydrographischen Netz berücksichtigt wird und zwei Hypothesen für die maximale und die minimale Aktivierung in Betracht gezogen werden); 2b) die Prozesse beschleunigter Erosion, partieller Remobilisierung

variazione morfologica, dissesto,...) sono state acquisite informazioni relative a: natura del substrato in alveo, dimensioni della sezione trasversale e disponibilità di sedimenti mobilizzabili, al fine di valutare la *magnitudo unitaria* cioè il volume di detrito presente nella sezione in un tratto longitudinale unitario. L'analisi della variazione di intensità di questo parametro lungo le aste consente di visualizzare con immediatezza le zone sorgente potenziali per fenomeni di trasporto in massa.

- 2) Per l'analisi dei versanti si sono considerati: 2a) i dissesti censiti dal Progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I., 2004) in scala 1:10.000, per i quali si stima un volume teorico dato dalla superficie in frana per la profondità media della superficie di rottura, da moltiplicare per la percentuale del volume in frana rimobilizzabile in caso di evento (tenendo conto dell'afferenza al reticolo idrografico e considerando due ipotesi di attivazione massimale e minimale); 2b) i processi di erosione accelerata, di parziale rimobilizzazione delle falde detritiche e le frane di ridotte dimensioni incumbenti sul reticolato idrografico; per questi processi si è stimato il volume movimentabile afferente al reticolo nei due scenari massimale e minimale.

Altrettanto importante è stimare il volume di detrito fisicamente deponibile nelle aree di conoide a grado di pericolosità elevato e molto elevato. A tal fine sono state ricostruite in corrispondenza di tali aree tre superfici di deposizione teoriche corrispondenti a tre scenari d'evento di intensità crescente (espressa come altezza di deposito atteso), a partire da una serie di punti rappresentativi del piano campagna attuale: in particolare la stima dei volumi nei tre scenari viene calcolata in modo automatico per differenza tra le superfici deposizionali teoriche e la superficie morfologica attuale. Per verificare la cautelatività della perimetrazione delle aree esposte a pericolo



we compared the volumes involved in these scenarios with the estimated quantity of material in the catchment.

der Geschiebeschichten und die bevorstehenden Erdbeben geringerer Ausmaße im hydrographischen Netz; für diese Prozesse wurde das bewegbare Volumen, das zum Netz gehört, in den zwei Szenarien maximal und minimal geschätzt.

Ebenso wichtig ist es, das Geschiebevolumen zu schätzen, das physisch in den Kegelgebieten mit hohem und sehr hohem Gefährdungsgrad deponierbar ist. Zu diesem Zweck wurden an diesen Gebieten, ausgehend von einer Reihe von repräsentativen Punkten für die derzeitigen Geländeoberkante, drei theoretische Ablagerungsflächen rekonstruiert, die drei Ereignisszenarien mit steigender Intensität entsprechen (ausgedrückt als erwartete Ablagerungshöhe): Die Schätzung der Volumina in den drei Szenarien wird dabei durch die Differenz zwischen den theoretischen Ablagerungsflächen und der aktuellen morphologischen Oberfläche automatisch berechnet. Um die Sicherheitsspanne bei der Abgrenzung der gefährdeten Gebiete zu überprüfen, wurden die Volumina aus diesen Szenarien mit der im Becken geschätzten Materialmenge verglichen.

sono stati confrontati i volumi corrispondenti a tali scenari con la quantità di materiale stimata nel bacino.

**Heuristic approaches by means of geomorphic analysis  
§ 4.2.2.A/3 ARPA PIEMONTE**

Punteggio	Assetto morfologico
4 punti	canali di scarico attivi e/o potenzialmente riattivabili; in presenza di cartografia degli eventi storici, sono ivi comprese le aree di transito e/o accumulo di materiale grossolano; presenza di depositi circoscritti o di evidenti solcature d'erosione
3 punti	canali abbandonati difficilmente riattivabili nelle attuali condizioni morfologiche oppure zone in passato indirettamente influenzate dallo scarico: a) fasce laterali dei canali di scarico, la cui ampiezza è in funzione della morfologia locale, b) zona di transito e/o accumulo di materiale prevalentemente fine proveniente dai canali di scarico principali; presenza di solcature d'erosione diffuse
2 punti	settori scarsamente influenzati dalla presenza di canali di scarico attivi o riattivabili, raggiungibili solo per particolari situazioni di criticità in eventi di dimensione catastrofica; superfici sopraelevate sull'incisione torrentizia
1 punto	zone per nulla influenzate dalla presenza di canali di scarico attivi o riattivabili; superfici decisamente sopraelevate sull'incisione torrentizia

Punteggio	Condizioni di deflusso
4 punti	Deflusso decisamente ostacolato o canale pensile (angolo di immissione del canale in apice molto elevato, anse a gomito, angolo di confluenza con il ricettore molto elevato, sezioni critiche, canale attivo sopraelevato rispetto alla zona circostante, collegamento più o meno evidente con canali secondari di scorrimento)
3 punti	Deflusso ostacolato, canale attivo scarsamente inciso (sezioni ridotte, anse relativamente strette, possibile collegamento con canali secondari di scorrimento)
2 punti	Deflusso relativamente agevole nel canale attivo, con remota possibilità di ostruzione/esondazione in caso piena eccezionale
1 punto	Condizioni favorevoli per il deflusso delle acque nel canale attivo

Table 4.2.2.A/3.1 Weightings attributed to the factors which determine levels of hazard.  
Tabelle 4.2.2.A/3.1 Punktwertung für die Faktoren der Gefährdungsbestimmung.  
Tabella 4.2.2.A/3.1 Punteggi da attribuire ai fattori che determinano la pericolosità.

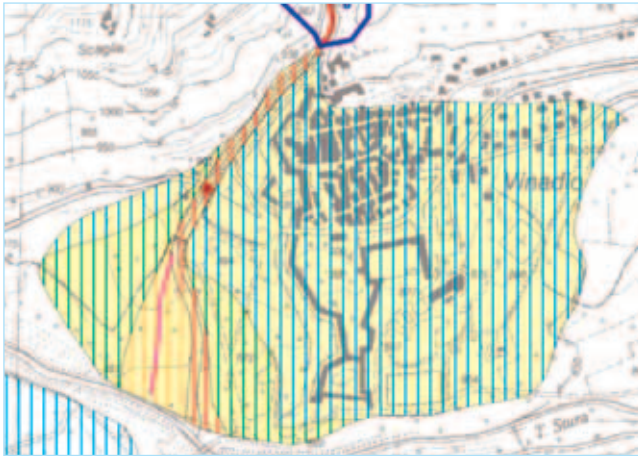
Punteggio	Acclività
4 punti	Superiore al 15%
3 punti	Compresa tra il 7 e il 15%
2 punti	Compresa tra il 2 e il 7%
1 punto	Inferiore al 2%

Classe	Punteggio	Assetto vegetazionale
A	4 punti	Vegetazione pioniera su terreno ciottoloso con i primi larici e pini
B	3 punti	Alberi (pini, larici) di età diversa con abeti rossi su terreno grossolano e ghiaioso
C	2 punti	Predominanza di prati interrotti da trincee di massi e suolo sassoso
D	1 punto	Assenza di trincee di massi, terrazzamenti e minor presenza di materiale sassoso nel suolo

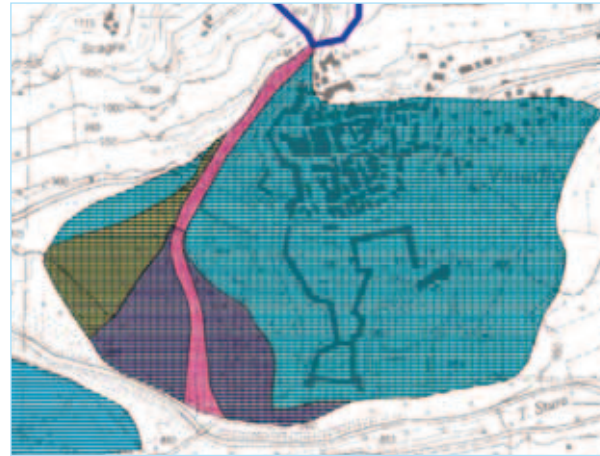
Influenza delle opere sistematorie/punteggio	Descrizione
Positiva (-1)	Opere di protezione realizzate correttamente e pienamente efficaci, in buone condizioni di manutenzione, manufatti di attraversamento con basso impatto sul deflusso di colate detritiche.
Ininfluyente (0)	Opere assenti o tipologicamente ininfluenti sulle modalità di propagazione delle correnti detritiche.
Parziale o negativa (+1)	Opere di protezione di efficacia non ideale, manutenzione carente, manufatti di attraversamento e restringimenti artificiali d'alveo in grado di ostacolare gravemente il deflusso delle colate; briglie che determinano innalzamento del fondo alveo in prossimità della struttura. Piste di accesso all'alveo a bassa pendenza, divergenti dal canale di scarico, possibili vie preferenziali di esondazione; opere idrauliche e/o ponti in prossimità dell'apice, tali da poter deviare il flusso o provocare la formazione di sbarramenti temporanei. Restringimento artificiale dell'alveo nel settore medio-distale; arginature che impediscono il rientro di deflussi fuori alveo.

Heuristic approaches by means of geomorphic analysis  
 § 4.2.2.A/3 ARPA PIEMONTE

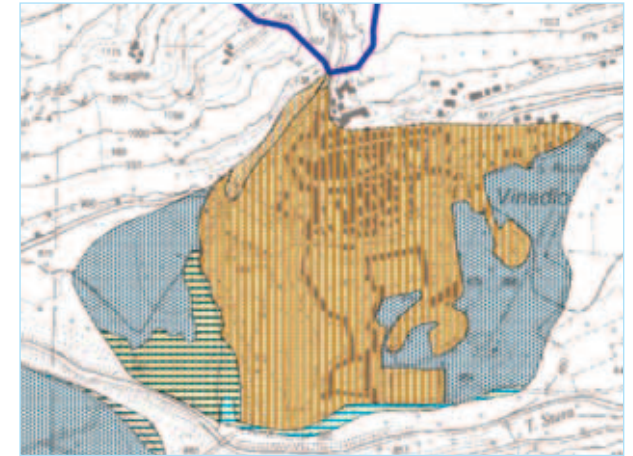
(a)



(b)



(c)



(d)

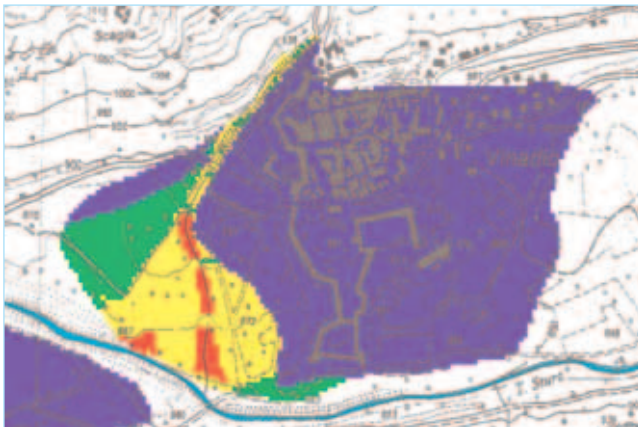


Figure 4.2.2.A/3.4 (a) Zoning of susceptibility for flooding (low - purple, moderate - green, high - yellow, very high - red); (b) map (a) integrated with runoff conditions in the channel and role of the protective structures; (c) vegetation cover (dots for field-pasture land, horizontal lines for sheltering wood, vertical lines for oak woods, diagonal lines for urban areas and infrastructures, blue lines for shingle; (d) hazard zoning (low - purple, moderate - green, high - yellow, very high - red).

Figur 4.2.2.A/3.4 (a) Zonierung der Überschwemmungsneigung (niedrig in violett, mäßig in grün, hoch in gelb, sehr hoch in rot); (b) Karte (a) integrierte Karte mit den Abflusskonditionen in den Kanal und mit der Rolle der Verbauungen; (c) Vegetationsdeckschicht (gepunktet: Wiesen/Weiden, horizontal gestreift: Ufergehölz, vertikal gestreift: Stieleichenwälder, schräg gestreift: urbanisierte Gebiete und Infrastrukturen, blau gestreift: Kiesbetten; (d) Zonierung der Gefährdung (niedrig in violett, mäßig in grün, hoch in gelb, sehr hoch in rot).

Figura 4.2.2.A/3.4 (a) Zonazione della propensione all'inondabilità (bassa in viola, moderata in verde, elevata in giallo, molto elevata in rosso); (b) carta (a) integrata dalle condizioni di deflusso nel canale e dal ruolo delle opere di sistemazione; (c) copertura vegetale (in puntinato prato-pascoli, in rigato orizzontale formazioni legnose riparie, in rigato verticale querceti a roverella, in rigato obliquo aree urbanizzate ed infrastrutture, in rigato azzurro greti; (d) zonazione della pericolosità (bassa in viola, moderata in verde, elevata in giallo, molto elevata in rosso).

#### 4.2.2.A/3.3 Results

The hazard zoning of the fan is the result of overlaying weighted thematic maps illustrating the factors which increase or mitigate the effects caused by peak flows: geomorphologic propensity, runoff conditions throughout the main channel, steepness of the terrain, influence of protective structures and aspect of vegetation.

Hazard levels are expressed in four categories of intensity: low, medium, high and very high.

The hazard maps for the fans being studied were complemented with (Figure 4.2.2.A/3.5 and 4.2.2.A/3.6): 1) cartography of factors of sediment transport with assessment of the availability of debris in the catchment; 2) cartographic representation of the distribution of predicted deposit heights on the fan in ordinary, serious and catastrophic events, supported by detailed topographic surveys; 3) table of mean deposit heights expected in floodable areas, from which the total volume of deposits landing on high hazard areas of the fan in the three scenarios can be calculated; 4) a table comparing depositable volume and available volume of debris in the catchment, to evaluate the estimates of magnitude and the level of caution applied in zoning the area.

#### 4.2.2.A/3.3 Ergebnisse

Die Zonierung der Gefährdung im Kegel ergibt sich aus der gewichteten Überlagerung der thematischen Elemente, die die vorbereitenden oder mildernden Faktoren der von den Wildbachprozessen verursachten Auswirkungen ausdrücken: geomorphologische Neigung, Abflusskonditionen am Hauptkanal, Neigung des Geländes, Einfluss der Verbauungen und Vegetation.

Die Gefährdung wird in vier Klassen mit niedriger, mittlerer, hoher und sehr hoher Intensität ausgedrückt.

Für die Kegel, die ausführlicher untersucht wurden, kommen zur Karte der Gefährdung im Kegel hinzu (Figur 4.2.2.A/3.5 and 4.2.2.A/3.6): 1) Kartographie der Erzeugungsfaktoren von Feststofftransport mit Auswertung des verfügbaren Geschiebes in den Zuflussgebieten; 2) kartographische Darstellung der Verteilung der Ablagerungshöhen, die bei einem gewöhnlichen, schwerwiegenden bzw. katastrophalen Ereignis im Kegel vorherzusehen sind, unterstützt von topographischen Detailmessungen; 3) Erläuterungstabelle der durchschnittlichen Ablagerungshöhen, die in den überschwemmbar Gebieten vorhersehbar sind, aus denen man die Werte des Gesamtvolumens ersehen kann, das in den Kegelgebieten mit hoher Gefährdung in den drei angenommenen Szenarien deponierbar ist; 4) Vergleichstabelle zwischen deponierbarem Volumen und verfügbarem Geschiebevolumina, die in den Zuflussgebieten festgestellt wurden, um die Schätzungen der *Magnitude* und die Sicherheitsspanne bei der Zonierung bewerten zu können.

#### 4.2.2.A/3.3 Risultati

La zonazione della pericolosità in conoide è data dalla sovrapposizione pesata dei tematismi che esprimono i fattori predisponenti o mitigatori degli effetti indotti dai processi torrentizi: propensione geomorfologica, condizioni di deflusso lungo il canale principale, acclività del terreno, influenza delle opere sistematorie e assetto vegetazionale.

La pericolosità viene espressa in quattro classi di intensità bassa, media, elevata e molto elevata.

Per i conoidi oggetto di approfondimento alla carta della pericolosità in conoide si affiancano (Figure 4.2.2.A/3.5 and 4.2.2.A/3.6): 1) cartografia dei fattori di generazione del trasporto solido con valutazione della disponibilità di detriti nei bacini di alimentazione; 2) rappresentazione cartografica della distribuzione delle altezze di deposito previste in conoide in caso di evento rispettivamente ordinario, gravoso e catastrofico, supportata da rilievi topografici di dettaglio; 3) tabella esplicativa delle altezze di deposito medie previste nelle aree alluvionabili, da cui ricavare i valori di volume totale di deposito deponibile sulle aree di conoide ad elevata pericolosità nei tre scenari d'evento ipotizzati; 4) tabella di confronto tra volumi deponibili e volumi di detrito disponibili riscontrati nei bacini di alimentazione, per valutare il significato delle stime di magnitudo e la cautelatività della zonazione effettuate.



## Heuristic approaches by means of geomorphic analysis § 4.2.2.A/3 ARPA PIEMONTE

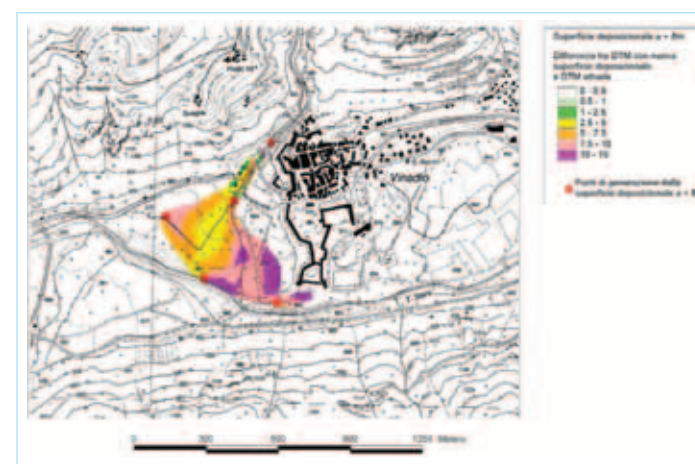
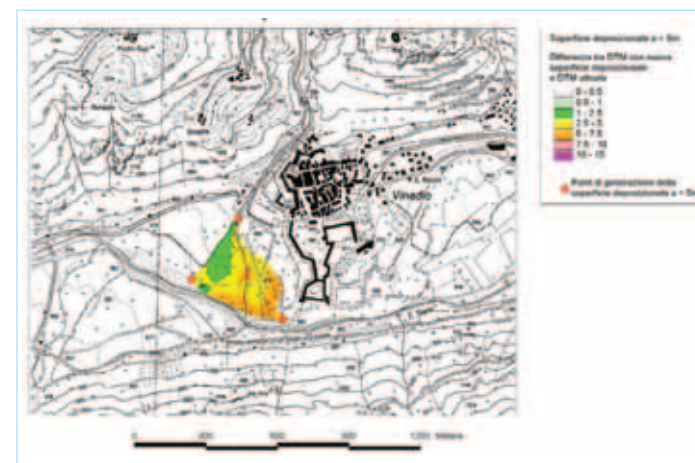
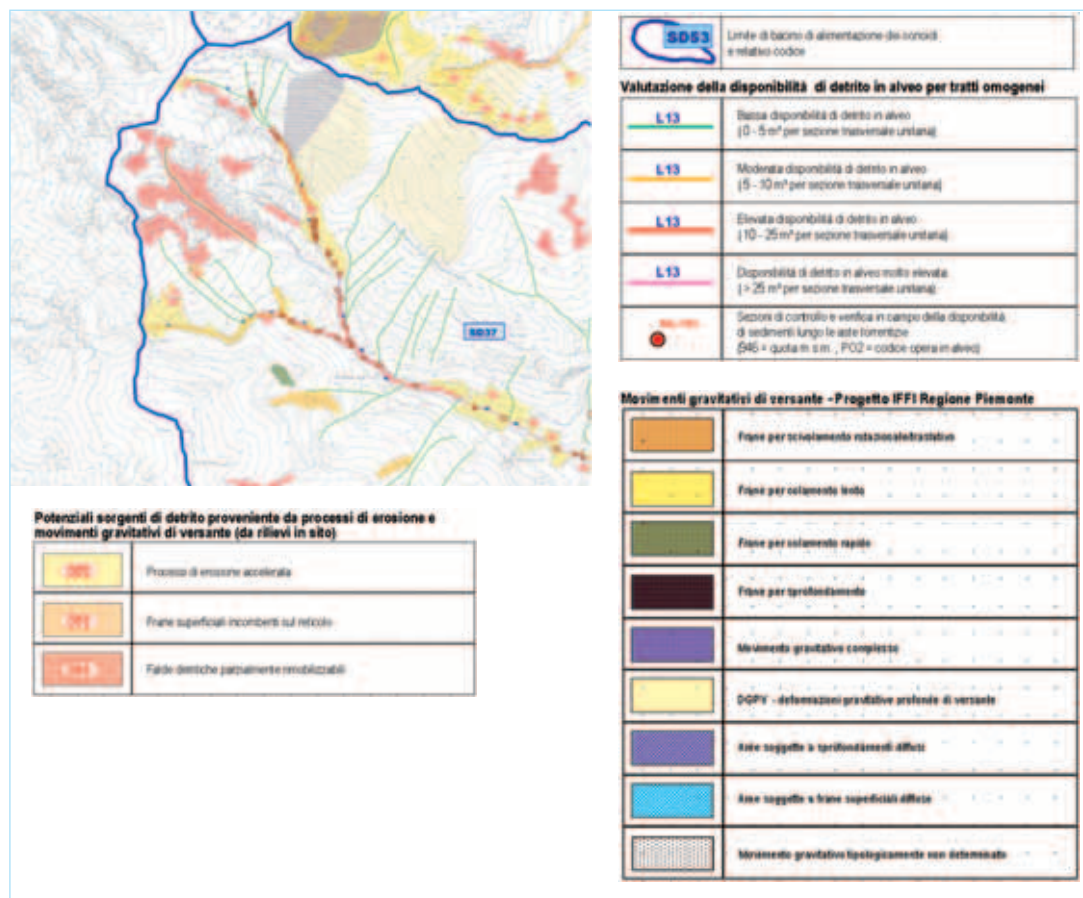


Figure 4.2.2.A/3.5 Evaluation of availability of debris in the catchment.  
Figur 4.2.2.A/3.5 Auswertung der Geschiebeverfügbarkeit in den Zuflussgebieten.  
Figura 4.2.2.A/3.5 Valutazione della disponibilità di detriti nei bacini di alimentazione.

Figure 4.2.2.A/3.6 Deposit heights expected in the high and very high risk areas of the fan in the event of a serious (scenario a) or catastrophic (scenario b) incident.

Figur 4.2.2.A/3.6 Vorgesehene Ablagerungshöhen in den Kegelgebieten mit hoher und sehr hoher Gefährdung im Fall eines schwerwiegenden (Fall a) und katastrophalen Ereignisses (Fall b).

Figura 4.2.2.A/3.6 Altezze di deposito previste nelle aree di conoide a pericolosità elevata e molto elevata in caso di evento gravoso (caso a) e catastrofico (caso b).

#### 4.2.2.A/3.4 Conclusions

The method put forward for the evaluation of levels of hazard in the fan area (Hydrodata, 2004) is based on analyses of the terrain on a macro-catchment level (Figure 4.2.2.A/3.7). The data generated increase our knowledge of the area and are managed by the Local Information System of Arpa Piemonte for the evaluation of natural risks.

The method uses historic research (of great importance for the physical phenomena handled) and detailed studies to evaluate debris availability (sample catchments).

The intrinsic margin of subjectivity involved in creating parameters of levels of hazard does not lie in the individual parameters themselves (geomorphology, incline, vegetation, runoff conditions) which can be quantified objectively in a system of relative values, but lies in the weighting to attribute to each set of parameters. For the purposes of the application summarised here, the individual preliminary factors were not given weightings different from the whole.

Despite shortcomings from a rheological point of view, the method in the detailed study aims to provide a semi-quantitative estimate of the fragility of the catchment in terms of its propensity for mass flow transport, and allows us, once parametric hazard zoning has been carried out, to make a spatial prediction of the processes expected on the fan.

#### 4.2.2.A/3.4 Schlussfolgerungen

Die vorgeschlagene Methode für die Auswertung der Gefährdung im Kegel (Hydrodata, 2004) wurde für territoriale Analysen auf der Ebene des Makro-Beckens formuliert (Figur 4.2.2.A/3.7). Die gesammelte Datenmenge erhöht das Wissen in Bezug auf das Territorium und wird vom Territorialen Informationssystem von Arpa Piemonte für die Beurteilung der Naturgefahren verwaltet.

Die Methode stützt sich auf die historische Untersuchung (die für die behandelten physikalischen Phänomene extrem wichtig ist) und auf Vertiefungskomponenten mit erheblicher Ausführlichkeit für die Auswertung der Verfügbarkeit von Geschiebe (Stichprobenbecken).

Die Spanne der Subjektivität, die der Parametrierung der Gefährdung innewohnt, liegt nicht in den einzelnen in Frage stehenden Parametern (Geomorphologie, Hangneigung, Vegetation, Abflusskonditionen), die in einem System von entsprechenden Werten objektiv quantifizierbar sind, sondern in der Entscheidung, welche Gewichtung der verschiedenen Parametergruppen zugewiesen wird. Für die hier zusammengefasste Anwendung wurden aus diesem Grund den einzelnen Faktoren keine anderen vorläufigen Gewichtungen als die Einheit zugewiesen.

Obwohl die Methode vom rheologischen Standpunkt aus Mängel hat, zielt sie bei der Vertiefung darauf ab, in semi-quantitativer Weise die Fragilität des Beckens im Hinblick auf die Neigung zu schätzen, Wildbachtransport in Massen zu erzeugen. So ist nach einer parametrischen Zonierung der Gefährdung eine räumliche Vorhersehung der Auswirkung der im Kegel erwarteten Prozesse möglich.

#### 4.2.2.A/3.4 Conclusioni

Il metodo proposto per la valutazione della pericolosità in conoide (Hydrodata, 2004) è formulato per analisi territoriali a scala di macro-bacino (Figura 4.2.2.A/3.7). Il bagaglio di dati prodotti incrementa le conoscenze relative al territorio ed è gestito dal Sistema Informativo Territoriale di Arpa Piemonte per la valutazione dei rischi naturali.

Il metodo si avvale della ricerca storica (di estrema importanza per i fenomeni fisici trattati) e di componenti di approfondimento di discreto dettaglio per la valutazione della disponibilità di detrito (bacini-campione).

Il margine di soggettività intrinseco alla parametrizzazione della pericolosità è insito non già nei singoli parametri in gioco (geomorfologia, acclività, vegetazione, condizioni di deflusso), oggettivamente quantificabili in un sistema di valori relativi, bensì nella scelta di attribuzione di pesi relativi ai diversi gruppi di parametri. Per l'applicazione qui sintetizzata non sono stati per questo motivo attribuiti ai singoli fattori preliminari pesi relativi diversi dall'unità.

Benché carente dal punto di vista reologico, il metodo nella sezione di approfondimento si propone di stimare in modo semi-quantitativo la fragilità del bacino in termini di propensione a generare trasporto torrentizio in massa, consentendo, previa zonazione parametrica della pericolosità, una previsione spaziale dell'effetto dei processi attesi in conoide.



Heuristic approaches by means of geomorphic analysis  
 § 4.2.2.A/3 ARPA PIEMONTE

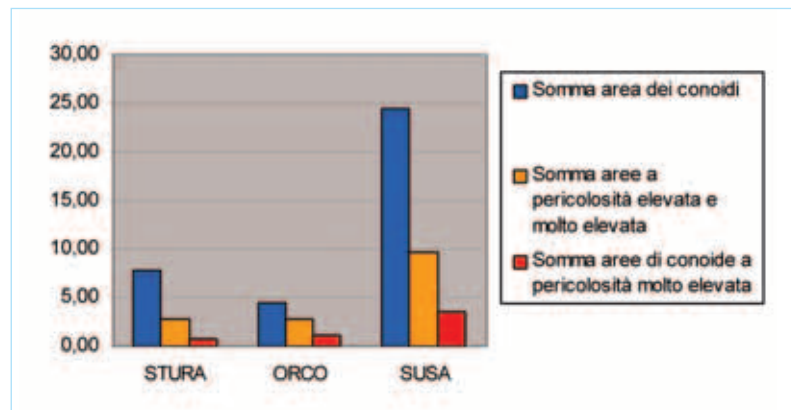
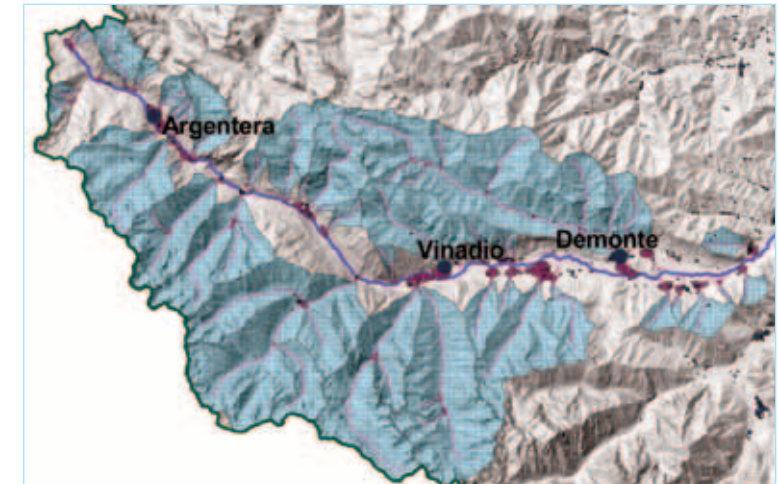
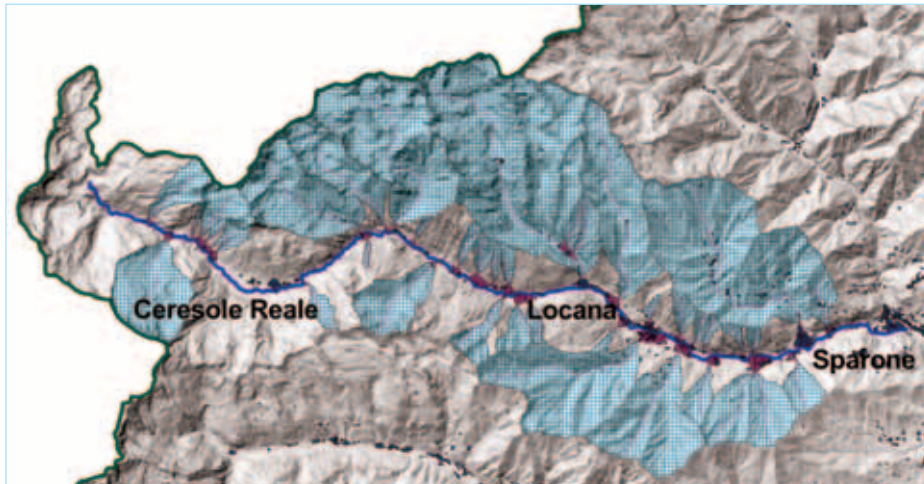


Figure 4.2.2.A/3.7 Areas studied in the CatchRisk Project: 40 catchments in Valle Orco (top left) and 60 catchments in Valle Stura (top right). The bottom picture shows a brief analysis of the created database (including data for 110 fans in the Susa Valley). In blue is the sum of the areas of all the fans studied in each valley, in yellow the sum of areas of all the fans which fall into the high and very high risk category; in red the sum of areas which fall into the very high risk category.

4.2.2.A/3.7 Im Projekt CatchRisk untersuchte Gebiete: 40 Becken im Valle Orco (oben links) und 60 Becken im Valle Stura (oben rechts). Am Seitenfuß die zusammenfassende Analyse auf der Grundlage der erzeugten Daten (einschließlich der Daten von den 110 Kegeln im Susatal). In Blau: Summe der Gebiete aller geprüften Kegel in jedem Tal, in Gelb: Summe für alle Kegel des Gebiets, die mit hoher und sehr hoher Gefährdung eingestuft wurden, in Rot: Summe der Gebiete mit sehr hoher Gefährdung.

Figura 4.2.2.A/3.7 Aree indagate nel Progetto CatchRisk: 40 bacini in Valle Orco (in alto a sinistra) e 60 bacini in Valle Stura (in alto a destra). In basso analisi sintetica sulla base dati prodotta (compresi i dati dei 110 conoidi della Val di Susa). In blu somma delle aree di tutti i conoidi esaminati in ogni valle; in giallo somma per tutti i conoidi delle aree che ricadono nelle classi a pericolosità elevata e molto elevata; in rosso somma delle aree a pericolosità molto elevata.

§ 4.2.2.A/4 REGIONE VENETO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy - Regione Veneto
Village - Ort - Comune	S. Vito di Cadore (BL)
Basin - Becken - Bacino	Piave
Notes - Bemerkungen - Note	See § 4.2.2.B/4



**CONOIDI DI CHIAPUZZA**  
Basin area 5.61 km<sup>2</sup>  
Mean basin slope 30°  
Mean altitude 1.462 m a. s. l.

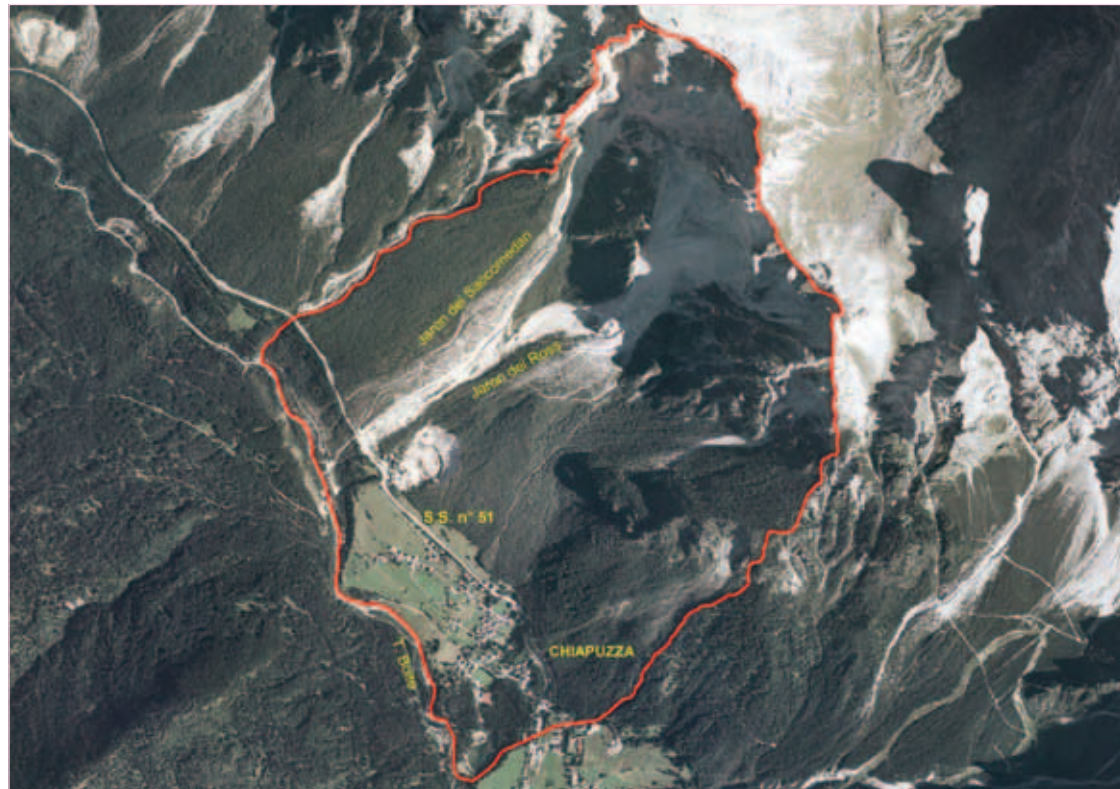


Figure 4.2.2.A/4.1 Geographical context and outline of the sample area of fans in Chiapuzza.  
Figur 4.2.2.A/4.1 Geographische Einordnung und Grenze des Untersuchungsgebiets der Kegel von Chiapuzza.  
Figura 4.2.2.A/4.1 Inquadramento geografico e perimetro dell'area campione dei conoidi di Chiapuzza.



#### 4.2.2.A/4.1 Preliminary tasks

The area in question is part of the left slope of the valley of the Boite Torrent, and is characterised by the presence of high rock faces, most of which feature dolomitic formations (Dolomia Cassiana, Dolomia Principale), and debris slopes with wide vegetation cover, where there are two debris fans (Jaron dei Ross and Jaron de Saccomedan) which are regularly subject to debris flow events. The area, which is near the southern edge of the thrust belt which makes up the dolomitic group of synclines, is heavily tectonised and affected by two thrust belts which have caused the microfracture and cataclasis of extensive areas of the rocky outcrop making up the peaks. The recent morphological evolution of the area was largely due to a rock fall in 1960, involving a mass of rock with an estimated volume of around 800.000 m<sup>3</sup>, and the consequent deposit of a large quantity of debris at the foot of the rock face. These accumulations of debris, which are constantly being added to by new rock falls, are the origin of the most recent debris flows, some of which affected a town (the village of Chiapuzza) and a busy main road (Table 4.2.2.A/4.1).

The behaviour and routes of the debris flows were conditioned by mitigation works built at different times after the fall, mainly aimed at avoiding the detachment of debris flows across the Ross and Sacomedan scree slopes to the east and towards the village of Chiapuzza.

The historic/geomorphologic approach is a functional part of a more complex study aimed at determining the level of hazard of a debris flow in the inhabited areas of Chiapuzza and the Alemagna main road at Jaron dei Sacomedan, which also entails a quantitative approach based on a three dimensional model of the area, a distributed model of flows/runoffs and a bidimensional model to model the behaviour of the flow.

#### 4.2.2.A/4.1 Vorarbeiten

Das untersuchte Gebiet gehört zum linken Talhang des T. Boite und ist geprägt durch hohe Felswände, die überwiegend aus Dolomitformationen (Dolomia Cassiana, Dolomia Principale) und aus Geröllschichten bestehen, die ausgedehnt bewachsen sind. Hier kann man zwei Schwemmkegel unterscheiden (Jaron dei Ross und Jaron de Saccomedan), an denen sich regelmäßig Phänomene von *Debris Flow* entladen. Die Zone am südlichen Rand des *Thrust-belt*, der die Dolomit-Synklinale bildet, ist intensiv tektonisiert und von zwei Überschiebungsschichten betroffen, die zu Mikrobrüchen und zur Kataklase von ausgedehnten Teilen des Felsmassivs führten, das die Gipfel bildet. Die neuere morphologische Evolution des Gebiets ist weitgehend durch einen Einsturz bestimmt, der 1960 geschah und ein Felsmassiv mit einem geschätzten Volumen von zirka 800.000 m<sup>3</sup> einbezog, und aus der folgenden Ablagerung einer großen Geröllmenge an den Falten der Felswände. Aus diesen Geschiebeansammlungen, die kontinuierlich von neuen Einstürzen gespeist werden, entstanden die jüngeren Murenabgänge, von denen einige eine Wohnsiedlung (den Ortsteil Chiapuzza) und eine Fernverkehrsstraße betrafen (Tabelle 4.2.2.A/4.1).

Verhalten und Verläufe der Muren wurden durch Milderungsbauten konditioniert, die zu verschiedenen Zeiten nach dem Einsturz errichtet wurden, überwiegend mit dem Ziel, die Lostrennung der Muren von den Geröllhalden dei Ross und di Sacomedan in Richtung Osten und zur Ortschaft Chiapuzza zu vermeiden.

Der historisch-geomorphologische Ansatz ist ein funktionaler Teil einer komplexeren Untersuchung mit dem Ziel, die Gefährdung der Wohngebiete von Chiapuzza und der Staatsstraße *Alemagna* auf der Höhe des Jaron dei Saccomedan durch Muren zu

#### 4.2.2.A/4.1 Fasi preliminari

L'area in esame è parte del versante sinistro della valle del T. Boite ed è caratterizzata dalla presenza di alte pareti rocciose, costituite per lo più da formazioni dolomitiche (Dolomia Cassiana, Dolomia Principale) e da falde detritiche, estesamente vegetate, in cui si possono distinguere i due conoidi detritici (Jaron dei Ross e Jaron de Saccomedan) lungo i quali si scaricano periodicamente fenomeni di colata detritica. La zona, vicina al margine meridionale del *thrust-belt* che costituisce il sinclinorio dolomitico, è intensamente tettonizzata ed interessata da due fasce di sovrascorrimenti che hanno determinato la microfratturazione e la cataclasi di estese porzioni dell'ammasso roccioso costituente le cime. La recente evoluzione morfologica dell'area è stata determinata, in larga misura, da un crollo avvenuto nel 1960, che ha coinvolto un ammasso roccioso del volume stimato in circa 800.000 m<sup>3</sup>, e dalla conseguente deposizione di una grande quantità di detrito alle falde delle pareti rocciose. Da questi accumuli di detrito, continuamente alimentati da nuovi crolli, si sono originate le più recenti colate detritiche, alcune delle quali hanno interessato un centro abitato (la frazione di Chiapuzza) ed una strada statale di grande comunicazione (Tabella 4.2.2.A/4.1).

Il comportamento e i percorsi seguiti dalle colate risultano condizionati dalle opere di mitigazione, costruite in tempi diversi dopo l'evento di crollo del 1960, volte per lo più ad evitare i fenomeni di avulsione delle colate detritiche dai percorsi lungo i ghiaioni dei Ross e di Saccomedan verso oriente e in direzione del villaggio di Chiapuzza.

L'approccio storico-geomorfologico è una parte funzionale di uno studio più complesso volto alla determinazione del livello di pericolosità per colata detritica delle aree abitate di Chiapuzza e della Strada Statale *Alemagna* in corrispondenza del Jaron dei

#### Heuristic approaches by means of geomorphic analysis § 4.2.2.A/4 REGIONE VENETO

The initial results of the study were used to prepare a Hydrogeological Aspect Plan, which, as provided for by Italian law, must be prepared from an evaluation of historical events.

bestimmen. Dabei ist auch ein quantitativer Ansatz vorgesehen, für den das dreidimensionale Geländemodell, ein Zufluss-Abflussmodell der Verteilung und ein zweidimensionaler Berechnungscode für die Modellierung des Murenverhaltens verwendet werden.

Die ersten Ergebnisse der Studie wurden verwendet, um den Plan der hydrogeologischen Lage zu entwerfen, der nach der italienischen Gesetzgebung auf einer ersten Auswertung der historischen Ereignisse basieren muss.

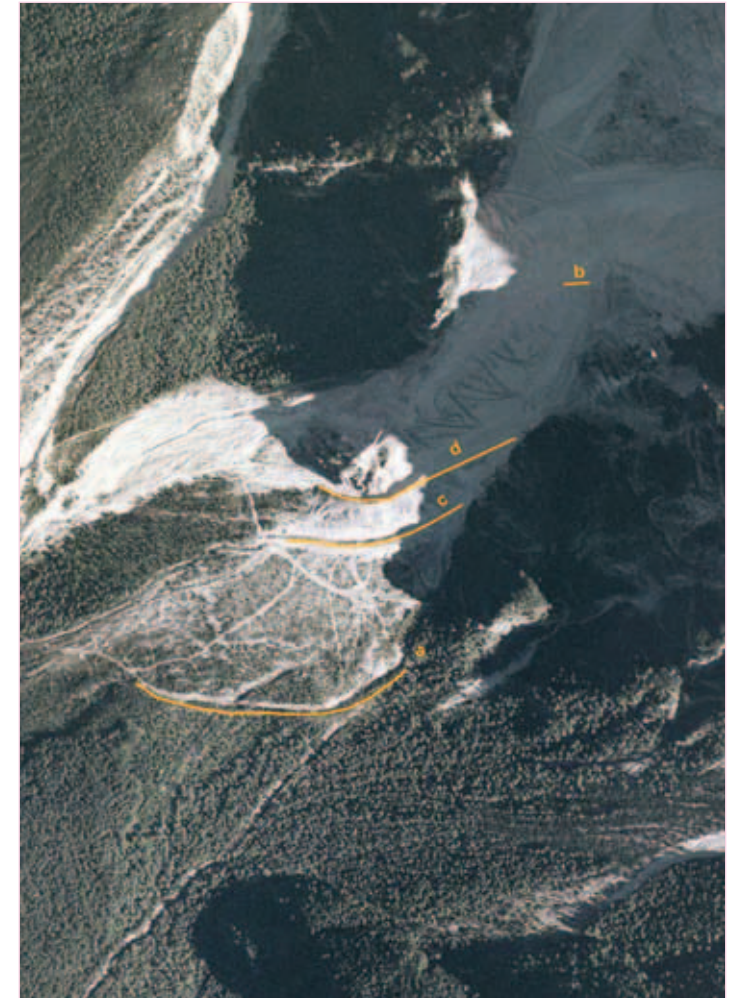
Saccomedan, che prevede anche un approccio di tipo quantitativo mediante l'utilizzo del modello tridimensionale dell'area, di un modello afflussi-deflussi di tipo distribuito e di un codice di calcolo bidimensionale per la modellazione del comportamento della colata.

I primi risultati dello studio sono stati utilizzati per la redazione del progetto di Piano di Assetto Idrogeologico che, come previsto dalla legislazione italiana, ha dovuto essere redatto in base ad una prima valutazione degli eventi storici.

**Heuristic approaches by means of geomorphic analysis**  
**§ 4.2.2.A/4 REGIONE VENETO**

*Table 4.2.2.A/4.1 Summary of recent debris flows.*  
*Tabelle 4.2.2.A/4.1 Übersicht über die jüngeren Murgänge.*  
*Tabella 4.2.2.A/4.1 Quadro sintetico delle colate detritiche recenti.*

DATA	EVENTO	AREE COINVOLTE
12/06/1960	Crollo (850.000 m <sup>3</sup> ) dalla Punta dei Ross	la depressione di impluvio è sostituita da una dorsale
4/11/1966	Colata detritica lungo il fianco sinistro della frana	Chiapuzza, S.S. Alemagna
Canale di guardia diagonalmente alla pendice a quota 1.350 m. s. l. m. (a)		
24/07/1972	Colata detritica lungo il fianco sinistro della frana	Chiapuzza, S.S. Alemagna
Costruzione: canale lungo la massima pendenza (b), muraglione in cemento armato per allontanare le acque dal corpo di frana (c), costruzione di due canali sussidiari diagonali (da quota 1620 e 1550) (d)		
18/07/1987	Colata detritica lungo il Jaron de Saccomedan	S.S. Alemagna
25/08/1994	Colata detritica lungo il Jaron de Saccomedan	S.S. Alemagna
14/09/1994	Colata detritica lungo il Jaron de Saccomedan	Crollo del muraglione in cemento armato (c)
14/07/1995	Colata detritica lungo il Jaron de Saccomedan	S.S. Alemagna
05/02/1998	Crollo di una quantità non definita di roccia	Area apicale del Jaron dei Ross



*Figure 4.2.2.A/4.2 Detail of the sample area Chiapuzza fans with the position of the mitigation works.*

*Figur 4.2.2.A/4.2 Detail des Untersuchungsgebiets Kegel von Chiapuzza mit Lage der Milderungsbauten.*

*Figura 4.2.2.A/4.2 Particolare dell'area campione (Conoidi di Chiapuzza) con la posizione delle opere di mitigazione.*

#### 4.2.2.A/4.2 Activities

The work was carried out using classic data gathering tools, multitemporal photo interpretation and field surveys. The mapping, archiving, analysis and comparison of local data was carried out by GIS.

With the intention of creating a detailed geomorphologic map, aimed at recording all features which can be traced back to debris flows, we proceeded to analyse all the aerial photographs available (1957, 1960, 1970, 1980, 1991, 1997, 2000) and photographs of flow deposits following the event and not yet removed, taken on the ground. By integrating this work with field surveys, we identified and mapped flow channels, sediment deposit lobes, adjacent, distant and lateral areas of deposit, and identified and classified normally inactive runoff channels (Figure 4.2.2.A/4.3).

Flow widths were estimated according to the results of field surveys, accounts and photographs of the deposits before their removal.

With regards to attributing speeds to previous flows, we made reference to eyewitness accounts, the level of damage to structures involved and the figures recorded for debris flows down the nearby Acquabona Torrent (between 0.5 m/s and 8.0 m/s) (Tecca *et al.* 2003), which has geomorphologic characteristics very similar to those of the area being studied. As regards the urban areas of the fan, a maximum speed of 1 m/s was considered, which was substantially borne out by the modelling carried out using the FLO-2D calculation method.

The estimate of the probable speed of the flows was made taking account of the conditions of vegetation, the sequence of past events and the natural and man-made alterations to the slopes up to that time. In the conditions described we estimated ranges of probable frequency varying from one episode every ten years (which corresponds to the average interval

#### 4.2.2.A/4.2 Aktivitäten

Die Arbeit stützte sich auf die klassischen Instrumente wie Datensammlung, multitemporale Fotointerpretation und Landvermessungen. Kartierung, Archivierung, Analyse und Vergleich der territorialen Daten erfolgten in der GIS-Umgebung.

Mit der Absicht, eine detaillierte geomorphologische Karte zu erstellen, die alle auf Muren zurückführbaren Formen registrieren sollte, wurden alle verfügbaren Luftbilder (1957, 1960, 1970, 1980, 1991, 1997, 2000) sowie die Bodenaufnahmen analysiert, die noch nicht entfernte Murenablagerungen nach einem Ereignis zeigten. Diese Arbeit wurde mit den Vermessungen vor Ort ergänzt, so dass die Übergangskanäle, die Ausläufer der Materialablagerung, die proximalen, distalen und lateralen Ablagerungsgebiete identifiziert und kartiert und die normalerweise nicht aktiven Abflusskanäle identifiziert und klassifiziert werden konnten (Figur 4.2.2.A/4.3).

Die Mächtigkeit der Muren wurde auf der Basis von Feldvermessungen, Zeugnissen und auch von Fotos geschätzt, die die Ablagerungen vor ihrer Beseitigung dokumentierten.

Um früheren Muren Geschwindigkeitswerte zuweisen zu können, bezog man sich auf direkte Zeugenaussagen zur Beschädigung der betroffenen Strukturen und auf Werte, die für die Murengänge im nahe liegenden T. Acquabona verzeichnet wurden (zwischen 0.5 m/s und 8.0 m/s) (Tecca *et al.*, 2003), da die geomorphologischen Bedingungen des dortigen Hangs dem Studiengebiet vergleichbar sind. Was den urbanisierten Kegel angeht, wurden Geschwindigkeiten von maximal 1 m/s berücksichtigt, die im Wesentlichen auch durch die Modellierungen mit dem Berechnungscode FLO-2D bestätigt wurden.

Für die Schätzung der wahrscheinlichen Häufigkeit

#### 4.2.2.A/4.2 Attività

Il lavoro si è avvalso dei classici strumenti di raccolta dati, fotointerpretazione multitemporale e rilievo in campagna. La mappatura, l'archiviazione, l'analisi ed il confronto dei dati territoriali sono stati eseguiti in ambiente GIS.

Con l'intento di realizzare una carta geomorfologica di dettaglio, mirata a registrare tutte le forme riconducibili alle colate di detrito, si è proceduto all'analisi di tutte le fotografie aeree a disposizione (1957, 1960, 1970, 1980, 1991, 1997, 2000) e di quelle da terra che hanno ritratto i depositi di colata successivi all'evento e non ancora rimossi. Integrando il lavoro con il rilievo in campagna sono stati individuati e mappati i canali di transito, i lobi di deposizione del materiale, le aree prossimali, quelle distali e laterali di deposizione e identificati e classificati i canali di deflusso non attivi ordinariamente (Figura 4.2.2.A/4.3).

Gli spessori delle colate sono stati stimati in base a rilievi sul campo, testimonianze ed anche fotografie che hanno ritratto i depositi prima che venissero rimossi.

Per quanto riguarda l'assegnazione di valori di velocità alle colate pregresse si è fatto riferimento a testimonianze dirette, al livello di danneggiamento delle strutture coinvolte e ai valori registrati per le colate detritiche lungo il vicino T. Acquabona (compresi tra 0.5 m/s e 8.0 m/s) (Tecca *et al.* 2003), ove le condizioni geomorfologiche del versante sono molto simili a quelli dell'area in studio. Per quanto riguarda la conoide urbanizzata sono stati considerati valori di velocità massima non superiori ad 1 m/s, valori sostanzialmente confermati anche dalle modellazioni effettuate tramite il codice di calcolo FLO-2D.

La stima della frequenza probabile delle colate è stata effettuata tenendo in considerazione le condizioni della vegetazione, la sequenza degli eventi pre-



between recent flow events) and one every 100 – 300 years.

Once the parameters had been identified we proceeded to evaluate the geological hazard levels.

Firstly we applied the matrix which allowed us to define hazard levels in relation to the magnitude of events. Based on a critical examination of the reliability of available parameters we then opted to make an assessment based solely on speed and probable frequency, leaving estimates of width to the results of the numeric modelling obtained with FLO-2D.

Firstly we identified the category of speed with the help of the matrix in Table 4.2.2.A/4.5, and the level of hazard with the help of the matrix in Table 4.2.2.A/4.6.

The levels of hazard identified were attributed to the envelope of areas directly involved in the flows.

der Murengänge wurden die Vegetationsbedingungen, die Sequenz der früheren Ereignisse und die natürlichen und anthropischen Änderungen der Hänge bis zu jenem Zeitpunkt einbezogen.

In den beschriebenen Bedingungen wurde die wahrscheinliche Häufigkeit variabel von einer Episode alle zehn Jahre (entspricht dem durchschnittlichen Zeitintervall zwischen einigen der jüngeren Ereignisse) bis zu einer Episode alle 100 - 300 Jahre geschätzt.

Nachdem die verschiedenen Parameter bestimmt worden waren, folgte die Auswertung der geologischen Gefährdung.

Zunächst wurde die Matrix verwendet, mit der man die Gefährdung in Abhängigkeit von der *Magnitude* der Ereignisse definiert. Nachdem die vorliegenden Parameter kritisch auf ihre Zuverlässigkeit hin untersucht worden waren, optierte man für eine Auswertung nur in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der wahrscheinlichen Häufigkeit. Die Schätzungen auf der Grundlage der Mächtigkeit wurden auf die Ergebnisse der numerischen Modellierung mit FLO-2D verschoben.

Man identifizierte dabei zunächst die Geschwindigkeitsklasse mit Hilfe der Matrix in Tabelle 4.2.2.A/4.5, dann die Gefährdungsklasse mit Hilfe der Matrix in Tabelle 4.2.2.A/4.6.

Die festgestellten Gefährdungsklassen wurden dem Komplex der direkt von Muren betroffenen Gebiete zugewiesen.

gressi e le modifiche naturali e antropiche subite dai versanti fino a quel momento.

Nelle condizioni descritte sono stati stimati *range* di *frequenza probabile* variabili da un episodio ogni dieci anni (corrispondente all'intervallo di tempo medio intercorso tra alcuni recenti eventi di colata) a un episodio ogni 100 - 300 anni.

Una volta individuati i vari parametri si è passati alla valutazione della pericolosità geologica.

E' stata dapprima utilizzata la matrice che consente di pervenire alla definizione della pericolosità in funzione della *magnitudo* degli eventi. Sulla base di un esame critico dell'attendibilità dei parametri disponibili, si è successivamente optato per una valutazione in funzione della sola velocità e della *frequenza probabile*, rinviando le stime in base agli spessori ai risultati della modellazione numerica con FLO-2D.

Si è proceduto individuando prima la classe di velocità mediante l'ausilio della matrice in Tabella 4.2.2.A/4.5, quindi la classe di pericolosità mediante l'ausilio della matrice in Tabella 4.2.2.A/4.6.

Le classi di pericolosità individuate sono state assegnate all'involuppo delle aree direttamente coinvolte nelle colate.

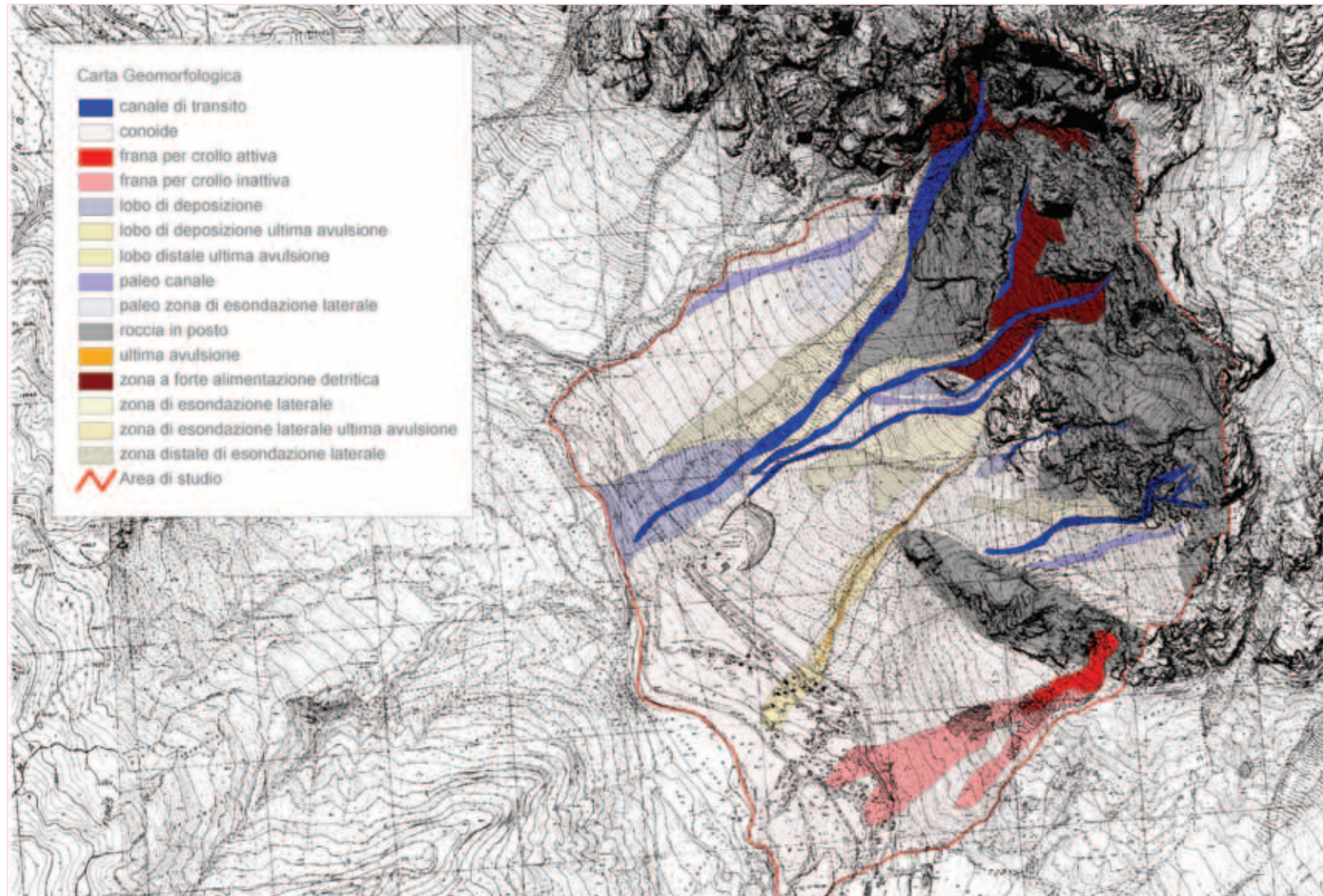


Figure 4.2.2.A/4.3 Geomorphologic map of the sample area.  
Figur 4.2.2.A/4.3 Geomorphologische Karte des Untersuchungsgebiets.  
Figura 4.2.2.A/4.3 Carta geomorfologica dell'area campione.



**Heuristic approaches by means of geomorphic analysis**  
**§ 4.2.2.A/4 REGIONE VENETO**

*Table 4.2.2.A/4.2 Intervals and categories of speed.*  
 Tabelle 4.2.2.A/4.2 Geschwindigkeitsintervalle und -klassen.  
 Tabella 4.2.2.A/4.2 Intervalli e classi di velocità.

Intervalli di Velocità (Cruden & Varnes, 1996)		Classe di velocità
Descrizione	Limite inferiore dell'intervallo di velocità	
Estremamente rapida	5 m/s	3
Molto rapida	3 m/min	
Rapida	1.8 m/h	2
Moderata	13 m/mese	
Lenta	1.6 m/anno	
Molto lenta	16 m/anno	
Estremamente lenta	< 16 mm/anno	1

*Table 4.2.2.A/4.3 Matrix for the classification of hazard level according to flow speed and probable period.*  
 Tabelle 4.2.2.A/4.3 Matrix für die Klassifizierung der Gefährdung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Phänomene und der wahrscheinlichen Periode.  
 Tabella 4.2.2.A/4.3 Matrice per la classificazione della pericolosità in funzione della velocità dei fenomeni e del periodo probabile.

Classe di velocità	Classi di pericolosità				non classificabile
	P4	P4	P3	P2	
3	P4	P4	P3	P2	non classificabile
2	P3	P3	P2	P1	
1	P2	P1	P1	P1	
Periodo probabile (anni)	1 - 30	30 - 100	100 - 300	> 300 (frane antiche)	

*Table 4.2.2.A/4.4 Matrix for the classification of geometric severity according to the width of the flow.*

Tabelle 4.2.2.A/4.4 Matrix für die Klassifizierung der geometrischen Härte in Abhängigkeit von der Mächtigkeit des Phänomens.

*Tabella 4.2.2.A/4.4 Matrice per la classificazione della severità geometrica in funzione dello spessore del fenomeno.*

Intervalli di dimensioni per crolli	Intervalli di spessori per scorrimenti e colate	Classi di severità geometrica
$D_{\text{blocchi}} > 2 \text{ m}$	Spessore > 15 m	3
$0.5 \text{ m} < D_{\text{blocchi}} < 2 \text{ m}$	2 m < Spessore < 15 m	2
$D_{\text{blocchi}} < 0.5 \text{ m}$	Spessore < 2 m	1

*Table 4.2.2.A/4.5 Matrix for the classification of magnitude according to the geometric severity and speed of the landslide.*

Tabelle 4.2.2.A/4.5 Matrix für die Klassifizierung der Magnitude in Abhängigkeit von der geometrischen Härte und der Geschwindigkeit des Erdrutschphänomens.

*Tabella 4.2.2.A/4.5 Matrice di classificazione della magnitudo in funzione della severità geometrica e della velocità del fenomeno franoso.*

Classi di severità geometrica ↓	Classi di magnitudo		
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9
Classe di velocità →	1	2	3

*Table 4.2.2.A/4.6 Classification of hazard level according to magnitude and probable period.*

Tabelle 4.2.2.A/4.6 Klassifizierung der Gefährdung in Abhängigkeit von der Magnitude und der wahrscheinlichen Periode.

*Tabella 4.2.2.A/4.6 Classificazione della pericolosità in funzione della magnitudo e del periodo probabile.*

Classi di magnitudo ↓	Classi di Pericolosità			
	P4	P4	P3	non classificabile
6 - 9	P4	P4	P3	non classificabile
3 - 4	P3	P3	P2	
1 - 2	P2	P1	P1	
Periodo probabile (anni)	1 - 30	30 - 100	100 - 300	> 300 (frane antiche)

#### 4.2.2.A/4.3 Results

The historical/morphological study and application of the matrices described yielded a speed level of 3 for the area of the *Alemagna* main road downhill from Jaron de Saccomedan. Probable frequency in the more active area came under the category 1 – 30 years, while the remaining area, due to its morphology and tree cover, came under the category 100 – 300 years. As a result, the level of hazard varied from very high to high (P4 – P3).

Flows affecting the Chiapuzza area were also given a speed level of 3. Probable frequency in this case was reckoned to fall into the category 100 – 300 years, in view of the present favourable changes in debris supply conditions which led to the formation of flows in the past. With regards to the speed matrix, hazard levels were estimated to be high (P3). Criteria of prudence also led us to include the area beyond that directly affected by previous flows, with a medium level of hazard (P2) extended to the entire urban area of the fan.

The outlines of the hazard areas obtained by applying the probable frequency method to the sample area were used with the relevant catchment authorities to prepare the Hydrogeological Aspect Plan, which also regards town planning aspects. Lastly the results of the geomorphologic approach were compared with those based on the output of modelling performed for the project using the FLO 2D model, in order to provide a more detailed hazard map of the area (§ 4.2.2.B/4).

#### 4.2.2.A/4.3 Ergebnisse

Die historisch-morphologische Untersuchung und die Anwendung der beschriebenen Matrizes haben dazu geführt, dem Gebiet mit der Staatsstraße S.S. *Alemagna* unterhalb des Jaron de Saccomedan die Geschwindigkeitsklasse 3 zuzuweisen. Die wahrscheinliche Häufigkeit in der aktivsten Zone liegt in der Klasse 1 - 30 Jahre, während für den verbleibenden Abschnitt wegen seiner Morphologie und der Bewaldung die Klasse 100 – 300 Jahre festgestellt wurde. Demzufolge ergibt sich eine Gefährdung, die von sehr hoch bis hoch variiert (P4 – P3).

Den Muren im Gebiet von Chiapuzza wurde in gleicher Weise die Geschwindigkeitsklasse 3 zugeschrieben. Die wahrscheinliche Häufigkeit wurde in diesem Fall mit der Klasse 100 – 300 Jahre eingeschätzt, da die Zuflussbedingungen, die in der Vergangenheit die Bildung von Murenepisoden begünstigten, sich derzeit positiv verändert haben. Weiterhin in Bezug auf die Matrix für die Geschwindigkeit ergab sich eine hohe Gefährdung (P3). Vorsichtige Kriterien ließen es schließlich geraten sein, auch außerhalb des von den historischen Muren direkt betroffenen Gebiets einen Streifen mit mittlerer Gefährdung (P2) zu erkennen, der sich über den ganzen urbanisierten Kegel erstreckt.

Die Gefährdungsgrenzen, die sich mit der Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit auf das Stichprobengebiet ergaben, wurden von der zuständigen Wassereinzugsbehörde für den Entwurf des Plans der hydrogeologischen Lage verwendet, der inhaltlich auch die urbanistische Anlage betrifft. Die Ergebnisse aus der Anwendung des geomorphologischen Ansatzes wurden schließlich mit denen verglichen, die aus dem *Output* der Modellierungen im Rahmen des Projekts mit dem Berechnungscode FLO-2D hervorgingen, um das Gefährdungsmodell für dieses Gebiet zu vertiefen (§ 4.2.2.B/4).

#### 4.2.2.A/4.3 Risultati

Lo studio storico - morfologico e l'applicazione delle matrici descritte hanno portato a riconoscere, per l'area che interessa la S.S. *Alemagna* a valle del Jaron de Saccomedan, la classe di velocità 3. La *frequenza probabile* nella zona più attiva è rientrata nella classe 1 - 30 anni, mentre nella rimanente porzione, in funzione della morfologia e della copertura boschiva, è stata fatta rientrare in quella 100 – 300 anni. Di conseguenza la pericolosità è risultata variare da molto elevata ad elevata (P4 – P3).

Per le colate che hanno interessato l'area di Chiapuzza è stata ugualmente riconosciuta la classe di velocità 3. La *frequenza probabile* in questo caso è stata stimata ricadere nella classe 100 - 300 anni, in quanto attualmente sono mutate in senso favorevole le condizioni di alimentazione che in passato avevano favorito la formazione degli episodi di colata. Sempre riferendosi alla matrice che considera la velocità, la pericolosità è risultata elevata (P3). Criteri prudenziali hanno infine suggerito di individuare anche all'esterno dell'area direttamente coinvolta dalle colate storiche una fascia a pericolosità media (P2), estesa a tutta la conoide urbanizzata.

Le perimetrazioni di pericolosità ottenute applicando il metodo della *frequenza probabile* all'area campione sono state utilizzate con la competente Autorità di Bacino per la redazione del Progetto di Piano di Assetto Idrogeologico, i cui contenuti riguardano anche l'aspetto urbanistico. I risultati conseguiti attraverso l'applicazione dell'approccio geomorfologico sono stati infine confrontati con quelli ottenuti sulla base degli *output* delle modellazioni eseguite nell'ambito del progetto con il codice di calcolo FLO-2D, al fine di approfondire il modello di pericolosità dell'area (§ 4.2.2.B/4).



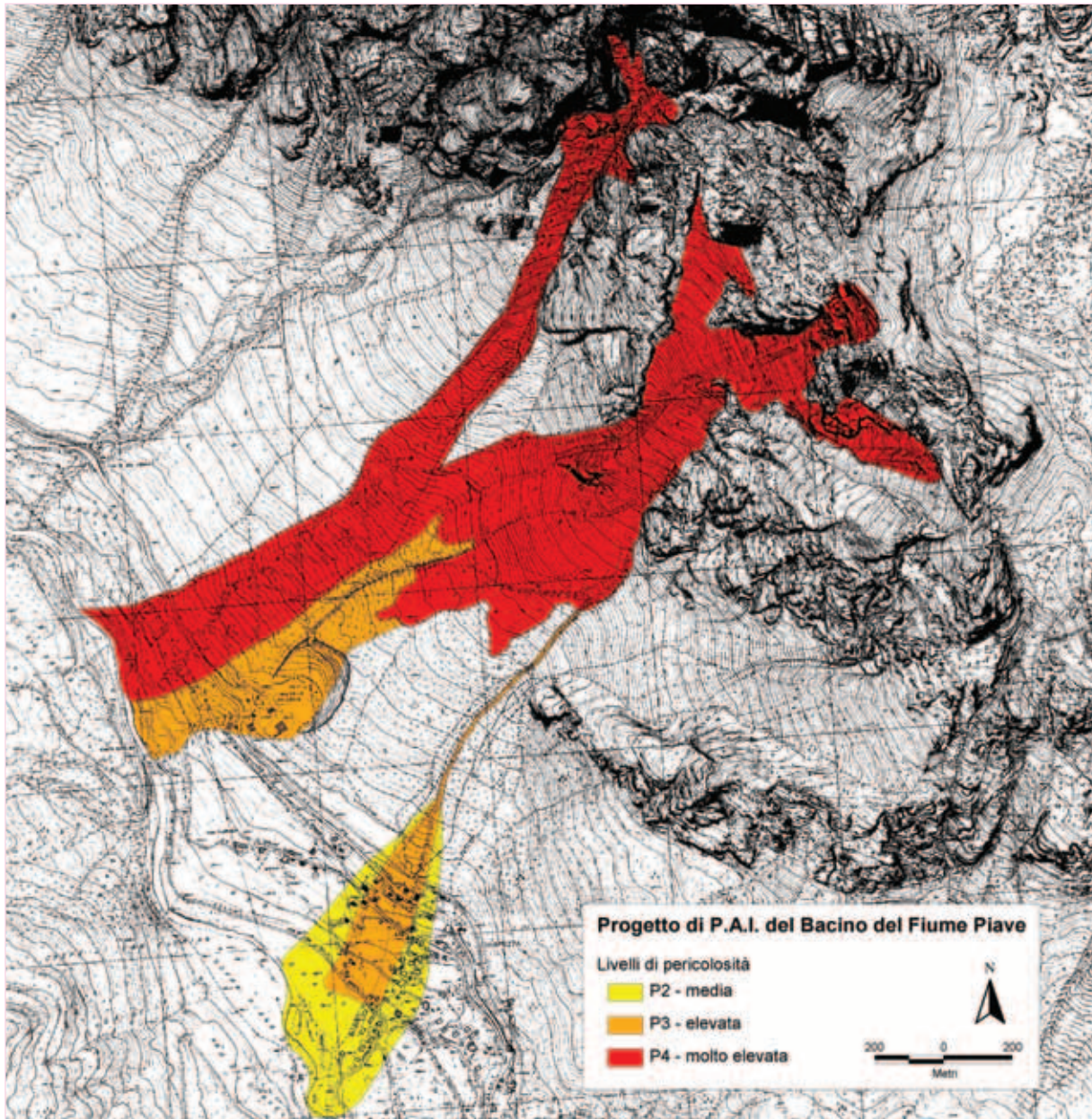


Figure 4.2.2.A/4.4 – The hazard map obtained using the probable frequency method.

Figur 4.2.2.A/4.4 – Karte der Gefährdung, erstellt mit der Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit.

Figura 4.2.2.A/4.4 – Mappa della pericolosità ottenuta applicando il metodo della frequenza probabile.



Carta del pericolo 4:  
Ipotesi di debris flow a viscosità medio-bassa e di avulsione

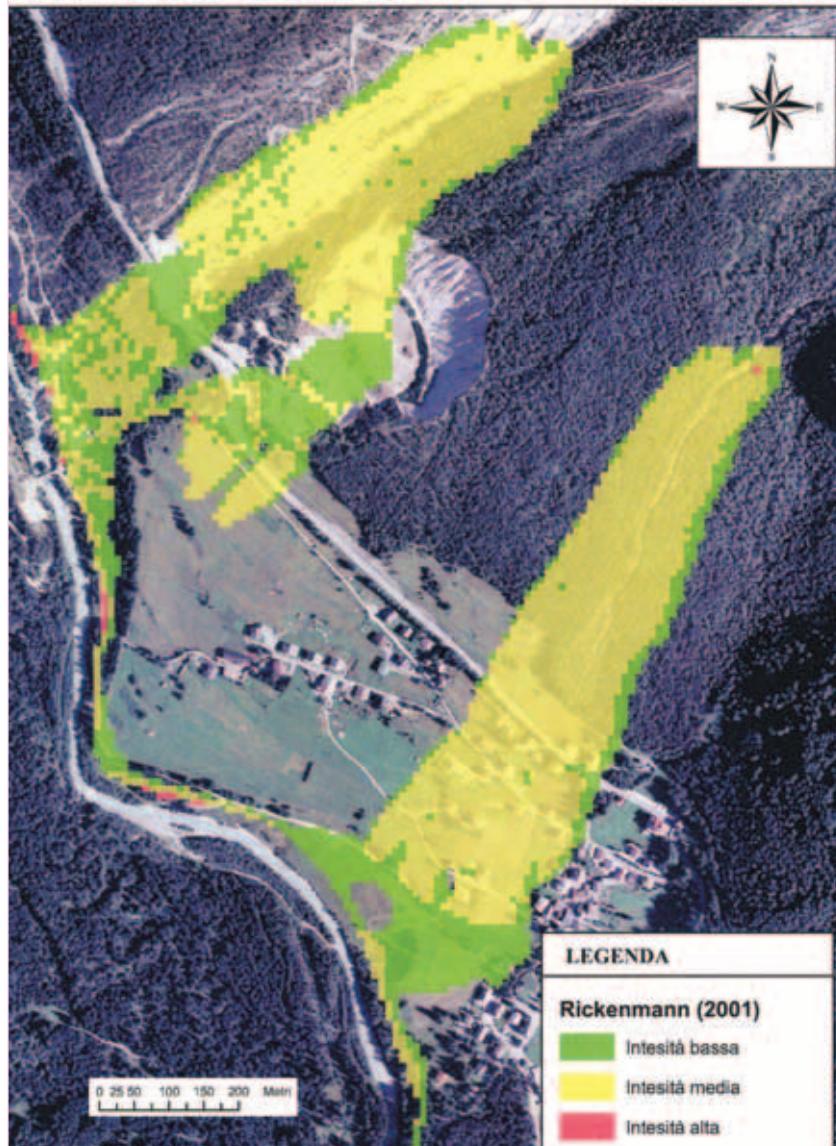


Figure 4.2.2.A/4.5 The hazard map obtained using the results of the numeric modelling performed by the FLO-2D model (Return time = 200 years).

Figur 4.2.2.A/4.5 Karte der Gefährdung auf der Grundlage der Ergebnisse aus der numerischen Modellierung, für die der Berechnungscode FLO-2D (Wiederkehrdauer = 200 Jahre) angewendet wurde.

Figura 4.2.2.A/4.5 Mappa della pericolosità ottenuta dai risultati della modellazione numerica eseguita con l'applicazione del codice di calcolo FLO-2D (Tempo di ritorno = 200 anni)

#### 4.2.2.A/4.4 Conclusions

The study and evaluation of past events represents an indispensable step towards an initial geomorphologic evaluation of hazard levels in the fan environment.

In view of this, to evaluate hazard levels in the sample area we used the probable frequency method, which is based on a limited number of parameters and groups the results into rather wide ranges. This gives rise to a loss of definition with respect to other geomorphologic methods, which are based on a higher number of variables and aim for greater detail. The method adopted enables us to make a rapid definition of the general hazard contexts which characterise the various areas that the total area of the fans can be divided into, and proved appropriate for initial evaluations which act as a basis for more detailed analyses, such as those deriving from the application of numeric flow models.

Despite the intrinsic difficulties involved in estimating probable frequency, the results obtained proved to be sufficiently objective and different operators were able to replicate the same results.

#### 4.2.2.A/4.4 Schlussfolgerungen

Die Untersuchung und Auswertung der vergangenen Phänomene stellen eine unerlässliche Phase dar, um zu einer ersten Beurteilung der Gefährdungsgrade im Kegel auf geomorphologischer Basis zu gelangen.

Aus diesem Grunde wurde für die Auswertung der Gefährdung im Stichprobengebiet die Methode der wahrscheinlichen Häufigkeit angewendet, die eine begrenzte Zahl von Parametern einbezieht und die entsprechenden Werte in ziemlich weiträumige Klassen einordnet. Dies führt zu einem Verlust der Schärfe im Vergleich zu anderen geomorphologischen Methoden, die sich auf eine größere Zahl von Variablen stützen und größere Detailgenauigkeit anstreben.

Die verwendete Methode ermöglichte es allerdings, schnell den allgemeinen Rahmen der Gefährdung für die verschiedenen Gebiete zu definieren, in die der Kegelkomplex unterteilt werden kann, und erwies sich als geeignet, Auswertungen auf erster Ebene vorzunehmen, die als Grundlage für ausführlichere Analysen dienen können, wie z.B. mit der Anwendung numerischer Flussmodelle.

Trotz der Schwierigkeiten, die der Schätzung der wahrscheinlichen Häufigkeit innewohnt, erwiesen sich die Ergebnisse außerdem als ausreichend objektiv und von verschiedenen Anwendern wiederholbar.

#### 4.2.2.A/4.4 Conclusioni

Lo studio e la valutazione dei fenomeni passati costituiscono una fase indispensabile per giungere ad una prima valutazione su base geomorfologica dei livelli di pericolosità in ambiente di conoide.

Tenendo conto di questa considerazione, per la valutazione della pericolosità nell'area campione è stata impiegata la metodologia della *frequenza probabile*, che considera un limitato numero di parametri e ne raggruppa in classi piuttosto ampie i rispettivi valori. Ciò determina una perdita di definizione rispetto ad altri metodi geomorfologici che considerano un maggior numero di variabili e ricercano un maggior dettaglio.

Il metodo adottato ha permesso comunque di definire rapidamente gli ambiti generali di pericolosità che caratterizzano le varie aree nelle quali può essere suddiviso il complesso di conoidi e si è dimostrato appropriato ad effettuare valutazioni di primo livello che possono servire di base per analisi più dettagliate, come quelle derivanti dall'applicazione di modelli numerici di flusso.

Nonostante le difficoltà intrinseche alla stima della *frequenza probabile*, i risultati ottenuti si sono inoltre dimostrati sufficientemente oggettivi e replicabili da diversi operatori.

#### 4.2.2.B Numerical modelling of debris flows

##### *General introduction to the method*

Debris flows are genuine bi-phase mixtures, the hydrodynamic behaviour of which depends greatly on the interaction between the solid component and the liquid component.

Modelling the propagation of a debris flow on a fan requires a bidimensional scheme of calculation, able to take into account the particular rheological nature of the mixture and simulate its propagation on a topographically complex, initially dry surface.

In order to outline the areas exposed to the risk of debris flows, mono-phase models (1 or 2 D), although apparently less satisfactory from the theoretical point of view than models based on the theory of particle-based mixtures and bi-phase models, are relatively simple (in that the only equations they require are continuity equations and momentum equations), and offer immediate results. These include FLO-2D, promoted by the *Federal Emergency Management Agency* (F.E.M.A.) of the United States Federal Government in the context of a study on the hydrogeological safety of an urbanised fan in Colorado, where the equations of mass and the quantity of movement were discretised using an explicit scheme with finite differences and the propagation of the flow surge was controlled by the surface topography of roughness or flow resistance. FLO-2D divides the field of movement into small rectangular cells and assigns an elevation calculation to each of these (deduced from the Digital Elevation Model) and a roughness coefficient according to Manning; the directions of movement in a bidimensional field are the four cardinal points and the four diagonals.

##### *Definition*

Mono-phase bidimensional modelling method which simulates overflow processes in fan areas.

#### 4.2.2.B Numerische Modellierung der Murgänge

##### *Allgemeine Einführung der Methode*

Murgänge sind wahre zweiphasige Mischungen, deren hydrodynamisches Verhalten stark von der Interaktion zwischen der festen und der flüssigen Phase abhängt.

Die Modellierung der Murenausbreitung in einem Kegel erfordert ein zweidimensionales Berechnungsschema, das in der Lage ist, die besondere rheologische Natur der betrachteten Mischung zu berücksichtigen und die Ausbreitung auf einem topographisch komplexen und anfänglich trockenen Untergrund in die Berechnung einzubeziehen.

Für die Abgrenzung der Zonen, die einer Murengefahr ausgesetzt sind, sind die einphasigen Modelle (ein- oder zweidimensional) – obwohl sie theoretisch im Vergleich zu Modellen auf der Grundlage der Kornmischungstheorie und zu zweiphasigen Modellen weniger befriedigend sind – relativ einfach (da sie nur die Auflösung der Gleichungen für Kontinuität und Erhaltung der Bewegungsmenge erfordern) und sofort verfügbar. Zu diesen gehört das Modell FLO-2D, das von der Federal Emergency Management Agency (F.E.M.A.) der Bundesregierung der U.S.A. im Rahmen einer Studie zur hydrogeologischen Sicherheit eines urbanisierten Kegels in Colorado gefördert wurde. Bei diesem Modell werden die Gleichungen von Bewegungsmasse und -quantität unter Verwendung eines Schemas für die finiten Differenzen diskretisiert, und die Ausbreitung der Hochwasserwelle wird von der Topographie und der Rauheit oder dem Flusswiderstand kontrolliert. FLO-2D unterteilt das Bewegungsgebiet in beliebig kleine rechteckige Zellen und weist jeder dieser Berechnungszellen eine Höhe (die aus dem digitalen Geländemodell abgeleitet wird) und einen Rauheitsbeiwert nach Manning zu; die Bewegungsrichtungen im zwei-

#### 4.2.2.B Modellazione numerica delle colate

##### *Introduzione generale sul metodo*

Le colate detritiche sono vere e proprie miscele bifase il cui comportamento idrodinamico dipende fortemente dalla interazione tra la fase solida e quella liquida.

La modellazione della propagazione di una colata detritica su un conoide richiede uno schema di calcolo bidimensionale, in grado di tenere in conto la particolare natura reologica del miscuglio considerato e di simulare la propagazione su un fondo topograficamente complesso e inizialmente asciutto.

Per la perimetrazione delle zone esposte a pericolo di colata i modelli monofase (mono- o bi-dimensionali), sebbene meno soddisfacenti dal punto di vista teorico rispetto ai modelli basati sulla teoria dei miscugli granulari e ai modelli bi-fase, sono relativamente semplici (in quanto richiedono la risoluzione delle sole equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto) e immediatamente disponibili. Tra questi si colloca il modello FLO-2D, promosso dalla Federal Emergency Management Agency (F.E.M.A.) del Governo Federale degli Stati Uniti nell'ambito di uno studio sulla sicurezza idrogeologica di un conoide urbanizzato del Colorado, in cui le equazioni della massa e della quantità di moto sono discretizzate utilizzando uno schema esplicito alle differenze finite e la propagazione dell'ondata di piena è controllata dalla topografia e dalla scabrezza o resistenza al flusso. FLO-2D suddivide il campo di moto in celle rettangolari di dimensione piccola a piacere ed assegna ad ognuna di queste celle di calcolo un'elevazione (dedotta dal Modello Digitale del Terreno) ed un coefficiente di scabrezza secondo Manning; le direzioni di moto in campo bidimensionale sono i 4 punti cardinali e le 4 direzioni diagonali.

##### *Definizione*

Metodologia modellistica monofase bi-dimensionale



### *Aims*

To define quantitative procedures which limit the arbitrary, uneven characteristics of fan hazard assessments.

### *Potential*

FLO-2D can be used to simulate a number of different flow processes which affect urban areas and the planning of measures to mitigate risk.

The model includes a number of components which enable us to enhance the detail of the simulation, taking into account the presence of buildings and embankments; the procedure allows us to consider the effect of flow obstruction in correspondence with obstacles, bridges and drains.

The model takes sediment transport into account, allowing us to simulate mud and debris flows.

### *Limits*

Results vary greatly when parameters are altered, so in order to guarantee a reliable outcome it is necessary to acquire detailed knowledge of how the model works and the rheological behaviour of materials.

To work correctly it requires highly accurate topographic input data, which means that the process is a lengthy one, and the costs involved in gathering the data are high.

### *Activities*

- In-situ surveys to identify the possible rheological characteristics of a flow;
- preliminary hydrological model to identify the characteristics of a possible liquid flow surge;
- processing altimetric information to produce a good quality Digital Elevation Model;
- the modelling process itself;
- validation.

### *Expected products*

A set of information which, once mapped and cor-

mensionalen Feld sind die 4 Kardinalpunkte und die 4 diagonalen Richtungen.

### *Definition*

Einphasige, zweidimensionale Modellierungsmethode, die Aggradationsprozesse in Kegelgebieten simuliert.

### *Ziel*

Zweck des Modells ist es, quantitative Verfahren zu definieren, um die Spielräume von Willkür und Inhomogenität zu verringern, durch die Studien zur Bewertung der geologischen Gefährdung im Kegel geprägt sind.

### *Potenzialität*

FLO-2D ist geeignet, verschiedene Wildbachprozesse zu simulieren, die spezifisch urbane Gebiete betreffen, und ist für die Planung von Gefahrenminderungsmaßnahmen nützlich.

Das Modell umfasst eine Anzahl von Komponenten, mit denen die Simulation im Detail verbessert werden kann, indem Gebäude und Dämme berücksichtigt werden; das Verfahren ermöglicht auch, die Auswirkung der Flussbehinderung an Hindernissen, Brücken und Kanalschächten einzubeziehen.

Das Modell berücksichtigt Feststofftransport und erlaubt so die Simulation von Murgänge.

### *Grenzen*

Die Ergebnisse variieren stark bei Änderung der Parameter; damit sie zuverlässig sind, müssen daher vertiefte Kenntnisse über die Funktionalität des Modells und das rheologische Verhalten der Materialien erworben werden.

Für eine korrekte Auswertung sind ziemlich sorgfältige topographische Ausgangsdaten erforderlich, die nicht nur recht lange Berechnungszeiten verursachen, sondern auch nur zu hohen Kosten erhältlich sind.

che simula processi di sovralluvionamento in aree di conoide.

### *Finalità*

Definire procedure quantitative che restringano i margini di arbitrarietà e di disomogeneità che caratterizzano gli studi di valutazione della pericolosità geologica in conoide.

### *Potenzialità*

FLO-2D è adatto a simulare diversi processi torrentizi che interessano specificatamente aree urbane ed è utile per la progettazione di misure di mitigazione del rischio.

Il modello include un numero di componenti che permettono di migliorare il dettaglio della simulazione, tenendo conto della presenza di edifici e di argini; la procedura permette di considerare l'effetto di ostruzione al flusso in corrispondenza di ostacoli, ponti e tombini.

Il modello tiene conto del trasporto solido, consentendo la simulazione di colate detritiche e fangose.

### *Limiti*

I risultati variano molto modificando i parametri, di conseguenza è necessario acquisire conoscenze approfondite sulla funzionalità del modello e sul comportamento reologico dei materiali.

Per un corretta elaborazione si richiedono dati topografici di partenza piuttosto accurati che, oltre a determinare tempi computazionali piuttosto lunghi, non sono disponibili se non a costi elevati.

### *Attività*

- Attività di rilievo in sito per individuare le possibili caratteristiche reologiche di una colata;
- modellazione idrologica preliminare per l'individuazione delle caratteristiche di una possibile onda liquida di piena;
- elaborazione dell'informazione altimetrica per pro-

rectly interpreted, provides quantitative hazard maps of the areas being studied.

Identification of the developmental characteristics of flows with possible consequences on the planning of risk mitigation works; verification of existing mitigation works.

The soundness of the results supplied by the model depends crucially on the rheological definition of the flow and the temporal development of the concentration. Roughness, however important, would not appear to play a key role in some applications.

#### *Appropriate professional figures*

Environmental engineer, hydraulic engineer, forestry scientist, geologist with modelling experience.

#### *Aktivitäten*

- Vermessungen vor Ort, um die möglichen rheologischen Eigenschaften eines Murenabgangs zu erkennen;
- vorläufige hydrologische Modellierung zur Erkennung der Eigenschaften einer möglichen Hochwasserwelle;
- Auswertung der Höhenmessungen, um ein digitales Geländemodell guter Qualität zu erstellen;
- die eigentliche Modellierung;
- Validierung.

#### *Erwartete Produkte*

Eine Reihe von Informationen, die in Karten übertragen und angemessen interpretiert werden, liefern Gefährdungskarten für die untersuchten Gebiete auf quantitativer Ebene.

Identifizierung der Evolutionseigenschaften der Muren mit möglichen Auswirkungen auf die Planung von Risikomilderungsmaßnahmen; Prüfung der bestehenden Milderungsbauten.

Die Qualität der vom Modell gelieferten Ergebnisse hängt entscheidend von der rheologischen Definition der Mure und vom Zeitverlauf der Konzentration ab. Die Rauheit scheint, so wichtig sie ist, in einigen Applikationen keine wesentliche Rolle zu spielen.

#### *Geeignete Berufsbilder*

Umwelt- und Wasserbauingenieure, Forstwirte, Geologen mit Modellerfahrung.

durre un Modello Digitale del Terreno di buona qualità;

- modellazione vera e propria;
- validazione.

#### *Prodotti attesi*

Serie di informazioni che riportate in cartografia e opportunamente interpretate forniscono mappe di pericolosità su base quantitativa delle aree indagate. Individuazione delle caratteristiche evolutive delle colate con possibili ricadute sulla progettazione di opere di mitigazione del rischio; verifica delle opere di mitigazione esistenti.

La bontà dei risultati forniti dal modello dipende in modo cruciale dalla definizione reologica della colata e dall'andamento temporale della concentrazione. La scabrezza, per quanto importante, in alcune applicazioni non pare giocare un ruolo fondamentale.

#### *Figure professionali idonee*

Ingegnere ambientale, ingegnere idraulico, dottore forestale, geologo con competenze modellistiche.

§ 4.2.2.B/1 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy - Provincia Autonoma di Trento
Village - Ort - Comune	Mazzin di Fassa (TN)
Basin - Becken - Bacino	Avisio
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Dona
Notes - Bemerkungen - Note	see § 4.2.2.A/1 and § 4.2.2.B/2



Figure 4.2.2.B/1.1 Geographical setting of the Rio Dona and photograph of the 1989 event (Source: Archives of the Mountain Safety Service).  
Figur 4.2.2.B/1.1 Geographische Einordnung des Rio Dona und Foto des Ereignisses von 1989 (Quelle: Archivio Servizio Sistemazione Montana).  
Figura 4.2.2.B/1.1 Inquadramento geografico del Rio Dona e foto d'evento del 1989 (Fonte: Archivio Servizio Sistemazione Montana).

#### 4.2.2.B/1.1 Preliminary tasks

The independent province of Trento decided to apply the same numerical model (FLO-2D) to different areas starting from two different types of topographic information (detailed topographic survey, and laser-scanner survey), implementing different strategies in terms of the organisation and analysis of available input data for the model.

Below are the results of the first application; § 4.2.2.B/2 details the results of the second.

In the case of Rio Dona, the preliminary stage entailed carrying out a detailed topographic survey of the fan, in view of the fact that alongside the Provincial Technical Map on a scale of 1:10.000, there was a 1:2.000 map which was not detailed enough for the project, and not up to date, not showing the location of the most recent constructions.

After an initial stage of study of the area, two measuring techniques were adopted: in open areas double frequency GPS was used, while in the urban area a total station was used. The area was around 21 ha, and required 2.682 points to be established. This figure was used to produce equidistant isometric curves at 0.5 m and an accurate Digital Elevation Model with a 5 x 5 m<sup>2</sup> grid.

#### 4.2.2.B/1.1 Vorarbeiten

Die Autonome Provinz Trient hat beschlossen, die gleiche numerische Modellierung (FLO-2D) in verschiedenen Gebieten anzuwenden, und zwar ausgehend von zwei verschiedenen Arten topographischer Informationen (topographische Detailvermessung und Erhebung mit *Laser-Scanner-Technologie*) und mit unterschiedlichen Entscheidungen auf der Ebene der Organisation und Analyse der verfügbaren Eingabedaten für das Modell. Im Folgenden werden die Ergebnisse der ersten Anwendung dargestellt; in § 4.2.2.B/2 werden die Ergebnisse der zweiten erläutert.

Im Fall des Rio Dona bestand die Vorbereitung aus der topographischen Detailvermessung des Kegels, denn für das gesamte Kegelgebiet existierte – neben der Provinz-Grundkarte (*Carta Tecnica Provinciale*) im Maßstab 1:10.000 – eine Kartographie im Maßstab 1:2.000, die für diesen Zweck nicht detailliert und nicht aktuell genug war, da sie die Standorte der jüngeren Bauten nicht verzeichnete.

Nach einer Eingangs-Untersuchungsphase des Gebiets wurden zwei Messtechniken angewandt: In offenen Zonen wurde GPS mit Doppelfrequenz eingesetzt, in der Ortschaft die Totalstation. Die vermessene Fläche betrug zirka 21 ha und erforderte die Erhebung von 2.682 Punkten. Aus dieser Vermessung wurden isometrische Kurven mit einer Äquidistanz von 0.5 m und ein präzises digitales Geländemodell mit einem Raster von 5 x 5 m<sup>2</sup> gewonnen.

#### 4.2.2.B/1.1 Fasi preliminari

La Provincia Autonoma di Trento ha scelto di applicare la stessa modellazione numerica (FLO-2D) in aree differenti a partire da due diverse tipologie di informazioni topografiche (rilievo topografico di dettaglio e rilievo con tecnologia *laser-scanner*) e operando scelte differenti a livello di organizzazione ed analisi dei dati disponibili di *input* al modello. Di seguito vengono esposti i risultati della prima applicazione; nel § 4.2.2.B/2 saranno esposti i risultati conseguiti nella seconda, sul Rio Vagung.

Nel caso del Rio Dona la fase preliminare è consistita nell'effettuare un rilievo topografico di dettaglio del conoide, in quanto esisteva, accanto alla Carta Tecnica Provinciale in scala 1:10.000, una cartografia in scala 1:2.000 non sufficientemente dettagliata allo scopo e non aggiornata in quanto non riportava l'ubicazione delle costruzioni più recenti.

Dopo una iniziale fase di studio dell'area, sono state adottate due tecniche di misurazione: nelle zone aperte è stato adottato il GPS a doppia frequenza, nel centro abitato la stazione totale. La superficie rilevata è stata di circa 21 ha ed ha richiesto il rilevamento di 2.682 punti. Da questo rilievo sono state ricavate curve isometriche con equidistanza di 0.5 m e un accurato Modello Digitale del Terreno con maglia di 5 x 5 m<sup>2</sup>.



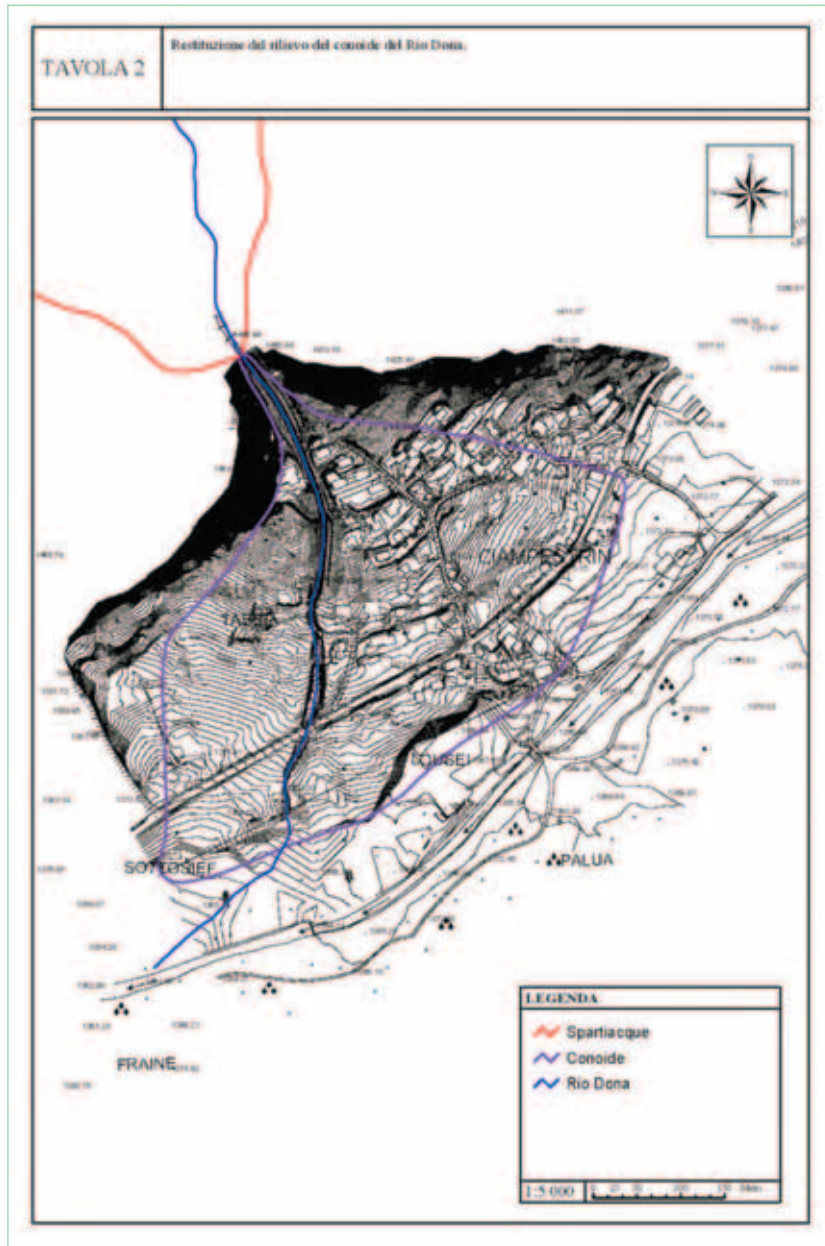


Figure 4.2.2.B/1.2 Topographic restitution of the Rio Dona fan.  
Figur 4.2.2.B/1.2 Topographische Darstellung des Rio Dona-Kegels.  
Figura 4.2.2.B/1.2 Restituzione topografica del conoide del Rio Dona.

#### 4.2.2.B/1.2 Activities

In order to apply the model correctly, a number of procedures must be followed, as below:

- creation of a sufficiently detailed Digital Elevation Model; a Digital Elevation Model with a 5 x 5 m<sup>2</sup> grid was chosen because it provides sufficiently detailed information and also allows the simulation to be carried out in a reasonable length of time (maximum 6 - 8 hours);
- spatial definition of the area where the model is required to perform the simulation;
- assignation of Manning's roughness coefficient (Table 4.2.2.B/1.1) for each element in the calculation grid;
- definition of cells belonging to the outline of the calculation area which allow overflow of water and sediment from adjacent cells;
- assignation of a hydrograph for each cell expected to be covered by the flow surge;
- assignation of a sediment hydrograph to combine with the water hydrograph;
- definition of the basic computational parameters which govern the simulation and the criteria for numeric stability of the calculation scheme;
- definition of rheological parameters of the debris flow;
- inclusion of other parameters and elements which can be used to perfect the results of the simulation (roads, channels, embankments, *etc.*).

To enhance the representation of the phenomenon the following strategies were implemented:

- a check that the quotas of the cells in the channel coincided with the quotas measured in the detailed survey of the cross sections;
- all the cells of the floodplain topographically affected by the channel were assigned a value for the roughness coefficient of Manning lower than those of the surrounding floodplain, unless there was a

#### 4.2.2.B/1.2 Aktivitäten

Um das Modell korrekt verwenden zu können, müssen mehrere Verfahrensphasen eingehalten werden. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Folgende:

- Erstellung eines ausreichend detaillierten digitalen Geländemodells; es wurde ein Geländemodell mit einem Raster von 5 x 5 m<sup>2</sup> gewählt, denn es liefert eine graphische Information mit ausreichenden Einzelheiten und ermöglicht gleichzeitig, dass die Simulation sich in einem vernünftigen Zeitrahmen abspielt (6 - 8 Stunden maximal);
- Räumliche Definition des Gebiets, für das das Modell die Simulation ausführen muss;
- Zuweisung der Rauheitsbeiwerte von Manning (Tabelle 4.2.2.B/1.1) für jedes der Elemente, die das Berechnungsraster darstellen;
- Definition der Zellen, die zum Umriss der Berechnungsregion gehören, aus denen das Austreten flüssiger und fester Strommengen aus den angrenzenden Zellen zulässig ist;
- Zuweisung eines Hydrogramms für jede Zelle, für die der Zulauf der Hochwasserwelle vorgesehen ist;
- Zuweisung des Feststoff-Hydrogramms, das mit dem Flüssig-Hydrogramm zu koppeln ist;
- Definition der Basis-Berechnungsparameter, die die Simulation und die numerischen Stabilitätskriterien des Berechnungsschemas regeln;
- Definition der rheologischen Parameter der Mure;
- Einführung anderer nützlicher Parameter und Elemente, um das Simulationsergebnis zu vervollkommen (Straßen, Kanäle, Dämme, *etc.*).

Um die Darstellung des Phänomens zu verbessern, wurden außerdem folgende Maßnahmen ergriffen:

- Es wurde kontrolliert, dass die Zellenhöhen, in die der Kanal fällt, den in der Detailvermessung der Querschnitte gemessenen Höhen entsprechen;

#### 4.2.2.B/1.2 Attività

Per poter utilizzare correttamente il modello devono essere rispettate una serie di fasi procedurali che sono essenzialmente:

- creazione di un Modello Digitale del Terreno sufficientemente dettagliato; si è scelto un Modello Digitale del Terreno con maglia di 5 x 5 m<sup>2</sup> perché fornisce un'informazione grafica di sufficiente dettaglio e, al tempo stesso, permette che la simulazione si svolga in tempi ragionevoli (6 - 8 ore al massimo);
- definizione spaziale dell'area entro la quale il modello deve seguire la simulazione;
- assegnazione dei coefficienti di scabrezza di Manning (Tabella 4.2.2.B/1.1) per ognuno degli elementi che costituiscono la griglia di calcolo;
- definizione delle celle appartenenti al contorno della regione di calcolo, dalle quali è consentita la fuoriuscita delle portate liquide e solide provenienti dalle celle contigue;
- assegnazione di un idrogramma per ognuna delle celle per le quali è previsto l'ingresso dell'onda di piena;
- assegnazione dell'idrogramma solido da accoppiare all'idrogramma liquido;
- definizione dei parametri computazionali di base che regolano la simulazione e i criteri di stabilità numerica dello schema di calcolo;
- definizione dei parametri reologici della colata detritica;
- introduzione di altri parametri ed elementi utili per perfezionare il risultato della simulazione (strade, canali, argini, *etc.*).

Per migliorare la rappresentazione del fenomeno, si sono inoltre intraprese le seguenti iniziative:

- si è controllato che le quote delle celle in cui ricadeva il canale coincidessero con le quote rilevate nel rilievo di dettaglio delle sezioni trasversali;

Numerical modelling of debris flows  
 § 4.2.2.B/1 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

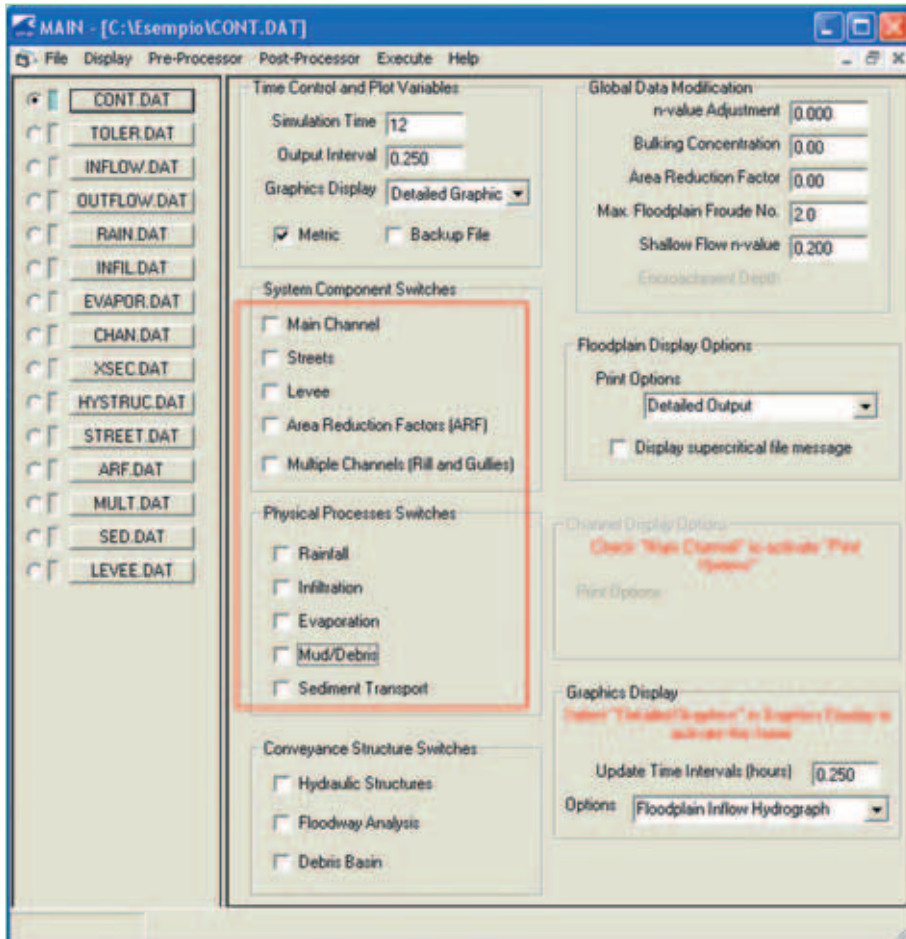


Table 4.2.2.B/1.1 Level of roughness according to the Manning coefficient.

Tabelle 4.2.2.B/1.1 Rauheitsbeiwert nach dem Manning-Index.

Tabella 4.2.2.B/1.1 Valore di scabrezza dell'indice di Manning.

VALORI DI SCABREZZA DELL'INDICE DI MANNING	
Superficie	valore di n
Tappeto erboso denso	0.17 - 0.80
Prati e vegetazione densa	0.17 - 0.48
Arbusti, sottobosco e pascoli	0.30 - 0.40
Prato a copertura media	0.20 - 0.40
Prato a scarsa copertura su superficie scabra	0.20 - 0.30
Prateria	0.10 - 0.20
Vegetazione sparsa	0.05 - 0.13
<i>Terreni a copertura rada con detrito</i>	
copertura 0 %	0.09 - 0.34
copertura 20 %	0.05 - 0.25
<i>Campi dissodato coltivati</i>	
Maggese – senza residuo	0.008 - 0.012
Coltura tradizionale	0.06 - 0.22
Dissodato	0.06 - 0.16
Epicatura autunnale	0.30 - 0.50
Non coltivato – senza residuo	0.04 - 0.10
Non coltivato (20 - 40 % di residuo)	0.07 - 0.17
Non coltivato (60 - 100 % di residuo)	0.17 - 0.47
Terreno aperto con detriti	0.10 - 0.20
Asfalto o calcestruzzo (da 0.635 a 2.54 cm)	0.10 - 0.15
Campo a maggese	0.08 - 0.12
Spazi aperti senza detriti	0.04 - 0.10
Asfalto o calcestruzzo	0.02 - 0.05

<sup>1</sup>Adattato da COE, HEC-1 Manual, 1990 e da COE, Technical Engineering and Design Guide, No. 19, 1997 con modifiche.

Figure 4.2.2.B/1.3 The main screen view of FLO – 2D. The red box shows items which can be implemented to enhance the detail of the simulation.

Figur 4.2.2.B/1.3 Hauptbildschirm von FLO-2D. Das rote Feld zeigt die Positionen, die man aktivieren kann, um die Detailanzeige der Simulation zu steigern.

Figura 4.2.2.B/1.3 Schermata principale del FLO – 2D. Il riquadro rosso evidenzia le voci che si possono attivare per aumentare il dettaglio della simulazione.



## Numerical modelling of debris flows

### § 4.2.2.B/1 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

- road or paved surface on the side of the channel;
  - assurance of congruency between the dimensions of the cells where the channel was present and the actual width of the channel;
  - the buildings, roads and bridge blockages were also included in the model.
- allen Zellen der Überflutungsebene (*Floodplain*), die topographisch vom Kanal betroffen sind, wurde ein geringerer Rauheitsbeiwert von Manning zugewiesen als denen der umliegenden *Floodplain*, sofern sich nicht seitlich am Kanal eine Straße oder eine betonierte Fläche befindet;
  - die Kongruenz zwischen den Zellen, in denen der Kanal vorkommt, und der tatsächlichen Kanalbreite wurde sichergestellt;
  - Außerdem wurden die Gebäude, Straßen und Brückenabschlüsse in das Modell eingefügt.
- in tutte le celle del piano di inondazione (*floodplain*), interessate topograficamente dal canale, si sono assegnati dei valori del coefficiente di scabrezza di Manning più ridotti rispetto a quelli relativi alla *floodplain* circostante, a meno che lateralmente al canale non fosse presente una strada o una superficie pavimentata;
  - si è assicurata la congruenza fra le dimensioni delle celle dove era presente il canale e la larghezza effettiva del canale;
  - sono stati inoltre inseriti nel modello gli edifici, le strade e le occlusioni dei ponti.

#### 4.2.2.B/1.3 Results

The model enables us to follow the hydraulic effects of the propagation of a water-sediment flow surge, during and after the event. The most significant hydraulic variables provided by the model are: maximum height reached by the flow in each cell of the field of movement throughout the entire simulation ( $h$ ) and maximum flow speed affecting each cell of the field of movement throughout the entire simulation ( $V$ ). The resulting data enables us to obtain two different thematic maps: a map of the distribution of flow heights and a map of the distribution of flow speeds. By combining the two we can create a hazard map. In order to combine parameters  $h$  and  $V$  we used the classification criteria put forward by BUWAL (1997) and Rickenmann (2001). The first provides more cautious results and is easy to implement, including for modelling with a simplified approach. The Rickenmann classification modulates the various categories of intensity better, but it requires a good knowledge of the  $h$  and  $V$  values, which is provided by the model FLO-2D.

The Rickenmann method (top, Figure 4.2.2.B/1.5) provides a more detailed summary of the overall characteristics of the overflow phenomenon, without taking into consideration those areas which are not affected by the flow (white areas). The white areas which appear on the map created using the BUWAL criteria (bottom, Figure 4.2.2.B/1.5), while not affected by the flow, are assigned a low hazard level merely in view of the fact that they belong to a fan subject to flow events. Rickenmann offers a more accurate description of the hazard area on the hydrographic left of the tip of the fan.

It is worth noting that where  $h = 1$  metre, to define a high hazard level in the BUWAL method (as opposed to 1.5 m in the Rickenmann method), this means that the area of the fan on the hydrographic left down-

#### 4.2.2.B/1.3 Ergebnisse

Mit diesem Modell können die hydraulischen Auswirkungen der Ausbreitung einer fest-flüssigen Hochwasserwelle während des Ereignisses und nach seinem Abschluss verfolgt werden. Die wichtigsten hydraulischen Variablen, die das Modell liefert, sind: maximale Höhe, die der Fluss in jeder Zelle des Bewegungsfeldes im Laufe der gesamten Simulation erreicht hat ( $h$ ), und maximale Flussgeschwindigkeit in jeder Zelle des Bewegungsfeldes im Laufe der gesamten Simulation ( $V$ ).

Mit diesen Daten kann man zwei verschiedene thematische Karten erhalten: Die Karte der Flusshöhenverteilung und die Karte der Geschwindigkeitsverteilung, aus deren Kombination man dann die Gefahrenkarte erhält. Für die Kombination der Parameter  $h$  und  $V$  wurde auf die von BUWAL (1997) und von Rickenmann (2001) vorgeschlagenen Klassifizierungskriterien zurückgegriffen. Die erste Methode liefert vorsichtiger Ergebnisse und kann auch für Modellierungen des Phänomens verwendet werden, die mit vereinfachten Ansätzen ausgeführt wurden. Die Klassifizierung von Rickenmann moduliert die verschiedenen Intensitätsklassen besser, erfordert allerdings für ihre Anwendung eine gute Kenntnis der Werte  $h$  und  $V$  – eine Bedingung, die das Modell FLO-2D voll erfüllt.

Die Methode von Rickenmann (Figur 4.2.2.B/1.5 oben) fasst die Gesamteigenschaften des Aggradationsphänomens aussagekräftiger zusammen, denn es berücksichtigt Gebiete, die nicht vom Fluss betroffen sind, nicht (weiße Gebiete). Die weißen Flächen dagegen, die in der Kartierung nach dem BUWAL-Kriterium erscheinen (Figur 4.2.2.B/1.5 unten), zeigen, obwohl sie nicht vom Fluss betroffen sind, nur durch die Tatsache, dass sie zu einem von Muren betroffenen Kegel gehören, eine Situation niedriger Gefährdung an. Die Gefahrenzone, die auf der

#### 4.2.2.B/1.3 Risultati

Il modello consente di seguire gli effetti idraulici della propagazione di un'onda di piena solido-liquida, in corso d'evento e ad evento concluso. Le variabili idrauliche più significative che vengono fornite dal modello sono: altezza massima raggiunta dal flusso su ogni cella del campo di moto nel corso dell'intera simulazione ( $h$ ) e velocità massima del flusso che ha interessato ogni cella del campo di moto nel corso della simulazione ( $V$ ).

I dati ottenuti consentono di ottenere due differenti mappe tematiche: la carta di distribuzione delle altezze di flusso e la carta di distribuzione delle velocità; attraverso la loro combinazione è possibile ricavare la mappa del pericolo. Per la combinazione dei parametri  $h$  e  $V$  si è ricorsi ai criteri di classificazione proposti da BUWAL (1997) e da Rickenmann (2001). Il primo fornisce risultati più cautelativi ed è facilmente utilizzabile anche per modellazioni del fenomeno condotte con approcci semplificati. La classificazione di Rickenmann modula meglio le diverse classi di intensità, richiedendo però per essere applicata di una buona conoscenza dei valori di  $h$  e  $V$ , condizione quest'ultima che il modello FLO-2D soddisfa pienamente.

Il metodo di Rickenmann (Figura 4.2.2.B/1.5 in alto) sintetizza in modo più eloquente le caratteristiche complessive del fenomeno di sovralluvionamento, non considerando le zone che non sono interessate dal flusso (aree bianche). Le aree bianche che compaiono invece nella mappatura condotta con il criterio del BUWAL (Figura 4.2.2.B/1.5 in basso), pur non essendo interessate dal flusso e per il solo fatto di appartenere ad un conoide soggetto a colata, denunciano una situazione di bassa pericolosità. La zona di pericolo localizzata in sinistra idrografica all'apice del conoide risulta meglio descritta dal criterio di Rickenmann.

## Numerical modelling of debris flows

### § 4.2.2.B/1 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

stream from the main road is shown as a high hazard area, while in the Rickenmann mapping this zone covers a much smaller area.

hydrographisch linken Seite an der Kegelspitze lokalisiert wird, wird vom Kriterium von Rickenmann besser beschrieben.

Es lohnt sich zu beobachten, dass in der BUWAL-Methode der Grenzwert  $h = 1$  m für die hohe Gefährdung (statt 1.5 m wie bei Rickenmann) den Kegelabschnitt auf der hydrographisch linken Seite unterhalb der Staatsstraße in die Zone mit hoher Gefährdung fallen lässt; diese Zone ist in der Kartierung von Rickenmann flächenmäßig sehr viel geringer.

Vale la pena osservare come nel metodo BUWAL il limite di  $h$  di 1 m per la pericolosità alta (anziché di 1.5 m come in Rickenmann) faccia ricadere in zona a pericolosità elevata la porzione di conoide posta in sinistra idrografica a valle della Strada Statale; tale zona nella mappatura di Rickenmann è arealmente molto più ridotta.



Numerical modelling of debris flows  
 § 4.2.2.B/1 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

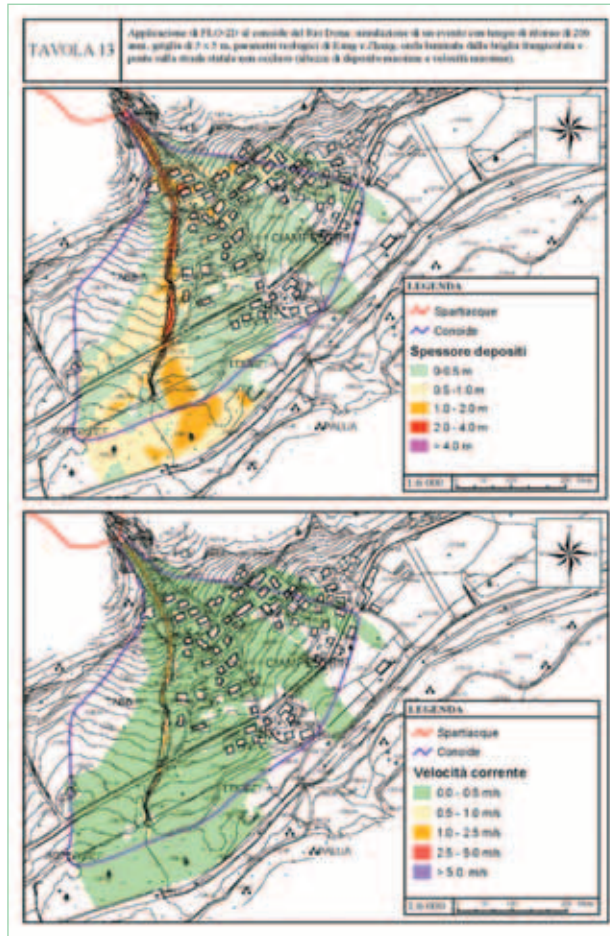


Figure 4.2.2.B/1.4 FLO-2D simulation carried out with a return period of 200 years, on a  $5 \times 5 \text{ m}^2$  grid, with Kang and Zhang rheological parameters (1980), the flow split by the flow breaker and the bridge on the main road not obstructed.

Figur 4.2.2.B/1.4 Simulazione mit FLO-2D mit einer 200-jährlichen Abflusszeit, Raster  $5 \times 5 \text{ m}^2$ , rheologische Parameter von Kang und Zhang (1980), Welle laminiert durch Böschungsmauer und Brücke auf der Staatsstraße nicht verstopft.

Figura 4.2.2.B/1.4 Simulazione con FLO-2D effettuata con tempo di ritorno di 200 anni, griglia di  $5 \times 5 \text{ m}^2$ , parametri reologici di Kang e Zhang (1980), onda laminata da briglia frangicolata e ponte sulla strada statale non occluso.

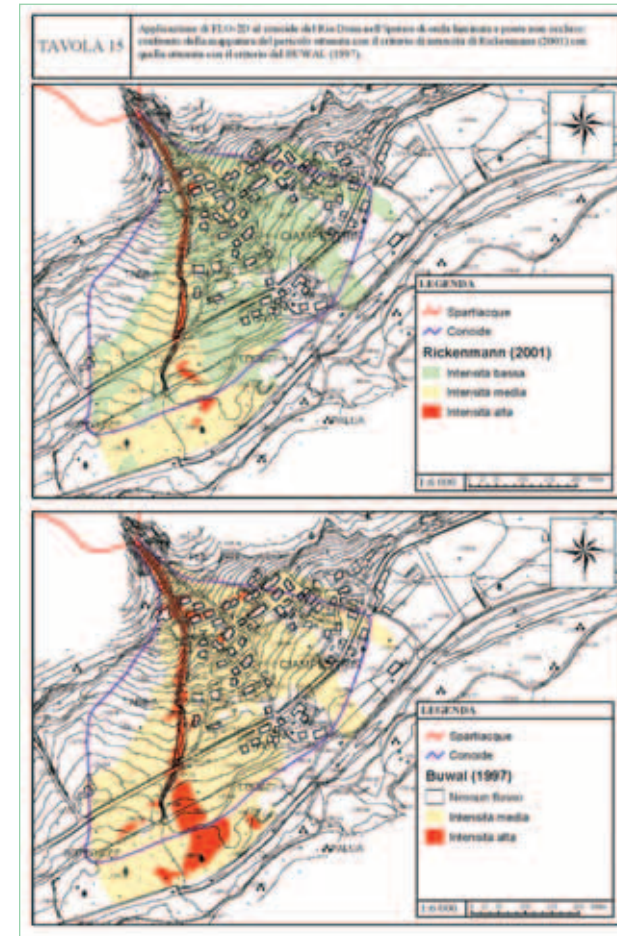


Figure 4.2.2.B/1.5 FLO-2D simulation with the flow split by the flow breaker and the bridge on the main road not obstructed. Comparison with hazard mapping obtained using the Rickenmann and BUWAL criteria.

Figur 4.2.2.B/1.5 Simulazione mit FLO-2D, Hypothese: Welle laminiert durch Böschungsmauer und Brücke auf der Staatsstraße nicht verstopft. Vergleich der Gefahrenkartierung mit den Kriterien von Rickenmann und BUWAL.

Figura 4.2.2.B/1.5 Simulazione con FLO-2D nell'ipotesi di onda laminata da briglia frangicolata e ponte sulla strada statale non occluso. Confronto della mappatura del pericolo ottenuta con il criterio di Rickenmann e BUWAL.

#### 4.2.2.B/1.4 Conclusions

In order to provide reliable results through the FLO-2D model, it is necessary to have a high resolution Digital Elevation Model; it is also of fundamental importance to have records of past events which enable the model to be correctly calibrated, such as to ensure correct simulations.

When we compare the results of the FLO-2D model with the mapping performed using the Aulitzky method (§ 4.2.2.A/1), we can see there is substantial agreement.

#### 4.2.2.B/1.4 Schlussfolgerungen

Damit das Modell FLO-2D zuverlässige Ergebnisse liefert, muss man über ein digitales Geländemodell mit hoher Auflösung verfügen; außerdem ist es von grundlegender Bedeutung, Unterlagen über vergangene Ereignisse auszuwerten, die es ermöglichen, das Modell korrekt zu tarieren und demzufolge korrekte Simulationen durchzuführen.

Wenn man die Ergebnisse des Modells FLO-2D mit der Kartierung der Methode Aulitzky (§ 4.2.2.A/1) vergleicht, ist eine substantielle Übereinstimmung zu entnehmen.

#### 4.2.2.B/1.4 Conclusioni

Perché il modello FLO-2D fornisca risultati attendibili è necessario avere un Modello Digitale del Terreno a elevata risoluzione; inoltre di fondamentale importanza è disporre di documentazione relativa agli eventi passati, che consenta di effettuare una corretta taratura del modello e di condurre, conseguentemente, simulazioni corrette.

Se si confrontano i risultati del modello FLO-2D con la mappatura condotta con il metodo Aulitzky (§ 4.2.2.A/1), se ne desume un sostanziale accordo.

§ 4.2.2.B/2 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy – Provincia Autonoma di Trento
Village - Ort - Comune	Spiazzo (TN)
Basin - Becken - Bacino	Sarca
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Vagugn
Notes - Bemerkungen - Note	see § 4.2.2.A/1 and § 4.2.2.B/1



Figure 4.2.2.B/2.1 Geographical context of Rio Vagugn.  
Figur 4.2.2.B/2.1 Geographische Einordnung des Rio Vagugn.  
Figura 4.2.2.B/2.1 Inquadramento geografico del Rio Vagugn.



Figure 4.2.2.B/2.2 Hydrographic basin and alluvial fan of Rio Vagugn.  
Figur 4.2.2.B/2.2 Il Zuflussgebiet und Schwemmkegel des Rio Vagugn.  
Figura 4.2.2.B/2.2 Il bacino idrografico e il conoide alluvionale del Rio Vagugn.



#### 4.2.2.B/2.1 Preliminary tasks

Before applying the FLO-2D model, as in § 4.2.2.B/1, it was necessary to create a Digital Elevation Model of reduced grid size. In this case we decided to use a different, innovative technology for acquiring altimetric data called LIDAR (*Light Detection and Ranging*). This survey system is based on a combination of three different data gathering systems: a *laser scan*, one or more GPS (*Global Positioning System*) and an Inertial Navigation System (INS) which provides the orientation. The equipment is mounted on an aircraft which emits a laser beam reflected by the surface being surveyed. The time which elapses between the emission and reception of the beam enables us to determine the relative position of the surface targeted by the laser.

In 2003 a specialised company was appointed to fly over the areas where the sample area is situated.

#### 4.2.2.B/2.1 Vorarbeiten

Vor der Anwendung des Modells FLO-2D war es wie im Fall von § 4.2.2.B/1 notwendig ein digitales Geländemodell mit einem kleineren Raster herzustellen. In diesem Fall wurde beschlossen, auf eine andere, innovative Technologie der Erfassung von Höhendaten zurückzugreifen, die LIDAR (*Light Detection and Ranging*) genannt wird. Dieses Messsystem basiert auf der Kombination von drei verschiedenen Datensammlungssystemen: einem Laser Scan, einem oder mehreren GPS (*Global Positioning System*) und einem Inertial-Navigationssystem (INS), das die Orientierung liefert. Die Ausrüstung wird auf ein Flugzeug montiert, von dem aus ein Laserstrahl abgegeben wird, der von der zu vermessenden Fläche reflektiert wird. Die Zeit, die zwischen Emission und Empfang des reflektierten Laserstrahls vergeht, ermöglicht es, die Position des bestrahlten Oberflächenabschnitts zu bestimmen.

Im Jahr 2003 wurde daher eine Fachfirma beauftragt, den Flug über das Untersuchungsgebiet durchzuführen.

#### 4.2.2.B/2.1 Fasi preliminari

Preliminarmente all'applicazione del modello FLO-2D, è stato necessario, come per il caso esposto nel § 4.2.2.B/1, realizzare un Modello Digitale del Terreno con maglia di dimensioni ridotte. In questo caso si è scelto di ricorrere ad una differente ed innovativa tecnologia di acquisizione di dati altimetrici chiamata LIDAR (*Light Detection and Ranging*). Questo sistema di rilievo è basato sulla combinazione di tre differenti sistemi di raccolta dati: un *laser scan*, uno o più GPS (*Global Positioning System*) e un Sistema di Navigazione Inerziale (INS) che fornisce l'orientazione. L'equipaggiamento viene montato su un aeromobile, dal quale viene emesso un raggio laser che viene riflesso dalla superficie da rilevare. Il tempo trascorso tra l'emissione e la ricezione del raggio riflesso permette di determinare la posizione relativa della porzione di superficie investita dalla radiazione.

Nel corso dell'anno 2003 è stata pertanto incaricata una ditta specializzata che effettuasse il volo sulla zona in cui ricade l'area campione.





Figure 4.2.2.B/2.3 Diagram of laser scanner technology.  
 Figur 4.2.2.B/2.3 Funktionsschema der Technologie Laser Scanner.  
 Figura 4.2.2.B/2.3 Schema di funzionamento della tecnologia laser scanner.

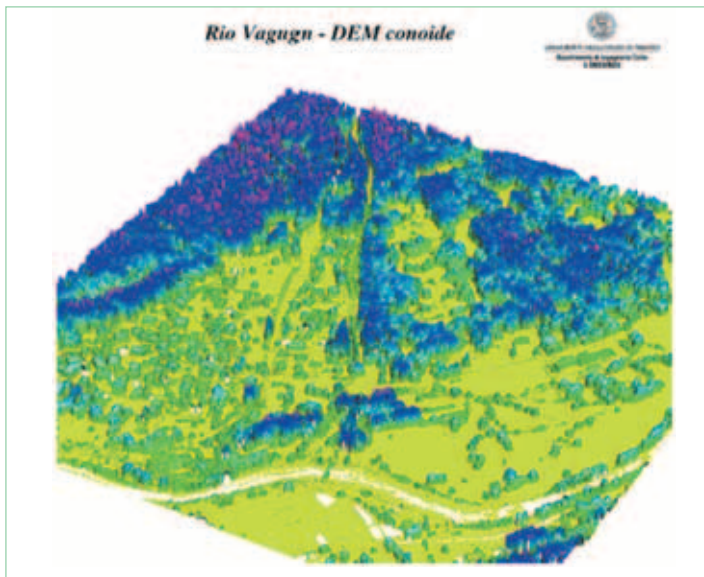


Figure 4.2.2.B/2.4 Digital Elevation Model of Rio Vagugn obtained using altimetric laser survey.  
 Figur 4.2.2.B/2.4 Digitales Geländemodell des Rio Vagugn mit der Laser-Höhenvermessung.  
 Figura 4.2.2.B/2.4 Modello Digitale del Terreno del Rio Vagugn ottenuto con rilievo laser altimetrico.

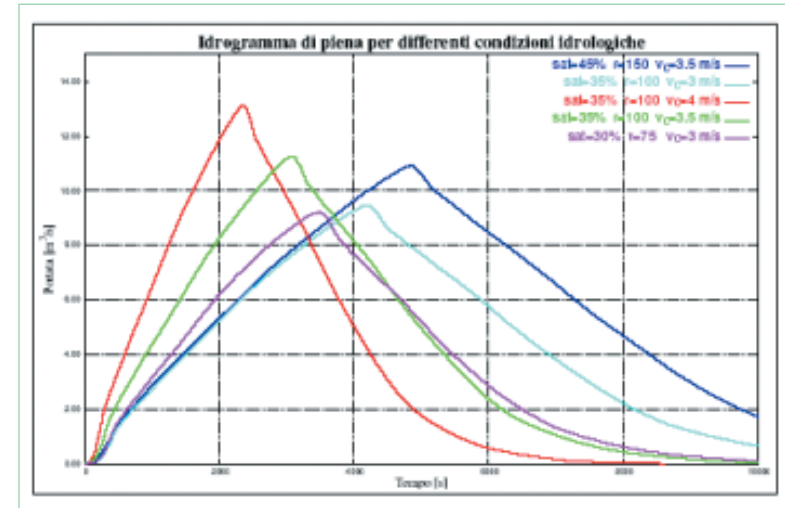


Figure 4.2.2.B/2.5 Rio Vagugn. Hydrograph of flow surges in different hydrological conditions.  
 Figur 4.2.2.B/2.5 Rio Vagugn. Hochwasser-Hydrogramm für verschiedene hydrologische Konditionen.  
 Figura 4.2.2.B/2.5 Rio Vagugn. Idrogramma di piena per differenti condizioni idrologiche.

Table 4.2.2.B/2.1 Parameters used for the hydrological study of the catchment.  
 Tabelle 4.2.2.B/2.1 Parameter für die hydrologische Untersuchung des Einzugsgebiets.  
 Tabella 4.2.2.B/2.1 Parametri utilizzati nello studio idrologico del bacino.

<b>VAGUGN</b>	
<b>Parametri utilizzati</b>	
Area del bacino	3.12 km <sup>2</sup>
Celerità nel canale	4 m/s
Rapporto delle velocità (adimensionale)	100
Percentuale del bacino saturo considerato	35 %
<b>Fattori descrittivi la piena</b>	
Portata di picco	13.09 m <sup>3</sup> /s
Tempo di corrivazione del bacino	≈ 3h 32'
Tempo di pioggia che massimizza la portata	≈ 37'
Tempo per cui si ha il picco	≈ 39'

#### 4.2.2.B/2.2 Activities

In order to obtain an input Digital Elevation Model and the main morphometric parameters for the catchment, a specialised company was appointed to perform flights in September and October 2003 aimed at providing a Digital Elevation Model with a 1 x 1 m<sup>2</sup> grid. We also used a software programme which allows the user to select any number and position of sections of a watercourse to be calculated. The sections obtained in this way were then directly used in the FLO-2D simulation.

Before carrying out the simulations, starting from the Digital Elevation Model, the topographic dimensions necessary for a complete morphological analysis of the catchment were quantified: elevation, gradient and bends (deviation from the gradient vector per unit of length on the bends traced on the surface in question). After this, once drainage directions for each pixel of the hydrographic basin had been determined, the contributing areas (total areas of drainage for a given site) and the functions of width (distribution of points with the same distance from the exit) were considered.

Lastly the geomorphologic indexes were quantified, specifically the topographic index as a relation between the contributing area and the gradients.

The next stage was to create a hydrograph for peak flows associated with given durations of rainfall. In the case of Rio Vagugn, a model called *Peak-Flow* developed by the Department of Civil and Environmental Engineering of the University of Trento was used for the hydrological analyses. The parameters needed to use the *Peak-Flow* model were as follows:

- percentage of catchment saturated (the percentage of the area that contributes to the peak flow), based on its morphology;
- relation of the speed in the channels and down the

#### 4.2.2.B/2.2 Aktivitäten

Um das digitale Geländemodell als Input und die wichtigsten morphometrischen Parameter des Beckens zu erhalten, wurde eine Fachfirma beauftragt, in den Monaten September und Oktober 2003 einen Flug durchzuführen, um ein digitales Geländemodell im Raster 1 x 1 m<sup>2</sup> darzustellen. Es wurde außerdem eine Software vorbereitet, mit der man die Querschnitte eines Wasserlaufs in Zahl und Position nach Ermessen des Nutzers erhalten kann. Diese Querschnitte konnten direkt in FLO-2D implementiert werden.

Vor den Simulationen wurden, ausgehend vom digitalen Geländemodell, die topographischen Größen beziffert, die für eine vollständige morphologische Analyse des Einzugsgebiets notwendig sind: Höhen, Neigungen und Biegung (Abweichung des Vektor-Gradienten für eine Längeneinheit an besonderen Kurven, die an der geprüften Oberfläche verzeichnet sind). Nachdem die Dränrichtungen für jeden Pixel des Zuflussgebiets festgelegt waren, wurden die Zuflussgebiete (Gesamtdrängebiete, die zu einem bestimmten Standort gehören) und die Amplitudenfunktionen berücksichtigt (Verteilung der Punkte, die den gleichen Abstand vom Abfluss haben).

Zuletzt wurden die geomorphologischen Indizes quantifiziert, im vorliegenden Fall auch der topographische Index, verstanden als Verhältnis zwischen dem Zuflussgebiet und den Neigungen.

In der folgenden Phase wurde das Hochwasser-Hydrogramm für eine bestimmte Regenzeit bestimmt.

Bei der Untersuchung des Rio Vagugn wurde für die hydrologischen Analysen ein Modell mit der Bezeichnung *Peak-Flow* verwendet, das im Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Trient entwickelt wurde. Bei der Verwendung

#### 4.2.2.B/2.2 Attività

Al fine di ottenere il Modello Digitale del Terreno di *input* e i principali parametri morfometrici del bacino, si è incaricata una ditta specializzata di effettuare nei mesi di settembre e ottobre 2003 un volo finalizzato a restituire un modello digitale del terreno a maglia 1 x 1 m<sup>2</sup>. È stato inoltre predisposto un *software* che permette di ottenere le sezioni di un corso d'acqua in numero e posizione a scelta dell'utente. Le sezioni così ottenute hanno potuto essere implementate direttamente nel FLO-2D.

Prima di procedere con le simulazioni, sono state quantificate, a partire dal Modello Digitale del Terreno, le grandezze topografiche necessarie per una completa analisi morfologica del bacino: quote, pendenze e curvatura (deviazione del vettore gradiente per unità di lunghezza, lungo particolari curve tracciate sulla superficie in esame). In seguito, una volta definite le direzioni di drenaggio per ogni *pixel* del bacino idrografico, sono state prese in considerazione le aree contribuenti (aree totali di drenaggio afferenti ad un certo sito) e le funzioni di ampiezza (distribuzione dei punti che condividono la stessa distanza dall'uscita). In ultimo sono stati quantificati gli indici geomorfologici e, nella fattispecie, l'*indice topografico* inteso come rapporto tra l'area contribuyente e le pendenze. La fase successiva ha previsto la determinazione dell'idrogramma di piena associato ad un determinato tempo di pioggia.

Nel caso di studio del Rio Vagugn, per le analisi idrologiche è stato utilizzato un modello denominato *Peak-Flow*, sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trento. I parametri da definire per l'utilizzo del modello *Peak-Flow* sono:

- percentuale di bacino saturato (percentuale di area che concorre alla piena) determinata in base alla morfologia;

slopes, determined according to the return period used for the rainfall considered;

- one of the two speeds (usually the speed in the channel given the higher number of observations of this figure compared to speed on the slope).

Once the various parameters had been quantified and the hydrological characteristics of the catchment determined, the study of debris flows which could affect the area in question was initiated using the FLO-2D model, based on: a) a 3 x 3 m<sup>2</sup> grid taking in part of the town of Mortaso, the channel of Rio Vagugn and part of the fan, and b) a 2 x 2 m<sup>2</sup> grid of a smaller area; c) other simulations with a 10 x 10 m<sup>2</sup> grid were performed inside the drainage basin.

des *Peak-Flow*-Modells müssen folgende Parameter definiert werden:

- prozentuale Sättigung des Einzugsgebiets (Prozentsatz der Fläche, die zum Hochwasser beiträgt), die auf der Grundlage der Morphologie bestimmt wird;
- Beziehung der Geschwindigkeiten in den Kanälen und an den Hängen, die auf der Basis der verwendeten Ablaufzeit bei dem jeweiligen Regenfall bestimmt wird;
- eine der beiden Geschwindigkeiten (üblicherweise berücksichtigt man die Geschwindigkeit im Kanal, da zu dieser Größe im Vergleich zur Geschwindigkeit am Hang mehr experimentelle Beobachtungen existieren).

Nachdem die verschiedenen Parameter beziffert und die hydrologischen Eigenschaften des Einzugsgebiets definiert worden waren, begann die Untersuchung der Muren, die das Studiengebiet betreffen können, über das Modell FLO-2D. Dabei wurden verwendet: a) ein Raster von 3 x 3 m<sup>2</sup>, das einen Teil der Ortschaft Mortaso, das Flussbett des Rio Vagugn und einen Teil des Kegels umfasst, und b) ein Raster von 2 x 2 m<sup>2</sup>, das ein im Vergleich zum vorigen begrenzteres Gebiet umfasst; c) Außerdem wurden weitere Simulationen mit einem Raster von 10 x 10 m<sup>2</sup> innerhalb des Einzugsgebiets durchgeführt.

- rapporto delle velocità nei canali e lungo i versanti, determinato in base al tempo di ritorno utilizzato nella pioggia che si considera;
- una delle due velocità (solitamente si considera la velocità nel canale, dato il maggior numero di osservazioni sperimentali esistenti su questa grandezza rispetto alla velocità sul versante).

Quantificati i vari parametri e definite le caratteristiche idrologiche del bacino, è iniziato lo studio delle colate detritiche che possono interessare l'area oggetto di studio attraverso il modello FLO-2D, utilizzando: a) una maglia di 3 x 3 m<sup>2</sup> comprendente parte dell'abitato di Mortaso, l'alveo del Rio Vagugn e parte del conoide, e b) una maglia di 2 x 2 m<sup>2</sup> comprendente un'area più limitata rispetto alla precedente; c) altre simulazioni con maglia di 10 x 10 m<sup>2</sup> sono state condotte all'interno del bacino idrografico.



Numerical modelling of debris flows  
 § 4.2.2.B/2 PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

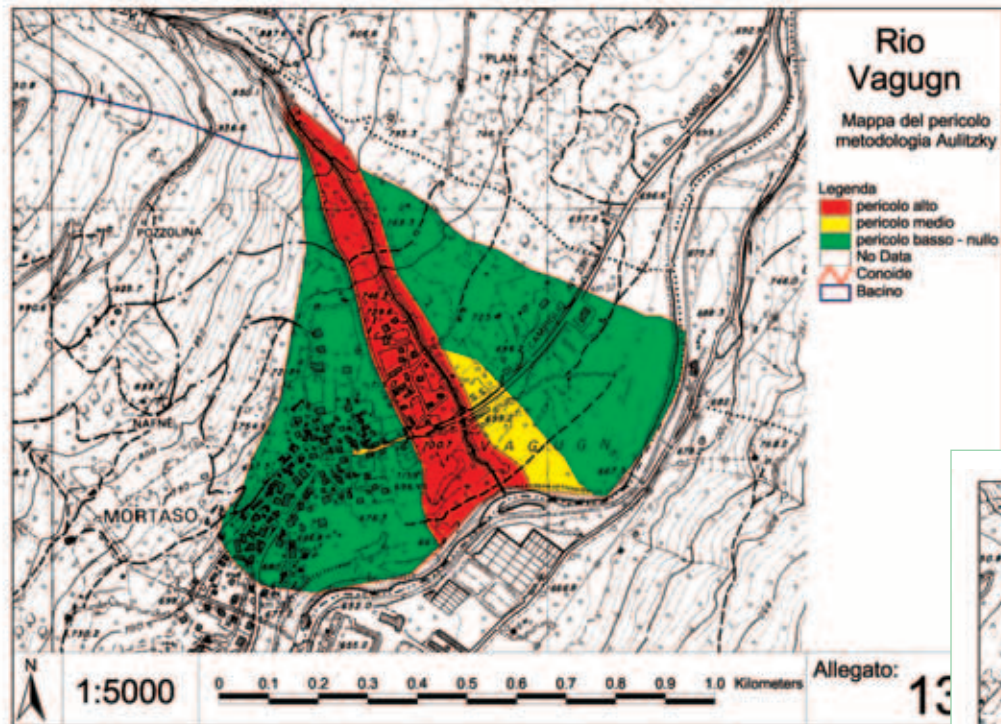


Figure 4.2.2.B/2.6 Hazard map of the Rio Vagugn fan based on the Aulitzky method.

Figur 4.2.2.B/2.6 Karte der Gefahrenzonen im Kegel des Rio Vagugn nach der Methode Aulitzky.

Figura 4.2.2.B/2.6 Mappa delle aree di pericolo sul conoide del Rio Vagugn secondo la metodologia Aulitzky.

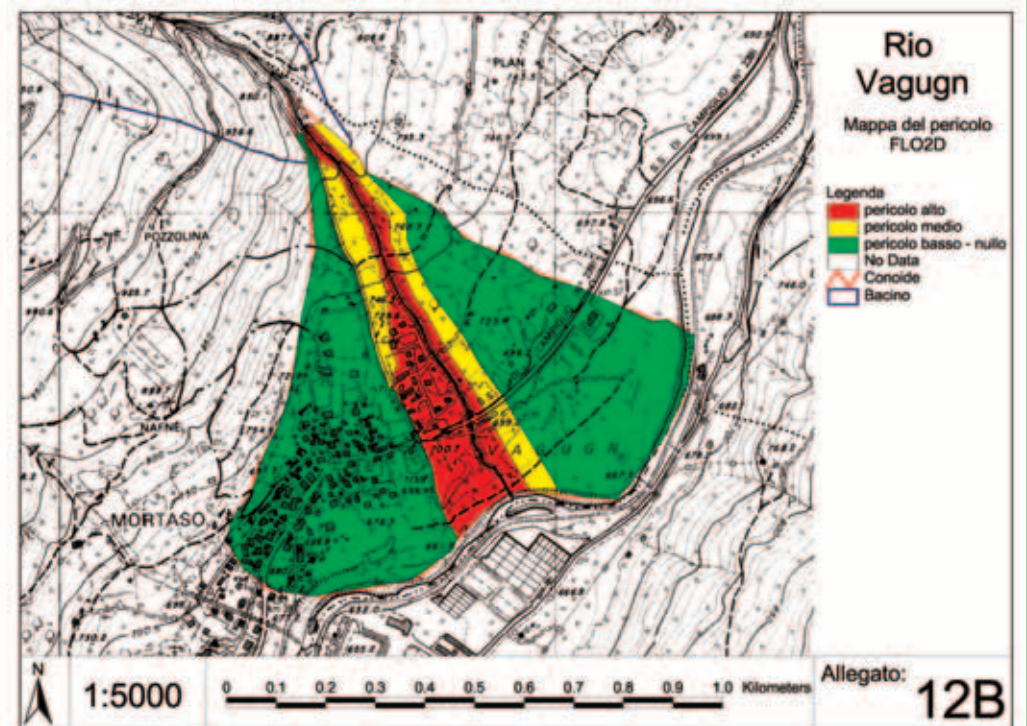


Figure 4.2.2.B/2.7 Hazard map obtained from simulations performed using FLO-2D.

Figur 4.2.2.B/2.7 Gefahrenkarte als Ergebnis der Simulationen mit FLO-2D.

Figura 4.2.2.B/2.7 Mappa del pericolo ottenuta dalle simulazioni condotte con FLO-2D.



#### 4.2.2.B/2.3 Results

In view of the high hazard situation previously signalled by the Aulitzky method, various simulations were performed on Rio Vagugn, enabling us to characterise a possible critical event in detail. The simulations highlighted the fact that debris flows could affect the houses on the orographic right near the torrent bed. On the left is a construction dating back to the beginning of 1900 to protect the town of Mortaso; the deposit of material downstream of that is considered to be unlikely, as confirmed by the results of the numeric modelling. The simulations revealed that the most hazardous situation with regards to the Vagugn Torrent is very concentrated debris flows involving large quantities of material, meaning that the flow will not be contained by the torrent channel. According to the model the resulting overflow to the hydrographic right on the fan would occur in correspondence with an inhabited area, near which is a large boulder, testifying to the event of 1926. This specific evidence means that in the past the torrent has been capable of generating events such as that predicted in the concentrated simulation, involving large quantities of material. The simulation performed with a barrier at the tip of the fan is interesting, in that the barrier appears capable of withstanding the flow.

#### 4.2.2.B/2.3 Ergebnisse

Angesichts der Situation hoher Gefahr, die von der Methode Aulitzky vorher angezeigt wurde, wurden am Rio Vagugn verschiedene Simulationen durchgeführt, mit denen das mögliche kritische Ereignis detaillierter charakterisiert werden konnte. Auf der Grundlage der Simulationen ergab sich, dass Murenphänomene die Siedlungen auf der orographisch rechten Seite nahe am Bachbett betreffen können. Auf der linken Seite wird auf ein Bauwerk hingewiesen, das Anfang 1900 zum Schutz der Ortschaft Mortaso errichtet wurde; eine Materialablagerung unterhalb dessen wird als unwahrscheinlich betrachtet, wie die Ergebnisse der numerischen Modellierung bestätigen. Man ersieht aus den Simulationen, dass die Situation der größten Gefahr im Fall des Wildbachs Vagugn bei sehr konzentrierten Muren mit großer Materialbewegung eintritt, so dass der Strom nicht im Bachbett gehalten werden kann; dies führt zum Austreten auf der orographisch rechten Seite des Kegels, das nach dem Modell auf der Höhe eines Wohngebiets in der Nähe eines großen Massivs erfolgen würde, was auch vom Ereignis 1926 bezeugt wird. Dieses spezifische Ergebnis bedeutet, dass der Wildbach auch in der Vergangenheit bereits die Fähigkeit bewiesen hat, Ereignisse wie das in der konzentrierten Simulation vorhergesehene zu erzeugen und große Materialmengen freizusetzen. Interessant ist die Simulation mit einer Barriere an der Spitze des Kegels, die in der Lage zu sein scheint, den Strom aufzuhalten.

#### 4.2.2.B/2.3 Risultati

Vista la situazione di elevato pericolo segnalata preventivamente dal metodo di Aulitzky, sul Rio Vagugn sono state condotte varie simulazioni che hanno permesso di caratterizzare in maniera dettagliata il possibile evento critico. In base alle simulazioni si è evidenziato che fenomeni di colata possono coinvolgere le abitazioni in destra orografica vicine al letto del torrente. In sinistra si rileva la presenza di un manufatto costruito ad inizio 1900 a protezione dell'abitato di Mortaso; si considera improbabile il deposito di materiale a valle di esso, come confermato dai risultati della modellazione numerica. Quello che si evince dalle simulazioni è che la situazione di maggior pericolo nel caso del T. Vagugn è rappresentata da colate molto concentrate con grande movimento di materiale, tali per cui la colata non può essere contenuta nell'alveo del torrente. La conseguente fuoriuscita in destra orografica sul conoide avverrebbe secondo il modello all'altezza di una zona abitata in prossimità di un grosso masso a testimonianza dell'evento del 1926; questa specifica evidenza sta a significare che anche nel passato il torrente ha dimostrato la capacità di generare eventi come quelli previsti nella simulazione concentrata, mettendo a disposizione grandi quantità di materiale. Interessante appare la simulazione condotta con uno sbarramento all'apice del conoide, che sembra in grado di contenere la colata.

#### 4.2.2.B/2.4 Conclusions

The end result, the hazard map obtained using FLO-2D, does not differ substantially from the results of the Aulitzky method, identifying a high hazard area which runs from the right bank of the torrent to a wall built last century.

The simulation performed including a flow breaker just downstream from the tip of the fan demonstrates the possibility of considerably reducing the area at risk, giving rise to a new map, with a smaller high hazard area. Protection works constructed to reduce the level of hazard should be studied with precise research into the rheological characteristics of the material and possible volumes at stake.

With regards to simulations inside the catchment, these confirm the limitations of the FLO-2D model: as they were carried out using a rough grid to keep simulation times down, the result obtained is not very reliable. This is compounded by the nature of the model, which is based on a simple scatter pattern and does not take into account surface changes and transport capacity.

#### 4.2.2.B/2.4 Schlussfolgerungen

Das Endergebnis der Gefahrenkarte, die mit FLO-2D erreicht wurde, weicht nicht substanziell von den Ergebnissen der Methode Aulitzky ab, denn als Zone mit hoher Gefahr wird der gesamte Streifen identifiziert, der sich zwischen dem rechten Bachufer und einem im letzten Jahrhundert errichteten Wall erstreckt.

Die Simulation, bei der eine Balkensperre wenig unterhalb der Kegelspitze eingesetzt wurde, beweist, dass die gefährdete Fläche spürbar verringert werden kann, denn sie ergibt eine Karte, in der die Zone mit hoher Gefahr geringer ist. Die Verbauungsmaßnahme, die eine solche Gefahrenreduzierung ermöglicht, muss mit präzisen Untersuchungen über die Rheologie des Materials und die möglichen einbezogenen Volumina sorgfältig geprüft werden.

Die Simulationen für das ganze Einzugsgebiet dagegen bestätigen die Grenzen des Modells FLO-2D, denn da sie mit einem groben Berechnungsraster durchgeführt wurden, um die Simulationsdauer zu begrenzen, ist das Ergebnis wenig zuverlässig. Dieses Merkmal wird betont durch die Qualität des Modells, das einfach streuend ist und keine Änderungen des Bodens und der Transportkapazität berücksichtigt.

#### 4.2.2.B/2.4 Conclusioni

Il risultato finale della mappa di pericolo ottenuta con FLO-2D non si discosta in maniera sostanziale da quanto previsto con il metodo Aulitzky, individuando come zona ad elevato pericolo tutta la fascia che si estende tra la sponda destra del torrente ed un vallo realizzato nel secolo scorso.

La simulazione condotta considerando la presenza di una briglia filtrante poco a valle dell'apice del conoide dimostra la possibilità di ridurre in maniera sensibile la superficie esposta a pericolo, portando ad una nuova mappa in cui la zona a pericolo elevato è ridotta. L'intervento di sistemazione che permette tale riduzione del pericolo va studiata accuratamente con indagini precise sulla reologia del materiale e sui possibili volumi in gioco.

Per quanto riguarda le simulazioni all'interno del bacino, esse confermano i limiti del modello FLO-2D in quanto, essendo state condotte su una griglia di calcolo grossolana per limitare i tempi di simulazione, il risultato ottenuto è poco attendibile. Ad accentuare tale caratteristica vi è la qualità del modello che è di semplice spargimento e non valuta cambiamenti di fondo e di capacità di trasporto.

§ 4.2.2.B/3 REGIONE LOMBARDIA

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy – Regione Lombardia
Village - Ort - Comune	Cortenova (LC)
Basin - Becken - Bacino	Pioverna
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Rossiga
Notes - Bemerkungen - Note	see § 4.2.2.A/2



Figure 4.2.2.B/3.1 Geographical context of the Rossiga Torrent catchment and reconstruction of the event of November 2002.  
Figur 4.2.2.B/3.1 Geographische Einordnung des Beckens T. Rossiga und Rekonstruktion des Ereignisses von November 2002.  
Figura 4.2.2.B/3.1 Inquadramento geografico del bacino del T. Rossiga e ricostruzione dell'evento del novembre 2002.

#### 4.2.2.B/3.1 Preliminary tasks

In order to estimate the hazard level connected to the debris flows that affect many Alpine catchments, it is possible to use mathematical models which simulate the propagation of a hyperconcentrated flow. The results of the model allow us to classify the various areas of the fan. The advantages of numeric simulation lie in the precision of the outlines created, taking into account the effect of morphological variations or mitigation works, simulating the effect of a flow in the present conditions or in a hypothetical future situation.

The area of the Rossiga Torrent was chosen because the mud and debris flow of November 2002 means that there is reasonably precise information on the volume and expansion of the flow. This information means that we can carry out a back analysis to calibrate the model, verifying its ability to reproduce an actual event. In the present case, with the help of modelling it was also possible to verify the efficacy of risk mitigation works constructed after the flow event.

#### 4.2.2.B/3.1 Vorarbeiten

Um die Gefährdung im Zusammenhang mit Murenereignissen einzuschätzen, denen viele Alpenbecken ausgesetzt sind, kann man auf mathematische Modelle zurückgreifen, die die Ausbreitung eines hyperkonzentrierten Stroms simulieren können. Aus den Ergebnissen der Modellierung kann man eine Klassifizierung der Kegelgebiete ableiten. Die Vorteile der numerischen Simulation bestehen in der Präzision der Abgrenzung, denn sie berücksichtigt die Auswirkungen von morphologischen Veränderungen oder Milderungsmaßnahmen und kann die Folgen einer Mure unter den gegenwärtigen Bedingungen oder auch in einer hypothetischen zukünftigen Projektkondition simulieren.

Das Gebiet des T. Rossiga wurde ausgewählt, weil infolge der Murgänge von November 2002 Informationen zu den Volumetrien und die Ausbreitungsmodalitäten des Stroms mit angemessener Präzision vorlagen. Diese Kenntnis ermöglicht eine *Back Analysis* für die Tarierung des Modells, mit der seine Fähigkeit überprüft wird, ein reales Ereignis zu reproduzieren. In diesem Fall war es mit Hilfe der Modellierung auch möglich, die Wirksamkeit einer Milderungsmaßnahme des Risikos zu prüfen, die nach dem Strom errichtet worden war.

#### 4.2.2.B/3.1 Fasi preliminari

Al fine di stimare la pericolosità associata agli eventi di colata detritica cui molti bacini alpini sono soggetti, è possibile fare ricorso a modelli matematici in grado di simulare la propagazione di una corrente iperconcentrata; dai risultati della modellazione si può derivare una classificazione delle aree del conoide. I vantaggi della simulazione numerica consistono nella precisione della perimetrazione, che tiene in conto l'effetto di variazioni morfologiche o di opere di mitigazione, simulando l'effetto di una colata nella condizione presente o in un'ipotetica condizione futura di progetto.

L'area del T. Rossiga è stata scelta in quanto, a seguito delle colate di fango e detriti del novembre 2002, è stato possibile disporre di informazioni sulle volumetrie e sulla modalità di espansione delle colate con ragionevole precisione. Tale conoscenza consente di eseguire una *back analysis* per la taratura del modello, verificandone la capacità di riprodurre un evento reale. Nel caso in studio con l'ausilio della modellazione è stato possibile anche verificare l'efficacia di un'opera di mitigazione del rischio realizzata in seguito alla colata.



Numerical modelling of debris flows  
 § 4.2.2.B/3 REGIONE LOMBARDIA

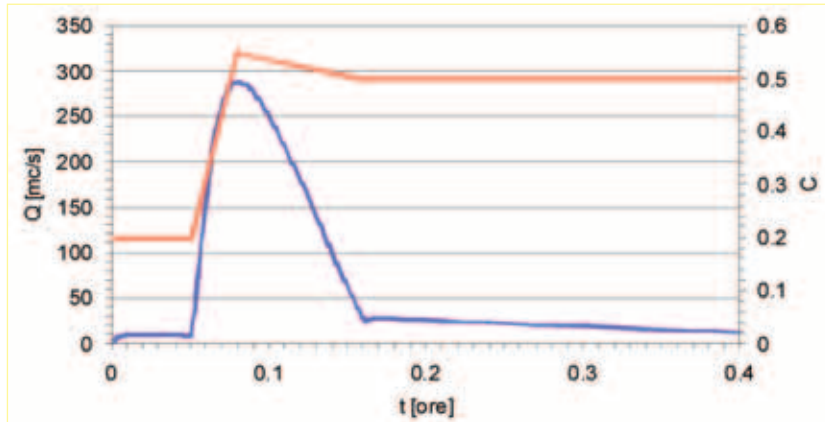


Figure 4.2.2.B/3.2 Surge of debris flow used in the simulation (in blue) and performance over time of the hypothetical concentration (red line).  
 Figur 4.2.2.B/3.2 Murenwelle, die für die Simulation verwendet wurde (blau) und zeitlicher Verlauf der angenommenen Konzentration (rote Linie).  
 Figura 4.2.2.B/3.2 Onda di colata detritica utilizzata nella simulazione (in blu) e andamento nel tempo della concentrazione ipotizzata (linea rossa).

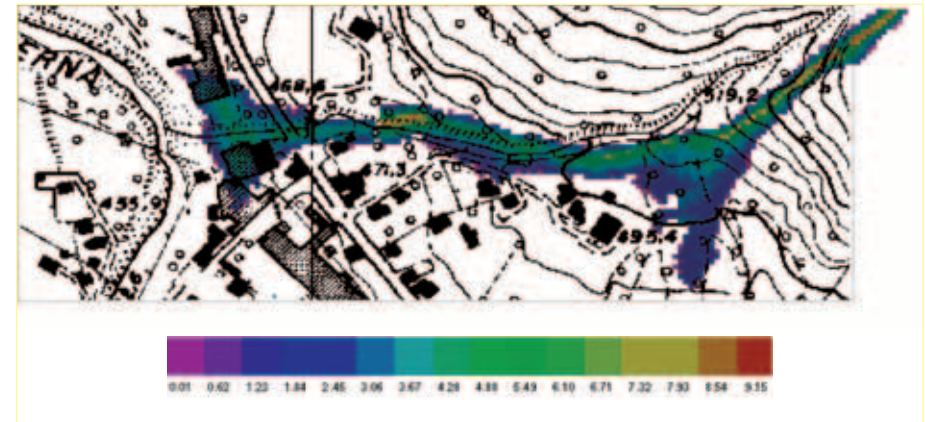


Figure 4.2.2.B/3.3 Result of the simulation in terms of maximum levels, in metres.  
 Figur 4.2.2.B/3.3 Simulationsergebnis im Hinblick auf das Höchstniveau in Metern.  
 Figura 4.2.2.B/3.3 Risultato della simulazione in termini di massimi livelli, in metri.

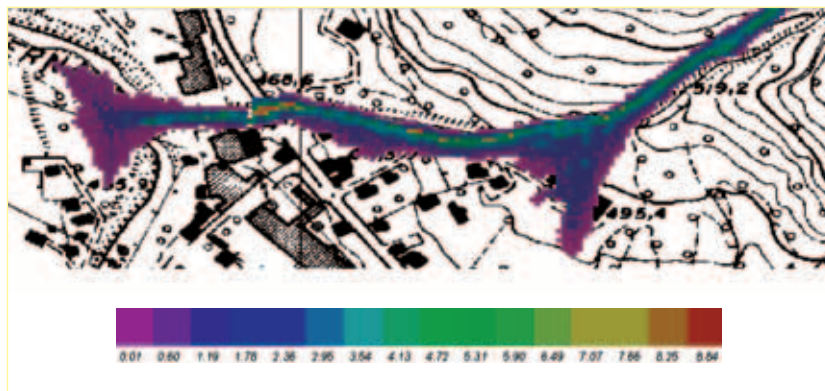


Figure 4.2.2.B/3.4 Result of the simulation in terms of maximum flow speed in m/s.  
 Figur 4.2.2.B/3.4 Simulationsergebnis im Hinblick auf die Höchstgeschwindigkeit der Mure in m/s.  
 Figura 4.2.2.B/3.4 Risultato della simulazione in termini di massima velocità della colata, in m/s.

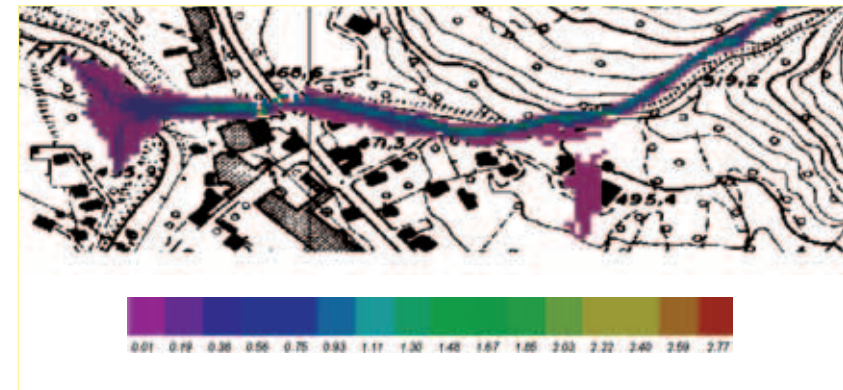


Figure 4.2.2.B/3.5 Result of the simulation ( $t = 0.4$  h) in terms of final flow speeds, in m/s.  
 Figur 4.2.2.B/3.5 Simulationsergebnis ( $t = 0.4$  h) im Hinblick auf die Endgeschwindigkeit der Mure in m/s.  
 Figura 4.2.2.B/3.5 Risultato della simulazione ( $t = 0.4$  h) in termini di velocità finali della colata, in m/s.

#### 4.2.2.B/3.2 Activities

The FLO-2D model is particularly suitable for simulating mud flows, and utilises the consolidated practice of modelling the movement of a continuous sediment/water flow using De Saint Venant equations, which offer a series of additional values corresponding to the rheological properties of the flow; a suspension which does not generally possess Newtonian characteristics.

The model simulates developments on an unvarying surface, not modifying topography with the passing of the flow. The rheological characteristics do not change over time, but the concentration of sediment can be made to vary. The type of fluid that can be simulated is a flow based on a fixed yield stress threshold, a dispersive stress and a level of viscosity. Both viscosity and yield stress depend exponentially on the concentration.

Upon completion of the simulation utilising maps of maximum speed and maximum drag it is possible to generate hazard maps which satisfy criteria of objectivity. To this end the report is completed with a proposal for a possible quantitative approach to calculate the level of risk occasioned by peak flow events. In the case of the Rossiga Torrent, with the hypothetical concentrations which can be used, the density of the flow varies between 1.800 and 2.000 kg/m<sup>3</sup>. Considering the surface of the fan, with a gradient of around 10 %, and considering the height of the marginal fringes of the deposit, around 1 m to 2 m, the yield stress is between 2.000 and 4.000 Pa. With regards to viscosity, the use of high figures (a few hundred Poise) appears justified, as a number of graphs taken from O'Brien (1998) show.

The calibration of the model starts from these bases. Figure 4.2.2.B/3.2 shows the surge of the debris flow which resulted from the calibration process. As can be seen, the peak flow is around 15 % less than what

#### 4.2.2.B/3.2 Aktivitäten

Das Modell FLO-2D ist besonders geeignet, Mudflows zu simulieren. Es verwendet die konsolidierte Praxis, die Bewegung eines fest-flüssigen Kontinuums mit Hilfe der Gleichungen von De Saint Venant zu modellieren, wo im Ausdruck des Gefälles eine Reihe von zusätzlichen Größen vorhanden ist, die den rheologischen Eigenschaften des Stroms entsprechen; er besteht aus einer Mischung, die im Allgemeinen keine Newtonschen Eigenschaften hat. Das Modell simuliert die Evolution auf einem festen Untergrund, die Topographie wird also durch den Durchfluss der Mure nicht verändert. Außerdem ändert sich die Rheologie im Laufe der Zeit nicht, während man die Konzentration der festen Phase Veränderungen unterziehen kann. Die Art der Mischung aus Wasser und Geschiebe, die simuliert werden kann, zeichnet sich durch einen Ausdruck des Gefälles aus, der von einer festen Kraftschwelle, von der Dispersion und der Viskosität abhängt. Sowohl die Viskosität als auch die kritische Kraft hängen exponentiell von der Konzentration ab.

Am Ende der Simulation kann man unter Verwendung der Karte der eingetretenen Höchstgeschwindigkeiten und maximalen Zugkräfte Gefährdungskarten erarbeiten, die objektiven Kriterien entsprechen. Vervollständigt wird der Bericht durch einen Vorschlag für einen möglichen quantitativen Ansatz zur Berechnung des Risikos durch Wildbachhochwasser. Im Fall des T. Rossiga erhält man mit den anzunehmenden Konzentrationen eine Stromdichte, die zwischen 1.800 und 2.000 kg/m<sup>3</sup> schwankt. Untersucht man die Kegeloberfläche mit ihrer Neigung von zirka 10 % und berücksichtigt man die Höhe der Sedimentrandstreifen von 1 - 2 m, erhält man einen Wert für die kritische Kraft zwischen 2.000 und 4.000 Pa. Was die Viskosität angeht, scheint es legitim, ziemlich hohe Werte anzunehmen (mehrere Hundert Poise), wie man aus einigen Graphiken von O'Brien (1998) entnehmen kann.

#### 4.2.2.B/3.2 Attività

Il modello FLO-2D è particolarmente adatto a simulare colate di fango e utilizza la pratica consolidata di modellare il moto di un continuo solido-liquido mediante le equazioni di De Saint Venant, dove nel termine della cadente è presente una serie di quantità aggiuntive che rispondono delle proprietà reologiche della colata; essa è costituita da un miscuglio che non ha in generale caratteristiche newtoniane.

Il modello simula l'evoluzione su fondo fisso, quindi la topografia non viene modificata dal passaggio della colata. Inoltre, la reologia non cambia nel tempo, mentre può essere fatta variare la concentrazione della fase solida. Il tipo di fluido che è possibile simulare è caratterizzato da un'espressione della cadente dipendente da una soglia di sforzo fissa, da un termine dispersivo e da un termine di tipo viscoso. Sia la viscosità che lo sforzo critico dipendono esponenzialmente dalla concentrazione.

Al termine della simulazione, utilizzando la mappa delle massime velocità e dei massimi tiranti che si sono verificati, è possibile elaborare delle mappe della pericolosità che rispondano a criteri di tipo oggettivo. In questo senso, la relazione è completata dalla proposta di un possibile approccio quantitativo per il calcolo del rischio conseguente ad eventi di piena torrentizia. Nel caso del T. Rossiga, con le concentrazioni che è possibile ipotizzare, si ottiene una densità della colata che oscilla tra 1.800 e 2.000 kg/m<sup>3</sup>. Prendendo in esame la superficie del conoide, a pendenza circa del 10 % e considerando l'altezza delle frange marginali del deposito pari a 1 m - 2 m, si ottiene un valore dello sforzo critico compreso tra 2.000 e 4.000 Pa. Per quanto riguarda la viscosità, pare lecito ipotizzare valori assai alti (qualche centinaio di Poise), come si può desumere da alcuni grafici riportati da O'Brien (1998).

Da questi intervalli parte dunque la taratura del

was previously calculated and the total volume is 75.000 m<sup>3</sup>. The elements used to fine tune the initial hypothetical parameters were: 1) the extension of flooded areas and their location; 2) the estimated volume of debris at the end of the event and the distribution of this on the fan, up to the outlet into the Pioverna: according to the estimates made, around 20.000 m<sup>3</sup> of debris remained on the fan, on the stretch between an elevation of 510 m and 490 m a. s. l. and 20.000 m<sup>3</sup> was deposited in the downstream stretch up to the Pioverna; 3) the maximum depths and speeds of the flow during the event; 4) the thickness of the material deposited at the end of the event; 5) speeds at the end of the event; 6) water/sediment hydrographs at various intermediate points, to compare with the quantities measured. All of these results must reflect what was observed or what can be deemed reasonable during a flow event with the aforementioned characteristics.

The simulations were performed using two Digital Elevation Models at different resolutions: one with a 5 x 5 m<sup>2</sup> grid created after the event and another with a 1 x 1 m<sup>2</sup> grid (but used with a 2 x 2 m<sup>2</sup> grid) after the construction of protection works.

The use of a higher resolution Digital Elevation Model undoubtedly provides a higher quality result, but not to the extent that it introduces significant variations compared to the results obtained in the past with simulations using a 5 m grid.

Von diesen Intervallen geht also die Tarierung des Modells aus. In Figur 4.2.2.B/3.2 wird die Murenwelle gezeigt, zu der man am Ende des Tarierungsprozesses gelangte. Wie man sieht, ist die Menge an der Spitze zirka um 15 % geringer als vorher angenommen, und das Gesamtvolumen beträgt 75.000 m<sup>3</sup>. Die Elemente, die berücksichtigt wurden, um die Anfangshypothesen der Parameter zu verfeinern, waren: 1) die Ausdehnung der überschwemmten Flächen und ihre Lokalisierung; 2) die geschätzten Geschiebevolumina am Ende des Ereignisses und ihre Verteilung im Kegel bis zur Mündung in Pioverna: Die nach dem Ereignis im Kegel durchgeführten Schätzungen ergaben, dass etwa 20.000 m<sup>3</sup> im Abschnitt zwischen 510 m und 490 m Höhe üdM und 20.000 m<sup>3</sup> im Abschnitt talwärts bis Pioverna blieben; 3) die maximalen Tiefen und Geschwindigkeiten des Stroms im Laufe des Ereignisses; 4) die Dicke des am Ende des Ereignisses abgelagerten Materials; 5) die Geschwindigkeiten am Ende des Ereignisses; 6) die Fest-Flüssig-Hydrogramme an den verschiedenen Fortschrittsständen, die qualitativ mit den festgestellten Niveaus zu vergleichen sind. All diese Größen müssen dem entsprechen, was beobachtet wurde oder was man im Laufe einer Mure mit den vorher festgestellten Eigenschaften berechtigterweise annehmen kann.

Für die Simulationen wurden zwei digitale Geländemodelle mit verschiedener Auflösung aus verschiedenen Zeiten verwendet: ein digitales Geländemodell mit Raster 5 x 5 m<sup>2</sup>, das nach dem Ereignis erstellt wurde, und ein anderes mit einem Raster 1 x 1 m<sup>2</sup> (das allerdings mit Raster 2 x 2 m<sup>2</sup> verwendet wurde), das nach der Errichtung der Schutzbauten erstellt wurde.

Die Anwendung einer größeren Auflösung für das digitale Geländemodell führt zwar zu einer unzweifelhaft größeren Auflösungsqualität, die aber im Vergleich zu dem, was sich bereits in den Simulationen mit Teilung 5 m ergab, keine signifikanten Änderungen einführt.

modello. In Figura 4.2.2.B/3.2 si riporta l'onda di colata detritica cui si è approdati al termine del processo di taratura. Come si nota, la portata al colmo è circa del 15 % inferiore rispetto a quella a priori ipotizzata e il volume complessivo è di 75.000 m<sup>3</sup>. Gli elementi che sono stati considerati per affinare le ipotesi iniziali relative ai parametri sono stati: 1) l'estensione delle aree inondate e la loro localizzazione; 2) i volumi di detrito stimati al termine dell'evento e la loro distribuzione sul conoide fino allo sbocco in Pioverna: in base alle stime effettuate dopo l'evento sul conoide sono rimasti circa 20.000 m<sup>3</sup> nel tratto compreso tra quota 510 m e quota 490 m s. l. m. e 20.000 m<sup>3</sup> nel tratto a valle sino al Pioverna; 3) le massime profondità e velocità della colata nel corso dell'evento; 4) gli spessori di materiale depositato alla fine dell'evento; 5) le velocità alla fine dell'evento; 6) gli idrogrammi solido-liquidi alle diverse progressive, da confrontare qualitativamente con i livelli riscontrati. Tutte queste quantità devono essere conformi a quanto è stato osservato o a quanto si possa ritenere ragionevole nel corso di una colata con le caratteristiche precedentemente evidenziate.

Le simulazioni sono state eseguite utilizzando due Modelli Digitali del Terreno a diversa risoluzione e realizzati in tempi diversi: un Modello Digitale del Terreno con maglia 5 x 5 m<sup>2</sup> realizzato dopo l'evento e un altro con maglia 1 x 1 m<sup>2</sup> (usato però con maglia 2 x 2 m<sup>2</sup>) dopo la realizzazione di opere di protezione.

L'adozione di una risoluzione maggiore del Modello Digitale del Terreno porta ad una qualità di soluzione indubbiamente maggiore, ma non tale da introdurre significative variazioni rispetto a quanto già evidenziato dalle simulazioni condotte a passo 5 m.



#### 4.2.2.B/3.3 Results

The simulations were carried out before and after the construction of works to protect the urban area. There are no significant differences in the model of the expansion of the flow down the torrent channel in the two simulations, which is not the case for the tip of the fan after the implementation of a protection wedge. Below are the results of the simulations in terms of: 1) thickness of deposits; 2) levels reached by the flow; 3) volumes involved; 4) speed of the flow during the event; 5) final or residual speed; 6) capacity.

- 1) The final thickness of the deposits left after the flow event was compared to the final size of flooded areas, and with the thickness which could be estimated at various points in the November 2002 event. The comparison shows a considerable correspondence, and where this is not the case it is probably due to lack of precision in the Digital Elevation Model. At the end of the simulation, the thicknesses on the fan were between 1.5 m and 3 m, in agreement with what can be observed in photographs of the event. Upstream from the bridge, after two of the spans were blocked, a great quantity of material accumulated, with thicknesses of up to 7 m, which may be an overestimate. However the images of the stretch in question suggest that this is not an excessive overestimate, when the enormous quantity of material that built up there is considered. Downstream from the bridge all of the watercourse is filled with sediment, with thicknesses between 3 m and 5 m, and the area where it meets the Pioverna is in a similar condition, taking into account the fact that part of the flow was dragged away by the current from the receptor.
- 2) Comparing maximum flow levels (Figure 4.2.2.B/3.3) with the traces left along the watercourse, mainly upstream of the fan, it can be seen

#### 4.2.2.B/3.3 Ergebnisse

Die Simulationen wurden vor und nach der Konstruktion des Verteidigungsbaus der Ortschaft durchgeführt. Die Modellierung der Stromausdehnung im Flussbett zeigt in beiden Simulationen keine besonderen Unterschiede, während der obere Kegelteil nach Errichtung eines Schutzkeils sehr verschieden reagiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulationen aufgeführt im Hinblick auf: 1) Dicke der Ablagerungen, 2) die Höhen, die der Strom erreicht, 3) einbezogene Volumina, 4) Geschwindigkeiten des Stroms im Laufe des Ereignisses, 5) End- oder Restgeschwindigkeit, 6) Menge.

- 1) Die Dicke der Ablagerungen nach dem Abschluss des Stromereignisses wurde mit der abschließenden Ausdehnung der überschwemmten Gebiete und mit der Dicke verglichen, die an den verschiedenen Stellen aus dem Ereignis von November 2002 geschätzt werden konnte; aus dem Vergleich geht eine deutliche Übereinstimmung hervor, und wo dies nicht der Fall ist, ist der Grund wahrscheinlich auf Ungenauigkeiten im digitalen Geländemodell zurückzuführen. Am Ende der Simulation erhält man am Kegel Dicken zwischen durchschnittlich 1.5 m und 3 m, wie man auch aus den Fotos des Ereignisses entnehmen kann. Oberhalb der Brücke bemerkt man nach der Verstopfung ihrer beiden Öffnungen eine starke Materialakkumulation mit Dicken bis zu 7 m, vielleicht zum Teil überschätzt; dennoch lassen die Bilder zu diesem Abschnitt ahnen, dass die Überschätzung auch in Anbetracht des zyklischen Materials, das dort zum Stillstand kam, dann doch nicht so stark ist. Unterhalb der Brücke wird das gesamte Flussbett von Sedimenten mit Dicken zwischen 3 m und 5 m eingenommen, und ebenso gut wurde der Expansionsbereich in Pioverna

#### 4.2.2.B/3.3 Risultati

Le simulazioni sono state condotte prima e dopo la costruzione dell'opera di difesa dell'abitato. La modellazione di espansione della colata lungo l'alveo non mostra particolari differenze nelle due simulazioni, mentre è molto diversa nella parte apicale del conoide dopo la messa in opera di un cuneo di protezione. Si presentano di seguito i risultati delle simulazioni in termini di: 1) spessore dei depositi, 2) livelli raggiunti dalla colata, 3) volumi coinvolti, 4) velocità della colata in corso d'evento, 5) velocità finale o residua, 6) portata.

- 1) Lo spessore finale dei depositi a colata terminata è stata comparata con l'estensione finale delle aree inondate e con lo spessore stimabile nei diversi punti ricavati dall'evento di novembre 2002; dal confronto emerge una discreta coincidenza e dove ciò non accade la ragione è probabilmente da attribuire ad imprecisioni nel Modello Digitale del Terreno. Al termine della simulazione si ottengono sul conoide spessori mediamente compresi tra 1.5 m e 3 m, in accordo con quanto si può desumere dalle fotografie dell'evento. A monte del ponte, in seguito all'ostruzione di due luci dello stesso, si rileva un forte accumulo di materiale, con spessori sino a 7 m, forse in parte sovrastimati; tuttavia le immagini relative a quel tratto fanno intuire che la sovrastima non è poi eccessiva, anche in considerazione del materiale ciclopico che lì si è fermato. A valle del ponte tutto l'alveo risulta ingombro di sedimenti con spessori variabili tra 3 m e 5 m ed è egualmente bene colta la zona di espansione nel T. Pioverna; si deve tenere conto che parte della colata è stata trascinata via dalla corrente del recettore.
- 2) Confrontando i massimi livelli della colata (Figura 4.2.2.B/3.3) con le tracce presenti in alveo principalmente a monte del conoide, si vede che la



that the flow in this area reached a maximum height of 7 m to 9 m, which is compatible with what was observed on site; and the other maximum heights in the stretch downstream appear compatible with available data.

- 3) The volume calculated in the stretch between the end of the fan and the end of the canalised stretch of the Rossiga Torrent, where it meets the Pioverna Torrent was 35.000 m<sup>3</sup>, above the estimate of 20.000 m<sup>3</sup>. In any case it should be underlined that assessments were made 0.4 hours from the flow event, when the flow is still moving, albeit at low speeds. An overestimate of volumes in the watercourse is therefore natural.
- 4) Considering the maximum speeds during the event (Figure 4.2.2.B/3.4) we can note maximum speeds of up to 5 m/s - 7 m/s in the stretch upstream from the fan, which are completely in line with the dynamics of this type of flow and the timing of the event. Some peaks at one or two isolated points of the intermediate stretch can probably be connected to some localised numeric instability and are therefore insignificant.
- 5) Considering the final flow speed (Figure 4.2.2.B/3.5) it can be seen that a short time after the event it is characterised by purely virtual figures in many points. There is a slow downhill movement of a few cm/s on the fan, due to the gradual disappearance of the water; this figure is also compatible with witness accounts, which speak of a slow flow movement on the fan at the end of the event, similar to a lava flow. The residual speeds in the watercourse represent the tail of the event, and are entirely realistic.
- 6) It is also interesting to observe that the hydrograph is considerably reduced as it transfers down the channel (Figure 4.2.2.B/3.6). While upstream of the fan the peak flow is 30 m<sup>3</sup>/s less than the initial speed (230 m<sup>3</sup>/s), downstream of the fan, after

erfasst; man muss bedenken, dass ein Teil der Mure von der Strömung des aufnehmenden Flusses mitgerissen wurde.

- 2) Vergleicht man die Höchstniveaus der Mure (Figur 4.2.2.B/3.3) mit den Spuren im Bachbett, vorwiegend oberhalb des Kegels, sieht man, dass der Strom im oberen Abschnitt maximale Höhen zwischen 7 m und 9 m erreicht hätte. Diese Werte sind kompatibel mit den Messungen im Feld. Auch die anderen Maximalhöhen im unteren Abschnitt scheinen mit den vorliegenden Daten kompatibel zu sein.
- 3) Die Volumina, die im Abschnitt zwischen dem Kegelende und dem Ende des kanalisiertem Abschnitts des T. Rossiga an der Mündung in den T. Pioverna berechnet wurden, betragen zirka 35.000 m<sup>3</sup>, deutlich mehr als die geschätzten 20.000 m<sup>3</sup>. Man muss allerdings darauf hinweisen, dass die Auswertungen 0.4 Stunden nach dem Ereignis vorgenommen wurden, als der Strom im Bett noch in Bewegung war, wenn auch mit geringer Geschwindigkeit. Es ist also natürlich, dass die Volumina im Bachbett überschätzt wurden.
- 4) Bei den Höchstgeschwindigkeiten während des Ereignisses (Figur 4.2.2.B/3.4) bemerkt man Höchstwerte um 5 m/s - 7 m/s im Abschnitt oberhalb des Kegels, die mit der Dynamik dieses Murentyps und mit dem Zeitverlauf des Ereignisses völlig kompatibel sind. Einige Spitzen an einem oder zwei isolierten Punkten im mittleren Abschnitt sind mit aller Wahrscheinlichkeit auf eine lokalisierte Instabilität numerischer Art zurückzuführen und damit unbedeutend.
- 5) Bei der Endgeschwindigkeit des Stroms (Figur 4.2.2.B/3.5) bemerkt man, dass sie kurze Zeit nach dem Ereignis von Werten geprägt ist, die an vielen Punkten nur virtuell sind. Man sieht eine langsame Bewegung talwärts von wenigen cm/s im Kegel, verbunden mit dem zunehmenden

colata nel tratto di monte avrebbe raggiunto altezze massime tra 7 m e 9 m, valori compatibili con quanto rilevato sul campo; anche le altre altezze massime sul tratto di valle appaiono compatibili con i dati disponibili.

- 3) I volumi calcolati nel tratto compreso tra il termine del conoide e la fine del tronco canalizzato del T. Rossiga in corrispondenza dell'ingresso nel T. Pioverna sono di circa 35.000 m<sup>3</sup>, superiori ai 20.000 m<sup>3</sup> stimati. Si deve tuttavia sottolineare che le valutazioni sono fatte a 0.4 ore dall'evento della colata, quando la colata in alveo è ancora in moto, seppure con velocità basse. È quindi naturale che i volumi in alveo siano sovrastimati.
- 4) Considerando le massime velocità in corso di evento (Figura 4.2.2.B/3.4) si notano valori massimi prossimi a 5 m/s - 7 m/s nel tratto a monte del conoide, che appaiono del tutto compatibili con la dinamica di questo tipo di colata e con la tempistica dell'evento. Alcuni picchi isolati presenti nel tratto intermedio sono con tutta probabilità da legare a qualche localizzata instabilità di tipo numerico e non sono quindi significativi.
- 5) Considerando la velocità finale della colata (Figura 4.2.2.B/3.5) si nota che poche decine di minuti dopo l'evento essa è caratterizzata da valori in molti punti solo virtuali. Si ha un lento movimento verso valle di pochi cm/s sul conoide, connesso alla progressiva perdita di acqua; anche questo dato è compatibile con le osservazioni dei testimoni, che parlano di un lento movimento della colata sul conoide al termine dell'evento, con modalità simili ad una lava. Le velocità residue in alveo sono invece quelle della coda di esaurimento dell'evento, del tutto realistiche.
- 6) È inoltre interessante osservare che l'idrogramma risulta notevolmente smorzato nel processo di trasferimento lungo l'alveo (Figura 4.2.2.B/3.6). Se a monte del conoide la portata di picco è già ridotta

heavy depositing the capacity decreases to just over 100 m<sup>3</sup>/s, coming down to a capacity of around 80 m<sup>3</sup>/s upstream of the bridge. This explains why a large scale flow like this one overflowed only upstream of the bridge.

The simulation conducted using the Digital Elevation Model with a 2 x 2 m<sup>2</sup> grid yielded similar results with regards to the development of the flow down the torrent channel, and also highlighted the validity of the flow deviation works constructed upstream of the town to protect the houses (Figure 4.2.2.B/3.8).

Wasserverlust; auch diese Angabe entspricht den Beobachtungen von Zeugen, die von einer langsamen Bewegung des Stroms im Kegel am Ende des Ereignisses sprechen, ähnlich wie Lava. Die Restgeschwindigkeiten im Bachbett sind dagegen jene der Erschöpfungsphase des Ereignisses und völlig realistisch.

- 6) Es ist außerdem interessant zu beobachten, dass das Hydrogramm im Transferprozess entlang dem Flussbett erheblich gedämpft ist (Figur 4.2.2.B/3.6). Wenn die Menge oberhalb des Kegels an der Spitze im Vergleich zur Anfangsmenge (230 m<sup>3</sup>/s) schon um 30 m<sup>3</sup>/s reduziert ist, verringert sie sich unterhalb desselben durch die starke Ablagerung auf wenig mehr als 100 m<sup>3</sup>/s, um oberhalb der Brücke zu einer Menge von zirka 80 m<sup>3</sup>/s zu gelangen. Dies erklärt, warum ein riesiger Strom wie dieser dennoch eine begrenzte Überschwemmung oberhalb der Brücke verursacht hat.

Die Simulation mit dem digitalen Geländemodell mit Teilung 2 x 2 m<sup>2</sup> hat zu analogen Ergebnissen geführt, was die Entwicklung der Mure im Bachbett angeht. Gleichzeitig hat sie den Wert der Murumleitung oberhalb der Siedlung zum Schutz der Häuser erwiesen (Figur 4.2.2.B/3.8).

di 30 m<sup>3</sup>/s rispetto a quella iniziale (230 m<sup>3</sup>/s), a valle dello stesso, in conseguenza della forte deposizione, la portata si riduce a poco più di 100 m<sup>3</sup>/s, per arrivare a una portata di circa 80 m<sup>3</sup>/s a monte del ponte. Questo spiega perché una colata ingente come questa abbia comunque causato un'esondazione limitata a monte del ponte.

La simulazione condotta con un Modello Digitale del Terreno con passo di 2 x 2 m<sup>2</sup> ha portato a risultati analoghi per quanto riguarda lo sviluppo della colata lungo l'alveo del torrente, mentre ha evidenziato la validità dell'opera di deviazione delle colate, costruita a monte dell'abitato per la protezione delle case (Figura 4.2.2.B/3.8).

Numerical modelling of debris flows  
 § 4.2.2.B/3 REGIONE LOMBARDIA

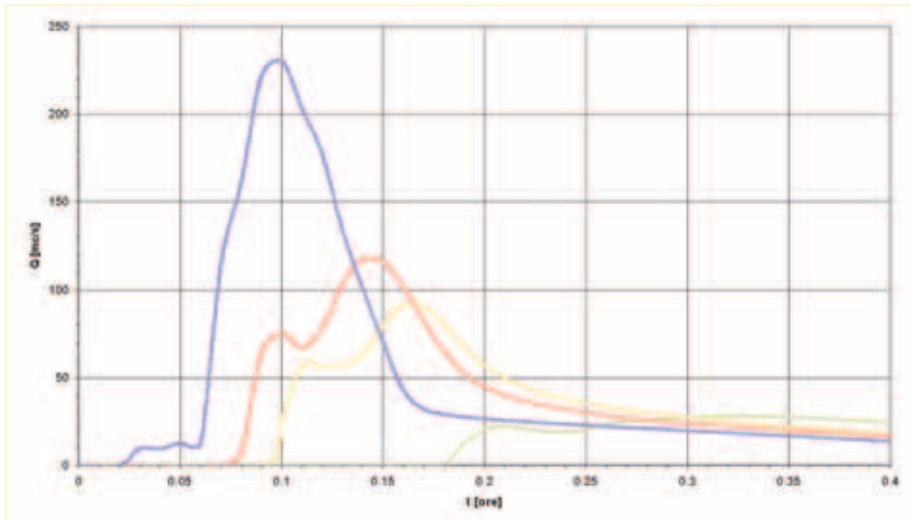


Figure 4.2.2.B/3.6 The debris flow surge travelling down the Rossiga Torrent in the stretch studied. The blue line illustrates the situation upstream of the fan, the red line immediately downstream of the fan, the yellow line in the intermediate area upstream of the old bridge and the green line regards the area up to the outlet into the Pioverna Torrent.

Figur 4.2.2.B/3.6 Murenwelle bei ihrem Fortschreiten entlang dem T. Rossiga in Bezug auf den in der Untersuchung geprüften Abschnitt. Die blaue Linie bezieht sich auf die Situation oberhalb des Kegels, die rote auf die direkt unterhalb des Kegels; die gelbe Linie im Zwischenbereich oberhalb der alten Brücke und die grüne Linie beziehen sich auf die Zone, die auf die Mündung des T. Pioverna blickt.

Figura 4.2.2.B/3.6 Onda di colata nella sua progressione lungo il T. Rossiga, relativamente al tratto esaminato nella relazione. La linea blu è relativa alla situazione a monte del conoide; quella rossa subito a valle del conoide; la linea gialla nella zona intermedia a monte del vecchio ponte e la linea verde è relativa alla zona prospiciente lo sbocco nel T. Pioverna.

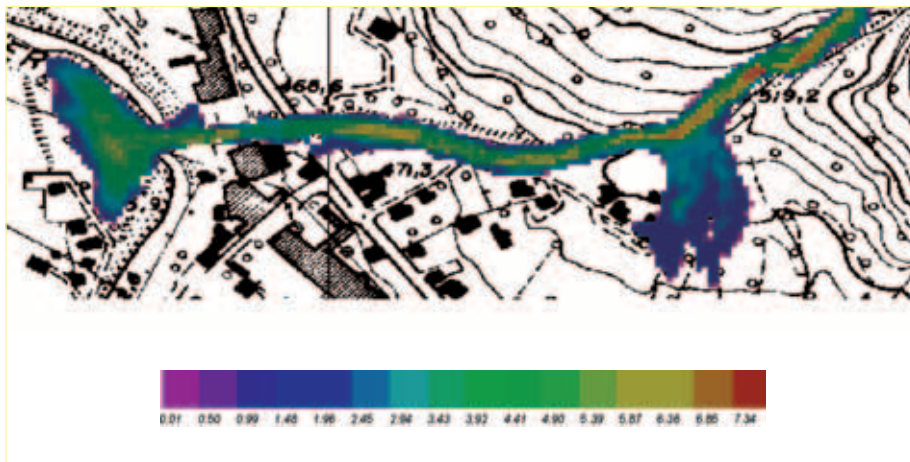


Figure 4.2.2.B/3.7 Result of the simulation in terms of maximum levels, in metres (Digital Elevation Model with a 5 x 5 m<sup>2</sup> grid).

Figur 4.2.2.B/3.7 Simulationsergebnis der Höchstniveaus in Metern (digitales Geländemodell im Raster 5 x 5 m<sup>2</sup>).

Figura 4.2.2.B/3.7 Risultato della simulazione in termini di massimi livelli, in metri (Modello Digitale del Terreno a maglia 5 x 5 m<sup>2</sup>).

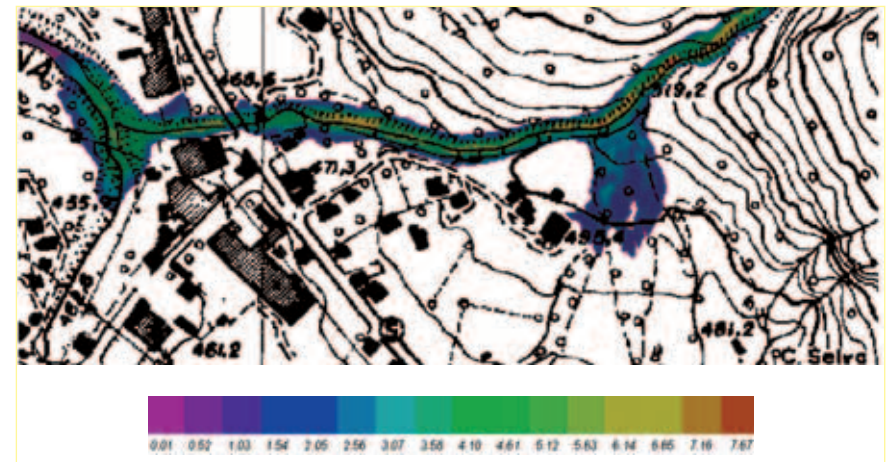


Figure 4.2.2.B/3.8 Result of the simulation in terms of maximum levels, in metres (Digital Elevation Model with a 2 x 2 m<sup>2</sup> grid).

Figur 4.2.2.B/3.8 Simulationsergebnis der Höchstniveaus in Metern (digitales Geländemodell im Raster 2 x 2 m<sup>2</sup>).

Figura 4.2.2.B/3.8 Risultato della simulazione in termini di massimi livelli, in metri (Modello Digitale del Terreno a maglia 2 x 2 m<sup>2</sup>).

#### 4.2.2.B/3.4 Conclusions

In the application of the model, the points to highlight are: the insertion of real data into the programme for calibration purposes and the use of Digital Elevation Models at different resolutions. The aim was to reproduce the event in order to determine the characteristics that can reasonably be expected in the event of future flows in this catchment (with the same trigger mechanism). In the case of the event of November 2002 we can conclude that the flow was not caused by an overflow from a blockage in the channel, but was due to the natural continuation of a landslide which transformed into a fluid state as it slid down the slope. For the event in question we estimated a reasonable flow volume of around 70.000 m<sup>3</sup> – 80.000 m<sup>3</sup>, a duration of between 4' and 10', a peak capacity of around 230 m<sup>3</sup>/s and a substantially constant concentration of volume. The use of a higher resolution Digital Elevation Model leads to an undoubtedly superior quality of results, but introduces significant variations with respect to the simulations performed using a 5 m grid. The results obtained demonstrate the utility of the method in defining the expansion areas of a debris flow, as long as realistic figures are used.

#### 4.2.2.B/3.4 Schlussfolgerungen

Bei der Anwendung der Methode müssen folgende Aspekte betont werden: die Eingabe von realen Daten zur Tarierung des Programms und die Verwendung von digitalen Geländemodellen mit verschiedener Auflösung. Es wurde also versucht, das Ereignis zu reproduzieren, um die Eigenschaften herauszufinden, die man bei zukünftigen Murgänge in diesem Einzugsgebiet berechtigterweise erwarten kann (bei gleichem Auslösemechanismus). Beim Ereignis von November 2002 kann man schließen, dass der Strom nicht durch den Überfall einer Sperre ausgelöst wurde, die sich im Bachbett gebildet hatte, sondern als natürliche Fortsetzung eines Erdbebens erzeugt wurde, der sich während seines Gleitens auf dem Hang verflüssigte. Für das berücksichtigte Ereignis wurde ein berechtigtes Stromvolumen von zirka 70.000 m<sup>3</sup> - 80.000 m<sup>3</sup>, eine Dauer des Phänomens zwischen 4' und 10', eine Menge auf dem Höhepunkt von zirka 230 m<sup>3</sup>/s und ein im Wesentlichen konstanter Verlauf der Volumenkonzentration geschätzt. Wendet man eine größere Auflösung für das digitale Geländemodell an, führt dies zu einer zweifellos größeren Auflösungsqualität, führt aber signifikante Veränderungen an den Ergebnissen der Simulationen mit Teilung 5 m ein. Die Ergebnisse zeigen den Nutzen der Methode bei der Definition der Stromausdehnungsflächen, sofern realistische Werte eingegeben werden.

#### 4.2.2.B/3.4 Conclusioni

Nell'applicazione del metodo, i punti da mettere in evidenza sono: l'inserimento nel programma di dati reali per la taratura e l'utilizzo di Modelli Digitali del Terreno a diverse risoluzioni. Si è cercato, quindi, di riprodurre l'evento al fine di individuare le caratteristiche che ci si può ragionevolmente aspettare in caso di future colate in questo bacino (a parità di meccanismo di innesco). Nel caso specifico dell'evento del novembre 2002, si può concludere che la colata non è stata indotta dalla tracimazione di uno sbarramento formatosi in alveo, ma si è generata come naturale prosecuzione di una frana fluidificatasi durante il suo scorrimento su versante. Per l'evento considerato, si è stimato un ragionevole volume di colata di circa 70.000 m<sup>3</sup> - 80.000 m<sup>3</sup>, una durata del fenomeno compresa tra 4' e 10', una portata al colmo di circa 230 m<sup>3</sup>/s e un andamento della concentrazione volumetrica sostanzialmente costante. L'adozione di una risoluzione maggiore del Modello Digitale del Terreno porta ad una qualità di soluzione indubbiamente maggiore, ma non introduce significative variazioni rispetto a quanto evidenziato dalle simulazioni condotte a passo 5 m. I risultati ottenuti mostrano l'utilità del metodo nella definizione delle aree di espansione di una colata, purché si inseriscano valori realistici.



§ 4.2.2.B/4 REGIONE VENETO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy – Regione Veneto
Village - Ort - Comune	La Valle Agordina (BL)
Basin – Becken - Bacino	Piave
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Missiaga
Notes - Bemerkungen - Note	see § 4.2.2.A/4



**T. MISSIAGA**  
Basin area 9.67 km<sup>2</sup>  
Maximum altitude 2.544 m s.l.l.  
Minimum altitude 554.9 m a.s.l.  
Mean slope 61%  
Stream length 7.8 km

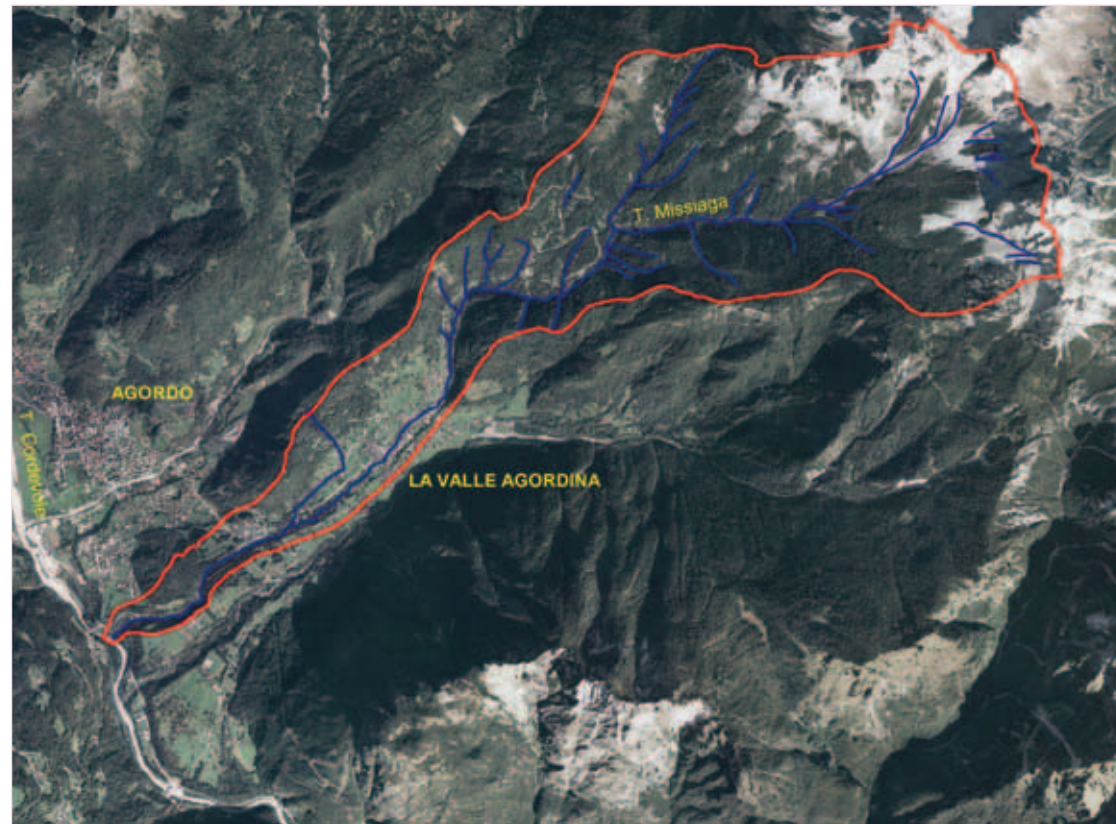


Figure 4.2.2.B/4.1 Geographic context and perimeter of the sample area of the Missiaga Torrent catchment and fan.  
Figur 4.2.2.B/4.1 Geographische Einordnung und Abgrenzung des Untersuchungsgebiets von Einzugsgebiet und Kegel des T. Missiaga.  
Figura 4.2.2.B/4.1 Inquadramento geografico e perimetro dell'area campione del bacino e del conoide del T. Missiaga.

#### 4.2.2.B/4.1 Preliminary tasks

The sample area is the catchment of the Missiaga Torrent and relative fan, which was also formed with debris from the Bordina Torrent, situated in the commune of La Valle Agordina (BL). The catchment can be divided into three sections: the upper section includes the wide head (around 65 % of the entire catchment) which is asymmetrical, as the area of the slope on the hydrographic right is around double that of the left side; the central section is characterised by a winding overflowed valley floor stretch which crosses the town of La Valle Agordina, and features 44 dams, foot bridges and road bridges; the lower section, deep set, is markedly asymmetrical and has an average gradient of 8.6 %.

Historical records show that in April 1701 the village of La Valle Agordina was hit by two massive debris flows, which affected a vast area and led to the deaths of many people. Subsequent events, with a supply of debris from an enormous landslide, did not reach the town, stopping at much higher ground. More recently the town has suffered further damage caused by peak flow events with hyperconcentrated sediment transport.

Hydrometric data is available for Agordo (SIMN, 1924-1995, ARPAV 1983-2004) and Malga Rova (CNR IRPI in Padua 1983-86). In view of the complexity and social importance of the phenomena in question, the work aimed to:

- identify and quantify potential sources of debris;
- determine the level of hazard facing the town, indicating the areas at risk and the potential volumes involved;
- reconstruct the 1701 event;
- on the basis of results of geological and hydraulic studies, formulate two scenarios describing the propagation of a debris flow in the town.

The analysis was carried out by gathering data and

#### 4.2.2.B/4.1 Vorarbeiten

Das Untersuchungsgebiet besteht aus dem Becken des T. Missiaga und dem dazugehörigen Kegel, der auch durch Geschiebezufuhr des Wildbachs Bordina gebildet wurde und in der Gemeinde von La Valle Agordina (BL) liegt. Das Einzugsgebiet kann in drei Abschnitte unterteilt werden: Der obere umfasst den weiten Kopfteil (zirka 65 % des gesamten Beckens), der asymmetrisch ist, da er sich auf der hydrographisch rechten Seite etwa doppelt so weit ausdehnt wie auf der linken Seite, der mittlere Abschnitt ist von einer aufgehöhten Talsohle mit geschwungenem Verlauf geprägt, die sich durch die Ortschaft La Valle Agordina zieht, die 44 Böschungsmauern, Fußgänger- und Straßenbrücken aufweist, während sich der tief eingesenkte untere Abschnitt durch ausgeprägte Asymmetrie und ein durchschnittliches Gefälle von 8.6 % auszeichnet.

Die historischen Chroniken berichten, dass das Dorf La Valle Agordina im April 1701 von zwei riesigen Murenereignissen betroffen wurde, die ein weites Gebiet einbezogen und den Tod vieler Menschen verursachten. Spätere Phänomene – wahrscheinlich vom Geröll gespeist, das von einem enormen Erdbeben freigesetzt wurde – kamen weiter oben zum Stillstand und erreichten die Ortschaft nicht. In jüngerer Zeit lösten Hochwasserereignisse mit hyperkonzentriertem Feststofftransport Schäden an der Ortschaft aus.

Hydrometrische Daten liegen von Agordo (SIMN, 1924-1995, ARPAV 1983-2004) und Malga Rova (CNR IRPI Padua, Jahre 1983-86) vor. Angesichts der Komplexität und gesellschaftlichen Relevanz der untersuchten Phänomene setzte sich die Arbeit zum Ziel:

- die möglichen Quellen für Geschiebespeisung herauszufinden und zu quantifizieren;
- die Gefahr zu bestimmen, der die Ortschaft aus-

#### 4.2.2.B/4.1 Fasi preliminari

L'area campione è costituita dal bacino del T. Missiaga e dal relativo conoide, formato anche dall'apporto detritico del T. Bordina e situato in comune di La Valle Agordina (BL). Il bacino può essere suddiviso in tre tronchi: il superiore comprende l'ampia testata (circa il 65 % dell'intero bacino), che è asimmetrica, essendo l'estensione del versante in destra idrografica circa doppia rispetto a quella del versante sinistro; il tronco centrale è caratterizzato da un fondovalle sovralluvionato ad andamento sinuoso che attraversa l'abitato di La Valle Agordina interessato da 44 briglie, passerelle pedonali e ponti stradali; il tronco inferiore, profondamente incassato, è caratterizzato da marcata asimmetria e pendenza media del 8.6 %.

Le cronache storiche riportano che il paese di La Valle Agordina fu interessato nell'aprile del 1701 da due ingenti fenomeni di colata detritica, che coinvolsero una vasta area e causarono la morte di molte persone. Fenomeni successivi, verosimilmente alimentati dal detrito reso disponibile da un enorme frana, non hanno raggiunto l'abitato, fermandosi a quote molto più elevate. In tempi più recenti, ulteriori danni all'abitato sono stati scatenati da eventi di piena con trasporto solido iperconcentrato.

Sono disponibili dati idrometrici di Agordo (SIMN, 1924-1995, ARPAV 1983-2004), e Malga Rova (CNR IRPI di Padova anni 1983-86). Preso atto della complessità e della rilevanza sociale dei fenomeni in studio, il lavoro svolto si è preposto di:

- individuare e quantificare le possibili fonti di alimentazione del detrito;
- determinare il pericolo cui è esposto l'abitato, individuando le aree esposte e i volumi potenzialmente coinvolti;
- ricostruire l'evento del 1701;
- ipotizzare in base ai risultati degli studi geologici

## Numerical modelling of debris flows § 4.2.2.B/4 REGIONE VENETO

performing field measurements and surveys, along with the use of models to model the hydraulic processes of peak flows and the behaviour of debris flows.

gesetzt ist, indem die gefährdeten Flächen und potenziell einbezogenen Volumina identifiziert werden;

- das Ereignis von 1701 zu rekonstruieren;
- und auf der Grundlage der Ergebnisse von geologischen und hydrologischen Untersuchungen zwei Szenarien anzunehmen, die die Ausbreitung eines Murenabgangs im Wohngebiet beschreiben.

Für die Analyse wurden Daten gesammelt, Messungen und Untersuchungen im Feld durchgeführt und Berechnungscodes verwendet, um das Hochwasserverhalten und das Murenverhalten zu modellieren.

ed idraulici due scenari che descrivano la propagazione di una colata detritica nell'area abitata.

L'analisi è stata condotta tramite raccolta dati, rilevamenti ed indagini di campagna e l'uso di codici di calcolo per la modellazione del comportamento idraulico delle piene e del comportamento delle colate detritiche.

#### 4.2.2.B/4.2 Activities

With the aim of characterising the general aspect of the catchment and assessing the general quantity of debris available to supply the transport of solids, the following activities were carried out:

- research into historic records of previous events;
- a multitemporal photo-geological analysis;
- a geological-geomorphologic landscape survey on a scale of 1:5.000, integrated with a census of water emergencies, indicative of contact between quaternary deposits and the rocky substrate;
- geotechnical characterisation of the deposits which could be mobilised, by means of particle size analysis (numerical method in the field and ponderal method in the laboratory) and shear strength testing;
- particle size analysis in the channel to estimate roughness;
- geophysical analysis to estimate debris thicknesses.

To complement the available topographic information, which consisted in Regional Technical Maps on a scale of 1:5.000 and 1:10.000, a topographic survey of the vulnerable area of the village and the stretch immediately upstream from it was carried out, in sections (one section around every 100 m) in the upper stretch, while in the lower stretch lines of discontinuity were used (elevation).

The peak flow values of the single characteristic stretches of the channel for return periods of 50, 100 and 200 years were obtained by applying the Gumbel statistical/probabilistic projection to data for peak flows, and using a flow/runoff model (rational method) and statistical/probabilistic calculations of rainfall quantities. The two methods applied provided practically identical capacity levels for each return period.

The data gathered and the surveys carried out, which

#### 4.2.2.B/4.2 Aktivitäten

Um die allgemeine Situation des Beckens zu charakterisieren und die generelle Verfügbarkeit von Geschiebe zu beurteilen, das den Feststofftransport speisen könnte, wurde Folgendes ausgeführt:

- Forschung nach historischen Berichten in Bezug auf frühere Ereignisse;
- fotogeologische multitemporale Analyse;
- eine geologisch-geomorphologische Vermessung im Feld im Maßstab 1:5.000, ergänzt durch die Registrierung der hydraulischen Notfälle als Indikatoren für den Kontakt zwischen Quartärsedimenten und Bedrock;
- die geotechnische Charakterisierung der wieder mobilisierbaren Sedimenten durch granulometrische Analysen (numerische Methode im Feld und Gewichtungsmethode im Labor) und Einschnitttests;
- granulometrische Analysen im Bachbett für die Schätzung der Rauheit;
- geophysikalische Perspektiven für die Schätzung der Dicken.

Um die verfügbare topographische Grundlage aus der Regional-Grundkarte (Carta Tecnica Regionale) im Maßstab 1:5.000 und 1:10.000 zu ergänzen, wurde eine topographische Vermessung im empfindlichen Gebiet des Dorfs und in dem unmittelbar oberhalb anschließenden Abschnitt durchgeführt; im oberen Abschnitt wurde nach Querschnitten (zirka ein Schnitt alle 100 m), im unteren Abschnitt nach Diskontinuitätslinien vermessen (Maßplan).

Die Mengenwerte auf dem Höhepunkt der einzelnen für das Bachbett charakteristischen Abschnitte nach 50, 100 und 200-jährlichen Abflusszeiten wurden mit zwei Methoden erreicht: durch Anwendung der statistisch-probabilistischen Projektion nach Gumbel auf die Spitzendaten des Hochwassers und durch Anwendung eines Zufluss-Abflussmodells (rationale Methode) und

#### 4.2.2.B/4.2 Attività

Con la finalità di caratterizzare l'assetto generale del bacino e di valutare la generale disponibilità del detrito ad alimentare il trasporto solido, sono stati eseguiti:

- la ricerca di notizie storiche relative agli eventi pregressi;
- l'analisi fotogeologica multitemporale;
- un rilievo geologico-geomorfologico di campagna alla scala 1:5.000, integrato dal censimento delle emergenze idriche, quali indicatori del contatto tra i depositi quaternari e il substrato roccioso;
- la caratterizzazione geotecnica dei depositi rimbombabili tramite analisi granulometriche (metodo numerale in campagna e metodo ponderale in laboratorio) e prove di taglio;
- analisi granulometriche in alveo per la stima della scabrezza;
- prospezioni geofisiche per la stima degli spessori di detrito.

Per integrare la base topografica disponibile, costituita dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 e 1:10.000, è stato eseguito un rilievo topografico nella zona vulnerabile del paese e nel tratto immediatamente a monte; nel tratto superiore si è eseguito un rilievo per sezioni (circa una sezione ogni 100 m), nel tratto inferiore si è operato per linee di discontinuità (piano quotato).

I valori delle portate al colmo nei singoli tratti caratteristici dell'alveo per tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni sono state ricavate sia applicando la proiezione statistico-probabilistica di Gumbel ai dati di picco di piena, sia con l'utilizzo di un modello afflussi-deflussi (metodo razionale) e di elaborazioni statistico-probabilistiche delle altezze di pioggia. I due metodi applicati hanno fornito valori di portata pressoché coincidenti a parità di tempo di ritorno.

Sulla base dei dati raccolti e delle indagini effettuate, che hanno evidenziato in particolare l'attuale quie-



highlighted the current dormancy of major landslides in progress, revealed that the expected events are peak flows with transport of hyperconcentrated sediment, and these were explored in specific simulations. The debris flows were simulated taking the following into account:

- a) movement of sediment volumes of around 1.000.000 m<sup>3</sup>;
- b) considering the availability of a more realistic quantity of sediment, comparable to the volume of the elongated crest along the northeast/southwest axis on the hydrographic right (interpreted as a suspended lobe of the 1701 landslide) of around 150.000 m<sup>3</sup>.

The simulation of the hydraulic profile of the Missiaga Torrent, with reference to peak flows with hyperconcentrated sediment transport and a return period of 200 years, was carried out using the HEC RAS model (U.S. Army Corps of Engineers, 1997).

The simulation of a debris flow of a comparable size to the events of 1701 was performed using the MODDS code (*Mono Dimensional Debris flow Surges*) based on the availability of an unlimited volume of available sediment (volume > 1.000.000 m<sup>3</sup>). The simulations to reconstruct two possible scenarios based on the availability of 150.000 m<sup>3</sup> of sediment were carried out using the FLO-2D code. The input data for this analysis was triangular hydrographs corresponding to a peak flow with a return period of 200 years and sediment graphs of the same shape and duration of the water hydrographs, with a maximum concentration of 40 %.

The simulation regarding the area from the CNR flow breaker up to where the torrent leaves the village of La Valle Agordina used a water hydrograph corresponding to a maximum liquid capacity of 31 m<sup>3</sup>/s for a duration of 7 hours, with a Digital Elevation Model taken from the Regional Technical Map, with a 5 m grid.

statistisch-probabilistische Auswertungen der Regenhöhen. Die beiden Methoden ergaben bei gleicher Ablaufzeit fast übereinstimmende Mengenwerte. Auf der Grundlage der gesammelten Daten und der durchgeführten Untersuchungen, die insbesondere die derzeitige Ruhephase der größeren Erdbeben erwiesen, werden als wichtigste Ergebnisse Hochwasser mit hyperkonzentriertem Feststofftransport erwartet, die daher in spezifischen Simulationen betrachtet wurden.

Folgende Ereignisse wurden simuliert:

- a) Annahme einer Mobilisierung von Sedimentvolumina in der Größenordnung von 1.000.000 m<sup>3</sup>;
- b) Berücksichtigung der Verfügbarkeit einer realistischen Sedimentmenge, vergleichbar dem Volumen des in Richtung Nordost-Südwest verlängerten Rückens auf der hydrographisch rechten Seite (interpretiert als unterbrochener Ausläufer des Erdbebens von 1701) von zirka 150.000 m<sup>3</sup>.

Für die Simulation des hydraulischen Profils des T. Missiaga bei einem Hochwasser mit hyperkonzentriertem Feststofftransport und 200-jährlicher Abflusszeit wurde der Berechnungscode HEC RAS (U.S. Army Corps of Engineers, 1997) verwendet.

Die Simulation eines Stroms, dessen Eigenschaften mit dem Ereignis von 1701 in Beziehung gesetzt werden könnten, wurde mit dem Code MODDS (*Mono Dimensional, Debris flow Surges*) ausgeführt, wobei angenommen wurde, dass unbegrenzte Sedimentmengen zur Verfügung stehen würden (Volumen > 1.000.000 m<sup>3</sup>).

Die Simulationen für die Rekonstruktion von zwei möglichen Szenarien infolge einer Verfügbarkeit von Sedimentvolumina von 150.000 m<sup>3</sup> wurden mit dem Berechnungscode FLO-2D ausgeführt. Für die Analyse FLO-2D wurden als Ausgangsdaten die dreieckigen Hydrogramme eingegeben, die einem

scenza delle maggiori frane in atto, i principali fenomeni attesi sono risultati le piene con trasporto solido iperconcentrato, pertanto oggetto di specifiche simulazioni.

Sono stati simulati eventi di colata:

- a) prevedendo mobilizzazione di volumetrie di sedimento dell'ordine di 1'000'000 m<sup>3</sup>;
- b) considerando la disponibilità di una più realistica quantità di sedimento, paragonabile al volume del dosso allungato in direzione nordest-sudovest in destra idrografica (interpretato come lobo sospeso della frana del 1701), pari a circa 150.000 m<sup>3</sup>.

La simulazione del profilo idraulico del T. Missiaga, con riferimento ad una piena con trasporto solido iperconcentrato e tempo di ritorno di 200 anni, è stata eseguita utilizzando il codice di calcolo HEC RAS (U.S. Army Corps of Engineers, 1997).

La simulazione di una colata le cui caratteristiche potrebbero essere messe in relazione con quanto accaduto nel 1701 è stata eseguita con il codice MODDS (*Mono Dimensional, Debris flow Surges*), avendo assunto che vi sia disponibilità illimitata di sedimento (volume > 1.000.000 m<sup>3</sup>);

Le simulazioni per la ricostruzione di due possibili scenari conseguenti alla disponibilità di un volume di sedimento di 150.000 m<sup>3</sup> sono state eseguite con il codice di calcolo FLO-2D. Per l'analisi con FLO-2D sono stati inseriti quali dati di ingresso gli idrogrammi triangolari corrispondenti ad una piena con tempo di ritorno 200 anni e i sedimentogrammi della stessa forma e durata degli idrogrammi liquidi, con concentrazione volumetrica massima del 40 %.

Per la simulazione che si estende dalla controbriglia CNR fino all'uscita del paese La Valle Agordina, è stato immesso un idrogramma liquido corrispondente alla portata liquida massima di 31 m<sup>3</sup>/s per una durata di 7 h e usato un Modello Digitale del Terreno ricavato dalla Carta Tecnica Regionale e composto da maglia quadrata di lato 5 m.

## Numerical modelling of debris flows § 4.2.2.B/4 REGIONE VENETO

The simulation for the area just upstream from the flow breaker where the channel enters the village, up to where it leaves the village, used a peak flow hydrograph based on a maximum liquid capacity of 35.7 m<sup>3</sup>/s for a duration of 2 hours, with a Digital Elevation Model taken from the topographic survey with a 3 x 3 m<sup>2</sup> grid.

Hochwasser mit 200-jährlicher Abflusszeit entsprechen, und die Ablagerungsdiagramme der gleichen Form und Dauer wie die Flüssighydrogramme mit einer maximalen Volumenkonzentration von 40 %.

Für die Simulation, die sich von der Gegenmauer CNR bis zum Ortsausgang von La Valle Agordina erstreckt, wurde ein Flüssighydrogramm eingegeben, das einer maximalen Flüssigkeitsmenge von 31 m<sup>3</sup>/s für eine Dauer von 7 h entspricht. Das digitale Geländemodell dafür basiert auf der Regional-Grundkarte und besteht aus einem Quadratraster mit Seitenlänge 5 m.

Für die Simulation, die sich von wenig oberhalb der Sperre am Dorfeingang bis zum Ortsausgang erstreckt, wurde ein Hochwasserhydrogramm verwendet, das einer maximalen Flüssigkeitsmenge von 35.7 m<sup>3</sup>/s für eine Dauer von 2 h entspricht, und ein digitales Geländemodell mit Raster 3 x 3 m<sup>2</sup> auf der Grundlage der topographischen Messung.

Per la simulazione, estesa da poco a monte della briglia che si trova all'ingresso del paese fino all'uscita del paese, si è utilizzato un idrogramma di piena relativo ad una portata liquida massima di 35.7 m<sup>3</sup>/s per una durata di 2 h e un Modello Digitale del Terreno a maglia 3 x 3 m<sup>2</sup> ricavato dal rilievo topografico.

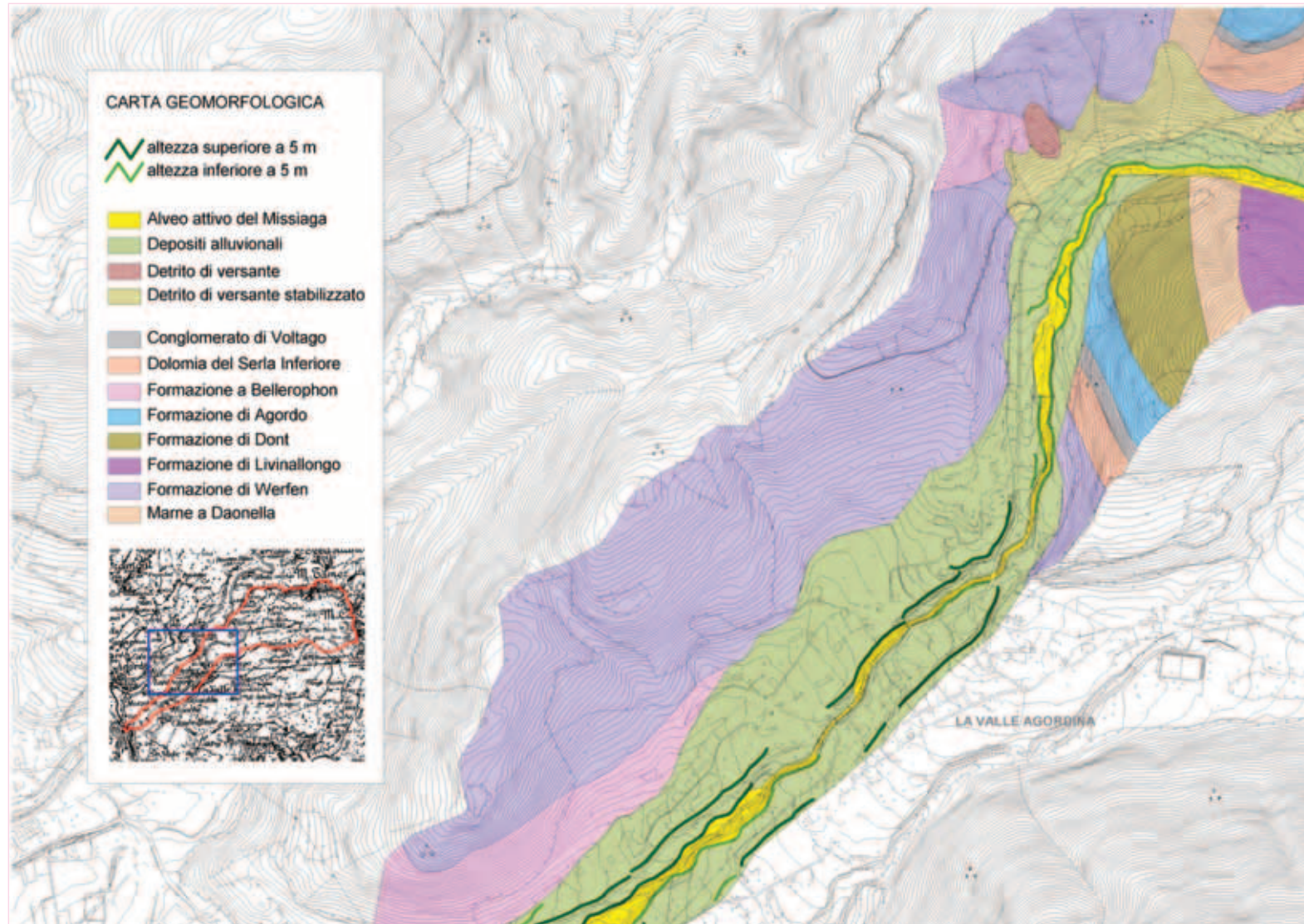


Figure 4.2.2.B/4.2 Extract from the geomorphologic map of the sample area of the Missiaga Torrent catchment and fan.  
Figur 4.2.2.B/4.2 Auszug aus der geomorphologischen Karte des Untersuchungsgebiets mit Becken und Kegel des T. Missiaga.  
Figura 4.2.2.B/4.2 Estratto della carta geomorfologica dell'area campione del bacino e del conoide del T. Missiaga.



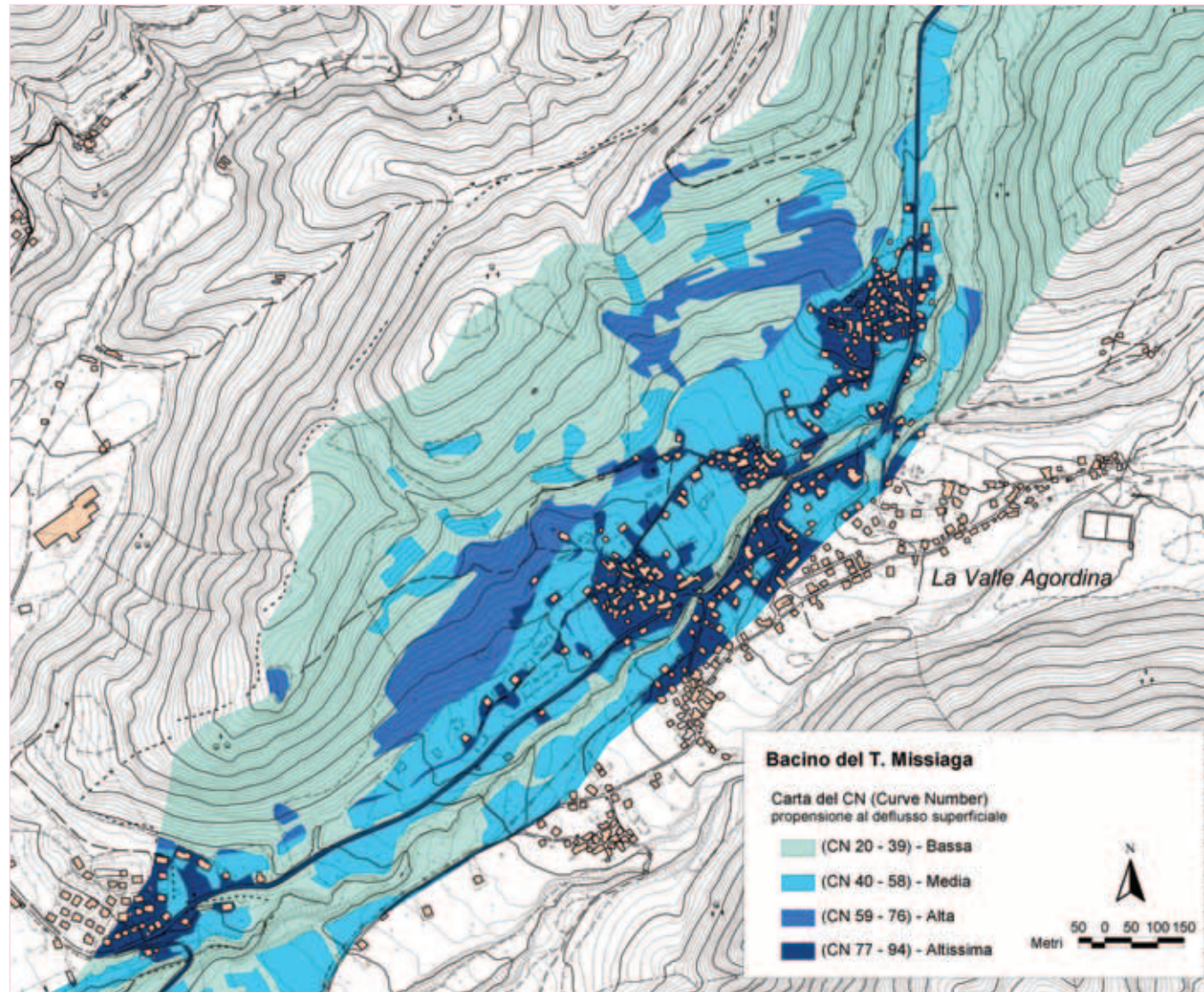


Figure 4.2.2.B/4.3 Map of the Curve Number for the sample area of the Missiaga Torrent catchment and fan.  
Figur 4.2.2.B/4.3 Karte der Curve Number für das Untersuchungsgebiet Becken und Kegel des T. Missiaga.  
Figura 4.2.2.B/4.3 Carta del Curve Number per l'area campione del bacino e del conoide del T. Missiaga.



#### 4.2.2.B/4.3 Results

The geological study revealed that a peak flow with hyperconcentrated transport of sediment was the type of event most likely to affect the Missiaga valley floor. The substantial landslides which could feed debris flows proved to be dormant. With regards to the hyperconcentrated transport of sediment with a return period of 200 years, the simulation performed using HEC-RAS showed that movement generally occurs in a slow-flowing current approaching critical levels; only in the stretch above an elevation of 1.000 m a. s. l. does movement occur in a rapid-flowing current. Peak flows are generally contained between the banks of the channel and the margin is less than 0.5 m only in limited stretches.

The simulation of an event comparable to that of 1701, carried out using the MODDS model, showed that the channel would be unable to contain the flow and that the greatest overflows would occur to the right of the bend in the middle section of the catchment, upstream and level with the flow breaker above the village, therefore to the right upstream and downstream of the bridge on the Fades road. Simulations based on the availability of a volume of around 150.000 m<sup>3</sup> of debris show that the critical areas where the channel is unable to contain runoff are limited in the case of a brief event; in the case of a longer event these areas are more widespread: the simulation indicates that a central area of the village on the hydrographic left could in fact be flooded.

#### 4.2.2.B/4.3 Ergebnisse

Die geologische Untersuchung ergab, dass die Phänomene, die die Talsohle des Missiaga mit einiger Wahrscheinlichkeit betreffen könnten, im derzeitigen Zustand zum Typ Hochwasser mit hyperkonzentriertem Feststofftransport gehören würden. Die beträchtlichen Erderschütterungen, die Muren speisen könnten, erwiesen sich in der Tat als ruhend. Was die Hochwasser mit hyperkonzentriertem Feststofftransport mit einer 200-jährlichen Abflusszeit angeht, ergab die mit HEC-RAS durchgeführte Simulation, dass die Bewegung generell in Konditionen langsamer Strömung erfolgt, die den kritischen nahe kommen; nur im Abschnitt über 1.000 m Höhe üdM erfolgt die Bewegung mit schneller Strömung. Der Hochwasserfluss wird im Allgemeinen von den Ufern des Flussbetts gehalten und der Sicherheitsabstand beträgt nur in begrenzten Abschnitten unter 0.5 m.

Die Simulation eines Ereignisses, das dem von 1701 vergleichbar ist, mit dem Berechnungscode MODDS ergab, dass das Bachbett nicht ausreichen würde, um den Strom zu begrenzen, und dass die größeren Überschwemmungen auf der rechten Seite im Kurvenabschnitt im mittleren Beckenbereich, oberhalb und auf der Höhe der Böschungsmauer oberhalb des Dorfs und dann rechts oberhalb und unterhalb der Brücke nach Fades eintreten würden.

Die Simulationen, die ein verfügbares Geröllvolumen von zirka 150.000 m<sup>3</sup> berücksichtigen, zeigen, dass die kritischen Gebiete, in denen das Bachbett nicht ausreichen würde, um den Abfluss zu begrenzen, im Fall eines kurzen Ereignisses sehr begrenzt, im Fall eines längeren Ereignisses aber umfassender wären: Die Simulation deutet in der Tat darauf hin, dass ein zentrales Gebiet des Dorfs auf der hydrographisch linken Seite überschwemmt werden könnte.

#### 4.2.2.B/4.3 Risultati

Lo studio geologico ha evidenziato che allo stato attuale la tipologia dei fenomeni che potrebbe interessare con maggiore probabilità il fondovalle Missiaga è quella dalle piene con trasporto solido iperconcentrato. I consistenti fenomeni franosi che potrebbero alimentare colate detritiche sono risultati infatti quiescenti. Per quanto riguarda le piene con trasporto solido iperconcentrato con tempo di ritorno 200 anni, la simulazione operata con HEC-RAS ha evidenziato che il moto avviene in generale in condizioni di corrente lenta, prossime a quelle critiche; solo nel tratto più a monte di quota 1.000 m s. l. m. il moto avviene in condizioni di corrente rapida. Il flusso di piena è in generale compreso tra le sponde dell'alveo e il franco è inferiore a 0.5 m solo in tratti limitati.

La simulazione di un evento paragonabile a quello del 1701, effettuata mediante il codice di calcolo MODDS, ha evidenziato che l'alveo sarebbe insufficiente a contenere la colata e che le esondazioni di maggiore entità si verificherebbero in destra nel tratto in curva nella parte media del bacino, a monte e in corrispondenza della briglia a monte del paese e quindi in destra a monte e a valle del ponte per Fades.

Le simulazioni che considerano la disponibilità di un volume di circa 150.000 m<sup>3</sup> di detrito mostrano che le aree critiche in cui l'alveo risulta insufficiente a contenere il deflusso sono, nel caso di un evento breve, molto limitate; nel caso di un evento più lungo, tali aree sono più estese: la simulazione indica infatti che potrebbe essere invasa un'area centrale del paese posta in sinistra idrografica.

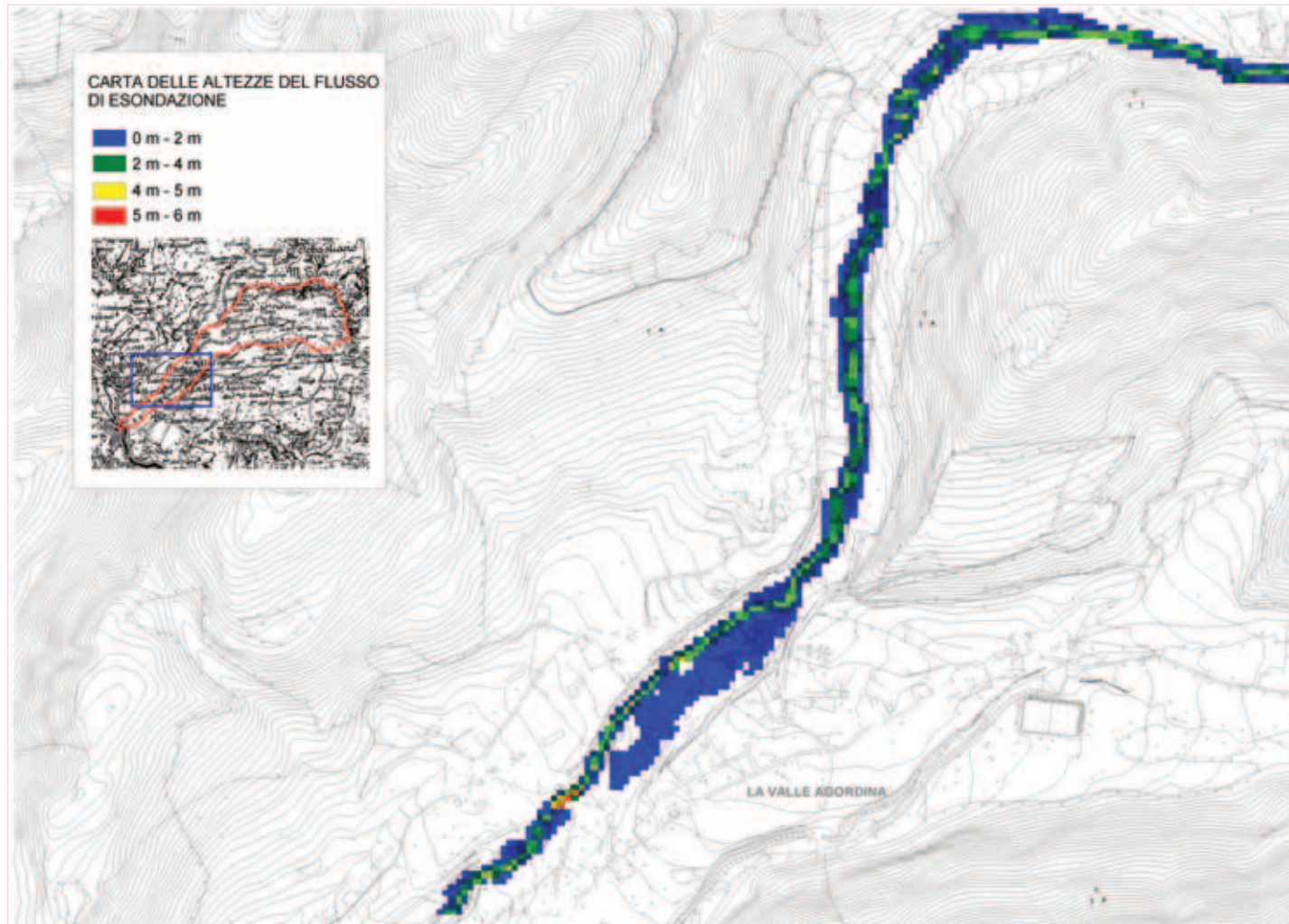


Figure 4.2.2.A/4.4 A detail of output from the FLO-2D model corresponding to the simulation of a scenario based on the availability of around 150.000 m<sup>3</sup> of sediment, and a duration of 7 h. Missiaga Torrent catchment and fan.

Figur 4.2.2.A/4.4 Detail des Outputs aus dem Modell FLO-2D zur Simulation eines Szenariums mit einem verfügbaren Sedimentvolumen von 150.000 m<sup>3</sup> und einer Dauer von 7h in Becken und Kegel des T. Missiaga.

Figura 4.2.2.A/4.4 Particolare dell'output del modello FLO-2D, corrispondente alla simulazione di uno scenario di evento conseguente alla disponibilità di un volume di sedimento di 150.000 m<sup>3</sup> e della durata di 7h. Bacino e conoide del T. Missiaga.

#### 4.2.2.B/4.4 Conclusions

The history of events in 1701 led us to choose the Missiaga catchment as a sample area where we could verify a number of scenarios of events connected to the propagation of the transport of sediment down to the valley floor, by studying the area's geological, geomorphologic and hydraulic characteristics. The geological, geomorphologic, geotechnical and geophysical studies carried out showed that the phenomenon most likely to affect the valley floor area was a hyperconcentrated transport of sediment. With regards to this type of event, the existing hydraulic protection works were found to be largely adequate. The same analyses showed that an exceptional event could mobilise an estimated volume of debris of 150.000 m<sup>3</sup>. The results of the modelling carried out using FLO-2D allowed us to validate and fine-tune hazard levels in the event of a similar situation, on a geo-morphological basis. It was noted that the FLO-2D simulation is heavily influenced by the topographic representation: the correct description of the torrent channel would require a very dense grid (up to 1 m), but this level of detail would lengthen simulation times greatly, making this process hard to manage.

#### 4.2.2.B/4.4 Schlussfolgerungen

Die historische Erinnerung der Ereignisse von 1701 führte dazu, das Becken des Missiaga als Untersuchungsgebiet auszuwählen, in dem durch Studien der geologischen, geomorphologischen und hydraulischen Eigenschaften einige Szenarien mit der Ausbreitung von Feststofftransportphänomenen in der Talsohle überprüft wurden. Die Ergebnisse der geologischen, geomorphologischen, geotechnischen und geophysikalischen Analysen ließen es zu, im hyperkonzentrierten Transport das wahrscheinlichste Ereignis zu erkennen, das in der Talsohle eintreten kann. In Bezug auf diese Art des Phänomens wurde festgestellt, dass die bestehenden Wasserschutzbauten im Wesentlichen angemessen sind. Die gleichen Analysen deuteten darauf hin, dass ein außergewöhnliches Ereignis ein Geröllvolumen mobilisieren könnte, das auf 150.000 m<sup>3</sup> geschätzt werden kann. Die Ergebnisse der Modellierungen mit FLO-2D ermöglichten eine Validierung und Ausarbeitung der Gefährdungsabgrenzung für den Fall, dass eine ähnliche Hypothese auf geomorphologischer Basis eintreten sollte. Es konnte beobachtet werden, dass die Simulation mit FLO-2D stark von der Präzision der topographischen Darstellung beeinflusst wird: Die korrekte Beschreibung des Wildbachbetts würde ein sehr dichtes Berechnungsraster erfordern (auch Zellen mit Seitenlänge 1 m); bei einer solchen Datendichte verlängert das Programm allerdings die Simulationszeiten zu stark, so dass es kaum lenkbar würde.

#### 4.2.2.B/4.4 Conclusioni

La memoria storica degli eventi del 1701 ha portato alla scelta del bacino del Missiaga come area campione nella quale verificare, tramite lo studio delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrauliche, alcuni scenari di evento legati alla propagazione di fenomeni di trasporto solido lungo il fondovalle. I risultati delle analisi geologiche, geomorfologiche, geotecniche e geofisiche hanno consentito di individuare nel trasporto iperconcentrato il fenomeno più probabile che può verificarsi lungo il fondovalle. Nei riguardi di tale tipologia di fenomeno è stata rilevata una sostanziale adeguatezza delle opere di difesa idraulica esistenti. Le medesime analisi hanno indicato come un evento eccezionale potrebbe mobilizzare un volume di detrito stimabile in 150.000 m<sup>3</sup>. I risultati delle modellazioni eseguite con FLO-2D hanno consentito di validare ed affinare la perimetrazione di pericolosità nel caso di verificarsi una simile ipotesi fatta su base geomorfologica. Si è potuto osservare che la simulazione con FLO-2D è fortemente influenzata dall'accuratezza della rappresentazione della topografia: la corretta descrizione dell'alveo torrentizio richiederebbe una griglia di calcolo molto fitta (anche con celle di lato di 1 m); con tale densità di dati tuttavia il programma allunga a dismisura i tempi di simulazione, che divengono poco gestibili.



§ 4.2.2.B/5 REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione Italy – Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia  
 Village - Ort - Comune Malborghetto – Valbruna (UD)  
 Basin - Becken - Bacino Tagliamento  
 Stream - Fluß - Corso d'acqua Cucco

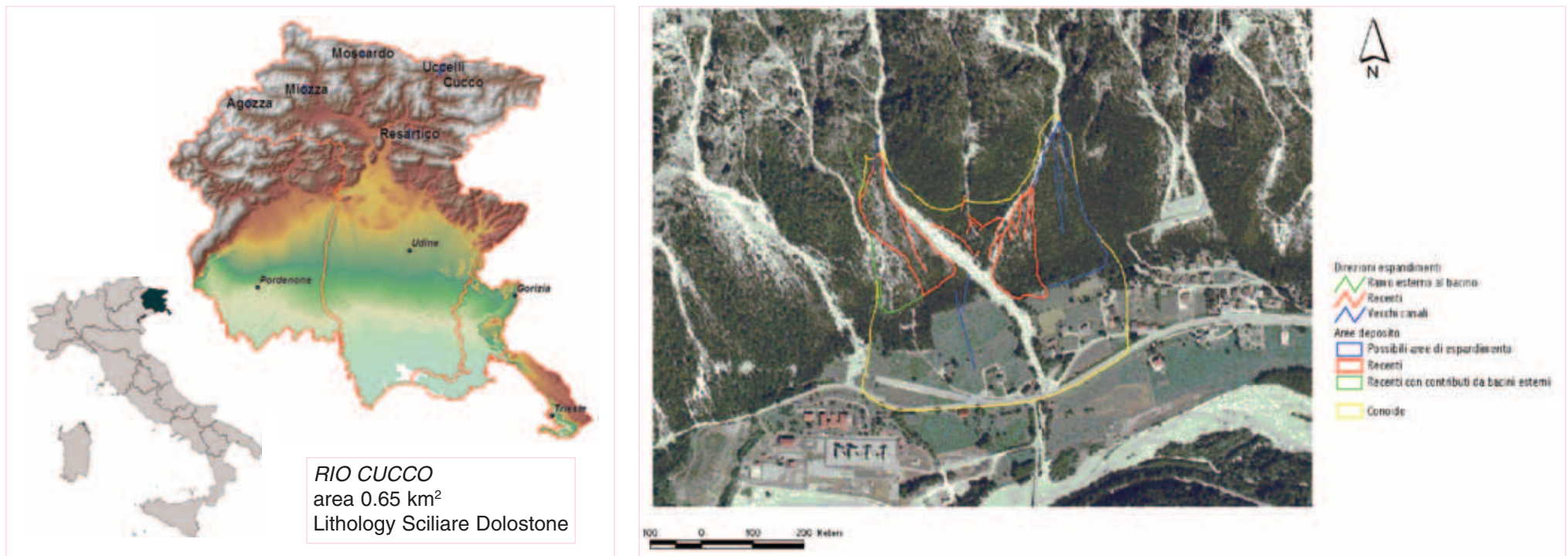


Figure 4.2.2.B/5.1 Geographic context of the areas studied in the project and details of the Rio Cucco catchment and alluvial fan: observe the presence of two main torrent channels which deposit materials on coalescent debris fans.

4.2.2.B/5.1 Geographische Einordnung der im Rahmen des Projekts untersuchten Gebiete und Detail von Einzugsgebiet und Schwemmkegel des Rio Cucco. Man kann zwei Haupteinschnitte des Wildbachs erkennen, die koaleszierende Kegel bilden.

Figura 4.2.2.B/5.1 Inquadramento geografico delle aree esaminate nell'ambito del Progetto e dettaglio del bacino e del conoide alluvionale del Rio Cucco; è possibile riconoscere due principali incisioni torrentizie che edificano conoidi coalescenti.



#### 4.2.2.B/5.1 Preliminary tasks

The FLO-2D model was applied to the alluvial fans of five catchments which were representative of different geo-lithological and geomorphologic conditions in the mountains of Friuli. The preparation of the input data required by the models to simulate the propagation and depositing of debris flows entails a detailed study of the catchments and fans concerned. At the same time, information about previous flood events provides important data to assess the reliability of the results obtained using the model. In the approach adopted, the mathematical modelling process was the final stage of a detailed study of the catchment-fan system, with close interaction between all the project activities carried out. In the applications aimed at determining levels of hazard it was necessary to refer to high intensity events. These were either project events, deriving from the analysis of the hydrological response of the catchment and the availability of transportable material, or historic events of particular severity, for which sufficient records were available concerning the area in question. By way of example the Rio Cucco fan, an affluent of the river Fella (in turn a tributary of the river Tagliamento) was hit by a debris flow of great intensity in the afternoon of 29 August 2003. Field observations carried out on the fan before the event of 29 August highlighted traces of previous flood events on the surface of the fan, while post-event surveys provided indications of the characteristics and development of the event. The analysis of water and sediment processes also contributed to providing the data required to model the propagation and expansion of debris flows.

#### 4.2.2.B/5.1 Vorarbeiten

Der Berechnungscode FLO-2D wurde für die Schwemmkegel von fünf Einzugsgebieten verwendet, die verschiedene geolithologische und geomorphologische Konditionen der Berge im Friaul repräsentieren. Die Vorbereitung der Eingabedaten, die die Modelle für die Simulation der Ausbreitung und Ablagerung von Muren brauchen, setzt eine gründliche Untersuchung der betroffenen Becken und Kegel voraus. Gleichzeitig liefert die Kenntnis von früheren Überschwemmungsphänomenen wichtige Elemente, um die Zuverlässigkeit der aus den Modellen hervorgehenden Ergebnisse zu überprüfen. Bei diesem Ansatz stellte die Modellanalyse mit numerischen Methoden daher den Abschluss einer gegliederten Untersuchung des Systems Becken-Kegel dar, bei der alle Tätigkeiten innerhalb des Projekts in enger Interaktion standen. Bei den Anwendungen für die Gefährdungsbestimmung muss man von Ereignissen mit hoher Intensität ausgehen. Diese können Projekt Ereignisse sein, die aus der Analyse der hydrologischen Reaktion der Becken und der Verfügbarkeit von mobilisierbarem Material ausgehen, oder besonders schwere historische Ereignisse im Untersuchungsgebiet, die angemessen dokumentiert sind. Beispielsweise war der Kegel des Rio Cucco, Zufluss des F. Fella (der wiederum in den F. Tagliamento fließt) am Nachmittag des 29. August 2003 von einem sehr umfangreichen Murenabgang betroffen. Beobachtungen am Kegelgelände vor dem Ereignis vom 29. August zeigten Spuren von alten Überschwemmungsereignissen auf der Kegeloberfläche, während die Messungen nach dem Ereignis Angaben zu den Eigenschaften und der Entwicklung der Ereignisse erbrachten. Die Analyse der hydrologischen Prozesse und der Feststoffzufuhr trugen ebenfalls dazu bei, die erforderlichen Daten für die Modellanalyse der Ausbreitung und Expansion von Muren zu definieren.

#### 4.2.2.B/5.1 Fasi preliminari

Il codice di calcolo FLO-2D è stato applicato ai conoidi alluvionali di cinque bacini, rappresentativi di diverse condizioni geolitologiche e geomorfologiche della montagna friulana. La preparazione dei dati di *input* richiesti dal modello per la simulazione della propagazione e della deposizione delle colate detritiche presuppone un accurato studio dei bacini e dei conoidi interessati. Al tempo stesso, la conoscenza di fenomeni alluvionali progressivi fornisce importanti elementi per valutare l'attendibilità dei risultati forniti dai modelli. Nell'approccio utilizzato, l'analisi modellistica mediante metodi numerici ha rappresentato, pertanto, il momento conclusivo di un articolato studio del sistema bacino-conoide, che ha visto una stretta interazione fra tutte le attività svolte all'interno del Progetto. Nelle applicazioni finalizzate alla determinazione della pericolosità, è necessario far riferimento ad eventi di elevata intensità. Questi possono essere eventi di progetto, derivanti dall'analisi della risposta idrologica dei bacini e della disponibilità di materiale mobilizzabile, o eventi storici, di particolare gravità ed adeguatamente documentati, che hanno interessato l'area di studio. A titolo di esempio il conoide del Rio Cucco, affluente del F. Fella (a sua volta tributario del F. Tagliamento), è stato interessato da una colata detritica di grande entità nel pomeriggio del 29 Agosto 2003. Osservazioni di terreno condotte sul conoide prima dell'evento del 29 agosto hanno posto in evidenza tracce di vecchi eventi alluvionali sulla superficie del conoide, mentre i rilievi post-evento hanno fornito indicazioni sulle caratteristiche e sullo sviluppo dei fenomeni. L'analisi dei processi idrologici e di apporto solido ha parimenti concorso a definire i dati richiesti per l'analisi modellistica della propagazione e dell'espansione delle colate detritiche.



*Figure 4.2.2.B/5.2 Traces of flood events surveyed before the debris flow of 29 August 2003.*  
Figur 4.2.2.B/5.2 Spuren von Überschwemmungen, die vor dem Murenabgang vom 29. August 2003 festgestellt wurden.  
*Figura 4.2.2.B/5.2 Tracce di eventi alluvionali rilevate prima della colata detritica del 29 Agosto 2003.*

#### 4.2.2.B/5.2 Activities

The modelling carried out using the FLO-2D model is part of the wider field of risk scenario definition. The aim of creating a risk scenario is to respond in a logical and consistent way to the “*What if...?*” question. Naturally the more realistic the risk scenario, the greater the significance of the responses to critical questions: we are therefore continuously asking: “*Would that be possible?*” or “*Is this likely to happen?*”. The work carried out initially concerned defining an event scenario, and then a risk scenario. The former regards the spatial and temporal evolution purely of the expected event itself, while the latter also includes the distribution of property at risk and making an assessment of its vulnerability.

The points of departure utilised for the construction of risk scenarios regard the analysis of past events and the results of mathematical and statistical hydrological processes. Then it is necessary to evaluate potential effects on the ground.

The level of hazard of a debris flow depends on the amount of material deposited, the height of the flow of water and the speed it reaches during an event. In order to carry out a simulation we require information about topography, a possible peak flow hydrograph and the rheological characteristics of the water-sediment mix.

The topographic representation of the terrain was carried out by dividing the area into rectangular cells, which are assigned a single figure for elevation.

In principle there are no restrictions on the size of the calculation grid that can be used, but as an explicit scheme is used, the temporal interval of calculation depends on the relation between the size of the grid and the speed of propagation of the surge, which means that very small grids require correspondingly brief intervals of time, which prolongs the time required for the calculations.

#### 4.2.2.B/5.2 Aktivitäten

Die Modellierung mit dem Berechnungscode FLO-2D kann in den breiteren Rahmen der Definition von Risikoszenarien eingeordnet werden. Der Zweck der Einrichtung eines Risikoszenariums ist, auf logische und stichhaltige Weise auf die Frage: “*Was würde geschehen, wenn ...?*” zu antworten.

Natürlich haben Antworten auf die kritischen Fragen um so mehr Sinn, je wahrscheinlicher die Szenarien sind, man stellte sich also ständig die Frage “*Ist dies möglich?*” oder “*Ist es wahrscheinlich, das dies eintritt?*”

Die Tätigkeit betraf zunächst die Definition des Ereignisszenariums und anschließend die des Risikoszenariums. Das erste umfasst die räumliche und zeitliche Entwicklung nur des erwarteten Ereignisses, während das zweite auch die Verteilung der gefährdeten Güter und die Auswertung ihrer Verwundbarkeit umfasst.

Ausgangspunkte für die Konstruktion der Risikoszenarien sind die Analyse der vergangenen Ereignisse und die Ergebnisse von hydrologischen Bearbeitungen mathematischer und statistischer Art; anschließen muss man auswerten, was die möglichen Auswirkungen vor Ort sind.

Der Gefährdungsgrad eines Murenabgangs hängt vom Ausmaß des abgelagerten Materials und von der Wasserhöhe und -geschwindigkeit ab, die im Laufe des Ereignisses erreicht werden.

Um eine Simulation durchführen zu können, muss man über Informationen zur Topographie, zum möglichen Hochwasser-Hydrogramm und zu den rheologischen Eigenschaften der Mischung verfügen.

Für die topographische Darstellung wurde das Gelände in rechteckige Elemente aufgeteilt, denen ein einziger Höhenwert zugeordnet wurde.

Prinzipiell bestehen keine Einschränkungen für die Maße des Berechnungsrasters, das man verwenden

#### 4.2.2.B/5.2 Attività

L'attività di modellazione svolta con il codice di calcolo FLO-2D può essere inquadrata nel più vasto campo della definizione degli scenari di rischio. Lo scopo dell'allestimento di uno scenario di rischio è quello di rispondere in maniera logica e consistente alla domanda “*che cosa succederebbe se ... ?*”.

Naturalmente quanto più gli scenari di rischio sono verosimili, tanto più le risposte alle domande critiche sono sensate; ci si è quindi continuamente posti la domanda “*è possibile questo?*” oppure “*è probabile che avvenga ciò?*”.

L'attività svolta ha riguardato inizialmente la definizione dello scenario d'evento e successivamente dello scenario di rischio. Il primo riguarda l'evoluzione spaziale e temporale del solo evento atteso, mentre il secondo comprende anche la distribuzione dei beni esposti e la valutazione della loro vulnerabilità.

I punti di partenza utilizzati per la costruzione degli scenari di rischio riguardano l'analisi degli eventi avvenuti nel passato e le risultanze di elaborazioni idrologiche di tipo matematico e statistico; successivamente è necessario valutare quali sono i possibili effetti a terra.

Il livello di pericolosità di una colata detritica dipende dall'entità del materiale depositato e dall'altezza idrica e dalla velocità che si raggiungono nel corso dell'evento.

Per poter svolgere una simulazione è necessario disporre di informazioni relative alla topografia, al possibile idrogramma di piena ed alle caratteristiche reologiche della miscela.

La rappresentazione topografica del territorio è stata effettuata suddividendo il territorio in elementi aventi forma rettangolare, cui è associato un unico valore della quota.

In linea di principio non esistono restrizioni alle dimensioni della griglia di calcolo che è possibile uti-



Typical intervals of time used for the purposes of the calculation vary from 1 to 60 seconds. A specific routine of checks allows us to adapt the interval of calculation to the characteristics of the current, increasing or decreasing it according to criteria of numeric stability.

The choice of size of grid for the calculation is therefore the result of a compromise between the demand to simulate processes with a satisfactory degree of accuracy, and the need to limit calculation times.

The level of hazard of a debris flow event increases in proportion to the volume of material involved, and following that, on the peak flow capacity, namely the concentration of the event into a shorter time span.

The family of mono-phase models that FLO-2D belongs to is unable to analyse the trigger stage of a flow, which means it is necessary to supply the model with an input hydrograph which must be assessed according to the morphological process it is simulating.

The peak flow hydrograph therefore represents a fundamental element in the scenario which is to be analysed.

At least two scenarios were studied for each situation: the first scenario considers only level curves and the second includes elements of man-made origin such as canals, roads, buildings, *etc.*

The presence of man-made constructions introduces factors which can considerably alter the route of a mud flow: the presence of buildings, for example, obstructs the flow and reduces the volume which can be deposited on each single cell, while roads represent preferred channels for the flow towards the centre of the town.

When studying the second configuration we did not consider the response of buildings to the impact of the flow: in this configuration buildings merely represent topographic obstacles of presumed infinite resistance. Where structural information is available

kann, aber da das verwendete Auflösungsschema explizit ist, hängt das Zeitintervall der Berechnung vom Verhältnis zwischen Größe des Rasters und Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle ab. Daher erfordern sehr kleine Raster ebenso kleine Zeitintervalle, die zu einer Verlängerung der Berechnungszeiten führen.

Typische Werte für das zeitliche Berechnungsintervall liegen zwischen 1 und 60 Sekunden. Mit einer entsprechenden *Routine* der Kontrolle kann man das Berechnungsintervall den Eigenschaften des Stroms anpassen und es nach einem Kriterium der numerischen Stabilität erhöhen oder verringern.

Die Größenentscheidung des Berechnungsrasters ist daher jeweils das Ergebnis aus einem Kompromiss zwischen dem Anspruch, die Prozesse mit einer angemessenen Präzision zu simulieren, und der Anforderung, die Berechnungszeiten zu begrenzen. Die Gefährdung eines Murenereignisses steigt mit der Erhöhung des einbezogenen Materialvolumens und bei gleichem Volumen bei der Erhöhung der Spitzenmenge, d.h. bei der Konzentration des Ereignisses in kürzerer Zeit.

Die Familie der einphasigen Modelle, zu denen FLO-2D gehört, ist nicht in der Lage, die Auslösephase des Stroms zu analysieren, daher muss man dem Modell ein Hydrogramm am Eingang liefern, das auf der Grundlage des simulierten morphologischen Prozesses zu beurteilen ist.

Die Definition des Hochwasser-Hydrogramms stellt also ein wesentliches Element für das Szenarium dar, das man analysieren will.

Für jede Situation wurden mindestens zwei Konfigurationen geprüft: In der ersten wurden nur die Höhenkurven berücksichtigt, in der zweiten wurden die Elemente anthropischer Herkunft wie Kanäle, Straßen, Gebäude *etc.* hinzugefügt.

Bauwerke anthropischer Natur führen Faktoren ein,

lizzare, ma, essendo lo schema risolutivo utilizzato di tipo esplicito, l'intervallo temporale di calcolo dipende dal rapporto tra la dimensione della griglia e la celebrità di propagazione dell'onda; per cui griglie molto piccole richiedono intervalli temporali altrettanto piccoli che comportano un allungamento dei tempi di calcolo.

Valori tipici dell'intervallo di calcolo temporale variano tra 1 e 60 secondi. Un'apposita *routine* di controllo consente di adattare l'intervallo di calcolo alle caratteristiche della corrente, incrementandolo o diminuendolo in accordo con un criterio di stabilità numerica.

La scelta della dimensione della griglia di calcolo è quindi, di volta in volta, il risultato di un compromesso tra le esigenze di simulare i processi con una adeguata precisione e l'esigenza di limitare i tempi di calcolo.

La pericolosità di un evento di colata detritica aumenta all'aumentare del volume di materiale coinvolto e, a parità di volume, all'aumentare della portata di picco, cioè al concentrarsi dell'evento in un tempo più ridotto.

La famiglia dei modelli monofase, cui FLO-2D appartiene, non è in grado di analizzare la fase di innesco della colata, per cui è necessario fornire al modello un idrogramma in ingresso che deve essere valutato sulla base del processo morfologico che si sta simulando.

La definizione dell'idrogramma di piena rappresenta quindi un elemento fondamentale per lo scenario che si intende analizzare.

Per ogni situazione sono state prese in esame almeno due configurazioni: una prima nella quale si sono considerate le sole curve di livello ed una seconda nella quale sono stati inseriti gli elementi di origine antropica quali: canali, strade, edifici, *etc.*

La presenza di manufatti di natura antropica introduce fattori che possono modificare notevolmente il

for the buildings in question it is possible to formulate other configurations to analyse the consequences of the potential collapse of buildings.

die den Verlauf eines Schlammstroms erheblich verändern können: Während Gebäude z.B. ein Hindernis für den Stromfluss darstellen und das Volumen, das in jeder einzelnen Zelle gelagert werden kann, verringern, können Straßen bevorzugte Wege für den Strom in die Ortschaft darstellen.

In der Untersuchung der zweiten Konfiguration wurde die Reaktion der Gebäude auf die Belastungen durch die Stromeinwirkung nicht berücksichtigt: In dieser Konfiguration stellen die Gebäude nur topographische Hindernisse dar, deren Widerstandskraft als unendlich angenommen wird.

Sofern Informationen über die strukturellen Eigenschaften der betreffenden Gebäude vorliegen, kann man andere Konfigurationen annehmen, in denen die Folgen von eventuellem Einsturz der Häuser analysiert werden.

percorso di una colata di fango: così, ad esempio, mentre la presenza di edifici rappresenta un ostacolo al flusso della colata e riduce il volume immagazzinabile in ogni singola cella, le strade possono rappresentare vie preferenziali di flusso verso l'interno del centro abitato.

Nello studio della seconda configurazione non è stata presa in considerazione la risposta degli edifici alle sollecitazioni indotte dall'impatto della colata: in tale configurazione gli edifici rappresentano solo degli ostacoli topografici la cui resistenza è supposta infinita.

Ove siano disponibili informazioni sulle caratteristiche strutturali degli edifici in questione, è possibile ipotizzare altre configurazioni, nelle quali si analizzino le conseguenze di eventuali collassi degli edifici.

#### 4.2.2.B/5.3 Results

The application of FLO-2D, together with the availability of detailed geomorphologic information, enabled us to develop an integrated method for identifying the areas at risk of being flooded by debris flows.

The results obtained using FLO-2D yielded not only outlines of potential flood areas, but also the development over time of water heights and speeds during the event.

This information enabled us to use a factor of hydrodynamic thrust, intended as the sum of static and dynamic components, to classify the areas subject to debris flows according to different categories of risk. It was particularly useful to be able to calibrate the proposed methodology according to the surveys carried out following the debris flow of 29 August 2003 on the Rio Cucco fan.

To this end, one significant result which was not originally planned for, was the use of FLO-2D for diagnostic purposes, in so far as it provided a better understanding and interpretation of the 2003 event.

#### 4.2.2.B/5.3 Ergebnisse

Die Anwendung von FLO-2D in Kombination mit den vorliegenden ausführlichen geomorphologischen Informationen ermöglichte es, eine integrierte Methode für die Erkennung der Zonen zu entwickeln, die von Überschwemmungen durch Muren gefährdet sind.

Mit den Ergebnissen aus der Anwendung von FLO-2D konnten nicht nur die Umrisse der potenziell überschwemmbareren Zonen, sondern auch der zeitliche Verlauf der Wasserhöhen und -geschwindigkeiten bestimmt werden, die im Laufe des Ereignisses eintreten.

Mit dieser Kenntnis konnte der hydrodynamische Schub verwendet werden, d.h. die Summe der statischen und dynamischen Komponenten, um die durch Muren gefährdeten Gebiete in verschiedene Gefahrenklassen einzustufen.

Besonders nützlich war dabei die Möglichkeit, die vorgeschlagene Methode auf der Grundlage der Messungen nach dem Geröllstrom vom 29. August 2003 im Kegel des Rio Cucco tarieren zu können.

In dieser Richtung war der Einsatz von FLO-2D zu diagnostischen Zwecken ein sehr signifikantes und ursprünglich nicht vorgesehenes Ergebnis, denn es ermöglichte ein besseres Verständnis und Interpretation des Ereignisses von 2003.

#### 4.2.2.B/5.3 Risultati

L'applicazione di FLO-2D, insieme alla disponibilità di dettagliate informazioni geomorfologiche, ha consentito di sviluppare una metodologia integrata per la individuazione delle aree a rischio di inondazione di colate detritiche.

I risultati ottenuti attraverso l'applicazione di FLO-2D hanno riguardato non solo la determinazione del contorno delle aree potenzialmente inondabili, ma hanno permesso di determinare l'andamento temporale delle altezze idriche e delle velocità che si verificano nel corso dell'evento.

Tale conoscenza ha permesso l'impiego della spinta idrodinamica, intesa come somma delle componenti statica e dinamica, per effettuare la classificazione delle aree esposte a colate detritiche secondo differenti classi di rischio.

Particolarmente utile è stata la possibilità di effettuare una taratura della metodologia proposta sulla base dei rilievi effettuati in seguito alla colata detritica del 29 Agosto 2003 sul conoide del Rio Cucco.

In tale direzione un risultato assai significativo, e non previsto originariamente, è stato l'impiego di FLO-2D a fini diagnostici, in quanto ha consentito una migliore comprensione ed interpretazione dell'evento del 2003.



#### 4.2.2.B/5.4 Conclusions

The application of the FLO-2D model enabled us to highlight the possibility of carrying out hazard zoning with regards to debris flows according to the dynamic characteristics of the current.

The studies and processes carried out enabled us to underline the positive aspects of such an approach, but also to point out a number of uncertainties, with particular regard to the following points, which represent the critical elements of the entire process:

- a) evaluation of transportable volume and definition of the hydrograph;
- b) representation of topography and infrastructures;
- c) interaction between the flow and buildings.

With regards to point a) it appears necessary to recommend the use of more than one scenario, taking different volumes and hydrographs into consideration.

With regards to point b), the simulations carried out showed that, added to the key role played by morphology, the correct representation of infrastructures is essential to ensure that flows are correctly determined. This effect tends to increase downstream following a reduction in the width of the flow.

Lastly, with regards to point c), the results of the simulations carried out clearly showed that in built up areas the propagation of a flow and the presence of buildings cannot be treated independently.

Lastly, the application of FLO-2D showed that it was possible to make a preventive assessment of the efficacy of any risk mitigation works.

#### 4.2.2.B/5.4 Schlussfolgerungen

Mit der Anwendung von FLO-2D konnte die Möglichkeit betont werden, entsprechend den dynamischen Stromeigenschaften eine Zonierung der Gefährdung durch Muren vorzunehmen.

Die Untersuchungen und Auswertungen ermöglichten weiter, die positiven Aspekte dieses Ansatzes zur Geltung zu bringen, aber auch einige Unsicherheiten hervorzuheben, insbesondere im Hinblick auf die folgenden Punkte, die die kritischen Elemente des gesamten Prozesses darstellen:

- a) Auswertung des mobilisierbaren Volumens und Definition des Hydrogramms;
- b) Darstellung der Topographie und der Infrastrukturen;
- c) Interaktion zwischen Murgä und Gebäuden.

In Bezug auf Punkt a) scheint es notwendig, die Verwendung von mehreren Szenarien vorzuschlagen, die Phänomene zu betrachten, die sich durch verschiedene Volumen- und hydrographische Eigenschaften auszeichnen.

Was Punkt b) betrifft, haben die Simulationen ergeben, dass neben der bestimmen Rolle der Morphologie die korrekte Darstellung der Infrastrukturen für eine korrekte Definition der Ströme wesentlich ist. Diese Wirkung neigt dazu, sich zum Tal hin zu verstärken, da die Mächtigkeit der Muren abnimmt.

Was schließlich Punkt c) angeht, erwiesen die Ergebnisse der Simulationen eindeutig, dass die Ausbreitung einer Mure und das Vorhandensein von Gebäuden in urbanisierten Gebieten nicht unabhängig voneinander behandelt werden können.

Schließlich hat die Anwendung von FLO-2D die Möglichkeit bewiesen, die Effizienz von eventuellen Risikomilderungsmaßnahmen präventiv zu beurteilen.

#### 4.2.2.B/5.4 Conclusioni

L'applicazione del modello FLO-2D ha consentito di evidenziare la possibilità di effettuare, in funzione delle caratteristiche dinamiche della corrente, una zonazione della pericolosità conseguente al verificarsi di colate detritiche.

Gli studi e le elaborazioni effettuate hanno consentito di mettere in risalto gli aspetti positivi di tale approccio, ma anche di evidenziarne alcune incertezze, in particolare per quanto riguarda i seguenti punti che rappresentano gli elementi critici dell'intero processo:

- a) valutazione del volume mobilizzabile e definizione dell'idrogramma;
- b) rappresentazione della topografia e delle infrastrutture;
- c) interazione tra colate ed edifici.

Per quanto riguarda il punto a), appare necessario suggerire l'impiego di più scenari che prendano in considerazione fenomenologie caratterizzate da volumi ed idrogrammi differenti.

Per quanto riguarda il punto b), le simulazioni effettuate hanno evidenziato che, in aggiunta al ruolo determinante giocato dalla morfologia, la corretta rappresentazione delle infrastrutture è essenziale per una corretta definizione dei flussi. Tale effetto tende ad aumentare verso valle a seguito della riduzione dello spessore della colata.

Infine, per quanto riguarda il punto c), i risultati delle simulazioni effettuate hanno chiaramente evidenziato che, in zone urbanizzate, la propagazione di una colata e la presenza di edifici non possono essere trattate in maniera indipendente.

Infine l'applicazione di FLO-2D ha mostrato la possibilità di effettuare una valutazione preventiva dell'efficacia di eventuali interventi di mitigazione del rischio.

#### 4.2.2.C A different numerical approach: *dfwalk* model

##### *General introduction to the method*

The *dfwalk* conceptual model can be used to calculate the areas potentially affected by a debris flow. The model consists in a combination of different methods, most of which are widely known and successfully applied. It uses the random walk technique, the Monte Carlo simulation method, the two-parameter speed model (Perla *et al.*, 1980), the mean gradient hypothesis and a simple model to simulate the sedimentation of the debris flow.

##### *Definition*

The calculation algorithm entails: (1) defining a possible trigger area, (2) calculating a possible trajectory based on the Digital Elevation Model, (3) determining the speed according to the two-parameter speed model developed by Perla *et al.*, (4) calculating the sedimentation of material on the fan based on speed and gradient, (5) updating the Digital Elevation Model. The simulation then calculates the next trajectory, until all the potentially transportable material has been used up.

##### *Aims*

The various components, connected in this way, provide a simple, robust model for determining hazard areas.

##### *Potential*

The structure of the model, which is both simple but with a description physically based on events, means it can be used above all for predictive purposes. Using data from the literature and obtained from calibrations on sample catchments, the model allows us to outline the areas of potential risk. Compared to models of a rheological/hydraulic type, this model requires fewer input parameters, though field work,

#### 4.2.2.C Ein alternatives Simulationsverfahren: das *dfwalk* Modell

##### *Allgemeine Einführung der Methode*

Das konzeptionelle Modell *dfwalk* kann verwendet werden, um die potenziell von einem Murgang gefährdeten Flächen abzugrenzen. Das Modell besteht aus der Zusammenstellung von verschiedenen Verfahren, die in der Literatur teilweise bereits bekannt und in der Praxis erfolgreich umgesetzt sind. Es werden das random walk Verfahren, eine Montecarlo Simulation, das 2-Parameter Geschwindigkeitsmodell von Perla *et al.*, (1980), sowohl die Annahme des Pauschalgefälles zur Darstellung der Ablagerung eines Murgangs verwendet.

##### *Definition*

Der Algorithmus sieht folgende Schritte vor: (1) Die Festlegung der Auslaufzone, (2) die Berechnung eines möglichen Verlaufs, aufgrund des digitalen Höhenmodells ( DHM) und des random walk Verfahrens, (3) die Berechnung der Murganggeschwindigkeit anhand des Modells von Perla *et al.*, (4) Bestimmung der Auflandungshöhe mittels eines Geschwindigkeits- oder Gefällskriteriums, (5) Aktualisierung des DHM durch das neu abgelagerte Material. Durch die wiederholte Ausführung dieser Schritte wird das gesamte zur Verfügung stehende Volumen abgelagert.

##### *Ziel*

Aus der Zusammenstellung der verschiedenen Komponenten entsteht ein einfaches aber trotzdem robustes Modell zur Abgrenzung der gefährdeten Flächen.

##### *Potenzialität*

Das einfache und dennoch physikalisch basierte Modell ist geeignet sowohl zur Analyse vergangener

#### 4.2.2.C Un differente approccio numerico: il modello *dfwalk*

##### *Introduzione generale sul metodo*

Il modello concettuale *dfwalk* è un metodo utile per il calcolo delle superfici potenzialmente interessate da un flusso di detrito. Il modello è costituito da una combinazione di diversi metodi, in parte già largamente conosciuti e applicati con successo. Esso fa uso infatti della tecnica *random walk* (cammino casuale) e del metodo di simulazione Montecarlo, del modello di velocità a due parametri (Perla *et al.*, 1980), dell'ipotesi della pendenza media e di un semplice modello per simulare la sedimentazione del flusso di detrito.

##### *Definizione*

L'algoritmo di calcolo prevede: (1) la definizione di un'area di possibile innesco, (2) il calcolo di una possibile traiettoria in funzione del Modello Digitale del Terreno, (3) la determinazione della velocità in base al modello a due parametri di Perla *et al.*, (4) il calcolo della sedimentazione del materiale sul conoide in funzione della velocità e della pendenza, (5) l'aggiornamento del Modello Digitale del Terreno. La simulazione procede al calcolo della successiva traiettoria, fino ad esaurimento del materiale potenzialmente mobilizzabile.

##### *Finalità*

Le diverse componenti, così collegate, forniscono un modello semplice e robusto per la determinazione delle zone di pericolo.

##### *Potenzialità*

La struttura del modello, al contempo semplice ma con una descrizione fisicamente basata dei fenomeni, consente un utilizzo del modello soprattutto in un contesto previsionale. Avvalendosi di valori disponibili in letteratura e ottenuti tramite calibrazione su baci-

surveys and the need for a good quality Digital Elevation Model are indispensable conditions for a correct simulation.

From the simulations performed we were able to observe that with regards to the influence of obstacles like buildings and other infrastructures on the movement of the flow, further fine tuning was required to the basic topography and the definition of accurate conditions in the context of these.

#### *Limits*

The model does not allow us to make an accurate reconstruction of the hydraulic aspects of the flow, in view of the fact that the structure adopted for the simulation does not include this objective.

#### *Activities*

In order to apply the model a detailed Digital Elevation Model is needed: surveys and geomorphologic analyses to determine the quantity of transportable material are also required. The model can be calibrated based on the experience of the operator and using indicative data available in the literature and from past events.

#### *Expected products*

The model generates intensity maps (height of deposits, maximum speed), which can be used to create, as derivatives, a spatial representation of the level of hazard, according to the criteria selected.

The model is currently implemented as an extension of the programme ESRI ArcGis 8.3<sup>®</sup>, written in VBA.

#### *Appropriate professional figures*

Engineers, geologists and forestry scientists with a good level of experience in the field of debris flows, required to evaluate the input parameters for the model. A good level of knowledge of GIS is

Ereignisse wie auch als Planungs- und Dimensionierungswerkzeug.

Mittels Parameterkalibrierung in Testgebieten oder aus der Literatur kann eine Gefahrenzonierung durchgeführt werden.

Im Vergleich zu den rein rheologisch-hydraulischen Modellen benötigt das hier eingesetzte Modell eine reduzierte Anzahl Parameter. Auf jeden Fall sind einerseits Feldbegehungen und andererseits ein detailliertes DHM unerlässlich, um eine genaue Simulation des Phänomens durchführen zu können.

Der letzte Punkt wurde auch bei der Analyse des Einflusses von Hindernissen auf den Murgangverlauf (z. B. Gebäude und Infrastrukturen) bestätigt. Die Definition der Anfangs- und Nebenbedingungen muss ebenfalls sorgfältig durchgeführt werden.

#### *Grenzen*

Das Modell ist nicht in der Lage, das genaue hydraulische Verhalten eines Murgangs nachzuvollziehen, da die unterliegende konzeptionelle Struktur dies nicht zum Ziel hat.

#### *Aktivitäten*

Grundlage jeder Simulation ist ein sehr detailliertes Höhenmodell. Feldbegehungen, geomorphologische Analysen des Einzugsgebietes und des Bachgerinnes sind ebenfalls nötig, um die Charakteristika und die Sedimentverfügbarkeit abzuschätzen. Die Eichung des Modells erfolgt durch eine erfahrene Fachperson und durch Literaturwerte aus vergangenen Murgangereignissen.

#### *Erwartete Produkte*

Die Produkte des Modells sind prinzipiell Intensitätskarten des Phänomens (Ablagerungshöhe und maximale Geschwindigkeit des Murgangs in jeder Rasterzelle). Aus diesen Daten lassen sich die Gefahrenzonen mit entsprechendem Gefahrenniveau ableiten, je nach Einstufungskriterium.

ni campione, il modello consente di giungere alla delimitazione delle aree di potenziale pericolo.

Rispetto alla classe di modelli reologico-idraulici, il modello proposto richiede un minore numero di parametri in ingresso, sebbene le attività di campo, i sopralluoghi e la disponibilità di un Modello Digitale del Terreno di buona qualità restino presupposti indispensabili per una corretta simulazione del fenomeno.

Si è potuto constatare dalle simulazioni effettuate che, per quanto riguarda l'influenza di ostacoli come edifici ed altre infrastrutture sul moto della colata, è richiesto un ulteriore affinamento della base topografica e la definizione di accurate condizioni al contorno in corrispondenza di questi ostacoli.

#### *Limiti*

Il modello non consente la ricostruzione accurata del comportamento idraulico della colata, in quanto la struttura stessa adottata per la simulazione non prevede questo obiettivo.

#### *Attività*

Per l'applicazione del modello è necessario disporre di un dettagliato Modello Digitale del Terreno; sono inoltre indispensabili sopralluoghi e analisi geomorfologiche per la determinazione del materiale potenzialmente mobilizzabile. La taratura del modello può procedere tramite l'esperienza del modellista e con valori indicativi disponibili in letteratura da eventi passati.

#### *Prodotti attesi*

Il modello genera mappe dell'intensità del fenomeno (altezza di deposizione, velocità massima raggiunta) da cui è possibile ricavare, quali prodotti derivati, una rappresentazione spaziale del grado di pericolosità, in funzione dei criteri assunti.

Il modello è attualmente implementato quale estensione del prodotto ESRI ArcGis 8.3<sup>®</sup>, programmata in VBA.



required, and of the ESRI ArcGIS 8.3<sup>®</sup> packages in particular.

Das Modell ist derzeit als ESRI ArcGis 8.3<sup>®</sup> Erweiterung implementiert.

*Geeignete Berufsbilder*

Bau-, Umwelt- und Forstingenieure, Geologen, Umweltwissenschaftler mit guten Grundkenntnissen über Murgänge zur Abschätzung der Inputparameter. Eine mittlere Erfahrung mit dem Softwarepaket ESRI ArcGIS 8.3<sup>®</sup> ist ebenso erforderlich.

*Figure professionali idonee*

Ingegneri, geologi e forestali con una buona esperienza nel campo delle colate detritiche, richiesta per la valutazione dei parametri di ingresso al modello. È richiesta una discreta esperienza dell'ambiente GIS, in particolare dei pacchetti ESRI ArcGIS 8.3<sup>®</sup>.

§ 4.2.2.C/1 CANTON TICINO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione Switzerland - Cantone Ticino  
 Village - Ort - Comune Claro  
 Basin - Becken- Bacino Ticino  
 Stream - Fluß - Corso d'acqua Cassinello



Figure 4.2.2.C/1.1 General geographic context of Canton Ticino and the areas being studied (Giornico and Torre in yellow, Claro in red) and a detail of the Cassinello Torrent (Commune of Claro).

Figura 4.2.2.C/1.1 Geographische Lage der Testgebiete im Kanton Tessin (Gelber Punkt: Gemeinde Giornico und Gemeinde Torre, Roter Punkt: Gemeinde Claro) und detaillierte Karte des Einzugsgebietes des Bachs Cassinello, Gemeinde Claro.

Figura 4.2.2.C/1.1 Inquadramento geografico generale del Canton Ticino e delle aree di indagine (in giallo Giornico e Torre, in rosso Claro) e dettaglio relativo al T. Cassinello (Comune di Claro).

Table 4.2.2.C/1.1 The main morphometric parameters of the Cassinello Torrent catchment.  
 Tabelle 4.2.2.C/1.1 Morphologische und Formparameter des Einzugsgebietes des Bachs Cassinello.  
 Tabella 4.2.2.C/1.1 Parametri morfometrici principali del bacino del T. Cassinello.

Bacino	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Perimetro [km]	Quota min. [m s. l. m.]	Quota max. [m s. l. m.]	Lunghezza bacino [km]	Lunghezza asta [km]
T. Cassinello	0.38	3.25	275	1.190	1.50	1.05

#### 4.2.2.C/1.1 Preliminary tasks

The area of the Commune of Claro is situated on the orographic left bank of the Ticino river north of Bellinzona. It extends between an elevation of 240 m a. s. l. and 2.727 m a. s. l. (Pizzo di Claro); it is bordered to the north by the northern peaks of the Censo valley, to the east by the peaks between Pizzo di Claro and Pizzo Molinera, to the south-east by the peaks between Pizzo Molinera and Parusciano and to the west by the Ticino river. The Claro fan is one of the most densely populated areas of the Commune area. This stretch of land includes residential, business and manufacturing areas, as well as agricultural land and the main communications routes (roads and railways). Heading from north to south there are a number of small torrents running down the Tonete Valley and Val di Mulino; at the southern tip of the Commune are the rivers Cassinello and Sassello, tributaries of the Cassero Torrent which flows down the valley till it meets the Ticino river.

The Claro area was chosen as an area of study in the context of the Project in view of a number of characteristics. In first place in the archive of historic flood events of the Institute of Earth Sciences of the *Scuola Universitaria Professionale* of Italian Switzerland (SUPSI) there were accounts and brief descriptions of events which occurred at the end of the nineteenth century and in the last century. Analyses carried out in 1995 identified a limited hazard situation. The medium to fine grain material available in the channel did not reach significant volumes. However a geomorphologic survey highlighted the presence of debris deposits (moraine and debris blocks) subject to shallow landslides, and a considerable area of the fan, compared to the area of the catchment, which bore the signs of a substantial amount of past mass transport. Subsequently a par-

#### 4.2.2.C/1.1 Vorarbeiten

Das Gebiet der Gemeinde Claro liegt am linken Ufer des Flusses Ticino, nördlich von Bellinzona und erstreckt sich von 240 m bis auf 2.727 m ü. M. (Pizzo Claro).

Das Gebiet ist nordwärts vom Val Censo, östlich von Pizzo di Claro und Pizzo Molinera, südöstlich von Pizzo Molinera und Parusciano, und westlich vom Fluss Tessin begrenzt. Der Schwemmkegel von Claro ist stark besiedelt: Familienhäuser, Gewerbe- und Industriezone, landwirtschaftlichen Aktivitäten sowie wichtige Verkehrsachsen (Kantonstrasse, Autobahn und Eisenbahn). Vom Norden nach Süden fließen mehrere Seitenbäche aus dem Tonete- und Mulinotal; südlich des Dorfkerns befinden sich die Bäche Cassinello und Sassello, die in den Vorfluter Cassero und schliesslich in den Fluss Ticino einmünden.

Im Rahmen dieses Projektes wurde dieses Gebiet aufgrund verschiedener Charakteristika als Testgebiet ausgewählt. Im Archiv des Institut für Erdwissenschaften der SUPSI sind viele Informationen über historische Murgangereignisse vorhanden, die bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen.

Im Jahr 1995 wurde eine Voranalyse durchgeführt und die Gefahrenlage wurde als mässig eingestuft. Das Gesamtvolumen von den mittel- und feinkörnigen Bachbettsedimenten wurde als relativ gering abgeschätzt. Bei der Feldbegehung und der morphologischen Analyse wurde vor Allem Moräne- und Schuttmateriale mit Erosionsaktivität kartiert, im Übrigen wies die Kegelausdehnung eindeutig auf bedeutende Sediment- und Murgangaktivität hin.

Am 4. Juli 2000 war das Gebiet von Claro von einem Unwetterereignis betroffen., das zur Überschwemmung von zwei Seitenbächen (Cassinello und Sassello) führte. Tausende m<sup>3</sup> von Material wurden abtransportiert und auf dem Kegel abgelagert.

#### 4.2.2.C/1.1 Fasi preliminari

Il territorio del comune di Claro è situato sulla sponda orografica sinistra del F. Ticino a nord di Bellinzona. Esso si estende fra le quote 240 m s. l. m. e 2.727 m s. l. m. (Pizzo di Claro); risulta delimitato a nord dalle creste settentrionali della valle del Censo, ad est dalle creste fra il Pizzo di Claro e il Pizzo Molinera, a sud-est dalle creste fra il Pizzo Molinera e Parusciano e a ovest dal F. Ticino. Il conoide di Claro è fra le zone più densamente abitate del territorio comunale. In questa fascia si trovano le zone residenziale, commerciale e artigianale, nonché i terreni agricoli e le principali vie di comunicazione (strade e ferrovia). Procedendo da nord verso sud diversi piccoli torrenti scendono dalla Valle del Tonete e dalla Val di Mulino; all'estremità meridionale del territorio comunale scorrono il T. Cassinello e il T. Sassello, affluenti del T. Cassero che scorre nel fondovalle fino alla confluenza con il F. Ticino.

Il territorio del comune di Claro è stato individuato fra le aree di studio all'interno del Progetto in funzione di diverse caratteristiche. In primo luogo nell'archivio degli eventi alluvionali storici dell'Istituto Scienze della Terra della Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI) figuravano testimonianze e brevi descrizioni di eventi, avvenuti al termine del XIX secolo e nel secolo scorso. Analisi condotte nel 1995 avevano individuato una situazione di pericolo limitata. Il materiale disponibile in alveo, di granulometria medio-fine, non raggiungeva infatti volumetrie significative. Tuttavia il rilievo geomorfologico aveva evidenziato la presenza di depositi detritici (morena e detrito in blocchi), interessati da scivolamenti superficiali, e un'area di conoide piuttosto ampia rispetto alle superfici dei bacini, testimonianza evidente di una passata attività di trasporto di massa non trascurabile. Successivamente, un evento meteorologico particolarmente intenso, concentrato-

**A different numerical approach: *dfwalk* model  
§ 4.2.2.C/1 CANTON TICINO**

ticularly heavy meteorological event, which was concentrated on this area in particular on 4 July 2000, caused two small torrents at the tip of the fan to flood their banks, taking several thousand cubic metres of sediment downhill. With regards to this event we have meteorological analyses, hydrological estimates and in particular, detailed post-event surveys of the channels and a cartographic reconstruction of the flooded area, all of which can be used for the calibration process.

Nach diesem Murgangereignis wurde eine detaillierte Analyse über die meteorologischen Verhältnisse durchgeführt, mit anschließenden hydrologischen Abschätzungen und einer ausführlichen Kartierung der Bachgerinne und des Kegels, wo das Überschwemmungsgebiet aufgezeichnet wurde. Diese Informationen spielten bei der Modelleichung eine entscheidende Rolle.

si in particolare su questa zona il giorno 4 Luglio 2000, ha causato l'esondazione di due piccoli torrenti all'apice del conoide, trasportando a valle diverse migliaia di metri cubi di materiale. Per questo evento sono disponibili analisi meteorologiche, stime idrologiche e, in particolare, dettagliati rilevamenti post-evento degli alvei e una ricostruzione cartografica della zona alluvionata, utile per il processo di calibrazione.





*Figure 4.2.2.C/1.2 The Cassinello Torrent, traces of the flow of 4 July 2000 left on the fan, seen looking downhill.*

Figur 4.2.2.C/1.2 Bach Cassinello, mit den Materialablagerungen auf dem Kegel nach dem Ereignis vom 4. Juli 2000 (Talabwärts).

*Figura 4.2.2.C/1.2 T. Cassinello, tracce lasciate dalla colata del 4 luglio 2000 sul conoide, vista verso valle.*



*Figure 4.2.2.C/1.3 A house on the road surrounded and flooded by water and debris, Cassinello Torrent, 4 July 2000.*

Figur 4.2.2.C/1.3 Ein Familienhaus entlang der Kantonstrasse wurde vom Wasser und Murablagerungen beschädigt. Bach Cassinello, 4. Juli 2000.

*Figura 4.2.2.C/1.3 Casa lungo la strada cantonale circondata e invasa da acqua e detriti, T. Cassinello, 4 Luglio 2000.*



*Figure 4.2.2.C/1.4 Incision of the main channel of the Cassinello Torrent in the area feeding the debris flow.*

Figur 4.2.2.C/1.4 Tiefenerosion im Wildbachbett in der Murgangentstehungszone.

*Figura 4.2.2.C/1.4 Incisione dell'alveo principale del T. Cassinello nella zona di alimentazione della colata detritica.*

#### 4.2.2.C/1.2 Activities

The activities carried out for the Project can be divided into two main groups. On the one hand there was the analysis of all the existing documentation, and surveys to verify the morphological and hydrological information already available or gathered. This stage enabled us to make an indicative evaluation of a number of input parameters for the simulation model. The second stage, carried out in parallel to the first, was the implementation of the programme using ESRI ArcGis 8.3<sup>®</sup> software.

The morphological survey of the torrents was performed by surveying the channels from the source to the fan, paying attention to all the factors which could contribute to a debris flow: the presence of loose, transportable material in the channel and along the banks, in direct contact with the channel itself, potential blockages, identification of morphological steps, the presence of man-made constructions and the assessment of their state of repair. These observations, along with the surveys carried out after the event of July 2000, enabled us to identify the areas with a high trigger potential, which represents important input information for the model.

According to the field survey work and with the application of formulae to calculate magnitude, three debris flow event scenarios were defined (minimum event, most probable event and extreme event).

In particular this involved the use of the formulae, well described in the literature, of Tropeano *et al.* (1999), D'Agostino *et al.* (1996) and Franzi *et al.* (2000). A comparative analysis of the results of these formulae (and others which proved to be less suitable) with the volumes measured in the field enabled us to define the three simulation scenarios for each torrent.

Although not necessarily required for the application of the *dfwalk* model, a number of hydrological evaluations were made during the first stage of the Project.

#### 4.2.2.C/1.2 Aktivitäten

Die im Rahmen dieses Interreg Projektes durchgeführten Aktivitäten können in zwei Phasen unterteilt werden. Auf der einen Seite wurde die vorliegende Dokumentation analysiert und mit neuen Daten die geomorphologischen und hydrologischen Aspekte verifiziert. Ziel dieser Phase war die Vorabschätzung der Inputparameter für das Simulationsmodell. In der zweiten Phase des Projektes, die teilweise parallel mit der ersten geführt wurde, wurde der *dfwalk*-Code in ESRI ArcGis 8.3<sup>®</sup> implementiert.

Für die morphologische Erhebung wurden die Bäche flussaufwärts begangen, vom Kegel bis zur Quelle; alle Faktoren, die zu der Entstehung eines Murgangs beitragen können, wurden analysiert: Die Verfügbarkeit von Schuttmateriale im Gerinne oder am Hang, mögliche Verschlussstellen, morphologische Besonderheiten, das Vorhandensein von Bauwerken im Gerinne und ihr Unterhaltungsstand wurden festgestellt. All diese Informationen, zusammen mit den Erhebungen erlaubten es, die möglichen Entstehungszonen eines Murgangs zu identifizieren und diese im Modell zu übernehmen.

Anhand der morphologischen Erhebung und durch Literaturformeln wurden danach drei verschiedene Murgangsszenarien definiert (Minimalereignis, wahrscheinlichstes Ereignis und Extremereignis).

Es wurden die bewährten Formeln von Tropeano *et al.* (1999), D'Agostino *et al.* (1996) und Franzi *et al.* (2000) verwendet. Durch den Vergleich dieser Formeln (und anderen weniger geeigneten Formeln) und den im Feld bestimmten Volumen wurden für jeden Bach die drei verschiedenen Referenzszenarien für die Simulationen festgelegt.

Während der ersten Projektphase wurden auch hydrologische Analysen und Abschätzungen durchgeführt, obwohl solche Informationen nicht direkt als Input für *dfwalk* nötig sind.

#### 4.2.2.C/1.2 Attività

Le attività svolte all'interno del Progetto possono essere suddivise in due grandi fasi. Da una parte l'analisi di tutta la documentazione esistente e la verifica, tramite sopralluoghi, delle informazioni morfologiche e idrologiche già disponibili o raccolte. Questa fase ha consentito di giungere ad una valutazione indicativa di alcuni parametri di ingresso al modello di simulazione. La seconda fase, svolta in parallelo alla prima, ha comportato l'implementazione del programma all'interno di ESRI ArcGis 8.3<sup>®</sup>.

Il rilievo morfologico dei torrenti è stato effettuato percorrendo le aste fluviali dalla zona di sorgente fino al conoide, ponendo attenzione a tutti i fattori predisponenti una colata detritica: la presenza di materiale sciolto mobilizzabile in alveo o lungo i versanti a diretto contatto con l'alveo stesso, la possibilità di ostruzione dell'alveo, l'individuazione di gradini morfologici, la presenza di manufatti e la valutazione del loro stato di manutenzione. Queste osservazioni, accanto ai rilievi a seguito dell'evento del luglio 2000, hanno consentito di individuare le zone con maggiore probabilità di innesco, che costituisce un'importante informazione di ingresso al modello.

Sulla base del rilievo di campo e tramite l'applicazione di formule di letteratura per il calcolo della *magnitudo* sono stati definiti tre scenari di evento di colata detritica (evento minimo, evento più probabile ed evento estremo).

In particolare si è fatto uso delle formule, ampiamente descritte in letteratura, di Tropeano *et al.* (1999), di D'Agostino *et al.* (1996) e di Franzi *et al.* (2000). Un'analisi comparativa dei risultati di queste formule (e di altre rivelatesi meno adatte) con i volumi rilevati sul campo ha permesso di definire per ogni torrente i tre scenari di riferimento con cui condurre le simulazioni.

Sebbene non necessariamente richieste per l'appli-

By analysing the heavy precipitations recorded in the area, and using a flow regime/runoff model for the event, it was possible to reconstruct the hydrological response of the two catchments to a particularly intense meteorological event.

By making considerations on the particle size of the material available, and using simple balance equations, we created a plausible sediment hydrograph for a debris flow and the total volume involved, which was compared to the data obtained using the aforementioned magnitude formulae.

Important information for the simulation including the location of all the infrastructures (roads, railways, paths, etc.) and the main buildings on the fan. The former usually represent preferred channels for the flow, which can be integrated into the model, while the latter, blocking the flow, influence the sedimentation process and the overall magnitude of the event.

The *dfwalk* model, as described by Gamma (1999), was implemented directly in ESRI ArcGis 8.3®.

A number of modifications and additions to the original were made at the programming stage, which are described in detail in the overall report of the CatchRisk project.

The final stage of the Project was dedicated to testing the model and calibrating it on the various case studies distributed throughout Canton Ticino. Below we include a few details regarding the case study on the Claro alluvial fan.

Die in der Region aufgezeichneten Extremereignisse wurden durch ein Niederschlag-Abfluss Modell analysiert und damit das hydrologische Verhalten der zwei Einzugsgebiete rekonstruiert.

Auf der Basis von bereits vorhandenen Geschiebeanalysen wurde das Geschiebevolumen eines Murgangs berechnet und anschliessend mit dem aus den Formeln berechneten Volumen verglichen.

Die Lage der linearen Infrastrukturen (Autobahn, Eisenbahn, Strassen, Wanderwege) und der wichtigsten Gebäude auf dem Kegel stellen auch wichtige Hinweise zur Simulationsdurchführung dar. Die ersten werden sehr oft von einem Murgang als bevorzugte Fliessrichtung gewählt, die zweiten spielen als Hindernisse eine Kontrollfunktion bei der Ablagerung und zur Bestimmung der Phänomenintensität.

Das Modell *dfwalk*, ursprünglich in Gamma (1999) beschrieben, wurde als ESRI ArcGIS 8.3® Extension implementiert.

Im Laufe der Programmierungsphase wurde die Grundversion von Gamma teilweise angepasst und weiterentwickelt, wie ausführlich im CatchRisk Schlussbericht beschrieben wird.

In der letzten Projektphase wurde das Modell mit historischen Murgangereignissen im Kanton Tessin getestet und geeicht. Im folgenden wird im Detail das Testgebiet der Gemeinde Claro dargestellt.

cazione del modello *dfwalk*, si è provveduto durante la prima fase del Progetto ad alcune valutazioni idrologiche. Da un'analisi delle precipitazioni intense registrate nella regione e utilizzando un modello afflussi-deflussi a scala di evento è stato possibile costruire la risposta idrologica dei due bacini ad un evento meteorico particolarmente intenso.

Tramite considerazioni sulla granulometria del materiale disponibile e avvalendosi di semplici equazioni di bilancio è stato determinato un idrogramma solido plausibile per una colata detritica e il suo volume complessivo, che è stato sufficientemente confrontato con i valori ottenuti tramite le formule di *magnitudo* prima ricordate.

Informazioni importanti per la simulazione sono costituite dalla localizzazione di tutte le infrastrutture (strade, ferrovie, sentieri, ...) e dei principali edifici costruiti sul conoide. I primi rappresentano solitamente delle vie preferenziali di flusso, che possono essere considerate all'interno del modello; i secondi, ostruendo la traiettoria delle colate, ne influenzano il processo di sedimentazione e l'intensità complessiva del fenomeno.

Il modello *dfwalk*, come descritto da Gamma (1999), è stato implementato direttamente all'interno di ESRI ArcGis 8.3®.

Nel corso della fase di programmazione sono state introdotte alcune modifiche e complementi alla versione originale, descritte in dettaglio nel rapporto complessivo del Progetto CatchRisk.

La fase terminale del Progetto è stata dedicata alla fase di *test* del modello e alla sua calibrazione su diversi casi di studio, distribuiti sul territorio del Cantone Ticino. Nel seguito sono presentati alcuni dettagli relativi al caso di studio del conoide alluvionale di Claro.



A different numerical approach: *dfwalk* model  
 § 4.2.2.C/1 CANTON TICINO

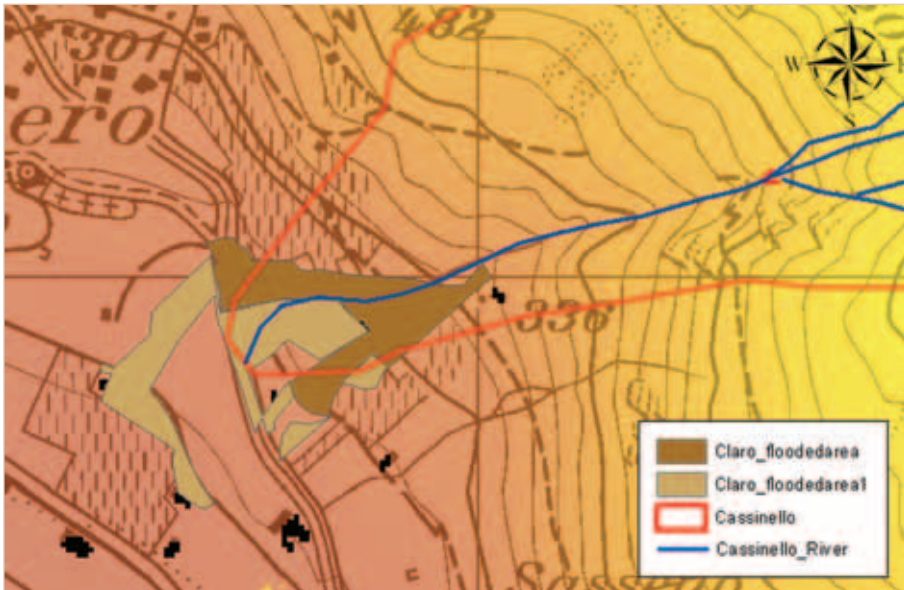


Figure 4.2.2.C/1.5 Outline of the areas flooded by the debris flow during the event of 4 July 2000. In dark brown, the areas with substantial mass transport and deposit of sediment, in light brown those affected by the transport of water and mud.

Figur 4.2.2.C/1.5 Ereignis vom 4. Juli 2000: Abgrenzung der vom Murgang betroffenen Zonen. Dunkelbraun: Zone mit Geschiebetransport und Ablagerung; Hellbraun: Nur mit Wasser und feinem Material überschwemmte Zone.

Figura 4.2.2.C/1.5 Delimitazione delle zone invase dalla colata detritica, evento del 4 Luglio 2000. In marrone scuro le zone con forte trasporto di massa e deposizione di sedimenti, in marrone chiaro quelle interessate da trasporto di acqua e fango.

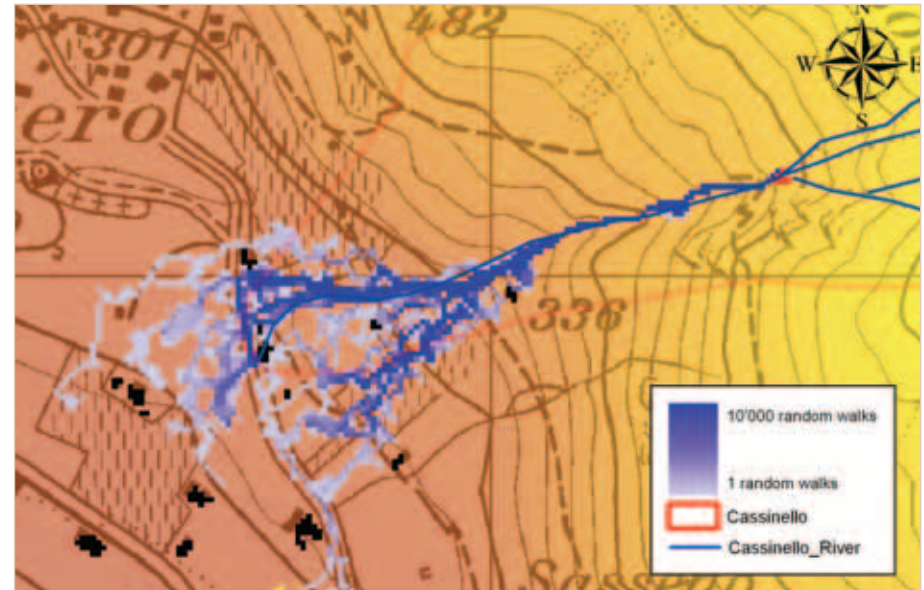


Figure 4.2.2.C/1.6 Reconstruction of the flooded area using the *dfwalk* model. The darker areas are more likely to be hit by the flow, the lighter areas are less likely to be hit.

Figur 4.2.2.C/1.6 Mit *dfwalk* simuliertes Überschwemmungsgebiet des Murgangs.

Die dunklen Rasterzellen werden mit höher Wahrscheinlichkeit vom Murgang durchfahren, die hellen Rasterzellen weisen eine kleinere Wahrscheinlichkeit auf.

Figura 4.2.2.C/1.6 Ricostruzione della zona di invasione tramite il modello *dfwalk*. Le zone più in scuro presentano un'elevata probabilità di essere attraversate dalla colata, quelle in chiaro hanno probabilità minore.

Table 4.2.2.C/1.2 Scenarios of reference to define levels of hazard, obtained by applying magnitude formulae and carrying out field surveys.

Tabelle. 4.2.2.C./1.2 Verwendete Referenzszenarien zur Definition der Gefahrenzonen, ermittelt durch die Anwendung von Literaturformeln und Feldbegehungen.

Tabella. 4.2.2.C./1.2 – Scenari di riferimento per la definizione del grado di pericolo, ottenuti tramite l'applicazione di formule di magnitudo e rilievi di campo.

$M_{min}$	Magnitudo minima [m <sup>3</sup> ]	5.000	Formula Tropeano & Turconi (1999)
$M_{average}$	Magnitudo media [m <sup>3</sup> ]	12.000 – 14.000	Evento 4 luglio 2000
$M_{max}$	Magnitudo massima [m <sup>3</sup> ]	18.000	Evento max. Formula Bianco & Franzi (2000)



#### 4.2.2.C/1.3 Results

In the case of the Cassinello Torrent one of the three scenarios identified corresponds to the volume of material deposited on the fan following the event of 4 July 2000. Thanks to a detailed survey of flooded areas it was possible to compare the results of the model with what actually occurred. On the orographic right, mainly within the original channel, the highest speeds were simulated, as well as to the left of the fan, where the flow opened up another route. At the main road, it can be observed that the model is able to simulate movement down this preferred channel, which was effectively flooded by the flow.

The distribution of deposit heights reflects the structure described with regards to the probability of flooding for the cells and for maximum speeds, while overall it was noted that the estimated amount of material deposited on the fan (around 14.000 m<sup>3</sup>), was not enough for the model to take the observed deposits into account. It is however feasible that the effective magnitude of the event was underestimated during post-event surveys.

#### 4.2.2.C/1.3 Ergebnisse

Eine der definierten Szenarien für den Bach Cassinello entspricht dem Geschiebevolumen, das am 4. Juli 2000 auf dem Kegel abgelagert wurde.

Dank der detaillierten Feldaufnahme, die nach dem Ereignis durchgeführt wurde, konnten die Modellergebnisse bewertet werden. Am rechten Bachufer und im Fliessgerinne werden vom Modell die höchsten Geschwindigkeiten berechnet; auch auf dem linken Ufer, wo eine Ausuferungsmöglichkeit besteht, kann der Murgang den Kegel mit Wasser und Sedimenten überschwemmen.

Auf der Figur ist ersichtlich, dass das Modell in der Lage ist, die Rolle der Kantonstrasse als bevorzugte Fliessrichtung des Murgangs zu simulieren.

Die räumliche Verteilung der Ablagerungshöhe entspricht der Anzahl random walks und den maximalen Geschwindigkeiten. Im Allgemeinen wurde durch die Simulation gezeigt, dass das Geschiebevolumen nach dem Ereignis (14.000 m<sup>3</sup>) unterschätzt wurde, weil dieses Inputvolumen zu einer Unterschätzung der Sedimenthöhe auf dem Kegel führt.

#### 4.2.2.C/1.3 Risultati

Nel caso del T. Cassinello, uno dei tre scenari individuati corrisponde alla volumetria di materiale depositato in conoide a seguito dell'evento del 4 Luglio 2000. Grazie alla disponibilità di un rilievo di dettaglio delle zone alluvionate è stato possibile confrontare i risultati del modello con quanto verificatosi in realtà. In destra orografica, principalmente all'interno dell'alveo originario, vengono simulate le velocità più elevate; anche sulla sinistra del conoide, dove la colata si è aperta una seconda via. È possibile osservare come il modello, una volta raggiunta la strada cantonale, sia in grado di simulare il moto lungo questa via preferenziale, che è stata effettivamente invasa dalla colata.

La distribuzione delle altezze di deposizione ricalca la struttura descritta per le probabilità di attraversamento delle celle e per le velocità massime, mentre in termini complessivi si è osservato come il materiale stimato sul conoide (circa 14.000 m<sup>3</sup>) non sia sufficiente al modello per rendere conto dei depositi osservati in realtà. È pertanto verosimile che durante i sopralluoghi post-evento la *magnitudo* effettiva dell'evento sia stata sottostimata.

A different numerical approach: *dfwalk* model  
 § 4.2.2.C/1 CANTON TICINO

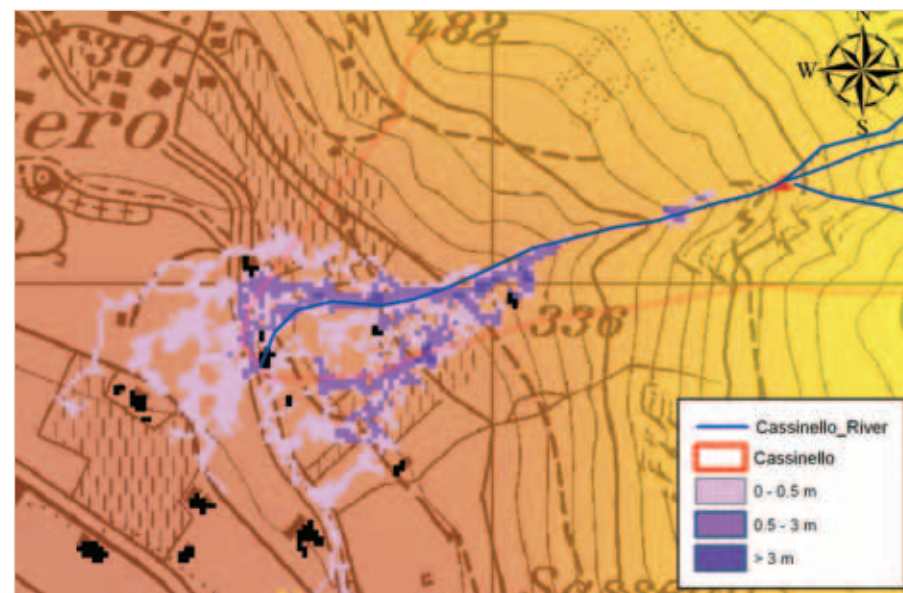
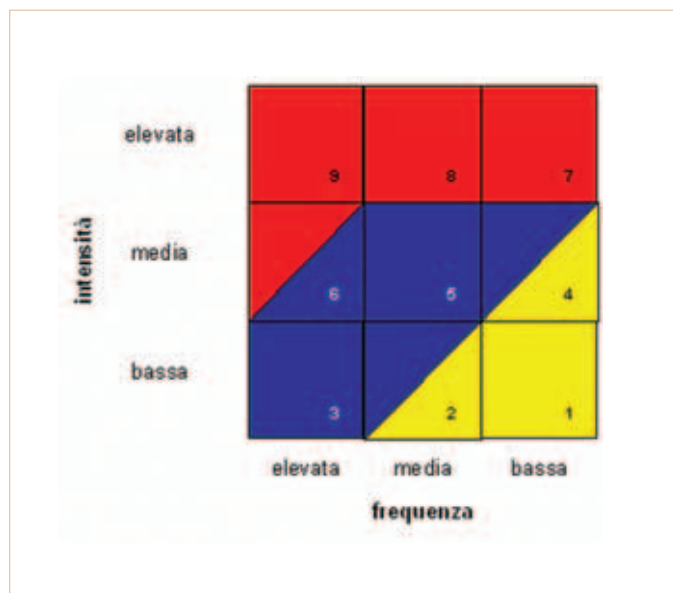


Figure 4.2.2.C/1.7 Intensity-frequency diagram used to determine hazard levels according to BUWAL directives.

Figur 4.2.2.C/1.7 Intensitäts-Frequenz Diagramm zur Bestimmung des Gefahrenniveaus gemäss BUWAL-Richtlinien.

Figura 4.2.2.C/1.7 Diagramma intensità-frequenza per la determinazione del grado di pericolo secondo le direttive BUWAL.

Figure 4.2.2.C/1.8 Map of simulated deposit heights, Cassinello Torrent, reconstruction of the event of 4 July 2000.

Figur 4.2.2.C/1.8 Murgangereignis vom 4. Juli 2000: Karte der simulierten Ablagerungen des Baches Cassinello.

Figura 4.2.2.C/1.8 Carta delle altezze di deposito simulate, T. Cassinello, ricostruzione dell'evento del 4 Luglio 2000.

Table 4.2.2.C/1.3 Main calibration parameters for the *dfwalk* model and indicative figures used for the simulation.  
 Tabelle 4.2.2.C/1.3 Wichtigste Eichungsparameter des Modells *dfwalk* und entsprechende Referenzwerte für die durchgeführten Simulation.  
 Tabella 4.2.2.C/1.3 Principali parametri di calibrazione del modello *dfwalk* e valori indicativi utilizzati per la simulazione.

$q_{PG}$	Pendenza media per la determinazione del raggio di azione massimo	0.1 [-]
$\mu$	Parametro di resistenza al moto	0.01 [-]
$M/D$	Mass-to-Drag parameter	70 [-]
$a$	Esponente di espansione	2.5 [-]
$D_{v,max}$	Deposito massimo consentito per velocità nulla per ogni <i>random walk</i>	1.5 [m]
$D_{b,max}$	Deposito massimo consentito per pendenza nulla per ogni <i>random walk</i>	1.5 [m]

#### 4.2.2.C/1.4 Conclusions

In view of the uncertain nature of the processes which cause a debris flow, the procedure involved in identifying hazard zones is subject to an inevitable lack of precision. It is also opportune to remember that the availability of probabilistic information represents an indispensable tool for planning and decision-making on every level (BUWAL, 1999; Figure 4.2.2.C/1.7).

Also for this reason, in the context of planning, where the main focus is on dividing the area into different levels of predicted hazard, the more simplified models, which use an empirical/experimental approach to describe trigger conditions and the physical characteristics of the flow, and a statistical approach to determine the areas of the fan subject to depositing, are undoubtedly appropriate.

With particular regard to the *dfwalk* model, the results obtained in Canton Ticino are undoubtedly promising, though it is necessary to apply the model once more to obtain more information regarding calibration parameters and the sensitivity of the process being studied.

#### 4.2.2.C/1.4 Schlussfolgerungen

Da die verschiedenen Phänomene, die einen Murgang auslösen können, als Zufallsprozesse betrachtet werden können, leidet das Verfahren zur Gefahrenzonierung an Unsicherheiten und Ungenauigkeiten. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass gemäss BUWAL-Richtlinien (BUWAL, 1999; Figur 4.2.2.C/1.7) bei der Landnutzungsplanung die Information über die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses oder Prozesses vorhanden sein sollten.

Deshalb sind in der Planungsphase, bei der einem Gebiet eine bestimmte Nutzung aufgrund einer bestehenden Gefahrensituation zugeordnet wird, vereinfachte Simulationsmodelle zur Gefahrenbestimmung zu bevorzugen. In der Tat werden einerseits die auslösenden Prozesse und die Murgangeigenschaften durch empirische Annahmen beschrieben und andererseits das betroffenen Gebiet auf dem Kegel mittels statistischer Verfahren simuliert.

Was die Anwendung des Modells *dfwalk* anbelangt, sind die ersten Ergebnisse im Kanton Tessin viel versprechend. Trotzdem ist die breitere Anwendung des Modells auf historische Ereignisse erforderlich, um Informationen über die Kalibrierung und die Sensitivität der Parameter zu gewinnen.

#### 4.2.2.C/1.4 Conclusioni

Considerata la caratteristica di aleatorietà propria dei processi che inducono un flusso di detrito, la procedura di identificazione delle zone di pericolo è soggetta ad un inevitabile grado di imprecisione. È inoltre opportuno ricordare come la disponibilità di informazione in termini probabilistici rappresenta uno strumento indispensabile nell'attività pianificatoria e decisionale ad ogni livello (BUWAL, 1999; Figura 4.2.2.C/1.7).

Anche per questa ragione, in un contesto di pianificazione, dove l'interesse è principalmente rivolto alla suddivisione del territorio in funzione dei diversi livelli di pericolosità attesa, i modelli più semplificati, che accanto ad un approccio empirico-sperimentale nella descrizione delle condizioni di innesco e delle caratteristiche fisiche del moto fanno uso di un approccio statistico per la determinazione dell'area soggetta a deposizione sul conoide, si rivelano senz'altro appropriati.

In particolare per quanto riguarda l'applicazione del modello *dfwalk*, i risultati ottenuti in Cantone Ticino sono senz'altro promettenti; tuttavia è necessaria un'ulteriore applicazione del modello per ottenere maggiori informazioni in merito ai parametri di calibrazione e alla sensibilità del processo in esame.