

3. Rapid evolution slope processes

The term *landslide* is generally used to describe all mass movements, which, due to the force of gravity, travel down slopes. In the literature landslides are distinguished by a) the type of material involved (rocks or soil), b) the type of movement (rock falls, slides, toppling) or c) the different speeds of the masses in movement. Rapidly-moving landslides in particular include different types of instability, involving both rocks and soil.

A rapid landslide is classified as a landslide moving at a speed of over 1.8 m/h (Cruden & Varnes, 1996). This distinction can be used to evaluate landslides in terms of the effects that can be withstood by man-made structures. In fact, by expressing the intensity of a landslide as a function of the kinetic energy of the mass in movement, and therefore the speed of the mass itself, it is possible to plan protective structures. Some typical phenomena characterised by high speed movement include collapses and rock falls, rapid flows and landslides caused by the saturation of the surface mantle, known as shallow landslides.

3. Schnelle Hangprozesse

Im Allgemeinen versteht man unter einer Massenbewegung all die Prozesse, bei denen sich Massen durch die Schwerkraft Hang abwärts bewegen. In der Fachliteratur werden Massenbewegungen folgendermaßen unterschieden: a) nach der Art des beteiligten Materials (Fels oder Böden), b) nach der Art der Bewegung (Steinschlag, Rutschungen, Kippung und ähnliches), c) nach der Bewegungsgeschwindigkeit der Massen. Vor allem die schnellen Hangbewegungen lassen sich in unterschiedlichen Typologien einteilen, bei denen sowohl Gestein als auch Erdreich betroffen ist.

Man spricht von *schnellen Massenbewegungen*, wenn die Geschwindigkeit 1,8 m/h überschreitet (Cruden & Varnes, 1996). Diese Unterscheidung ist nützlich für die Einschätzung der Massenbewegung im Hinblick auf die Intensität seiner Auswirkungen auf Gebäude und die Frage, ob diese dem Massenbewegung standhalten oder nicht. Diese Intensität kann als Funktion der kinetischen Energie und damit der Geschwindigkeit der bewegten Masse ausgedrückt werden. Auf diese Weise lassen sich die benötigten Ausmaße eventueller Rückhalteanlagen berechnen. Besonders hohe Geschwindigkeit haben Steinschlag und Steinlawinen, schnelle Ströme und Massenbewegungen, die durch die Sättigung der oberen Schicht entstehen (*Shallow Landslides*).

3. Processi di versante a rapida evoluzione

In generale, con il termine *frana* si indicano tutti quei processi di movimento di massa che per effetto della gravità si muovono lungo un versante. In letteratura, le frane vengono distinte secondo: a) il tipo di materiale coinvolto (rocce o terreni), b) la tipologia di movimento (crolli, scivolamenti, ribaltamenti, ecc.) o c) la differente velocità di movimento delle masse traslate. In particolare i processi di versante caratterizzati da rapida evoluzione comprendono diverse tipologie di dissesto che coinvolgono sia ammassi rocciosi sia terreni.

Si parla di *frane rapide* quando la velocità di movimento supera 1.8 m/h (Cruden & Varnes, 1996). Tale distinzione è utile ad esempio per la valutazione del fenomeno franoso in termini di intensità degli effetti che possono essere sopportati dai manufatti. Infatti esprimendo l'intensità come funzione dell'energia cinetica della massa mobilizzata, quindi della velocità che la massa stessa ha, è possibile dimensionare eventuali opere di difesa. Tipici fenomeni caratterizzati da elevata rapidità sono ad esempio i crolli e le valanghe in roccia, le colate rapide e le frane per saturazione della coltre superficiale (*shallow landslides*).

3.1. Rapid evolution shallow landslides

Shallow landslides, which are the most frequent type of landslide in the hills and foothills of the Alps, occur following periods of heavy rainfall in the spring or autumn in correspondence with the surface mantle. The increase in pore pressure causes a reduction in the shear strength of the materials in the surface mantle. This increase may be directly connected to the infiltration of rain (saturation from above) or may be the result of the formation and rise of a temporary aquifer. According to these patterns, the failure surface may form within the colluvial material or in correspondence with a marked variation in permeability. Shallow landslides are characterised by:

- modest thickness (t) and volume (v) (t from tens of cm up to 150 cm; v from a few cubic meters to a few hundred cubic meters);
- a high density of landslides per surface unit (up to 200 landslides per km²).

A common occurrence with this type of landslide is: the coalescence of scars and/or accumulations (with the aggregation of several dozen single landslides);

- transfer of accumulations to the minor hydrographical network (thus causing triggering and/or increasing of debris mass transport in torrents);
- high speed of movement (up to and over 50 km/h) which translates into great force of impact against buildings (in northern Italy alone such events caused 4 deaths in Serravalle Scrivia (Alessandria), October 1977; 18 deaths in Tresenda (Sondrio), May 1983, 11 deaths in Tartano (Sondrio), July 1987, and 14 deaths in Varallo Sesia (Vercelli), November 1994);
- transfer and halt of the accumulation beyond the foot of the slope, on flat land;
- highly conditioned by heavy rainfall;
- lack or almost of warning signs;
- only slight morphogenetic impact on the original aspect of the slopes;

3.1. Schnelle Flachgründige Rutschungen

Flachgründige Rutschungen suchen häufig die Hügellzonen und das Voralpengebiet heim. Sie treten bei starken Niederschlägen im Sommer und im Herbst auf und betreffen die Bodenauflage. Die Erhöhung des Porenwasserdrucks führt zu einem verminderten Scherfestigkeit der Materialien in den Schichten gegen Brüche. Ursache dafür ist das Eindringen von Regenwasser (Sättigung von oben) oder die vorübergehende Bildung oder das Anwachsen eines unterirdischen Wasserlaufs. Vor dem Hintergrund dieser Schematisierungen kann sich die Bruchfläche entweder innerhalb des Bedeckungsmaterials bilden oder in Verbindung mit einem markanten Impermeabilitätswechsel.

Flachgründige Rutschungen haben folgende Eigenschaften:

- geringe Mächtigkeiten (s) und Volumen (v) – Mächtigkeiten von einigen Dezimetern bis 1,50 m, Volumen von einigen m³ bis einigen Hundert Kubikmetern;
- hohe Dichte der Einzelereignisse pro Oberflächeneinheit (bis zu 200 Massenbewegung pro km²).

Die Ereignisse haben folgende Tendenzen:

- Zusammenfließen der Abbruchnischen und der Ablagerung (auf diese Weise kommen bisweilen Dutzende von Massenbewegungen zusammen);
- Transport der Ablagerung ins kleinere Gewässersystem (und damit Auslösung bzw. Anhäufung der Flussfracht);
- Erhöhte Bewegungsgeschwindigkeit (manchmal mehr als 50 km/h), die zu einer stärkeren Kraftentwicklung beim Aufprall auf Gebäude führt (allein in Norditalien gab es dadurch zahlreiche Todesopfer: 4 in Serravalle Scrivia (Provinz

3.1. Frane superficiali a rapida evoluzione

Le frane superficiali, che interessano con maggior frequenza l'ambiente collinare e prealpino, sono fenomeni che si verificano in occasione di eventi pluviometrici intensi, estivi o autunnali, in corrispondenza delle coltri superficiali. L'aumento delle pressioni neutre provoca una riduzione della resistenza al taglio dei materiali della coltre. Tale aumento può essere direttamente correlato all'infiltrazione della pioggia (saturazione dall'alto) o può essere il risultato della formazione e innalzamento di una falda temporanea. Sulla base di tali schematizzazioni, la superficie di rottura può formarsi all'interno del materiale di copertura o in corrispondenza di una marcata variazione di permeabilità.

Le frane superficiali si caratterizzano per:

- spessori (s) e volumi (v) molto modesti (s da decine di cm fino a 150 cm; v da qualche metro cubo a qualche centinaio di metri cubi);
- elevata densità di fenomeni per unità di superficie (sino a 200 frane/km²).

Tali fenomeni mostrano una frequente tendenza a:

- coalescenza delle nicchie di distacco e/o degli accumuli (aggregazione anche di diverse decine di singole frane);
- trasferimento degli accumuli nella rete idrografica minore (quindi innesco e/o esaltazione dei fenomeni di trasporto in massa torrentizio);
- elevata velocità di movimento (anche maggiori di 50 km/h) che si traducono in elevata energia di impatto con gli edifici (solo nel nord-Italia tali fenomeni hanno provocato 4 vittime a Serravalle Scrivia (AL), ottobre 1977; 18 vittime a Tresenda (SO), maggio 1983, 11 vittime a Tartano (SO), luglio 1987, 14 vittime a Varallo Sesia (VC), novembre 1994);
- traslazione ed arresto dell'accumulo oltre il piede del versante, su terreno pianeggiante;

- extremely low probability of reactivation in the same location, but a high probability of subsequent landslides in immediately adjacent areas.

Alessandria) im Oktober 1977, 18 in Tresenda (Provinz Sondrio) im Mai 1983, 11 in Tartano (Provinz Sondrio) im Juli 1987, 14 in Varallo Sesia (Provinz Vercelli) im November 1994);

- Transport der Masse über das untere Hangfuss hinaus in die Ebene;
- starke Abhängigkeit von intensiven Niederschlägen;
- kaum Vorzeichen;
- kaum morphogenetische Auswirkungen auf die ursprüngliche Beschaffenheit des Hangs;
- sehr niedrige Wahrscheinlichkeit der Reaktivierung direkt am Ursprungsort des vorigen Auslösungsgebietes des Ereignisses, aber hohe Wahrscheinlichkeit neuer Ereignisse in der Nähe dieser Stelle.

- forte condizionamento delle piogge intense;
- mancanza o quasi di indizi premonitori;
- azione morfogenetica scarsamente incisiva sull'assetto originario dei versanti;
- bassissima probabilità di riattivazione nel luogo di precedente innesco, ma alta probabilità di accadimento di nuovi fenomeni in aree immediatamente adiacenti.

3.1.1. General framework

The identification of areas subject to a variety of hazards represents a vital tool in ensuring suitable planning of land use. All hazard and risk assessments have to start with specific studies on the landslide phenomenon, identifying the geometric, physical/mechanical and kinematic characteristics and the specific bounding conditions.

In the study of shallow landslides and all natural processes in general, the need to answer the classic questions: “*why will it happen?*” (for example, for mechanical reasons) “*how powerful will it be?*” (magnitude) “*where will it happen?*” (spatial component) and “*when will it happen?*” (temporal component) calls for the use of models which attempt to reconstruct a phenomenon, process or effect as realistically as possible, adopting a simplified approach. And with simplified models, whether they be physical, numerical, deterministic, empiric or statistical, the complexity of the question can be reduced, so that the phenomenon in question emerges with greater clarity.

Unfortunately it is not always possible to predict *where* and *when*. This is particularly evident not only in the case of landslides, but also for other natural phenomena, such as earthquakes.

The reason why it is difficult to predict *where* and *when* a natural phenomenon will occur is that such answers depend on the exact knowledge of a number of parameters and background conditions, where often only approximate data are known.

The choice of model should be based on the aim in question and on the level of difficulty of sourcing all the *ingredients* needed to make it work.

In the literature, shallow landslides have been modelled using a variety of approaches (Regione Lombardia & Università Milano Bicocca, 2001; Borga *et al.*, 1998):

3.1.1. Zusammenfassung des Kenntnisstandes

Die Unterscheidung der einzelnen Gefahrenbereiche ist für eine funktionierende Landschaftsplanung unerlässlich. Jede Einschätzung von Gefahren und Risiken muss sich notwendigerweise auf Studien über Massenbewegung stützen, bei denen die geometrischen, mechanischen und kinetischen Umstände und die Begleiterscheinungen berücksichtigt werden.

Bei den flachgründigen Rutschungen stellen sich wie bei allen anderen Naturerscheinungen die Fragen „*Warum?*“ (hier wäre die Antwort zum Beispiel aus dem Bereich der Mechanik), „*Wie?*“ (Intensität), „*Wo?*“ (Raumkomponente) und „*Wann?*“ (Zeitkomponente). Zur Beantwortung dieser Fragen sind Modelle vonnöten, die die Ereignisse, Prozesse und Wirkungen so wirklichkeitsnah wie möglich und dennoch vereinfacht nachstellen. Diese Vereinfachung der Modelle, ob sie nun physikalisch, numerisch, deterministisch, empirisch oder statistisch sind, macht die Wirklichkeit greifbarer im Hinblick auf das, was es darzustellen gilt.

Leider sind Vorhersagen für das *Wo* und *Wann* nicht immer möglich. Das gilt für Massenbewegung ebenso wie für andere Naturerscheinungen wie Erdbeben.

Der Grund, warum das *Wo* und *Wann* von Naturerscheinungen so schwer vorherzusagen ist, liegt darin, dass dazu eine Reihe von Parametern und Umgebungsbedingungen bekannt sein müssen, die sich oft nur annähernd einschätzen lassen.

Die Auswahl des Modells muss vor allem der Zielsetzung unterworfen sein, daneben müssen die Schwierigkeiten bei der Erhebung aller zum Funktionieren notwendigen Elemente bedacht werden. In der Literatur wird die Modellbildung für flachgründige Rutschungen nach unterschiedlichen Voraussetzungen angegangen (Regione Lombardia & Università Milano Bicocca, 2001; Borga *et al.*, 1998):

1. mit statistischen Techniken (Carrara, 1983; Carrara

3.1.1. Breve sintesi delle conoscenze

L'individuazione di zone del territorio soggette a differente pericolosità è uno degli strumenti indispensabili per una corretta pianificazione territoriale. Ogni valutazione di pericolosità e rischio deve necessariamente partire da studi specifici sul fenomeno franoso che ne individuino le caratteristiche geometriche, fisico-meccaniche, cinematiche e le condizioni al contorno.

Nello studio delle frane superficiali e più in generale di tutti i processi naturali, l'esigenza di rispondere alle classiche domande “*perché accadrà?*” (ad esempio risposta meccanica), “*come accadrà?*” (intensità), “*dove accadrà?*” (componente spaziale) e “*quando accadrà?*” (componente temporale) richiede l'impiego di modelli che cercano di ricostruire un fenomeno, un processo o un effetto nella maniera più conforme alla realtà, adottando approcci semplificati. Proprio per la natura intrinsecamente semplificata, i modelli, siano essi fisici, numerici, deterministici, empirici o statistici, riducono il grado di complessità della realtà affinché possa emergere più chiaramente quanto si vuole rappresentare.

Sfortunatamente, la predizione di *dove* e *quando* non sempre è possibile. Questo non solo è particolarmente evidente nel caso di frane, ma anche per altri fenomeni naturali, per esempio i terremoti.

La ragione del perché è difficile predire *dove* e *quando* accadrà un fenomeno naturale è che tali risposte dipendono dalla conoscenza esatta di un numero di parametri e di condizioni al contorno che sono noti molto approssimativamente.

La scelta di un modello deve basarsi innanzi tutto sull'obiettivo che si vuole perseguire e sulla difficoltà nel reperire tutti gli *ingredienti* necessari al suo funzionamento.

In letteratura, la modellazione delle frane superficiali viene affrontata seguendo diverse impostazioni

1. with statistical techniques (Carrara, 1983; Carrara *et al.*, 1991) and automatic techniques for classifying the level of stability (Hollingsworth & Kovacs, 1981);
2. using deterministic techniques based on mechanical-hydrological models (Montgomery & Dietrich, 1994; Dietrich & Montgomery, 1998);
3. using heuristic models, with empiric evaluations starting from the interpretation of past events (De Graff, 1985).

The choice of model is based on how an event starts. In the case of shallow landslides the following possibilities have been identified:

1. vertical infiltration of water creates a temporary piezometric surface in contact with the less permeable bedrock below. The consequent increase in pore pressure renders the slope unstable. One typical approach is that developed by Montgomery and Dietrich (1994), which highlights the fact that shallow landslides occur more frequently in areas where sub-surface run-offs converge, where the flow itself is steady-state;
2. vertical infiltration of water causes a reduction in suction and a consequent reduction in apparent cohesion. One typical approach is that recently developed by Iverson (2000) and Baum *et al.* (2002), which identifies the mechanisms of interaction between the land and the infiltration, assessing the transitory effects of the rainfall.

The approach described in point one can be adopted in the case of shallow landslides of limited thickness, where the failure surface corresponds to the point of contact between the soil and the sub-strate.

The second approach, which is more exacting, describes the phenomenon in great detail, but is difficult to apply to large areas, in view of the intrinsic complexity of the processes it sets out to model. It does in fact require a great deal of work to detail and regionalise numerous variables under different aspects:

- et al.*, 1991) und mit automatischen Techniken zur Klassifizierung der Stabilität (Hollingsworth & Kovacs, 1981);
2. durch deterministische Ansätze, die auf mechanisch-hydrologischen Modellen basieren (Montgomery & Dietrich, 1994; Dietrich & Montgomery, 1998);
3. mit heuristischen Methoden über empirische Bewertungen auf der Grundlage der Deutung des schon Geschehenen (De Graff, 1985).

Die Auswahl eines Modells erfolgt nach den auslösenden Momenten der Ereignisse. Dafür gibt es im Fall von flachgründigen Rutschungen im allgemeinen folgende Möglichkeiten:

1. Vertikales Eindringen von Wasser führt zur Bildung einer vorübergehenden Grundwasserschicht über dem weniger durchlässigen Untergrund. Der dadurch ansteigende Druck im Zwischenraum macht den Hang instabil. Eine typische Methode ist die von Montgomery und Dietrich (1994) entwickelte. Sie arbeiteten heraus, dass flachgründige Rutschungen sich besonders häufig da bilden, wo eine Konvergenz des Abflusses unter der Oberfläche besteht, wenn der Fluss selbst unverändert bleibt.
2. Vertikales Eindringen von Wasser verursacht eine Verringerung der Aufnahme und damit der scheinbaren Kohäsion. Typisch hierfür ist die vor kurzem von Iverson (2000) und Baum *et al.* (2002) entwickelte Methode, die die Mechanismen der Interaktion zwischen Gelände und Infiltration beschreiben und dabei die Auswirkungen von vorübergehenden Niederschlägen einschätzen.

Die zuerst beschriebene Methode kann in solchen Fällen angewandt werden, in denen Massenbewegung mit geringer Mächtigkeit auftreten, bei denen die Bruchfläche an der Schnittstelle zwischen Boden und Untergrund liegt.

Die zweite Methode ist strenger und beschreibt sehr

(Regione Lombardia & Università Milano Bicocca, 2001; Borga *et al.*, 1998):

1. con tecniche statistiche (Carrara, 1983; Carrara *et al.*, 1991) e tecniche di classificazione di stabilità in maniera automatica (Hollingsworth & Kovacs, 1981);
2. mediante approcci deterministici basati su modelli meccanico-idrologici (Montgomery & Dietrich 1994; Dietrich & Montgomery, 1998);
3. mediante metodi euristici, attraverso valutazioni empiriche a partire dall'interpretazione di quanto già avvenuto (De Graff, 1985).

La scelta di un modello si basa sulle modalità d'innescio di un fenomeno, per le quali, nel caso delle frane superficiali, vengono individuate generalmente le seguenti possibilità:

1. l'infiltrazione verticale dell'acqua genera una falda temporanea al contatto con il substrato meno permeabile sottostante. Il conseguente aumento della pressione interstiziale rende instabile il pendio. Tipico approccio è quello sviluppato da Montgomery e Dietrich (1994) che hanno messo in evidenza che le frane superficiali si originano con maggiore frequenza nelle aree dove si verifica convergenza del deflusso sub-superficiale, in condizioni di stazionarietà del flusso stesso;
2. l'infiltrazione verticale dell'acqua causa la riduzione della suzione e la conseguente riduzione della coesione apparente. Tipico approccio è quello recentemente sviluppato da Iverson (2000) e Baum *et al.* (2002), che individuano i meccanismi di interazione tra terreno e infiltrazione, valutando gli effetti del comportamento transitorio della pioggia.

L'approccio descritto al punto uno può essere adottato nel caso di frane superficiali di limitato spessore, in cui la superficie di rottura è posta in corrispondenza del contatto tra il suolo e il substrato.

1. economic and temporal aspects;
2. considering the importance of input parameters;
3. considering the representativeness of results.

In order to evaluate the level of hazard of shallow landslides in large areas, which is what this project examines, it is advisable to use models which, when processed by a Geographic Information System (GIS), represent a valid way of summarising the phenomenon and are simple to implement and use.

In view of this, while the non-steady state approach is generally more accurate, we believe that, in line with requirements for a large-scale hazard assessment method, a valid approach is one which couples an infinite slope stability model (Limit Equilibrium Model) and a steady-state hydrological model (Montgomery & Dietrich, 1994; Dietrich & Montgomery, 1998; Pack *et al.*, 1998).

In any case, whatever approach is applied, all models are characterised by uncertainties which cannot be eliminated. The degree of uncertainty that is acceptable depends not only on the requirements of the decision-making body, but also on the type of problem and its extent.

To overcome uncertainties regarding spatial variability in both input parameters and results, a number of methods which integrate prediction models into GIS applications have been developed.

detailliert die zu untersuchenden Ereignisse, kann aber nur schwer auf weite Gebiete übertragen werden, weil die im Modell abzubildenden Prozesse sehr komplex sind. Es sehr aufwändig, die vielen Variablen detailliert und nach Regionen aufzuschlüsseln. Dabei sind folgende Gesichtspunkte zu bedenken:

1. wirtschaftliche und zeitliche Faktoren;
2. Signifikanz der Eingangsparameter;
3. Repräsentativität der Ergebnisse.

Für eine Einschätzung der Gefährlichkeit der flachgründigen Rutschungen in weiten Gebieten – wie den in diesem Projekt behandelten – sollte auf Modelle zurückgegriffen werden, die in einem geografischen Informationssystem (GIS) verwaltet werden und damit ein wirksames Mittel zur Synthese solcher Ereignisse bilden. Sie sollten darüber hinaus leicht zu implementieren und zu verwenden sein.

Auch wenn man davon ausgeht, dass man bei einer beweglichen Methode genauere Ergebnisse erhält, kann man mit einer Methode, die ein Stabilitätsmodell mit Grenzgleichgewicht des unendlichen Hangs und ein stationäres hydrologisches Modell kombiniert, brauchbare und den Anforderungen an eine Einschätzungsmethode für Gefahren in großem Umfang genügende Ergebnisse erzielen. (Montgomery & Dietrich, 1994; Dietrich & Montgomery, 1998; Pack *et al.*, 1998).

Welche Methode man auch immer verwendet – das Ergebnis enthält immer noch unsichere und nicht kalkulierbare Elemente. Der Grad der Unsicherheit, der als gerade noch hinnehmbar gelten kann, hängt nicht nur von der Fragestellung der Entscheidungsträger ab, sondern auch von der Art des Problems und von dessen Ausdehnung.

Um wenigstens die Unsicherheit wegen der Raumvariable der Eingangsparameter und der Ergebnisse zu eliminieren, wurden Methoden entwickelt, die die Vorhersagemodelle in eine GIS-Umgebung integrieren.

Il secondo approccio, da ritenersi il più rigoroso, descrive con estremo dettaglio i fenomeni in esame, ma è difficilmente applicabile su ampie aree, proprio per l'intrinseca complessità dei processi che intende modellare. Esso richiede infatti un notevole sforzo nel dettagliare e regionalizzare le numerose variabili dal punto di vista:

1. economico e temporale;
2. della significatività dei parametri di ingresso;
3. della rappresentatività dei risultati.

Per la valutazione della pericolosità dei fenomeni franosi della coltre superficiale su aree estese, quali quelle oggetto del presente Progetto, è opportuno il ricorso a modelli che, convenientemente gestiti nell'ambito di un Sistema Informativo Geografico (GIS), siano un valido strumento di sintesi fenomenologica e rispondano al requisito di semplicità di implementazione e utilizzo.

Pertanto, pur ritenendo che la risposta fornita dall'approccio non stazionario sia generalmente più rigorosa, si ritiene che una risposta tuttora valida, coerente con i requisiti richiesti per l'applicazione di una metodologia di valutazione della pericolosità su larga scala, sia rappresentata da un approccio che accoppia ad un modello di stabilità all'equilibrio limite del pendio infinito, un modello idrologico stazionario (Montgomery & Dietrich, 1994; Dietrich & Montgomery, 1998; Pack *et al.*, 1998).

In ogni caso, qualunque sia l'approccio seguito, la risposta di un modello è caratterizzata da incertezze non eliminabili. Il grado di incertezza che si è disposti ad accettare è funzione non solo della domanda formulata dall'autorità decisionale, ma anche del tipo di problema e della sua estensione.

Per superare almeno l'incertezza sulla variabilità spaziale sia dei parametri di ingresso sia dei risultati, sono state sviluppate metodologie che prevedono l'integrazione di modelli previsionali in ambiente GIS.

3.1.2. Methods applied within the Project

3.1.2.A Empirical modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides

General introduction to the method

Heavy rainfalls, deemed to be such in view of the intensity and duration of precipitations, can give rise to shallow landslides. Analysing the meteorological conditions at the origin of recorded landslides enables us to determine the regional distribution of critical rainfalls. Integrating meteorological forecasts into a dynamic slope stability model allows us to reconstruct past events and forecast any future events.

Definition

An empirical method to calculate the regional distribution of rainfall *heavy enough* to give rise to shallow landslides.

Aims

The method indicates the regional distribution of critical rainfalls, in order to evaluate the risk of triggering a landslide in the event of precipitation which is exceptional in terms of intensity and duration.

Potential

The model provides a regional estimate of landslide hazards when threshold levels of precipitation are exceeded and is a tool which supports the decision-making process in the event of an incident.

Limits

The model requires records for a number of previous events (with spatial and temporal information for each event), a network of rain gauges and rainfall forecasts. Only normalised average rainfalls are taken into account. If the model is used for prediction purposes, the accuracy of the results depends greatly on the accuracy of the weather forecast used.

3.1.2. Verwendete Methoden

3.1.2.A Empirische Modellierung der Auslösung flachgründiger Rutschungen mit schneller Entwicklung

Allgemeine Einführung der Methode

Meteorische Ereignisse von aussergewöhnlicher Dauer oder Intensität können oberflächliche Hanginstabilitäten auslösen. Die Analyse der meteorologischen Bedingungen von historisch dokumentierten Ereignissen erlaubt die Bestimmung der regionalen Verteilung der notwendigen kritischen Niederschläge. Der Einbezug der Niederschlagsvorhersage in ein dynamisches Hangstabilitätsmodell erlaubt neben der Rekonstruktion historischer Ereignisse die Vorhersage des Verlaufes aktueller Ereignisse.

Definition

Empirisches Modell zur Bestimmung der regionalen Verteilung der Niederschläge, welche Hanginstabilitäten auslösen können.

Ziel

Die Methode liefert die regionale Verteilung kritischer Auslöseniederschläge zur Gefährdungsbeurteilung im Falle von Starkniederschlägen.

Potentialität

Die Methode liefert eine regionale Gefahrenabschätzung bezüglich oberflächlicher Hanginstabilitäten, wenn gewisse kritische Niederschlagswerte überschritten werden und dient somit als Instrument der Entscheidungshilfe bei Ereignissen von Starkniederschlägen.

Grenzen

Benötigt Informationen historischer Ereignisse (räumliche und zeitliche Informationen jedes

3.1.2. Metodi applicati nel Progetto

3.1.2.A Modellazione empirica dell'innescamento di frane superficiali a rapida evoluzione

Introduzione generale sul metodo

Eventi meteorici straordinari, ritenuti tali per l'intensità e la durata delle precipitazioni, possono produrre fenomeni di instabilità superficiale. L'analisi delle condizioni meteorologiche all'origine di dissesti storicamente documentati permette di determinare la distribuzione regionale delle piogge critiche. L'integrazione delle previsioni meteorologiche in un modello dinamico di stabilità di versante permette la ricostruzione di eventi passati e la previsione di eventuali eventi futuri.

Definizione

Metodo empirico della distribuzione regionale delle piogge in grado d'innescare instabilità.

Finalità

Il metodo indica la distribuzione regionale delle precipitazioni critiche, al fine di valutare il pericolo d'innescamento in caso di precipitazioni eccezionali per intensità e durata.

Potenzialità

Il modello fornisce una stima regionale del pericolo di frana quando si superano i limiti critici di precipitazione ed è uno strumento di supporto decisionale in caso d'evento.

Limiti

Il modello richiede una serie storica di eventi pregressi (con le informazioni spaziali e temporali di ogni singolo evento), una rete di pluviometri e la previsione delle precipitazioni. Vengono considerate solo le piogge medie normalizzate. Se il modello è utilizzato per scopi previsionali, l'attendibilità dei risultati dipen-

Activities

The application of the method requires:

- collecting data regarding previous events of instability, on the exact time when the landslide was triggered and rainfall/weather conditions;
- representation of normalised precipitation for the duration of the event;
- definition of the trigger threshold;
- spatial interpolation of the trigger threshold and corresponding rainfall in the area being studied;
- determination of critical rainfalls;
- integration of weather forecasts to predict the evolution of an event in progress.

Expected products

A map of rainfalls deemed critical for triggering instability (over different durations).

Appropriate professional figures

Emergency management authorities.

Ereignisses), ein Niederschlagsmessnetz und eine Niederschlagsvorhersage. Es werden nur die mittleren normierte Niederschläge berücksichtigt. Als Vorhersagemodell benutzt, ist es nur so gut wie die Niederschlagsvorhersage.

Aktivitäten

Folgenden Schritte sind nötig:

- Datensammlung historischer Ereignisse: möglichst genauer Zeitpunkt, Ort und begleitende Niederschlagsverhältnisse;
- Darstellung der Ereignisse in einem Diagramm Zeitdauer - normalisierte Niederschläge;
- Definition der Auslöseschwellenwerte;
- Räumliche Interpolation der Schwellenwerte und der entsprechenden Niederschlagswerte im Analysegebiet;
- Bestimmung der kritischen Niederschläge;
- Integration der Niederschlagsvorhersage, um den Verlauf aktueller Ereignisse zu verfolgen.

Erwartete Produkte

Karten kritischer Auslöseniederschläge unterschiedlicher Dauer für oberflächliche Hanginstabilitäten.

Geeignete Berufsbilder

Behörden, die die Entwicklung eines Starkregenereignisses beurteilen müssen.

de in modo considerevole dall'attendibilità della previsione meteorologica.

Attività

L'applicazione del metodo richiede:

- raccolta dei dati riguardanti eventi pregressi di instabilità, circa il momento esatto dell'innescò e le condizioni meteo-pluviometriche;
- rappresentazione delle precipitazioni normalizzate in funzione della durata dell'evento;
- definizione di soglie d'innescò;
- interpolazione spaziale delle soglie d'innescò e delle piogge corrispondenti nell'area di studio;
- determinazione delle piogge critiche;
- integrazione della previsione meteorologica per prevedere l'evoluzione di un evento in corso.

Prodotti attesi

Carta delle piogge critiche per l'innescò di instabilità (per diverse durate).

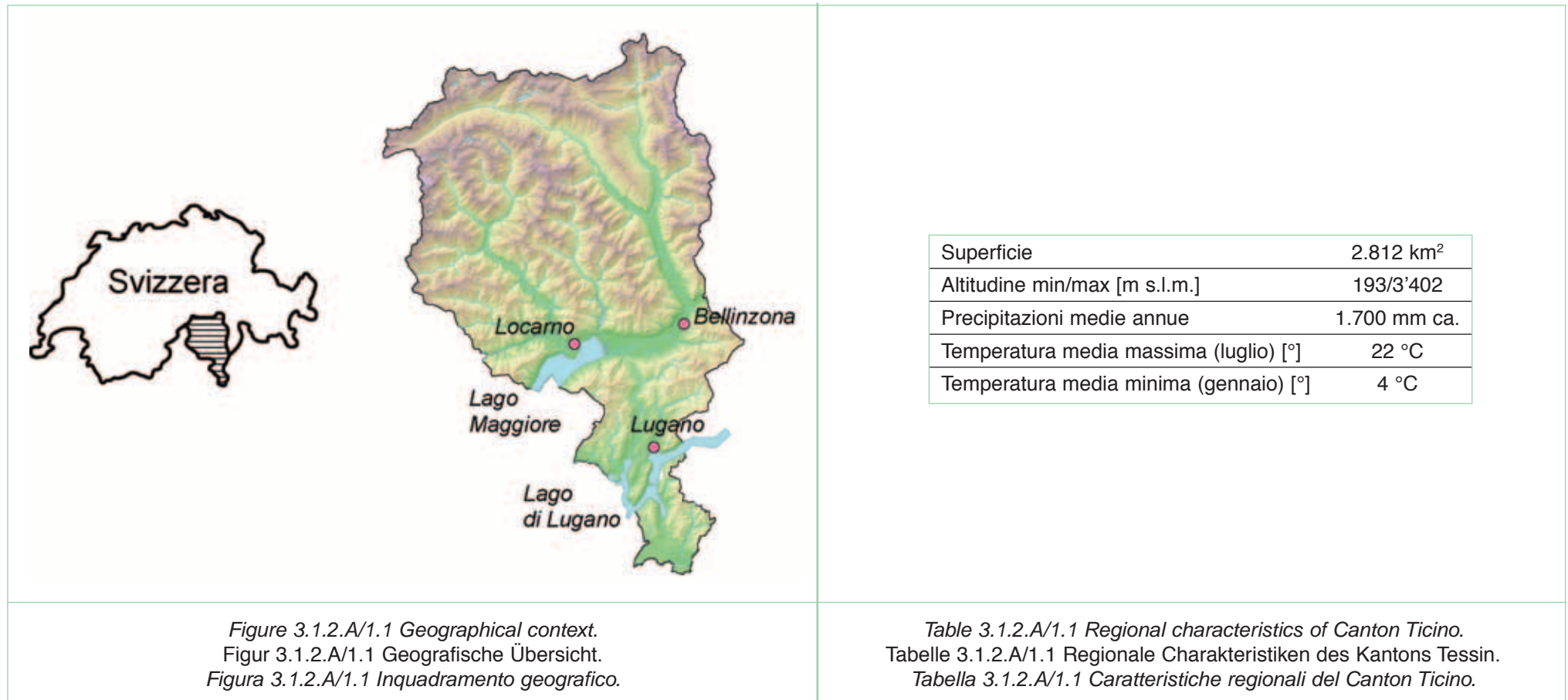
Figure professionali idonee

Autorità preposte alla gestione in caso di emergenza.

§ 3.1.2.A/1 CANTON TICINO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione Switzerland – Canton Ticino
 Basin - Becken - Bacino Ticino



3.1.2.A/1.1 Preliminary tasks

In order to apply a statistical model of the trigger threshold for shallow landslides to this area of the canton, the following data were processed and integrated:

- forecast of precipitations for a 72 hour period, supplied twice daily (at 12:00 and 24:00) by Meteo Svizzera, on a 7 x 7 km² grid;
- data from 42 rain gauges which record rainfall in real time (5 in Canton Ticino, 13 belonging to Meteo Svizzera, 17 in Regione Piemonte and 8 of the Consorzio Adda);
- mean annual rainfall data for all the Verbano lake catchments (Carollo *et al.*, 1981);
- trigger thresholds for shallow landslides in the Ticino area and Lombardy (Ceriani *et al.*, 1994; Agustoni, 1996).

3.1.2.A/1.1 Vorarbeiten

Um das empirische Modell der Auslösung oberflächlicher Hanginstabilitäten auf das ganze Kantonsgebiet anzuwenden, wurden folgende Daten zusammengeführt:

- Niederschlagsvorhersage für die folgenden 72 Std. auf einem Netz von 7 x 7 km², zweimal täglich (12 und 24 Uhr) geliefert durch die MeteoSchweiz;
- Online erhältliche Regendaten von 42 Pluviografen (5 vom Kanton Tessin, 13 von MeteoSchweiz, 17 der Region Lombardei und 8 vom Consorzio Adda);
- Mittlere jährliche Niederschlagsdaten für das ganze Einzugsgebiet des Lago Maggiore (Carollo *et al.*, 1981);
- Auslöseschwellen für oberflächliche Hanginstabilitäten für das Tessin und die Lombardei (Ceriani *et al.*, 1994; Agustoni, 1996).

3.1.2.A/1.1 Fasi preliminari

Per l'applicazione al territorio cantonale della modellazione empirica per le soglie d'innescio di frane superficiali, sono stati elaborati ed integrati:

- la previsione delle precipitazioni per le successive 72 ore, fornita due volte al giorno (12:00 e 24:00) da MeteoSvizzera su una griglia di 7 x 7 km²;
- i dati relativi a 42 pluviometri che registrano le precipitazioni in tempo reale (5 del Canton Ticino, 13 di MeteoSvizzera, 17 della Regione Piemonte e 8 del Consorzio Adda);
- i valori di pioggia media annuale per tutto il bacino del Lago Verbano (Carollo *et al.*, 1981);
- le soglie d'innescio per frane superficiali nel Ticino e nella Lombardia (Ceriani *et al.*, 1994; Agustoni, 1996).

Empirical modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
 § 3.1.2.A/1 CANTON TICINO

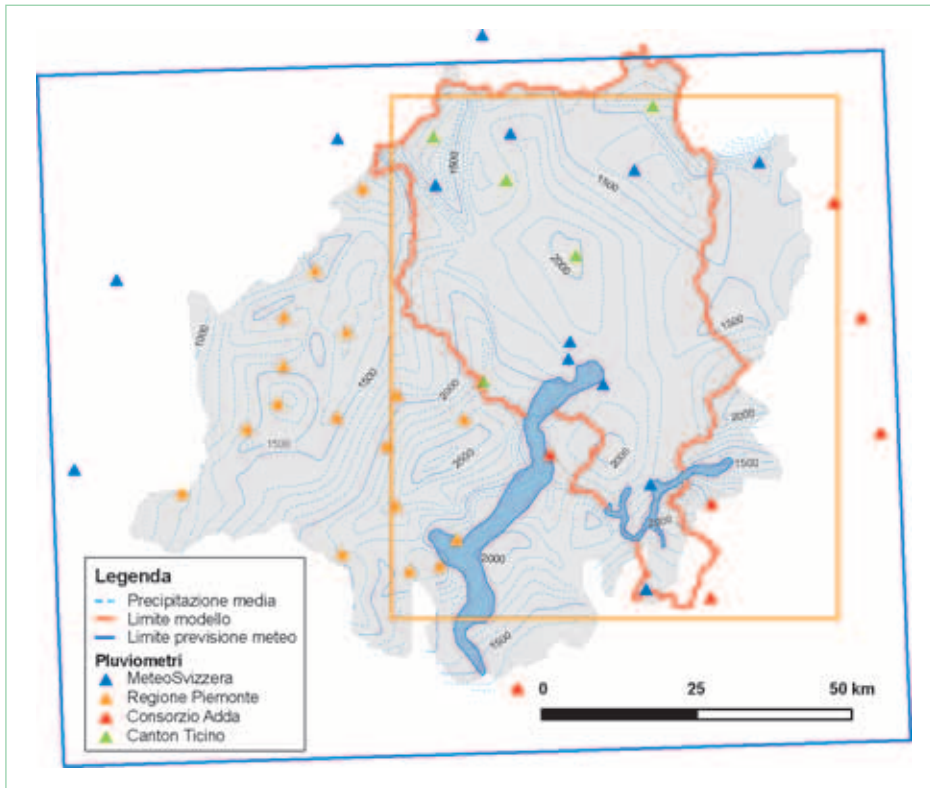


Figure 3.1.2.A/1.2 Components of the model.
 Figur 3.1.2.A/1.2 Komponenten des Modells.
 Figura 3.1.2.A/1.2 Componenti del modello.

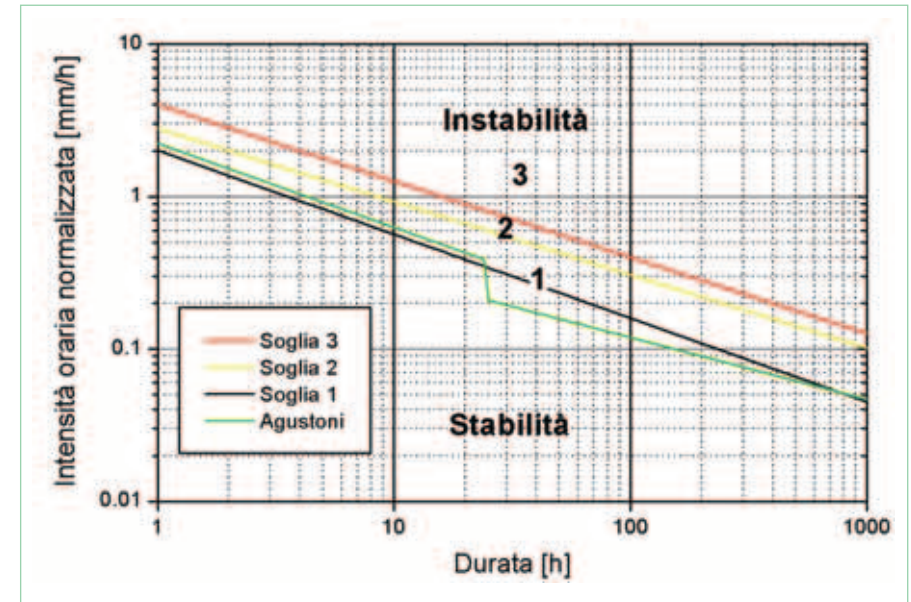


Figure 3.1.2.A/1.3 Trigger thresholds according to Ceriani et al. (1994) and Agustoni (1996) with indication of the zonation zoning (1 to 3) used in the model.

Figur 3.1.2.A/1.3 Auslöseschwellen nach Ceriani et al. (1994) und Agustoni (1996) mit Angabe der im Modell verwendeten Zonierung (1 bis 3).

Figura 3.1.2.A/1.3 Soglie d'innescio secondo Ceriani et al. (1994) e Agustoni (1996) con indicazione della zonazione (1 a 3) usata nel modello.

Figure 3.1.2.A/1.4 Definition of trigger thresholds (Ceriani et al., 1994; Agustoni, 1996).
 Figur 3.1.2.A/1.4 Definition der Auslöseschwellen (Ceriani et al., 1994; Agustoni, 1996).
 Figura 3.1.2.A/1.4 Definizione delle soglie d'innescio (Ceriani et al., 1994; Agustoni, 1996).



3.1.2.A/1.2 Activities

Using the available data, the development of a statistical model to study the triggering of shallow landslides enables us to assess the stability or instability of each cell according to the interpolated trigger thresholds.

The model is applied to a calculation grid of 72 x 84 km² with accuracy to within 1 km, which covers the entire Ticino area (Figure 3.1.2.A/1.2). The rainfall recorded by the 42 rain gauges and the weather forecasts are mapped onto this.

The same model is applied to both predicted and measured precipitation, and can therefore be used to analyse both past and current situations (mapping critical precipitation according to duration of rainfall, at 6, 12, and 24 hours, and different trigger thresholds), to obtain predictions of stability during an event.

The results of the model show stability ranges (Figure 3.1.2.A/1.3) represented by four colours (Figure 3.1.2.A/1.4).

3.1.2.A/1.2 Aktivitäten

Das empirische Modell der regionalen Auslöseschwellenwerte für oberflächliche Hanginstabilitäten ermöglicht es, die Stabilität oder Instabilität jeder Rechenzelle des Anwendungsgebietes, basierend auf der interpolierten Auslöseschwelle, zu bestimmen.

Das Modell rechnet auf einem Netz von 72 x 84 km² mit einer Auflösung von 1 km² und deckt das ganze Tessin ab (Figur 3.1.2.A/1.2). Auf diesem Netz werden die an den 42 Pluviometern gemessenen Niederschläge und die Regenvorhersage interpoliert. Das Modell benützt die vorausgesagten oder gemessenen Niederschläge, und kann somit benutzt werden, um eine vergangene oder aktuelle Situation zu studieren (Kritische Niederschlagsmengen für 6, 12, 24 Std. und für verschiedene Auslöseschwellen) oder um den Verlauf eines Ereignisses vorauszusagen.

Das Modell liefert die entsprechenden Stabilitätsfelder (Figur 3.1.2.A/1.3) in verschiedenen Farben (Figur 3.1.2.A/1.4).

3.1.2.A/1.2 Attività

Lo sviluppo di un modello empirico per lo studio dell'innescò di frane superficiali ha permesso, usando i dati a disposizione, di valutare la stabilità o l'instabilità di ogni cella in base alla soglia d'innescò interpolata.

Il modello agisce su una griglia di calcolo di 72 x 84 km² con precisione di 1 km che ricopre tutta l'area del Ticino (Figura 3.1.2.A/1.2). Su di essa vengono interpolate le piogge misurate dai 42 pluviometri e le previsioni meteorologiche.

Lo stesso modello utilizza le precipitazioni previste o misurate, e può quindi essere utilizzato per analizzare la situazione passata e attuale (carta delle precipitazioni critiche in funzione della durata delle piogge a 6, 12, 24 ore e delle diverse soglie d'innescò), o per ottenere una previsione di stabilità durante l'evento.

I risultati del modello indicano i campi di stabilità (Figura 3.1.2.A/1.3) rappresentati da quattro colori (Figura 3.1.2.A/1.4).

Empirical modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
 § 3.1.2.A/1 CANTON TICINO

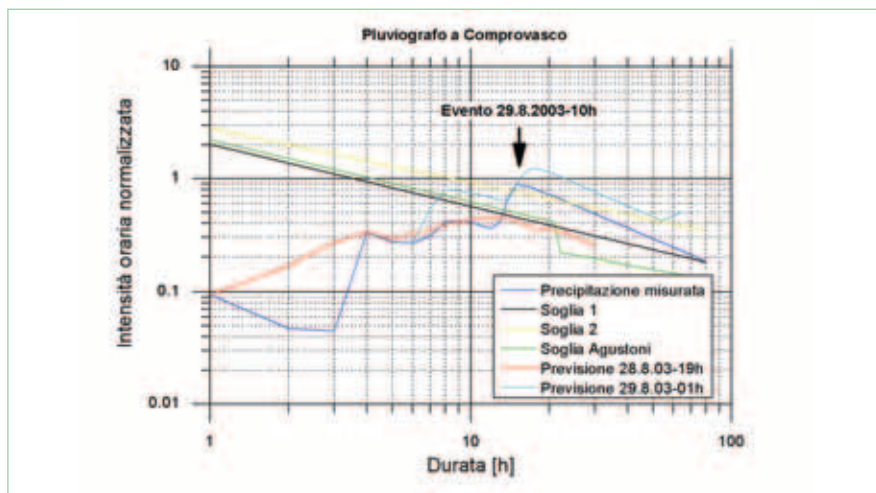


Figure 3.1.2.A/1.5 Trigger thresholds with the evolution of actual and predicted rainfall during the event in August 2003.

Figur 3.1.2.A/1.5 Auslöseschwellen mit effektivem und vorausgesagtem Niederschlagsverlauf während des Ereignisses vom August 2003.

Figura 3.1.2.A/1.5 Soglie d'innescò con evoluzione delle piogge effettive e previste durante l'evento dell'agosto 2003.

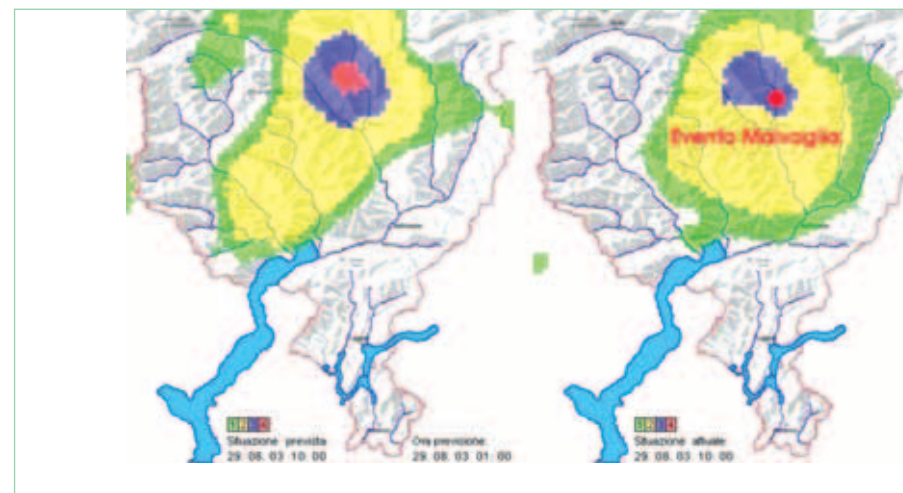


Figure 3.1.2.A/1.6 August 2003 event: actual situation (on the right) and the forecast taken from the model at 1:00 and 10:00 on the same day.

Figur 3.1.2.A/1.6 Ereignis August 2003: Effektive Situation (rechts) und Modellvoraussage um 1 Uhr für 10 Uhr desselben Tages.

Figura 3.1.2.A/1.6 Evento dell'agosto 2003: situazione effettiva (a destra) e previsione fatta dal modello alle ore 1:00 per le 10:00 dello stesso giorno.

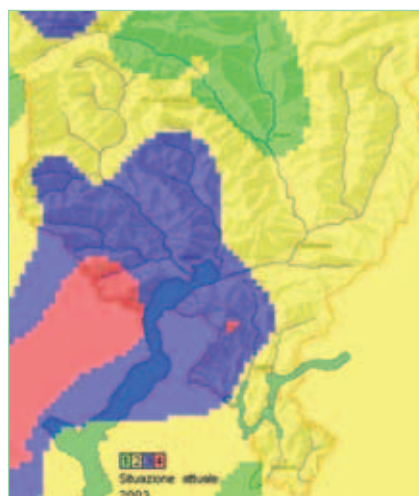


Figure 3.1.2.A/1.7 Critical rainfalls required to exceed threshold 1 in a 24 hour event in Ticino. Green 100 - 125, yellow 125 - 150, blue 150 - 175, red 175 - 200 [mm].

Figur 3.1.2.A/1.7 Kritische Niederschlagswerte nötig zur Überwindung der Schwelle 1 in einem Ereignis der Dauer 24 h im Tessin. Grün 100 - 125, gelb 125 - 150, blau 150 - 175, rot 175 - 200 [mm].

Figura 3.1.2.A/1.7 Piogge critiche necessarie per superare la soglia 1 in un evento di 24 h in Ticino. Verde 100 - 125, giallo 125 - 150, blu 150 - 175, rosso 175 - 200 [mm].

3.1.2.A/1.3 Results

The model was used to create graphs of critical rainfalls for events of 6, 12 and 24 hours for the entire Ticino area and was tested on the events of November 2002 and August 2003.

Like the prediction model, the critical rainfall map is used by the relevant Canton authorities in the event of an emergency, to estimate the evolution of an event in progress.

The events of November 2002 and August 2003 highlighted the fact that the accuracy of the model depends on the type of event and the quality of weather forecasts: in the limited event of August 2003 the forecast scenarios were accurate, while in the event of November 2002 there were marked differences, due to the wider scope of the weather front and its long lasting duration.

3.1.2.A/1.3 Ergebnisse

Das Modell wurde angewendet zur Bestimmung der kritischen Niederschläge für Ereignisse von 6, 12, 24 Std. für das ganze Tessin, und wurde an den Ereignissen November 2002 und August 2003 getestet.

Die Karten der kritischen Niederschläge und das Vorhersagemodell werden durch die Behörden im Notfall benutzt, um die Entwicklung einer Gefahrensituation zu beurteilen.

Die Ereignisse November 2002 und August 2003 haben gezeigt, dass die Zuverlässigkeit des Modells vom Typ des Ereignisniederschlags und der Güte der Niederschlagsvorhersage abhängt: Im Fall August 2003 waren die Vorhersagen grösstenteils zutreffend, während für November 2002 das Modell Schwierigkeiten bekundete, bedingt durch die grössere Ausdehnung der Niederschlagszone und die Länge des Ereignisses.

3.1.2.A/1.3 Risultati

Il modello è stato utilizzato per l'illustrazione grafica delle piogge critiche per eventi di 6, 12, 24 h per tutto il Ticino e testato con gli eventi del novembre 2002 e dell'agosto 2003.

Le carte delle piogge critiche, come il modello previsionale, vengono usati dalle autorità cantonali competenti in caso di emergenza per stimare l'evoluzione di un evento in corso.

Gli avvenimenti del novembre 2002 e dell'agosto 2003 hanno evidenziato che l'affidabilità del modello dipende dal tipo di evento e dalla qualità delle previsioni meteorologiche: nel caso circoscritto dell'agosto 2003 gli scenari previsionali sono stati molto vicini alla realtà, mentre nell'evento del novembre 2002 le differenze sono state più marcate, a causa della maggior ampiezza della perturbazione e dalla sua lunga durata.

3.1.2.A/1.4 Conclusions

The model developed is appropriate for the study of historical data and the creation of regional-scale maps of critical rainfalls heavy enough to trigger slope instability.

In the event that the model is used for prediction purposes, the accuracy of results depends greatly on the quality of the weather forecast.

3.1.2.A/1.4 Schlussfolgerungen

Das entwickelte Modell ist ein taugliches Werkzeug zum Studium von historischen Daten und der Herstellung von regionalen Karten der kritischen Niederschläge zur Auslösung oberflächlicher Hanginstabilitäten.

Bei Benutzung als Vorhersagemodell hängt die Aussagequalität stark von der Güte der Niederschlagsvorhersage ab.

3.1.2.A/1.4 Conclusioni

Il modello sviluppato può essere considerato uno strumento adatto per lo studio di dati storici e per la produzione di carte su scala regionale delle piogge critiche in grado di innescare instabilità di versante.

Nel caso in cui il modello sia usato come strumento previsionale, l'attendibilità dei risultati dipende fortemente dalla qualità della previsione meteorologica.

3.1.2.B Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides

General introduction to the method

The framework selected for the evaluation of the hazard level of shallow landslides is based on a mechanical/hydrological model. This type of modelling includes the SHALSTAB (Dietrich & Montgomery, 1998), SINMAP (Pack *et al.*, 1998) and SLIDISP (Liener *et al.*, 1996) applications.

This approach, which involves discretising the area being studied into elementary cells, couples the classic Limit Equilibrium Method for slope stability with a hydrological model.

The model is based on the following hypotheses:

- infinite slope;
- even surface of failure parallel to the slope and situated at the point of contact between the altered surface debris mantle and the bedrock (rock or quaternary deposit);
- soil strength criteria (Mohr-Coulomb) expressed in terms of effective stresses;
- steady-state flow parallel to the slope;
- no significant deep drainage and no significant flow in the bedrock.

Definition

Deterministic approach based on a mechanical/hydrological model.

Aims

These models basically evaluate the influence of topography on the triggers of shallow landslides. They enable us to verify the stability of each individual cell in the area being studied, using variables and parameters. The variables are attributes deriving from topography and morphology: slope dip direction and dip, area of drainage and width of run-off. In general these vary for each cell being considered, automatically derived from the Digital Elevation

3.1.2.B Physikalisch-basierte Modellierung der Auslösung flachgründiger Rutschungen mit schneller Entwicklung

Allgemeine Einführung der Methode

Das ausgewählte Schema zur Einschätzung der Gefährlichkeit von flachgründigen Rutschungen basiert auf einem mechanisch-hydrologischen Modell. Zu dieser Art der Modellbildung gehören die Anwendungen SHALSTAB (Dietrich & Montgomery 1998), SINMAP (Pack *et al.*, 1998) und SLIDISP (Liener *et al.*, 1996).

Bei dieser Methode wird der Untersuchungsbereich in Elementarzellen untergliedert. Sie kombiniert das klassische Modell des Grenzgleichgewichts für die Stabilität des Hangs mit einem hydrologischen Modell. Die Grundhypothesen des Modells sind folgende:

- unendlicher Hang;
- Bruchfläche parallel zum Hang an der Berührungsfläche zwischen oberer Geröllschicht und Unterboden (Fels oder quaternäre Ablagerungen);
- Widerstandskriterien des Bodens (Relation nach Mohr-Coulomb) ausgedrückt in wirksamer Spannung;
- beständiger Fluss parallel zum Hang;
- keine tiefe Drainage und kein Abfluss im Untergrund.

Definition

Deterministische Methode auf der Grundlage eines mechanisch-hydrologischen Modells.

Ziel

Diese Art von Modell dient der Einschätzung des Einflusses der Topografie auf die Auslösung von flachgründigen Rutschungen. Es ermöglicht unter Verwendung von Parametern und Variablen die Prüfung der Stabilität einer jeden einzelnen der

3.1.2.B Modellazione fisicamente basata dell'innesco di frane superficiali a rapida evoluzione

Introduzione generale sul metodo

Lo schema scelto per la valutazione della pericolosità per frane superficiali si basa su un modello meccanico-idrologico. In questa tipologia di modellazione rientrano le applicazioni SHALSTAB (Dietrich & Montgomery, 1998), SINMAP (Pack *et al.*, 1998) e SLIDISP (Liener *et al.*, 1996).

Tale approccio, che prevede la discretizzazione del dominio di studio in celle elementari, combina il modello classico dell'equilibrio limite per la condizione di stabilità dei versanti con un modello idrologico. Le ipotesi alla base della formulazione del modello sono:

- pendio infinito;
- superficie di rottura piana parallela al pendio e localizzata al contatto tra coltre detritica alterata superficiale e substrato (roccia o deposito quaternario);
- criterio di resistenza del terreno (relazione di Mohr-Coulomb) espresso in termini di tensioni efficaci;
- flusso stazionario parallelo al pendio;
- assenza di drenaggio profondo e di flusso nel substrato.

Definizione

Approccio deterministico basato su un modello meccanico-idrologico.

Finalità

Questo tipo di modelli valuta essenzialmente l'influenza della topografia sull'innesco delle frane superficiali. Essi permettono di verificare la stabilità di ogni singola cella in cui è discretizzato il dominio di studio, utilizzando variabili e parametri. Le variabili sono gli attributi che derivano dalla topografia e dalla morfologia: direzione e inclinazione del versante,

Model. The parameters are the physical-mechanical dimensions attributed to the individual materials, such as thickness, unit weight, shear strength, hydraulic conductivity and the depth of infiltrated rain. The SINMAP and SLIDISP applications utilise statistical procedures to define these parameters.

The model enables us to determine the quantity of infiltrated water required to bring each element to a given Safety Factor, namely to render each individual cell unstable.

Potential

The type of model described presents the following characteristics:

- it is consolidated and universally accepted;
- it is easy to implement and requires knowledge of a small number of parameters;
- it provides results which are acceptable in relation to the low costs involved and the data required;
- it provides results which are sufficiently valid for processes linked to long-lasting meteorological events.

Limits

The most evident Limits of this approach are:

- it requires a highly accurate Digital Elevation Model, which the morphometric variables are derived from;
- the need for high numeric and spatial consistency in land measurements, especially when an extensive area is being studied, which can be overcome by a prudent selection of testing locations, or by adopting simplified measures;
- it is based on steady-state infiltration, which can be overcome by adopting more complete but more complex, non steady-state models, such as the models developed by Iverson (2000) and USGS (TRIGRS; Baum, 2002), which identify interaction mechanisms between terrain and infiltration, eva-

Zellen, in die das Untersuchungsgebiet eingeteilt ist. Die Variablen sind Attribute, die der Morphologie und der Topografie zugeschrieben werden können: Durchtränkung und Neigung des Hangs, Drainagegebiet und Abflussbreite. Im allgemeinen sind diese für jede einzelne vom Digitalen Geländemodell berücksichtigte Zelle unterschiedlich. Die Parameter sind physikalisch-mechanische Größen, die den einzelnen Materialien zugewiesen werden wie zum Beispiel Mächtigkeit, Volumengewicht, Schneidwiderstand, hydraulische Leitfähigkeit und Höhe des eingedrungenen Niederschlags. Die Anwendungen SINMAP und SLIDISP verwenden statistische Abläufe zur Definition der Parameter.

Das Modell erlaubt für jedes Element eine Bestimmung der Menge des eingedrungenen Wassers, die nötig ist, um den Sicherheitsfaktor einheitlich zu machen.

Potentialität

Die Art des beschriebenen Modells hat folgende Eigenschaften:

- es ist konsolidiert und allgemein anerkannt;
- es ist leicht zu implementieren und erfordert eine nicht zu hohe Anzahl von Parametern;
- es liefert hinnehmbare Ergebnisse bei niedrigen Kosten und geringen Datenmengen;
- es liefert ausreichend genaue Ergebnisse für Prozesse, die mit meteorologischen Ereignissen von langer Dauer verbunden sind.

Grenzen

Die augenscheinlichsten Grenzen dieser Methode sind folgende:

- erhöhte Genauigkeit des verwendeten Digitalen Geländemodells, aus dem morphometrische Variablen des Hanges abgeleitet werden können;
- Notwendigkeit von zahlenmäßig und räumlich

area di drenaggio e larghezza di deflusso. In generale, esse sono diverse per ognuna delle celle considerate e derivate automaticamente dal Modello Digitale del Terreno. I parametri sono grandezze fisico-meccaniche attribuite ai singoli materiali, come ad esempio lo spessore, il peso di volume, la resistenza al taglio, la conducibilità idraulica e l'altezza di pioggia infiltrata. Le applicazioni SINMAP e SLIDISP utilizzano procedure statistiche per la definizione dei parametri.

Il modello permette di determinare, per ogni elemento, la quantità d'acqua infiltrata necessaria a rendere unitario il Fattore di Sicurezza, cioè ad instabilizzare ogni singola cella.

Potenzialità

La tipologia di modello descritta presenta le seguenti caratteristiche:

- è consolidata e universalmente accettata;
- è di facile implementazione e richiede la conoscenza di un contenuto numero di parametri;
- fornisce risultati accettabili in rapporto ai bassi costi di realizzazione e ai dati richiesti;
- fornisce risultati sufficientemente validi per processi legati ad eventi meteorologici di lunga durata.

Limits

I limiti più evidenti di tale approccio sono:

- elevata accuratezza del Modello Digitale del Terreno impiegato, da cui derivare le variabili morfometriche del versante;
- necessità di un'alta consistenza numerica e spaziale delle misure di terreno, specialmente quando il dominio di studio è esteso, superabile con una scelta oculata dell'ubicazione delle prove oppure adottando semplificazioni;
- assunzione dell'ipotesi di stazionarietà dell'infiltrazione, superabile con l'adozione di modelli non

luating the transitory effects of rainfall on variations in pore pressure.

Appropriate professional figures

The application of this approach requires the interdisciplinary participation of: hydraulic and geotechnical engineers, geologists, GIS experts and pedologists. The latter have proved to be vital, in ascertaining a number of soil properties.

ausgedehnten Messungen des Geländes, besonders wenn das Untersuchungsgebiet groß ist. Abhilfe ist möglich durch eine sorgfältige Auswahl der Messstellen oder durch Vereinfachungen;

- Annahme der Hypothese der beständigen Infiltration. Abhilfe durch nicht stationäre, aber komplexere Modelle wie denen von Iverson (2000) und USGS (TRIGRS; Baum, 2002), die die Mechanismen der Interaktion zwischen Gelände und Infiltration ausmachen und dabei die Auswirkungen von vorübergehenden Niederschlägen auf den Druck im Zwischenraum einschätzen.

Geeignete Berufsbilder

Die Anwendung dieser Methode erfordert die interdisziplinäre Teilnahme von Hydraulikingenieuren, Geotechnikern, Geologen, GIS-Experten und Pädologen. Vor allem die letzteren haben sich als unverzichtbar im Hinblick auf die Bodeneigenschaften erwiesen.

stazionari più completi ma più complessi, come ad esempio i modelli sviluppati da Iverson (2000) e USGS (TRIGRS; Baum, 2002), che individuano i meccanismi di interazione tra terreno e infiltrazione valutando gli effetti del comportamento transitorio della pioggia sulle variazioni della pressione interstiziale.

Figure professionali idonee

L'applicazione di tale approccio prevede la partecipazione interdisciplinare di: ingegneri idraulici e geotecnici, geologi, esperti in Sistemi Informativi Geografici e pedologi. Questi ultimi si sono rivelati fondamentali nell'attribuzione di alcune proprietà dei suoli.

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
§ 3.1.2.B/1 CANTON TICINO

§ 3.1.2.B/1 CANTON TICINO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Switzerland – Canton Ticino
Village - Ort - Comune	Quinto
Basin - Becken - Bacino	Ticino



Figure 3.1.2.B/1.1 Geographical context.
Figur 3.1.2.B/1.1 Geografische Übersicht.
Figura 3.1.2.B/1.1 Inquadramento geografico.

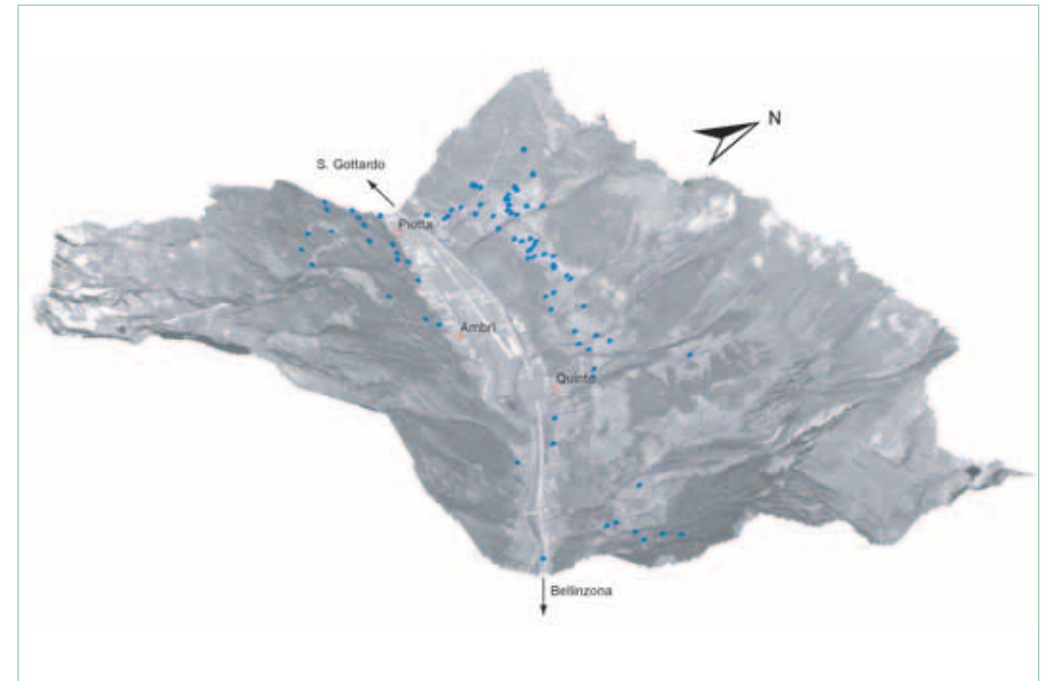


Figure 3.1.2.B/1.2 Area of study.
Figur 3.1.2.B/1.2 Untersuchungsgebiet.
Figura 3.1.2.B/1.2 Zona di studio.

3.1.2.B/1.1 Preliminary tasks

In 2002 the area of the commune of Quinto was hit by an intense meteorological event (Figure 3.1.2.B/1.4). The heaviest rainfall occurred on 16 November, with a peak of 12.1 mm/h at 10:00.

Following this event (estimated return period: 100 years) there were various phenomena of surface instability, which damaged infrastructures and foundations.

The first stage of work was an analysis of the terrain, which enabled us to create an initial database of the main information regarding the individual landslides.

3.1.2.B/1.1 Vorarbeiten

Im November 2002 war die Gemeinde Quinto von starken Niederschlägen betroffen (Figur 3.1.2.B/1.4). Das Niederschlagsmaximum ereignete sich am 16. November mit Spitzenwerten um 12.1 mm/h um 10 Uhr.

Auf das Niederschlagsmaximum folgend (Wiederkehrdauer 100 Jahre) sind verschiedene Hanginstabilitäten aufgetreten, die Schäden an Infrastruktur und Gebäuden verursacht haben.

In einem ersten Schritt wurden die Hanginstabilitäten im Felde aufgenommen und eine Datenbank erstellt.

3.1.2.B/1.1 Fasi preliminari

Nel 2002 la zona del Comune di Quinto è stata colpita da un intenso evento meteorologico (Figura 3.1.2.B/1.4). Le precipitazioni più intense si sono verificate durante la giornata del 16 novembre, raggiungendo un picco massimo alle ore 10:00 pari a 12.1 mm/h.

In seguito a questo avvenimento (tempo di ritorno stimato a 100 anni), si sono verificati vari fenomeni di instabilità superficiale, che hanno provocato danni alle infrastrutture e ai sedimenti.

Quale prima fase di intervento si è proceduto all'analisi sul terreno, che ha consentito di allestire una prima banca dati contenente le principali informazioni riguardanti i singoli dissesti.

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
 § 3.1.2.B/1 CANTON TICINO

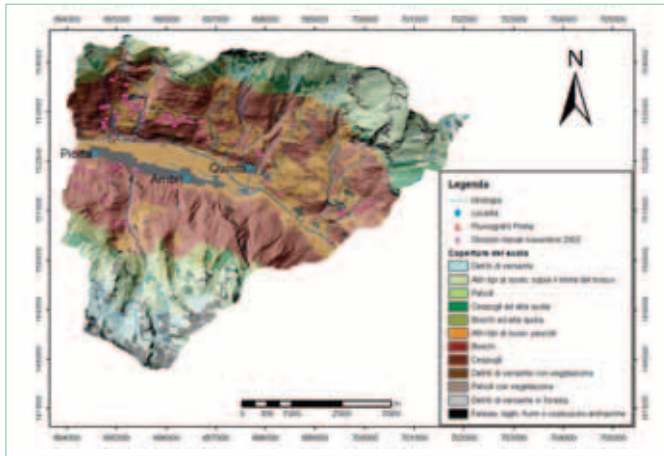


Figure 3.1.2.B/1.3 Map of soil coverage.
 Figur 3.1.2.B/1.3 Bodenkarte des
 Untersuchungsgebietes.
 Figura 3.1.2.B/1.3 Carta della copertura del suolo.

Figure 3.1.2.B/1.4 Pluviometric
 evolution trend in November 2002.
 Figur 3.1.2.B/1.4
 Niederschlagsverlauf
 im November 2002.
 Figura 3.1.2.B/1.4 Evoluzione
 pluviometrica del novembre 2002.

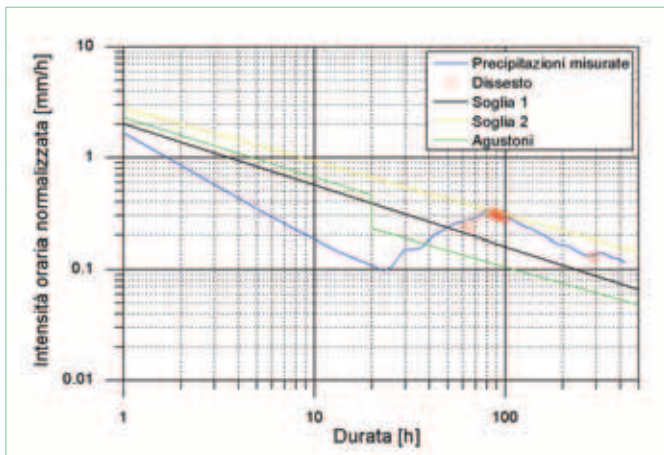
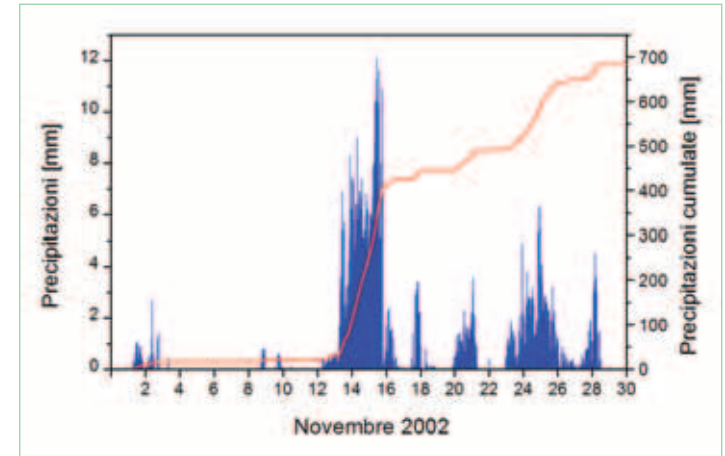


Figure 3.1.2.B/1.5 Pluviometric
 evolution trend of the event,
 trigger thresholds and observed
 landslides.
 Figur 3.1.2.B/1.5
 Niederschlagsverlauf
 des Ereignisses,
 Auslöseschwellenwerte
 und beobachtete Hanginstabilitäten.
 Figura 3.1.2.B/1.5 Evoluzione
 pluviometrica dell'evento,
 soglie d'innescio e dissesti osservati.

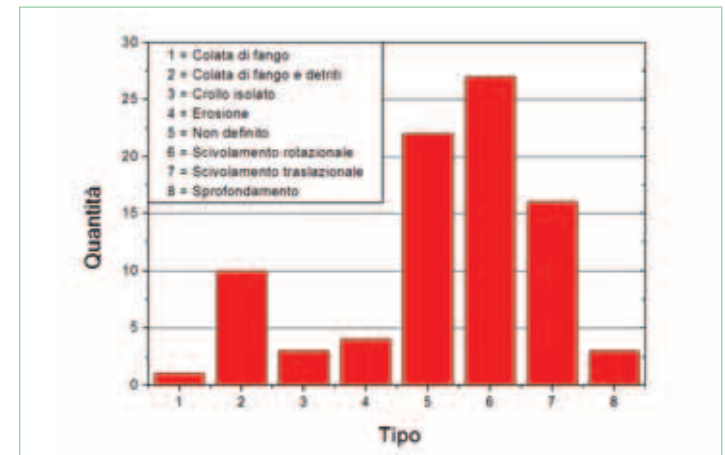


Figure 3.1.2.B/1.6 Type of landslides.
 Figur 3.1.2.B/1.6 Typologie der Hanginstabilitäten.
 Figura 3.1.2.B/1.6 Tipologia dei dissesti.

3.1.2.B/1.2 Activities

The following activities were carried out:

- survey and documentation of the geometry and type of landslides;
- soil classification with laboratory analysis;
- creation of the Digital Elevation Model and creation of a raster map with 10 m grid;
- division of the area into elementary units;
- calibration of calculation parameters;
- theoretical calculation of slope stability using various methods (SHALSTAB, SINMAP, TRIGRS);
- comparison between various models of calculation;
- application of the TRIGRS model with parameters distributed evenly and equally across the entire area being studied and with variations in the parameters of calculation according to the elementary units;
- verification of results of the modelling and comparison with actual event.

3.1.2.B/1.2 Aktivitäten

Die folgenden Aktivitäten wurden ausgeführt:

- Feldaufnahme und Dokumentation der Geometrie und Typologie der Hanginstabilitäten;
- Klassifikation der Lockergesteine anhand von Laboranalysen;
- Digitalisierung eines digitalen Höhenmodells des Untersuchungsgebietes mit 10 m horizontaler Auflösung;
- Geografische Unterteilung des Untersuchungsgebietes in Modelleinheiten;
- Kalibrierung der Rechenparameter;
- Berechnung der Hangstabilitäten mittels verschiedener Methoden (SHALSTAB, SINMAP, TRIGRS);
- Vergleich der verschiedenen Modelle und deren Resultate;
- Anwendung von TRIGRS mit uniformen Parameterwerten sowie Verteilung gemäss Modelleinheiten;
- Vergleich der Modellresultate mit den Felddaten.

3.1.2.B/1.2 Attività

Sono state svolte le seguenti attività:

- rilevamento e documentazione della geometria e della tipologia dei dissesti;
- classificazione dei suoli tramite analisi di laboratorio;
- realizzazione del Modello Digitale del Terreno e creazione di una carta *raster* con griglia a risoluzione 10 m;
- suddivisione dell'area di studio in unità elementari;
- calibrazione dei parametri di calcolo;
- calcolo teorico della stabilità di versante con diversi metodi (SHALSTAB, SINMAP, TRIGRS);
- confronto tra i vari modelli di calcolo;
- applicazione del modello TRIGRS con i parametri distribuiti in maniera omogenea e univoca su tutta l'area di studio e con la variazione dei parametri di calcolo in funzione delle unità elementari;
- controllo dei risultati della modellazione e confronto con il caso reale.

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
 § 3.1.2.B/1 CANTON TICINO

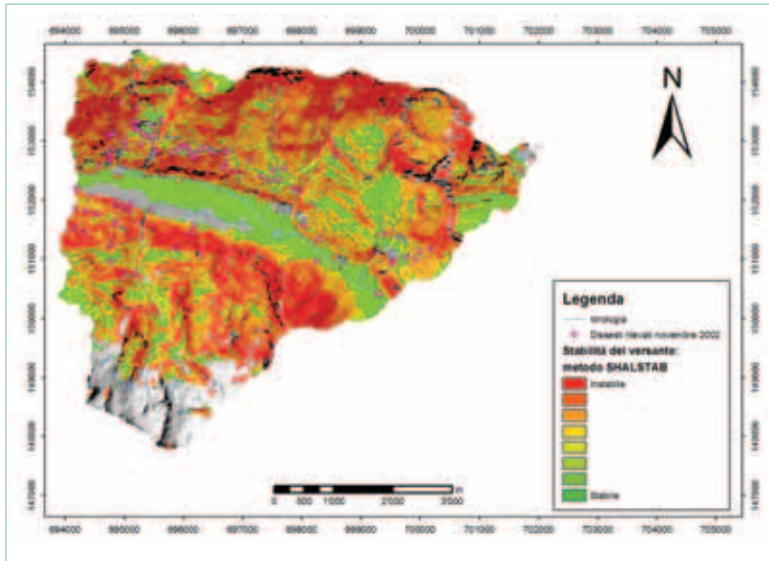


Figure 3.1.2.B/1.7 Result of the simulation of the event of November 2002 using SHALSTAB.

Figur 3.1.2.B/1.7 Ergebnis der Simulation des Ereignisses November 2002 mit SHALSTAB. Modellierung des Ereignisses November 2002 mit SHALSTAB.

Figura 3.1.2.B/1.7 Risultato della simulazione dell'evento novembre 2002 con SHALSTAB.

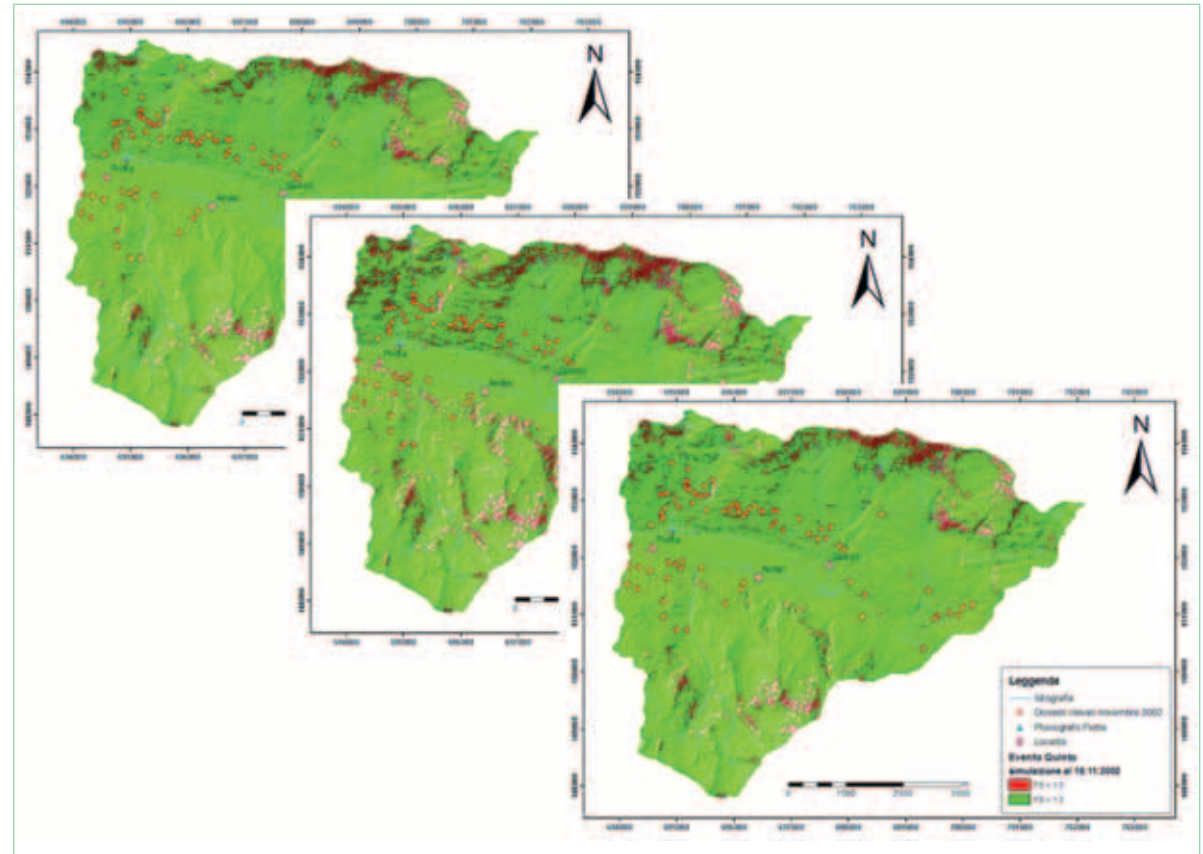


Figure 3.1.2.B/1.8 Result of the simulation using TRIGRS, before, during and after the event of November 2002.

Figur 3.1.2.B/1.8 Modellierung mittels TRIGRS: Situation vor, während und nach dem Ereignis November 2002.

Figura 3.1.2.B/1.8 Risultati della simulazione con TRIGRS, prima, durante e dopo l'evento del novembre 2002.

3.1.2.B/1.3 Results

The results obtained using the different models, when visualised as instability maps, reveal a number of differences linked to the steady-state, as opposed to dynamic method of calculation (TRIGRS for example).

The results of the SHALSTAB model provide a better picture of unstable areas, though with an outlook which is overly pessimistic.

The TRIGRS model enables us to model a single event through the evolution of precipitation, but it is more difficult to obtain a result which reflects reality, as the programming process is more delicate, involving both even and uneven distributions of parameters.

3.1.2.B/1.3 Ergebnisse

Die Resultate der verschiedenen Modelle, dargestellt als Instabilitätskarten, unterstreichen einige prinzipiellen Unterschiede der benutzten Modelle, wie z. B. die statische (SHALSTAB) oder dynamischer Rechenmethode (TRIGRS).

Das Modell SHALSTAB erlaubt eine rasche, wenn auch überschlagsmässige Identifizierung der instabilen Zonen, tendiert zu einer eher pessimistischen Prognose.

Das Modell TRIGRS ermöglicht die konkrete Modellierung eines einzelnen Ereignisses durch die Niederschlagsentwicklung. Trotzdem ist ein realitätsbezogenes Ergebnis schwieriger zu erlangen, da die Programmierung komplexer ist. In der Tat wird sowohl eine homogene als auch heterogene Verteilung der Parameter vorausgesetzt.

3.1.2.B/1.3 Risultati

I risultati ottenuti dai diversi modelli, visualizzati sotto forma di carte d'instabilità, hanno evidenziato alcune differenze, legate al metodo di calcolo utilizzato statico (*steady state*) piuttosto che dinamico (ad esempio TRIGRS).

Per quanto riguarda il modello SHALSTAB, il risultato permette di prevedere maggiormente le zone instabili sebbene esso sia troppo pessimistico.

Il modello TRIGRS permette di modellare un singolo evento mediante l'evoluzione delle precipitazioni, ma un risultato paragonabile alla realtà è più difficile da ottenere in quanto la programmazione risulta più delicata, prevedendo una distribuzione sia omogenea sia eterogenea dei parametri.

3.1.2.B/1.4 Conclusions

The results obtained are in line with the actual situation to some extent, though there are some significant differences between the events recorded on the ground and the results of the calculations. These differences can be attributed to the level of precision of the data used in the calculations, and its spatial dispersion. It should also be noted that in order for the model to work, each cell must be given a single value for each parameter. However the data is clearly accurate and spreading it over the area in question is only possible by interpolating discrete sets of data.

We must therefore go from discrete sets of information spread over the area in question to a continuous flow of information.

The use of a steady-state model such as SHALSTAB is more suitable for a parametric study, for example to evaluate the effects caused by precipitations with a long-term return period.

A dynamic model like TRIGRS, which is able to reproduce pluviometric conditions in a more realistic way, is more suitable for modelling realistic events of varying intensity.

3.1.2.B/1.4 Schlussfolgerungen

Die Modellierungsergebnisse dokumentieren eine prinzipielle Übereinstimmung mit den Feldbeobachtungen, auch wenn ebenfalls erhebliche Abweichungen beobachtet werden können. Diese Abweichungen sind auf die Genauigkeit und räumliche Verteilung der verwendeten Modellparameter zurückzuführen. Der Funktionsweise der Modelle ist Rechnung zu tragen. Es ist aber notwendig jeder Zelle einen einzigen Wert für jeden einzelnen Parameter zuzuschreiben. Die Bodenparameter haben eine natürliche Streuung, die durch die Modelle nur bedingt berücksichtigt werden kann. Die Interpolation von diskreten, Feldbeobachtungen und einzelnen Laboranalysen auf kontinuierliche Modellwerte, die weite Teile des Modells abdecken ist somit ein sehr sensibler und problematischer Schritt.

Ein statisches Modell wie SHALSTAB ist eher geeignet für Parameterstudien, um z. B. den Effekt eines Niederschlagsereignisses einer bestimmten mehrjährigen Wiederkehrperiode auf die Hangstabilität zu untersuchen.

Ein dynamisches Modell wie TRIGRS ist dazu geeignet um konkrete Niederschlagsereignisse nachzubilden oder um Modellniederschläge detaillierter abzubilden und deren Auswirkungen auf die Hangstabilität zu untersuchen.

3.1.2.B/1.4 Conclusioni

I risultati ottenuti dimostrano una certa concordanza con gli avvenimenti reali, anche se vi sono importanti differenze tra gli eventi rilevati sul terreno e i risultati ottenuti dal calcolo. Queste differenze sono da attribuire alla precisione dei valori di calcolo e alla loro dispersione spaziale; si deve comunque tener presente che per permettere al modello di operare è necessario attribuire ad ogni cella un unico valore per ogni parametro. Tuttavia l'origine dei valori è prettamente puntuale ed una ripartizione dei valori sulla superficie studiata è possibile unicamente interpolando i dati discreti.

Si deve quindi passare da un'informazione discreta assai dispersa sulla superficie di studio ad un'informazione continua.

L'utilizzazione di un modello statico tipo SHALSTAB è più indicato per la previsione di uno studio parametrico, ad esempio per valutare l'effetto provocato da precipitazioni con periodo di ritorno pluriennale.

Un modello dinamico come TRIGRS, capace di riprodurre le condizioni pluviometriche in maniera più realistica, è maggiormente indicato per modellare degli eventi realistici con intensità variabile.

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
§ 3.1.2.B/2 ARPA PIEMONTE

§ 3.1.2.B/2 ARPA PIEMONTE

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione

Italy – Piemonte

Village - Ort - Comune

a) Andorno Micca, Biella, Campiglia Cervo, Mosso Santa Maria, Quittengo, Rosazza, Sagliano Micca, San Paolo Cervo, Veglio (provincia di Biella)
b) Alba, Albaretto della Torre, Arguello, Benevello, Borgomale, Bosia, Castino, Cortemilia, Cossano Belbo, Diano d'Alba, Grinzane Cavour, Lequio Berria, Mango, Montelupo Albere, Neive, Neviglie, Rocchetta Belbo, Rodello, Serralunga d'Alba, Sinio, Treiso, Trezzo Tinella (provincia di Cuneo).

Basin - Becken - Bacino

a) Cervo.
b) Tanaro.

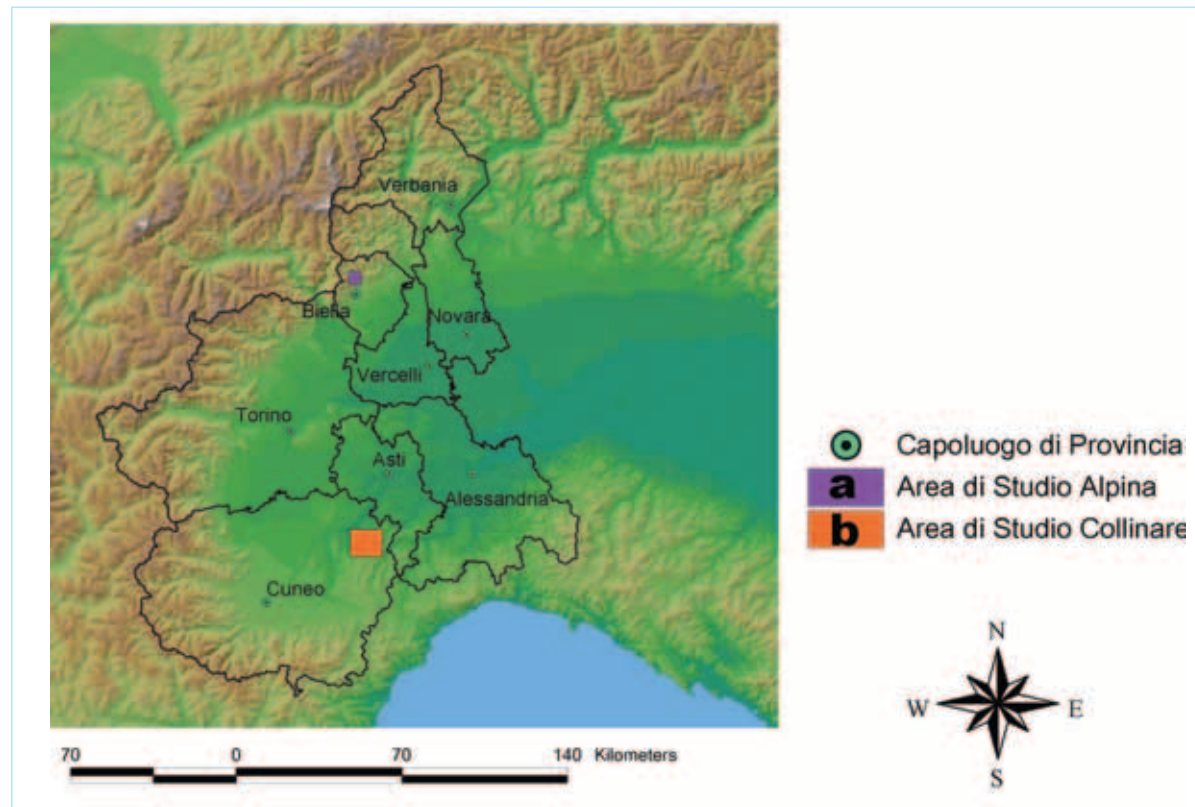


Figure 3.1.2.B/2.1 Location of the areas being studied.

Figur 3.1.2.B/2.1 Lage der UntersuchungsbereicheUntersuchungszonen.

Figura 3.1.2.B/2.1 Ubicazione delle zone di studio.

3.1.2.B/2.1 Preliminary tasks

The Montgomery and Dietrich method for evaluating the hazard level of shallow landslides was applied to two sample areas with different characteristics: a hill area and an Alpine area.

- a) The Alpine area: part of the land included in the four sections on a scale of 1:10.000 of the Regional Technical Map: 92120 (*Piedicavallo*), 92160 (*Oropa*), 93090 (*Quittengo*), and 93130 (*Sagliano Micca*), a total of around 27 km²;
- b) The hill area: all the land included in the four sections on a scale of 1:10.000 of the Regional Technical Map 193090 (*Alba Sud*), 193100 (*Mango*), 193130 (*Montelupo Albese*), and 193140 (*Borgomale*), with a total of around 146 km².

The selection criteria for the areas of study were linked to the following factors:

- a) geological and morphological differentiation (*Alpine and hill areas*);
- b) areas known to be at risk of shallow landslides, with data available for at least one heavy meteorological event where shallow landslides occurred, in order to be able to compare the results of the model and verify its robustness and reliability. For the Alpine area we referred to the data for the heavy meteorological event in October 2000, while for the hill area we used the records of the heavy meteorological event in November 1994.

Another important initial element for the analysis was the Arpa Piemonte Digital Elevation Model, with a 10 x 10 m² grid, which guaranteed the accuracy required to determine all the morphometric dimensions of the areas of study (drainage, inclination and hydrological characteristics linked to the topography).

3.1.2.B/2.1 Vorarbeiten

Die Methode von Montgomery und Dietrich zur Einschätzung der Gefahr, die von flachgründigen Rutschungen ausgeht, wurde in zwei Probegebieten mit unterschiedlichen Eigenschaften angewandt: ein hügeliges und ein alpines.

- a) alpines Gebiet: ein Teil des Geländes zwischen den vier Sektionen der Technischen Regionalkarte (1:10.000): 92120 (*Piedicavallo*), 92160 (*Oropa*), 93090 (*Quittengo*), 93130 (*Sagliano Micca*), Gesamtfläche etwa 27 km²;
- b) hügeliges Gebiet: das gesamte Gelände zwischen den vier Sektionen der Technischen Regionalkarte (1:10.000): 193090 (*Alba Sud*), 193100 (*Mango*), 193130 (*Montelupo Albese*), 193140 (*Borgomale*), Gesamtfläche etwa 146 km².

Die Kriterien zur Auswahl der Untersuchungsgebiete sind an folgende Faktoren gebunden:

- a) Differenzierung vom geologischen und morphologischen Standpunkt aus (alpines und hügeliges Gebiet);
- b) Zonen, die dafür bekannt sind, dass sie Massenbewegungen ausgesetzt sind und von denen relative Daten für mindestens ein Überschwemmungsereignis mit flachgründigen Rutschungen verfügbar sind, damit die Ergebnisse des Modells damit verglichen werden können und die Zuverlässigkeit und die Haltbarkeit getestet werden kann. Für die alpine Zone wurden die Daten von der Überschwemmung im Oktober 2000 verwendet. Für die Hügelzone wurden die Daten der Überschwemmung im November 1994 verwendet.

Außerdem war das Digitale Geländemodell von Arpa Piemonte ein wichtiges Ausgangselement für die Analysen. Es hat eine Dichte von 10 x 10 m² und sorgte so für die nötige Präzision zur Bestimmung aller morphometrischer Größen der Untersuchungszone (Immersion, Neigung und hydrologische Eigenschaften in Verbindung mit der Topografie)

3.1.2.B/2.1 Fasi preliminari

La metodologia di Montgomery e Dietrich per la valutazione della pericolosità per frane superficiali è stata applicata in due aree campione aventi caratteristiche diverse: una zona collinare e una zona alpina.

- a) Zona alpina: parte del territorio compreso tra le quattro Sezioni alla scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale: 92120 (*Piedicavallo*), 92160 (*Oropa*), 93090 (*Quittengo*), 93130 (*Sagliano Micca*), per un totale di circa 27 km²;
- b) Zona collinare: tutto il territorio compreso entro le quattro Sezioni 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale 193090 (*Alba Sud*), 193100 (*Mango*), 193130 (*Montelupo Albese*), 193140 (*Borgomale*), per un totale di circa 146 km².

I criteri per la scelta delle zone di studio sono legati ai seguenti fattori:

- a) differenziazione dal punto di vista geologico e morfologico (ambiente *alpino* e *collinare*);
- b) zone riconosciute come soggette a frane di tipo superficiale con disponibilità di dati relativi ad almeno un evento alluvionale in occasione del quale si sono innescate frane superficiali, al fine di poter confrontare i risultati del modello e verificarne la robustezza ed affidabilità. Per la zona Alpina ci si è riferito ai dati dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000, mentre per la zona Collinare si sono utilizzati i rilievi relativi all'evento alluvionale del novembre 1994.

Inoltre, importante elemento di partenza per le analisi è stato il Modello Digitale del Terreno di Arpa Piemonte, a maglia 10 x 10 m², che ha garantito la necessaria precisione per la determinazione di tutte le grandezze morfometriche delle zone di studio (immersione, inclinazione e caratteristiche idrologiche legate alla topografia).

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
 § 3.1.2.B/2 ARPA PIEMONTE

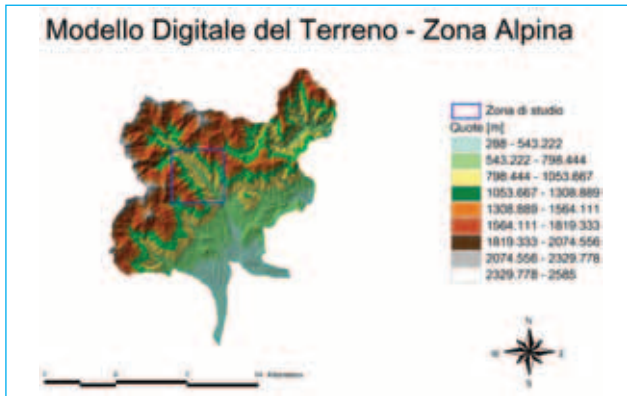


Figure 3.1.2.B/2.2 Digital Elevation Model of the Alpine area.

Figur 3.1.2.B/2.2 Digitales Geländemodell der alpinen Zone.

Figura 3.1.2.B/2.2 Modello Digitale del Terreno della Zona Alpina.

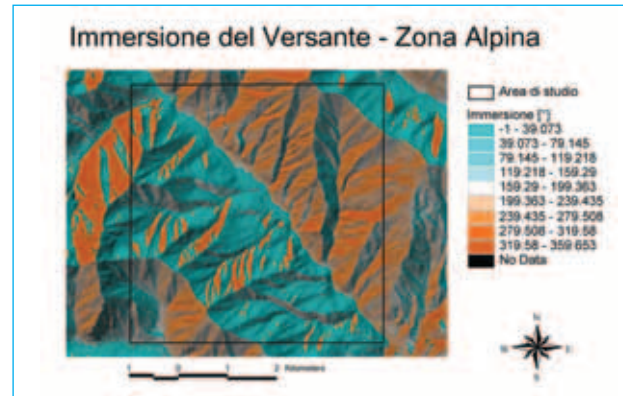


Figure 3.1.2.B/2.3 Slope drainage in the Alpine area.

Figur 3.1.2.B/2.3 Einfallen des Hangs im Alpinengebiet in der alpinen Zone. Dip direction des Hangs in der alpinen Zone.

Figura 3.1.2.B/2.3 Immersione del versante della Zona Alpina.

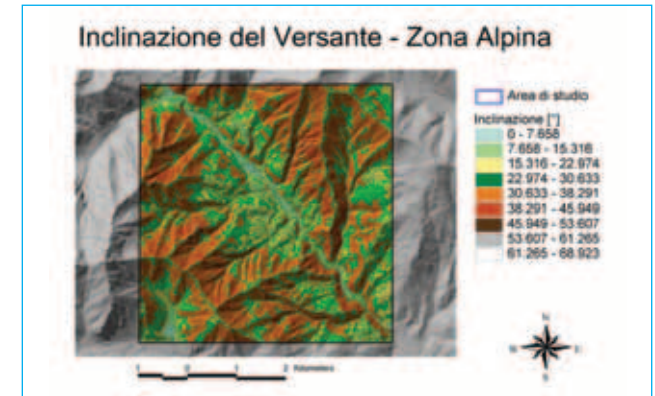


Figure 3.1.2.B/2.4 Slope inclination in the Alpine area.

Figur 3.1.2.B/2.4 Neigung des Hangs in der alpinen Zone.

Figura 3.1.2.B/2.4 Inclinazione del versante della Zona Alpina.

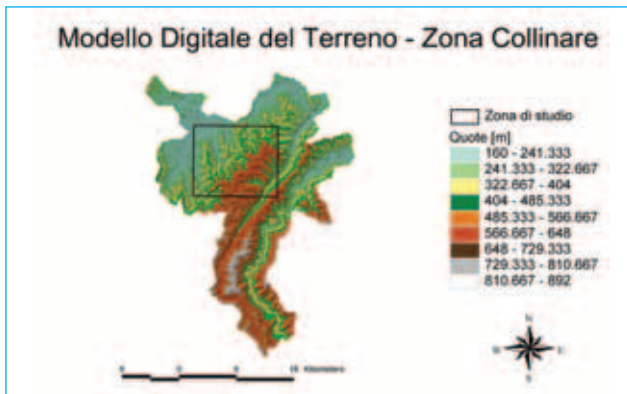


Figure 3.1.2.B/2.5 Digital Elevation Model of the Hill area.

Figur 3.1.2.B/2.5 Digitales Geländemodell der hügeligen Zone.

Figura 3.1.2.B/2.5 Modello Digitale del Terreno della Zona Collinare.

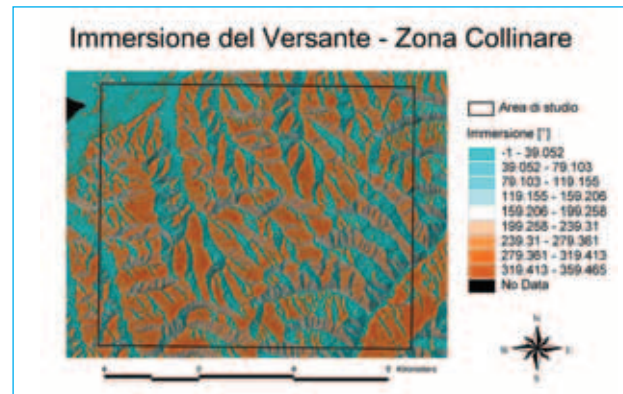


Figure 3.1.2.B/2.6 Slope drainage in the Hill area.

Figur 3.1.2.B/2.6 Einfallen des Hangs im hügeligen Gelände. Dip direction des Hangs in der hügeligen Zone.

Figura 3.1.2.B/2.6 Immersione del versante della Zona Collinare.

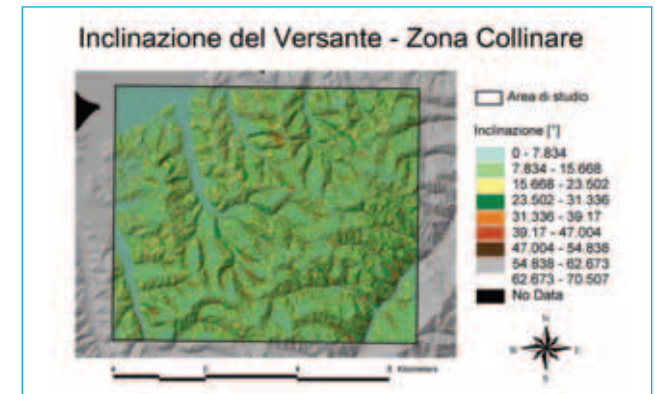


Figure 3.1.2.B/2.7 Slope inclination in the Hill area.

Figur 3.1.2.B/2.7 Neigung des Hangs in der hügeligen Zone.

Figura 3.1.2.B/2.7 Inclinazione del versante della Zona Collinare.

3.1.2.B/2.2 Activities

The process to evaluate the level of hazard was entirely carried out in GIS, and traced back to an established scheme already successfully used for a series of local studies (SUPSI & REGIONE PIEMONTE, 2002; Campus *et al.*, 2001). The nucleus of the entire process was the Montgomery and Dietrich mechanical/hydrological stability model. The sets of data fed into the model were structured so as to be independent informative layers, to enable them to be processed by GIS as follows:

1. physical/mechanical parameters;
2. topographic variables;
3. hydrological parameters.

From a methodological point of view the process can be summarised in the following stages (Figure 3.1.2.B/2.8):

1. Collection of basic data;
2. discretization of the study area into cells of the desired size (10 m per side); gathering and structuring of the data entered, in order to provide information in a format suitable for GIS; attribution of raw data to the units of reference (pedological units) and lastly to the cells;
3. pre-processing of raw data to structure it into the information required by the model;
4. implementation of the calculation algorithms;
5. testing and calibration of the model;
6. filtering and reduction to scale of the chosen representation;
7. production and illustration of the map.

Steps 1 and 2 regard the collection and structuring of the basic raw data in GIS from the various sources: accurately measured and spatialized data (rainfalls), data specifically acquired using systematic explorations of the terrain (pedological, geological, geomorphological and land use studies), basic data acquired from other subjects (topography and Digital

3.1.2.B/2.2 Aktivitäten

Der Prozess der Einschätzung der Gefährlichkeit wurde völlig innerhalb eines Geografischen Informationssystems (GIS) gesteuert und auf ein in einer Reihe von Geländestudien bereits erfolgreich verwendetes Schema zurückgeführt (SUPSI & REGIONE PIEMONTE 2002, Campus *et al.*, 2001). Der Kern des Prozesses wird durch das mechanisch-hydrologische Stabilitätsmodell von Montgomery und Dietrich dargestellt. Die Daten, mit denen das Modell versorgt wird, sind in drei Gruppen eingeteilt. Jede Art von Daten ist unabhängig strukturiert, damit sie in einer GIS-Umgebung weiterverarbeitet werden können.

1. physisch-mechanische Parameter;
2. topografische Variablen;
3. hydrologische Parameter.

Aus methodischer Sicht kann der Prozess in folgenden Phasen zusammengefasst werden (Figur 3.1.2.B/2.8):

1. Sammlung der Basisdaten;
2. Unterteilung des Untersuchungsgebietes der Hügellzone mit der gewünschten Dichte (10 m auf jeder Seite), Erfassung und Strukturierung der Eingangsdaten, so dass sie in einer GIS-Umgebung genutzt werden können, Zuweisung der Rohdaten zu den grundlegenden Referenzeinheiten (pedologische Einheiten) und zu den Zellen;
3. Vorab-Ausarbeitung der Rohdaten zur Strukturierung nach den Anforderungen des Modells;
4. modellhafte Anwendung der Berechnungs-Algorithmen;
5. Test und Eichung des Modells;
6. Filterung und Anpassung an den vorher gewählten Maßstab;
7. Erstellung und Ausstattung der Karte.

3.1.2.B/2.2 Attività

Il processo di valutazione della pericolosità è stato interamente governato in ambiente informativo geografico (GIS) ed è stato ricondotto ad uno schema consolidato già sperimentato con successo per una serie di studi a scala territoriale svolti (SUPSI & REGIONE PIEMONTE, 2002; Campus *et al.*, 2001). Il nucleo dell'intero processo è rappresentato dal modello meccanico-idrologico di stabilità di Montgomery e Dietrich. I dati che alimentano il modello, ciascuno strutturato in livello informativo indipendente per poter essere processato in ambiente GIS, sono raggruppabili in tre classi:

1. parametri fisico-meccanici;
2. variabili topografiche;
3. parametri idrologici.

Da un punto di vista metodologico il processo si può riassumere nelle seguenti fasi (Figura 3.1.2.B/2.8):

1. raccolta dei dati di base;
2. discretizzazione del dominio di studio in celle con maglia avente il passo desiderato (10 m di lato); acquisizione e strutturazione dei dati di ingresso, al fine di rendere le informazioni fruibili in un contesto GIS; attribuzione dei dati grezzi alle unità elementari di riferimento (unità pedologiche) ed infine alle celle;
3. pre-elaborazione dei dati grezzi per strutturarli nelle informazioni necessarie al modello;
4. implementazione modellistica degli algoritmi di calcolo;
5. test e taratura del modello;
6. filtraggio e riduzione alla scala di rappresentazione prescelta;
7. produzione ed allestimento della carta.

Le **fasi 1 e 2** riguardano la raccolta e strutturazione dei dati di base grezzi in ambiente GIS, derivanti da diverse tipologie di fonti: dati misurati puntualmente e spazializzati (piogge), dati acquisiti appositamente

Elevation Model). In **step 3** the raw data were pre-processed to structure them to provide the input information required by the model (infiltrated rain, topographic variables, physical/mechanical parameters). At the same time the algorithms of the hazard model were implemented in the GIS environment (**step 4**). The specific development environment chosen was Avenue by ESRI ArcView 3.x. **Step 5** was to reconstruct the landslide scenario during the heavy meteorological event in question and calculate the critical levels of rainfall which trigger shallow landslide. If the comparison between the actual scenario and the scenario produced by the model was positive, we proceeded to the next step, creating a map of hazard levels, using appropriate filtering techniques (**step 7**) in order to convert results from the scale of 1:10.000 which was used for the simulation, to the scale selected for the map (1:25.000 for example). Otherwise it was necessary to calibrate the model, verifying the accuracy of the data entered and the plausibility of the assumptions made.

Die **Phasen 1 und 2** betreffen die Sammlung und Strukturierung von Basis-Rohdaten für die Anwendung in der GIS-Umgebung, die aus verschiedenen Quellen stammen: punktuell gemessene und hochgerechnete Daten (Niederschläge), Daten, die bei Geländeerhebungen gesammelt wurden (pädologische, geologische und geomorphologische Daten sowie solche über die Bodennutzung), Basisdaten, die von anderen gesammelt wurden (Topografie und Digitales Geländemodell). In der **Phase 3** werden die Rohdaten vorverarbeitet, wobei sie nach den für das Modell nötigen Informationen verarbeitet werden (eingedrungener Niederschlag, topografische Variablen, physikalisch-mechanische Parameter). Gleichzeitig werden in geografischer Umgebung die Algorithmen des Gefährlichkeitsmodells implementiert (**Phase 4**). Die Entwicklungsumgebung ist Avenue von ESRI ArcView 3.x. In der **Phase 5** wird das Störungsszenario der Referenz-Überschwemmung rekonstruiert. Dann werden die kritischen Regenhöhen berechnet, die zu oberflächlichen Erdbeben führen. Wenn das Ergebnis des Vergleichs zwischen echtem und rekonstruiertem Szenario positiv ausfällt, kommt es zur letzten Phase, der Erstellung der Gefährlichkeitskarte. Dabei werden passende Filtertechniken angewendet (**Phase 7**), um die Ergebnisse des Maßstabs der Simulation (1:10.000) in den Maßstab der Karte (zum Beispiel 1:25.000) umzurechnen. Andernfalls muss das Modell geeicht werden, indem die Korrektheit der eingehenden Daten und die Plausibilität der Arbeitshypothesen geprüft werden.

attraverso sistematiche indagini di terreno (studi pedologici, geologici, geomorfologici e sull'uso del suolo), dati di base acquisiti da altri soggetti (topografia e Modello Digitale del Terreno). Nella **fase 3** i dati grezzi vengono pre-processati per strutturarli nelle informazioni necessarie ad alimentare il modello (pioggia infiltrata, variabili topografiche, parametri fisico-meccanici). Contestualmente vengono implementati in ambiente geografico gli algoritmi del modello di pericolosità (**fase 4**). Nello specifico, l'ambiente di sviluppo scelto è l'Avenue di ESRI ArcView 3.x. Nella **fase 5** viene ricostruito lo scenario dissestivo dell'evento alluvionale di riferimento e vengono calcolate le altezze di pioggia critica di innesco delle frane superficiali. Se il risultato del confronto tra scenario reale e scenario prodotto dal modello è positivo si arriva alla fase finale di produzione della carta di pericolosità, previa applicazione di opportune tecniche di filtraggio (**fase 7**) al fine di convertire i risultati dalla scala 1:10.000, corrispondente alla scala di esecuzione della simulazione alla scala prescelta, alla scala di rappresentazione della carta (ad esempio 1:25.000); altrimenti occorre procedere ad una taratura del modello verificando la correttezza dei dati in ingresso e la plausibilità delle ipotesi assunte.

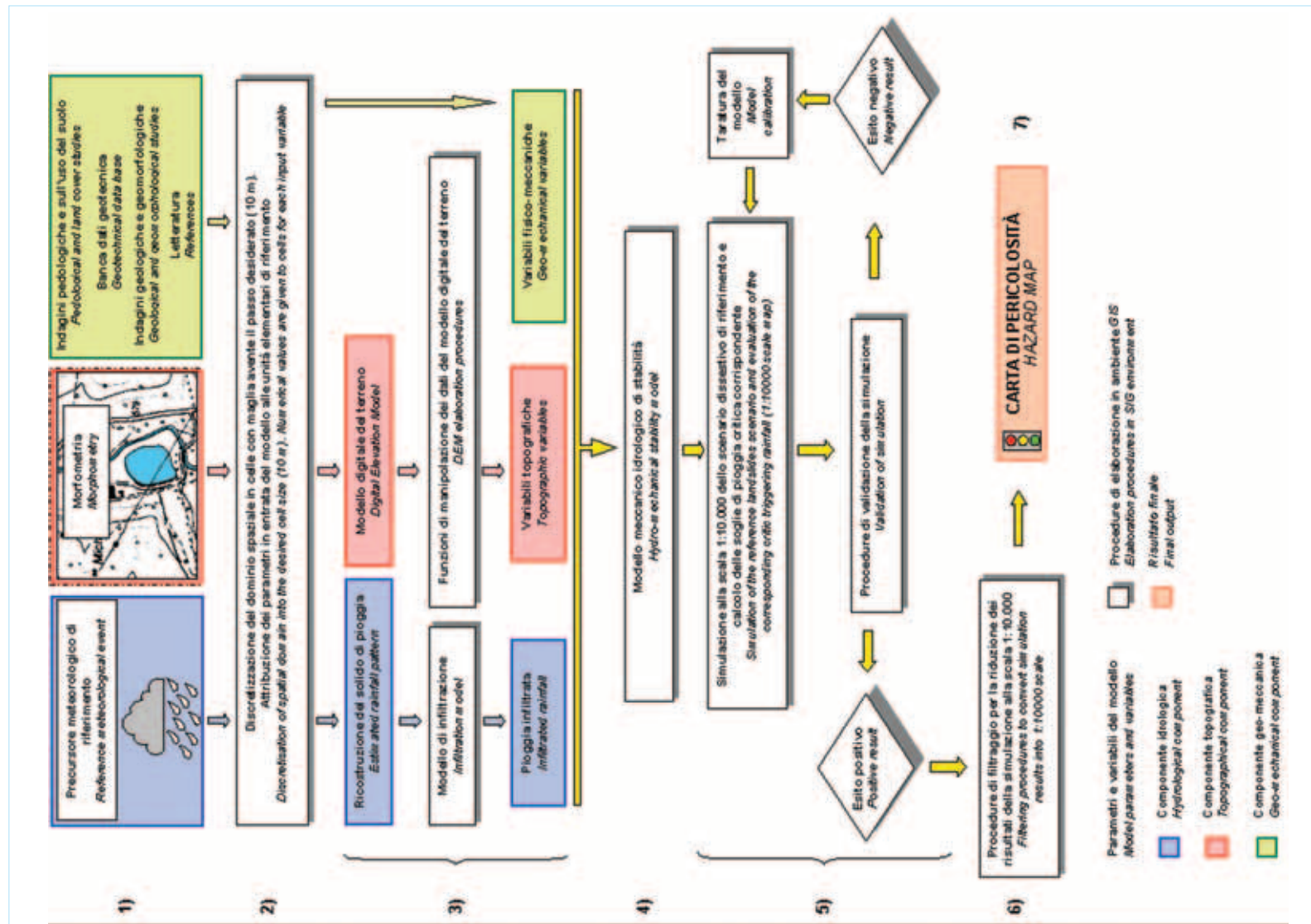


Figure 3.1.2.B/2.8 Logical scheme for the hazard analysis of shallow landslides.
 Figur 3.1.2.B/2.8 Operatives logisches Schema zur Analyse der Gefährlichkeit von Erdrutschten.
 Figura 3.1.2.B/2.8 Schema logico operativo per l'analisi della pericolosità per frane superficiali.

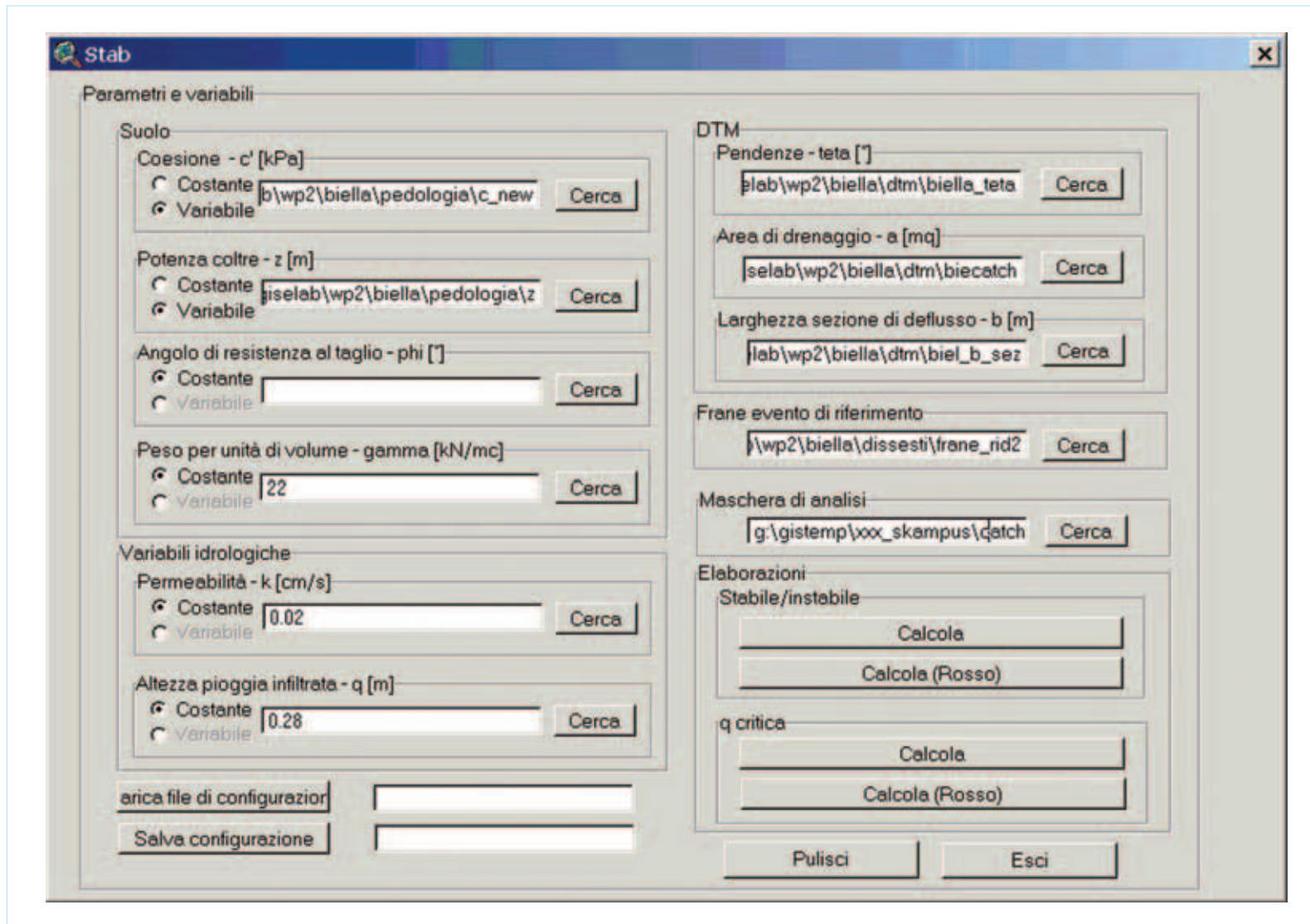


Figure 3.1.2.B/2.9 Graphic interface created using ArcView ESRI®, to simplify the analysis carried out using the model.
Figur 3.1.2.B/2.9 Grafische Schnittstelle, programmiert in der Umgebung ArcView ESRI® zur Vereinfachung der Modellanalysen.
Figura 3.1.2.B/2.9 Interfaccia grafica, realizzata in ambiente ArcView ESRI®, per semplificare l'esecuzione delle analisi del modello.

3.1.2.B/2.3 Results

The results obtained using different combinations of the parameters and variables available in the two chosen areas confirmed the versatility of the approach adopted.

They did however demonstrate the model's tendency to overestimate the area of the landslide, including areas where no landslides occurred.

For instance, in the last configuration studied in the Alpine area, results indicated a success rate of 59% for unstable areas and 66 % for stable areas, with a total of 66 % of cells correctly predicted.

Obviously the most important thing is for the model to predict the instability of any given cell, without giving a reading of instability where not present. To get around this problem, results predicting instability were generalised using GIS filters in order to take into account possible georeferentiation errors in the database of previous landslides, to indicate the soundness of the model.

Despite these seemingly low percentages, the model does enable us to identify critical slope areas. The success rate is calculated by spatially overlaying predicted and actual landslide areas. Results are therefore judged to be successful when there is spatial correspondence between predictions and reality.

3.1.2.B/2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden mit verschiedenen Kombinationen der in den Umgebungen verfügbaren Parameter und Variablen erzielt. Es handelt sich um eine vielseitige Methode.

Es gibt allerdings eine Tendenz des Modells, die Erdrutschgefahr auch in solchen Zonen überzubewerten, in denen es nicht zu Massenbewegungen kommt.

Bei der letzten untersuchten Konfiguration für das alpine Gebiet deuten die Ergebnisse auf einen Erfolgsprozentsatz von 59 % für die instabilen Zonen und 66 % für die stabilen Zonen hin. Insgesamt wurden 66 % der Zellen korrekt vorhergesehen. Natürlich interessiert dabei am meisten, ob das Modell instabiles Verhalten bei einer Zelle vorherzusagen im Stande ist und gleichzeitig möglichst wenig Fehlalarm auslöst. Um dem vorzubeugen, wurden die Ergebnisse der Instabilitätsvorhersagen durch bestimmte in der GIS-Umgebung verwendete Filter verallgemeinert. Dabei wurden auch mögliche Fehler bei der Erstellung der Referenz-Datenbasis, also der vorherigen Rutschungen, die als Indikatoren für das Modell verwendet werden, berücksichtigt.

Trotz dieser niedrigen Prozentsätze erlaubt das Modell auf jeden Fall die Auffindung von kritischen Teilstücken des Hangs. Der Erfolgsprozentsatz wird durch Übereinanderlegen der Darstellung der Vorhersage und der wirklich eingetretenen Ereignisse errechnet. Von Erfolg kann daher geredet werden, wenn es eine räumliche Übereinstimmung zwischen Vorhersage und tatsächlich eingetretenem Ergebnis gibt.

3.1.2.B/2.3 Risultati

I risultati, ottenuti utilizzando diverse combinazioni dei parametri e delle variabili disponibili nei due ambiti prescelti, confermano la versatilità dell'approccio adottato.

Essi dimostrano comunque la tendenza del modello a sovrastimare le zone in frana anche in quelle zone in cui esse non sono presenti.

Ad esempio, nell'ultima configurazione studiata per l'ambiente alpino, i risultati indicano una percentuale di successo del 59 % per le zone instabili e del 66 % per le zone stabili, per un totale di 66 % di celle correttamente previste. Ciò che ovviamente più interessa è che il modello ben preveda il comportamento instabile di una cella, evitando una valutazione di instabilità dove essa non si verifica. Per ovviare a tale inconveniente, i risultati della previsione di instabilità sono stati generalizzati attraverso dei *filtri* utilizzati in ambiente GIS, al fine di tenere conto anche dei possibili errori di georeferenziazione della base dati di riferimento, cioè le frane pregresse che fungono da indicatore della bontà del modello.

Nonostante queste percentuali apparentemente basse, il modello permette di riconoscere i settori di versante critici. Infatti, la percentuale di successo viene calcolata mediante sovrapposizione spaziale tra lo strato informativo della previsione e quello della realtà. Pertanto un successo è ottenuto quando vi è l'effettiva coincidenza spaziale tra quanto previsto e quanto accaduto.

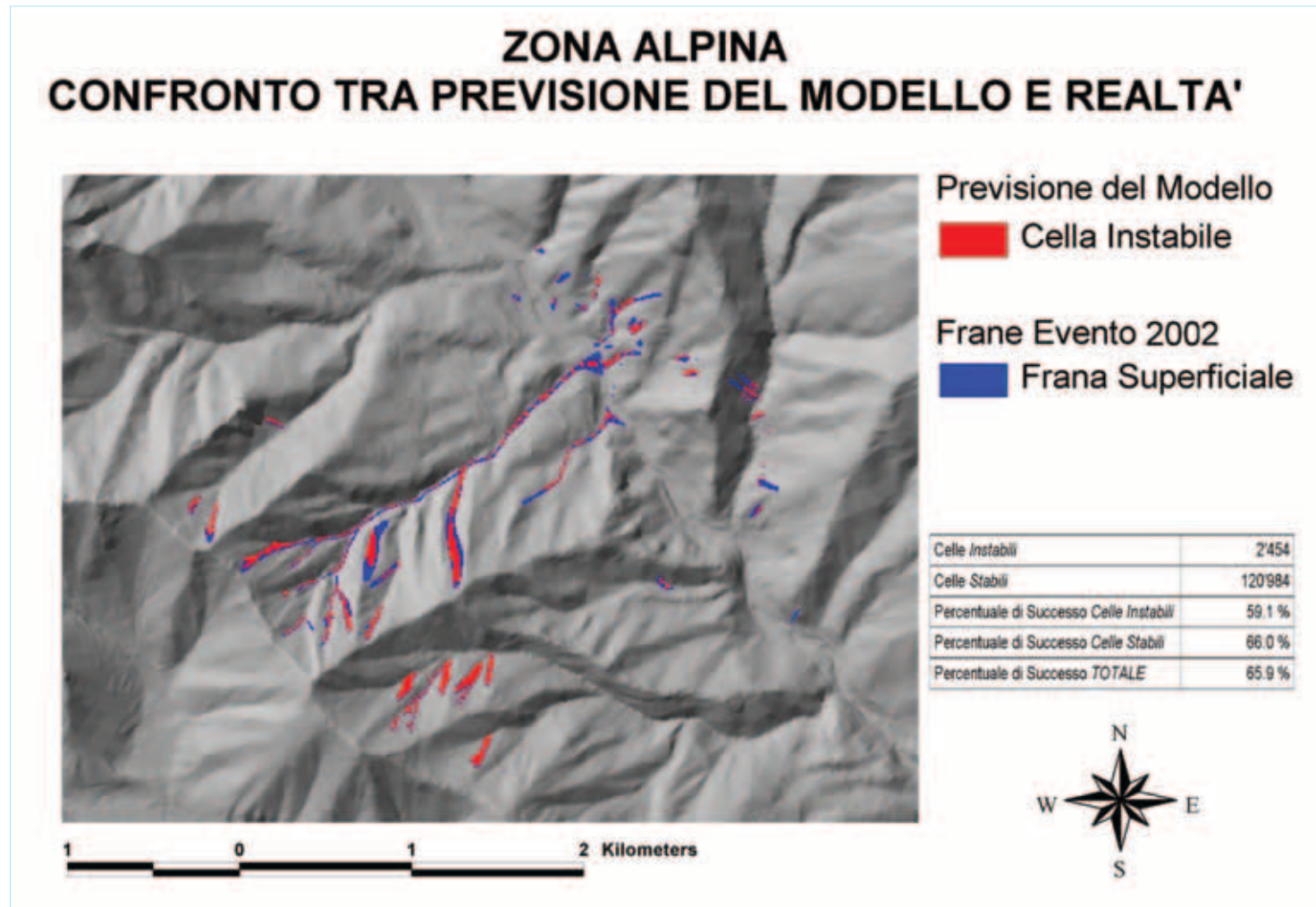


Figure 3.1.2.B/2.10 An example of the result of the model, and comparison with the shallow landslides which occurred during the heavy meteorological event of June 2002 in the Alpine study area.

Figur 3.1.2.B/2.10 Beispiel für ein Ergebnis des Modells und Vergleich mit den tatsächlich eingetretenen oberflächlichen Erdrutschen bei der Überschwemmung im Juni 2002 in der alpinen Untersuchungszone.

Figura 3.1.2.B/2.10 Esempio di risultato del modello e confronto con le frane superficiali prodottesi in occasione dell'evento alluvionale del giugno 2002 nella zona di studio di tipo alpino.

3.1.2.B/2.4 Conclusions

The results obtained confirm that the approach adopted adapts well to a variety of different contexts. As this model sets out to comprehend the influence of morphology on shallow landslides, it is important to have a Digital Elevation Model able to capture topographical variations as accurately as possible.

In this way, even with partial corrections to the areas simplified by the model, by exploring the spatial variability of parameters and variables and their mutual influence, it is possible to apply the same approach in different contexts.

In view of this, this model adapts well to the following observations, which are required to evaluate the stability of large parcels of terrain in the context of shallow landslides:

- a) it is a carefully studied method, known and universally accepted;
- b) it is easy to implement and requires knowledge of relatively few parameters;
- c) it provides results which are acceptable in relation to the low costs of the database required;
- d) it models processes connected to lasting meteorological events.

3.1.2.B/2.4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse bestätigen, dass die verwendete Methode sich für die Anwendung in verschiedenen Umgebungen anpassen lässt.

Da das Modell vor allem dazu dient, die Einflüsse der Morphologie auf die Auslösung von oberflächlichen Ereignissen zu erfassen, muss ein Digitales Geländemodell verwendet werden, das die topographischen Unebenheiten des Geländes so genau wie möglich wiedergibt.

Auch durch eine teilweise Korrektur der Vereinfachungen des Modells durch die genauere Wiedergabe der räumlichen Vielfältigkeit von Parametern und Variablen und deren Wechselwirkungen ist es möglich, diese Methode in unterschiedlichen Umgebungen anzuwenden.

Diese Methode entspricht den folgenden Überlegungen, die für eine Bewertung der Massenbewegungsstabilität auf großem Gelände nötig sind:

- a) Es handelt sich um eine erprobte, bekannte und allgemein anerkannte Methode;
- b) Sie kann leicht implementiert werden und erfordert die Kenntnis von relativ wenigen Parametern;
- c) Sie liefert annehmbare Ergebnisse bei niedrigen Kosten für die Erstellung der Datenbasis;
- d) Sie stellt Prozesse in Verbindung mit lang anhaltenden meteorologischen Ereignissen gut dar.

3.1.2.B/2.4 Conclusioni

I risultati ottenuti confermano che l'approccio adottato ben si adatta all'applicazione in differenti contesti. Poiché il modello si propone innanzi tutto di cogliere l'influenza della morfologia sull'insorgere dei fenomeni superficiali, è importante dotarsi di un Modello Digitale del Terreno in grado di cogliere il più possibile esattamente le discontinuità topografiche.

In questo modo, anche correggendo parzialmente le semplificazioni del modello attraverso l'approfondimento della variabilità spaziale di parametri e variabili e della loro mutua influenza, è possibile applicare tale approccio anche in contesti diversi tra loro.

Pertanto, l'adozione di tale metodo ben si adatta alle seguenti considerazioni che si richiedono per una valutazione su ampie porzioni di territorio, della stabilità per frane superficiali:

- a) si tratta di un metodo studiato, conosciuto e universalmente accettato;
- b) è di facile implementazione e richiede la conoscenza di relativamente pochi parametri;
- c) fornisce risultati accettabili in rapporto ai bassi costi di realizzazione della base dati che richiede;
- d) modella bene processi legati ad eventi meteorologici di lunga durata.

§ 3.1.2.B/3 REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italia
Village - Ort - Comune	Ovaro (UD)
Basin - Becken - Bacino	Miozza
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Miozza

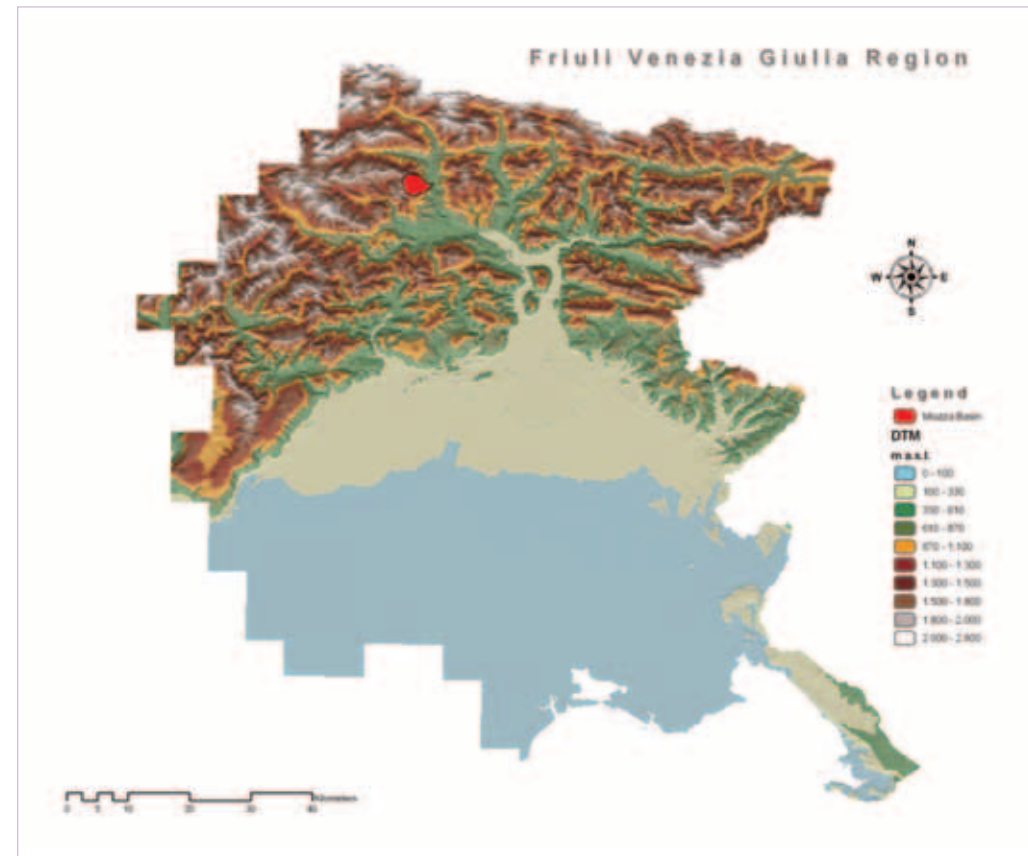


Figure 3.1.2.B/3.1 Miozza catchment, located in Carnia, an alpine region of north-eastern Italy.
Figur 3.1.2.B/3.1 Das Miozza-Becken in Carnia, einer nordostitalienischen Alpenregion.
Figura 3.1.2.B/3.1 Il bacino del Miozza, ubicato in Carnia, una regione alpina dell'Italia nord-orientale.

3.1.2.B/3.1 Preliminary tasks

The Miozza basin was chosen as a study area of the Carnia region for specific reasons:

- the basin is very representative of lithological and physiographical conditions frequently observed in Carnia areas;
- detailed topographic information such as Digital Elevation Model (5 m grid size) is available with land use and geomorphological maps;
- meteorological data set are available from previous survey and studies for this basin;
- landslides and erosion area have been extensively mapped in last few years;
- landslides and erosion area cover a significant part of the basin;
- debris flow phenomena are rather usual in the Miozza torrent as results of sediment supply from source area in the head basin.

Geomorphological settings of the basin are typical of northern alpine region: deep valleys with high value of slope and significant erosion areas; soil thickness varies between 0.2 m and 0.5 m on topographic spurs to depths of up to 1.5 m in topographic hollows. Most of the catchment area is formed by sandstones, shales, calcarenites and marly limestones belonging to Werfen Formation and, to a less extent, by bituminous limestones and dolostones of Bellerophon and Durrenstein Formations. The middle part is characterized by a quaternary cover formed by cobbles and gravels with silt matrix (39 % of catchment area). In proximity of basin outlet, where low slopes prevail, there is a depositional area originated by debris flow events.

The high erosion rate of the catchment is due to the nature of outcropping lithology and to the high tectonic fracturing.

The basin is quite wilderness and the only significant human activity is related to forest practices in some areas.

3.1.2.B/3.1 Vorarbeiten

Das Miozza-Becken wurde aus ganz bestimmten Gründen als Untersuchungsgebiet ausgewählt:

- Es ist wegen seiner für die Gegend typischen lithologischen und physiografischen Bedingungen besonders repräsentativ;
- Detaillierte topografische Informationen wie ein Digitales Erhebungsmodell (5 m Rasterdichte) sind verfügbar. Auch die Bodennutzungskarten können abgerufen werden. Meteorologische Daten sind aus vorherigen Untersuchungen und Aufnahme in diesem Becken vorhanden;
- Die Rutschungen und die von Erosion betroffenen Gebiete sind in den letzten paar Jahren ausführlich kartiert worden;
- Massenbewegung und Erosionen bedecken einen bedeutenden Teil des Geländes;
- Muren sind im Miozza-Fluss eine relativ häufig zu beobachtende Erscheinung. Sie sind das Resultat einer grossen Schuttproduktion im Quellgebiet des Beckens.

Die geomorphologischen Bedingungen sind typisch für die nördliche Alpenregion: tiefe Täler mit starken Neigungen und große Erosionsgebiete, eine Mächtigkeit des Bodens von 0.2 bis 0.5 m im (Kammbereich) auf topografischen Vorsprüngen und Tiefen von 1.5 m in Senken.

Der größte Teil des Beckens besteht aus Sandstein, Schiefer, Calcarenit und Mergelkalkstein, die zur Werfen-Formation gehören, und in geringerem Ausmaß aus bituminösen Kalksteinen und Dolomit der Bellerophon- und Durrenstein-Formation. Der mittlere Teil ist durch eine Quartär-Decke aus Kies mit einer Schlickmatrix gekennzeichnet (39 % des Beckens). In der Nähe des Beckenabflusses, wo flachere Neigungen vorherrschend sind, befinden sich Ablagerungen, die durch Geröllströme verursacht wurden.

3.1.2.B/3.1 Fasi preliminari

Il bacino del Torrente Miozza è stato scelto come area di studio della regione Carnia per specifiche ragioni:

- il bacino è estremamente rappresentativo del contesto litologico e fisiografico frequentemente osservato nella regione Carnia;
- sono disponibili una base topografica di dettaglio costituita dal Modello Digitale del Terreno (a maglia 5 m di lato), mappe di uso del suolo e carte geomorfologiche;
- sono disponibili basi dati meteorologiche, come risultato di precedenti studi e rilievi condotti nel bacino;
- negli ultimi anni sono state ampiamente rilevate e cartografate le frane e le aree soggette ad erosione;
- le frane e le aree soggette ad erosione occupano una parte significativa della superficie del bacino;
- fenomeni di colata di detrito sono piuttosto frequenti nel Torrente Miozza, a causa della grande disponibilità di detrito proveniente dalle aree sorgenti poste in zona di testata del bacino idrografico.

L'assetto geomorfologico del bacino è tipico della regione alpina nord-orientale: profonde incisioni vallive caratterizzate da elevati valori di pendenza ed estese aree soggette ad erosione; lo spessore dello strato di suolo varia da 0.2 m a 0.5 m nelle zone di cresta, mentre nelle depressioni raggiunge 1.5 m.

Nel bacino affiorano prevalentemente arenarie, argilliti, calcareniti e calcari marnosi appartenenti alla Formazione di Werfen e, in misura minore, calcari bituminosi e dolomie delle Formazioni a Bellerophon e di Durrenstein. La parte intermedia del bacino è caratterizzata da una copertura quaternaria formata da ghiaie con matrice limosa (39 % dell'area del bacino). In prossimità dello sbocco del bacino, dove pre-

The area has a typical North Eastern Alpine climate with short dry periods and a mean annual rainfall of about 2.200 mm, ranging from 1.300 mm to 2.500 mm. Precipitation occurs mainly as snowfall from November to April; runoff is usually dominated by snowmelt in May and June, during summer flash floods with heavy solid transport frequently occurs, while in autumn high discharges associate to rainfall period characterise the flow regime. (Figure 3.1.2.B/3.4).

Die hohe Erosionsrate des Beckens ergibt sich aus der Natur der felsnasenförmigen Gesteine und der starken tektonischen Aufsplittung. Das Becken ist nahezu unberührt. Der einzige Einfluss des Menschen ergibt sich aus der Nutzung des Waldes in einigen Gebieten. Das Gebiet hat das typische Klima der Nordost-Alpen. Es gibt kurze Trockenperioden und einen mittleren Niederschlag von 2.200 mm im Jahr bei einer Streuung zwischen 1.300 und 2.500 mm. Die meisten Niederschläge kommen in Form von Schneefall zwischen November und April vor. Die Niederschläge fließen als Schmelzwasser zwischen Mai und Juni ab. Im Sommer kommt es häufig zu Überflutungen mit starkem Gesteintransport. Im Herbst sind starke Abflüsse mit Regenfällen kennzeichnend für das Flusssystem. (Figur 3.1.2.B/3.4).

valgono pendenze modeste, è presente un'area deposizionale generata da eventi di colata detritica. L'elevato tasso di erosione del bacino è dovuto alla natura dei litotipi affioranti e all'elevato grado di fratturazione di origine tettonica. Il bacino è pressoché disabitato e l'unica attività umana significativa è correlata, in alcune zone, alla pratica forestale. L'area ha il clima tipico delle Alpi nord-orientali, con brevi periodi secchi ed una precipitazione media annuale di 2.200 mm, che varia da 1.300 mm a 2.500 mm. Le precipitazioni si verificano principalmente sottoforma di nevicate da novembre ad aprile; il ruscellamento superficiale è condizionato dalla fusione delle nevi in maggio e giugno, mentre durante l'estate si verificano piene brevi ed improvvise con trasporto solido molto abbondante; in autunno il regime di flusso è caratterizzato da portate elevate associate ai periodi piovosi (Figura 3.1.2.B/3.4).

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
 § 3.1.2.B/3 REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

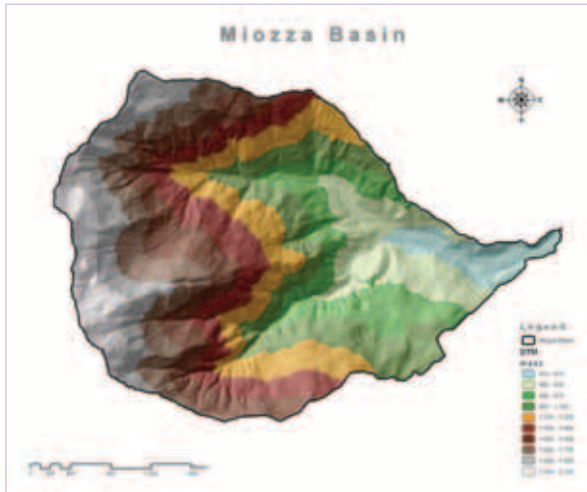


Figure 3.1.2.B/3.2 Basin area is 10.7 km² width, with elevation ranging between 471 m and 2.075 m a.s.l.
 Figur 3.1.2.B/3.2 Fläche des Beckens beträgt 10.7 km², die Höhen reichen von 471 m bis 2.075 m ü. NN.
 Figura 3.1.2.B/3.2 L'area del bacino è pari a 10.7 km², le quote sono comprese tra 471 m s.l.m. e 2.075 m s.l.m.

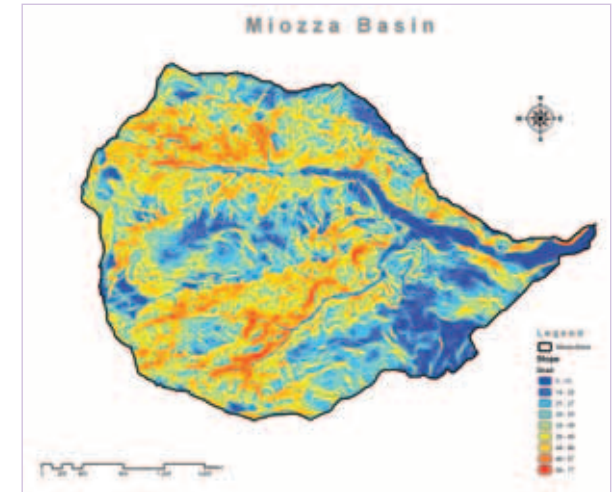


Figure 3.1.2.B/3.3 The slope angle has an average value of 32.8° and maximum values of 77°.
 Figur 3.1.2.B/3.3 Der Hangwinkel hat einen Durchschnittswert von 32.8° und Höchstwerte von 77°.
 Figura 3.1.2.B/3.3 L'angolo di inclinazione del versante ha un valore medio pari a 32.8° ed un valore massimo di 77°.

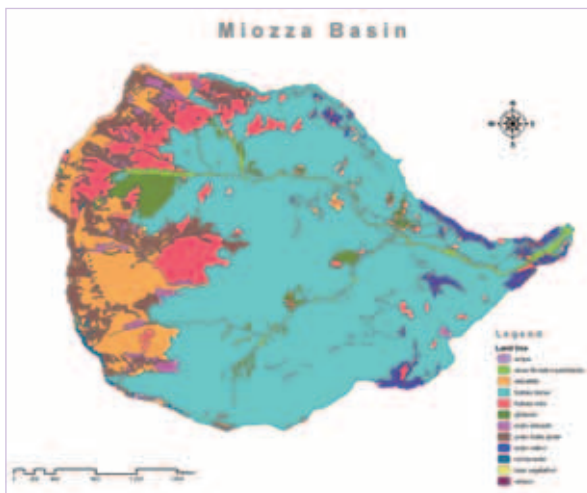


Figure 3.1.2.B/3.4 Vegetation covers almost all catchment area (94 %) and mainly consist of forest stand, shrubs and mountain grassland.
 Figur 3.1.2.B/3.4 Vegetation bedeckt den größten Teil des Beckens (94 %). Sie besteht vorwiegend aus Wald, Sträuchern und Berggras.
 Figura 3.1.2.B/3.4 La vegetazione ricopre quasi tutta l'area del bacino (94 %) ed è costituita prevalentemente da alberi ad alto fusto, arbusti e pascoli.

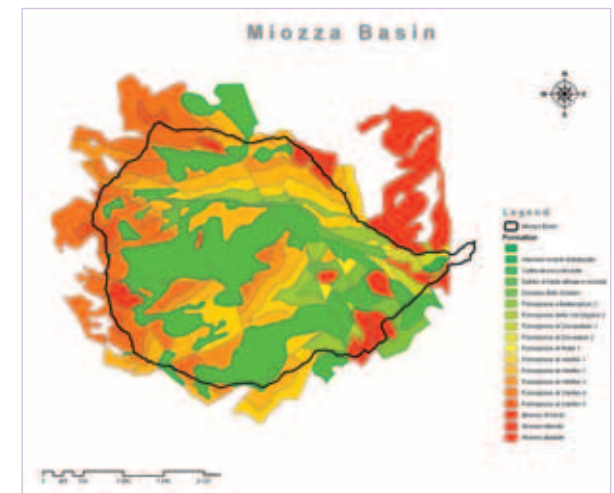


Figure 3.1.2.B/3.5 Most of the catchment area is formed by sandstones, shales, calcarenites and marly limestones.
 Figur 3.1.2.B/3.5 Der größte Teil des Beckens besteht aus Sandstein, Schiefer, Calcarenit und Mergelkalkstein.
 Figura 3.1.2.B/3.5 Nella maggior parte del bacino affiorano arenarie, argilliti, calcareniti e calcari marnosi.

3.1.2.B/3.2 Activities

Activities are summarised in:

- survey of geotechnical parameters of biggest landslide area at the head of the basin; in Figure 3.1.2.B/3.9 are reported surveys of part of soil. Then was mapped sedimental source area (Figure 3.1.2.B/3.7).
The area of erosion and shallow landslides amounts to 0.5 km², *i.e.* about 5 % - 6 % of total catchment area; average slope angle of the landslide and erosion area is 39°. Most of these areas, in particular the biggest landslide (0.22 km²), are localized at the head of the basin. A detailed inventory of sediment source, erosion and landslide area was carried out, in last in the few years (Figure 3.1.2.B/3.6);
- analysis and computation of the principal topographic derivative attributes such as slope, flow directions, upslope drainage area.
Elevation contours data were gridded to generate raster maps with 5 m grid size; map of specific upslope drainage area were computed by using the concept of multiple downslope flow introduced by Quinn *et al.* (1991) (Figure 3.1.2.B/3.8). SHALSTAB model was applied to the Miozza basin and a sensitive analysis of the role of principal parameters (friction angle, cohesion, soil transmissivity, soil thickness) was carried out.

3.1.2.B/3.2 Aktivitäten

Das Vorgehen kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Aufnahme der geotechnischen Parameter des großen Erdrutschgebietes oberhalb der Basis. In Figur 3.1.2.B/3.9 sind entsprechende Ergebnisse für einen Teil des Bodens wiedergegeben. Dann wurde das Quellgebiet des Schuttes kartiert (Figur 3.1.2.B/3.7).
Das Gebiet der Erosion und der flachgründige Rutschungen hat eine Fläche von 0.5 km² und damit 5 % - 6 % des ganzen Beckens. Der durchschnittliche Hangwinkel des Massenbewegungs- und Erosionsgebietes beträgt 39°. Die meisten dieser Gebiete, vor allem der größte Massenbewegung (0.22 km²) befinden sich oberhalb des Beckens. Ein detailliertes Inventar der Sedimentquelle und des Erosions- und Erdbebengebietes wurde in den letzten Jahren angelegt (Figur 3.1.2.B/3.6).
- Analyse und Berechnung der wichtigsten abgeleiteten topografischen Merkmale wie Hang, Flussrichtungen und hangaufwärts gelegene Drainagegebiete
Die Höhenliniendaten wurden zu Rasterkarten mit einer Dichte von 5 m verarbeitet. Karten der hangaufwärts gelegenen Drainagegebiete wurden durch das Konzept vom multiplen hangabwärts gerichteten Fluss erstellt, das von Quinn *et al.*, (1991) entwickelt wurde (Figur 3.1.2.B/3.8). Das SHALSTAB-Modell wurde auf das Miozza-Becken angewendet und eine sorgfältige Analyse der Rolle der wichtigsten Parameter durchgeführt (Reibungswinkel, Kohäsion, Übertragungsfähigkeit des Bodens, Mächtigkeit des Bodens).

3.1.2.B/3.2 Attività

Le attività svolte si possono sintetizzare come segue:

- rilievo dei parametri geotecnici relativi alle aree in frana più estese in testata al bacino; nella Figura 3.1.2.B/3.9 vengono riportati i rilievi su una porzione di suolo. È stata inoltre cartografata l'area sorgente di detrito (Figura 3.1.2.B/3.7).
Le aree in erosione e soggette a frane superficiali ammontano a 0.5 km², ovvero circa il 5 %-6 % del totale del bacino idrografico, con un angolo medio di inclinazione di 39°. La maggior parte di queste aree, in particolare la frana di maggiori dimensioni (0.22 km²), è collocata in zona di testata del bacino. Negli ultimi anni è stato eseguito un inventario dettagliato delle sorgenti di detrito e delle aree interessate da frane e processi erosivi (Figura 3.1.2.B/3.6).
- Analisi e calcolo dei principali attributi topografici derivati, quali pendenze, direzioni di deflusso, aree di drenaggio.
I dati relativi all'altimetria sono stati inseriti in una griglia che ha permesso di generare mappe a maglia 5 m x 5 m; le mappe delle aree specifiche di drenaggio a monte sono state calcolate utilizzando il concetto di deflusso multiplo lungo versante (*multiple downslope flow*), introdotto da Quinn *et al.* (1991) (Figura 3.1.2.B/3.8). Il modello SHALSTAB è stato applicato al bacino Miozza, conducendo un'analisi di sensitività sul ruolo dei principali parametri (angolo di resistenza al taglio, coesione, trasmissività del suolo, spessore del suolo).

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
 § 3.1.2.B/3 REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA



Figure 3.1.2.B/3.6 Erosion and landslide areas.
 Figur 3.1.2.B/3.6 Gebiete mit Erosion und Erdrutschen.
 Figura 3.1.2.B/3.6 Aree in erosione e in frana.

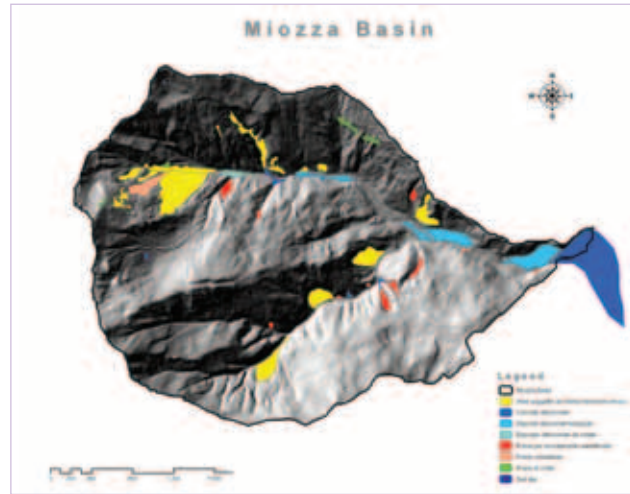


Figure 3.1.2.B/3.7 Sediment source areas.
 Figur 3.1.2.B/3.7 Herkunftsgebiete der Sedimente.
 Figura 3.1.2.B/3.7 Aree sorgenti di detrito.

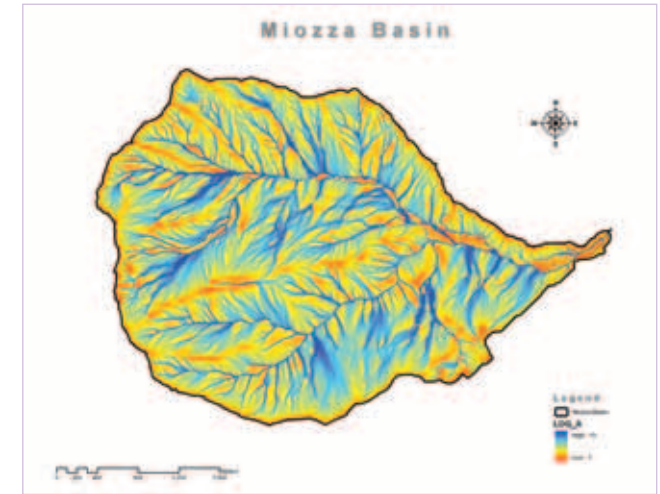


Figure 3.1.2.B/3.8 Drainage area.
 Figur 3.1.2.B/3.8 Drainagegebiet.
 Figura 3.1.2.B/3.8 Area di drenaggio.



Figure 3.1.2.B/3.9 Surveys.
 Figur 3.1.2.B/3.9 Untersuchungen.
 Figura 3.1.2.B/3.9 Rilievi.

3.1.2.B/3.3 Results

SHALSTAB produces a map of steady-state critical rainfall allowing to identify across the basins a potential for slope failure. Results are evaluated comparing the SHALSTAB slope instability map with the location of landslide areas surveyed on the field. A parameterization suitable to give a good result should take in account root cohesion and a variable soil thickness across the basin. The map in Figure 3.1.2.B/3.11 shows the map obtained with shear strength angle of 33° , variable soil thickness (0.5 m - 1.0 m) and variable cohesion (1 kPa - 6 kPa). It is compared with Figure 3.1.2.B/3.10 obtained adopting the standard suggested hypothesis of cohesionless material and shear strength angle of 45° .

In the critical rainfall map (Figure 3.1.2.B/3.11) more than 80 % of sediment sources were classified as unconditionally unstable or highly unstable, while only 4 % of the whole basin area falls in the same classes.

3.1.2.B/3.3 Ergebnisse

SHALSTAB liefert eine Karte mit den kritischen Dauerregenfällen, die über die Becken hinweg ein Potenzial für Erdrutsche am Hang darstellen. Ergebnisse werden erzielt, indem die Instabilitätskarte der Hänge von SHALSTAB mit den vor Ort beobachteten Erdrutschgebieten verglichen wird. Eine Parameterbildung, die gute Ergebnisse versprechen soll, muss die Wurzelkohäsion und eine variable Mächtigkeit des Bodens über das Becken hinweg berücksichtigen. Figur 3.1.2.B/3.11 zeigt eine Karte, die mit einem internen Reibungswinkel von 33° berechnet wurde, ferner mit einer variablen Bodendicke von 0.5 bis 1.0 m und einer variablen Kohäsion von 1 kPa bis 6 kPa. Sie wurde mit Figur 3.1.2.B/3.10 verglichen, die durch Anwendung der Standardhypothese von kohäsionslosem Material und einem Reibungswinkel von 45° ermittelt wurde. In der Karte der kritischen Regenfälle (Figur 3.1.2.B/3.11) wurden mehr als 80 % der Sedimentquellen als absolut oder hochgradig instabil eingestuft, während ansonsten nur 4 % der Fläche des gesamten Bassins in diese Klassen fällt.

3.1.2.B/3.3 Risultati

Il modello SHALSTAB genera una mappa delle precipitazioni critiche in regime stazionario, consentendo di localizzare le potenziali rotture di versante nel bacino. I risultati vengono verificati confrontando la mappa SHALSTAB di instabilità dei versanti con l'ubicazione delle aree in frana rilevate sul campo. Una parametrizzazione in grado di dare un buon risultato dovrebbe prendere in considerazione la coesione delle radici e lo spessore variabile del suolo nel bacino. La Figura 3.1.2.B/3.11 mostra una mappa ottenuta con un angolo di resistenza al taglio di 33° , uno spessore del suolo variabile da 0.5 a 1.0 m e una coesione variabile da 1 kPa a 6 kPa. Tale mappa è messa a confronto con la Figura 3.1.2.B/3.10, ottenuta a sua volta adottando l'ipotesi *standard* di materiale privo di coesione e angolo di resistenza al taglio di 45° .

Nella mappa delle precipitazioni critiche (Figura 3.1.2.B/3.11), oltre l'80 % delle sorgenti di detrito è stato classificato come incondizionatamente instabile o altamente instabile, mentre solo il 4 % dell'intera area del bacino rientra nella stessa classe.

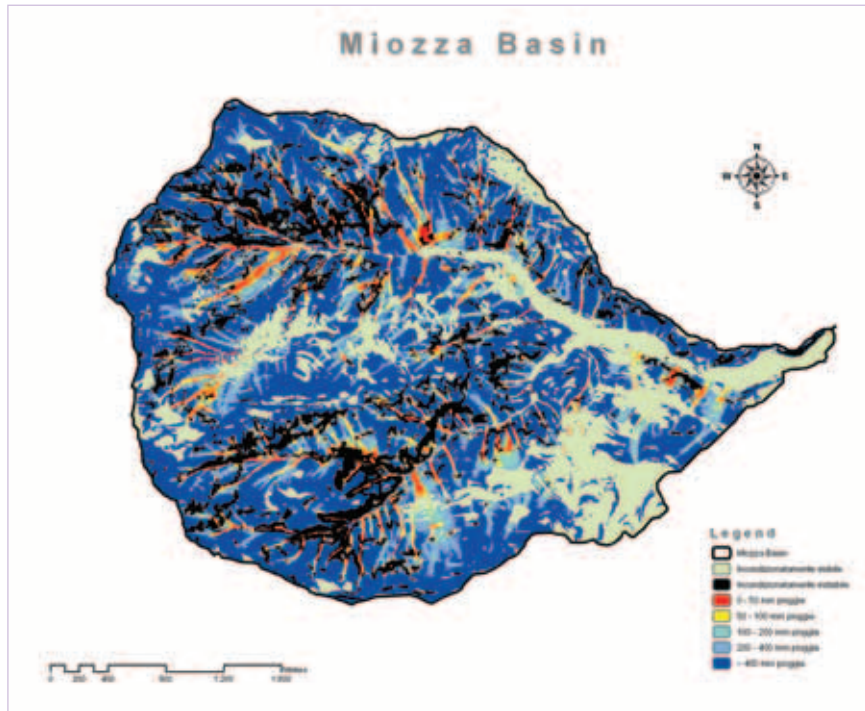


Figure 3.1.2.B/3.10 Result of SHALSTAB model ($Q_{cr} 45^\circ$).
Figur 3.1.2.B/3.10 Ergebnis des SHALSTAB-Modells ($Q_{cr} 45^\circ$).
Figura 3.1.2.B/3.10 Risultati del modello SHALSTAB ($Q_{cr} 45^\circ$).

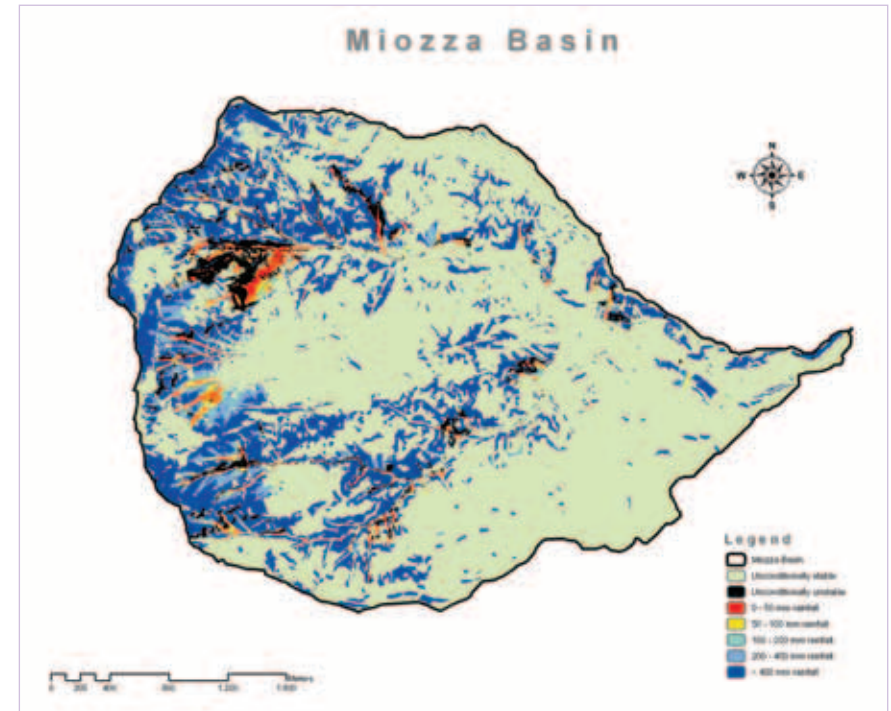


Figure 3.1.2.B/3.11 Result of SHALSTAB model ($Q_{cr} 33^\circ$).
Figur 3.1.2.B/3.11 Ergebnis des SHALSTAB-Modells ($Q_{cr} 33^\circ$).
Figura 3.1.2.B/3.11 Risultati del modello SHALSTAB ($Q_{cr} 33^\circ$).

3.1.2.B/3.4 Conclusions

SHALSTAB model proved to be a simple valuable tool for a preliminary evaluation of relative potential of slope failure across the Miozza basin. Anyway it should be stressed that no significant results were obtained when standard hypothesis (no cohesion and 45° shear strength) are considered. Large part of the basin was categorized as unconditionally unstable.

Based on field survey data and driven by evidence of land use maps a specific set of parameters was selected (shear strength angle of 33°, soil cohesion variable in the range of 1 kPa - 2 kPa, root cohesion of 6 kPa for forest area, soil thickness in the range of 0.5 m - 1.0 m) and a considerable improvement of model performance was obtained.

The critical rainfall map was then utilised to derive a scenario of possible expansion of sediment source areas. On this base it seems interesting to outline a scenario of possible increase in sediment yield due to the potential contribution of shallow landslides.

3.1.2.B/3.4 Schlussfolgerungen

Das SHALSTAB-Modell hat sich als einfaches, aber wertvolles Hilfsmittel für eine Vorab-Einschätzung des relativen Potentials von Hangabrutsch um das Miozza-Becken erwiesen. Es sollte allerdings unterstrichen werden, dass keine signifikanten Ergebnisse erzielt werden, wenn Standardhypothesen (keine Kohäsion und 45° interne Reibung) zu Grunde gelegt werden. Ein großer Teil des Beckens wurde als uneingeschränkt instabil eingestuft.

Auf der Grundlage von Feldforschungen und Karten zur Landnutzung wurde ein besonderer Set von Parametern ausgewählt (interner Reibungswinkel von 33°, Bodenkohäsion zwischen 1 und 2 kPa, Wurzelkohäsion in Waldgebieten 6 kPa, Bodendicke zwischen 0.5 und 1.0 m). Auf diese Weise wurde eine erhebliche Verbesserung der Leistungen des Modells erreicht.

Die Karte der kritischen Niederschläge wurde dann verwendet, um ein Szenario der möglichen Expansion der Herkunftsgebiete von Sedimenten zu erstellen. Auf dieser Grundlage könnte es interessant sein, ein Szenario der möglichen Erweiterung der Sedimente durch flachgründige Rutschungen zu entwerfen.

3.1.2.B/3.4 Conclusioni

Il modello SHALSTAB ha dimostrato di essere uno strumento semplice e prezioso per una valutazione preliminare delle potenziali rotture di versante nel bacino del Torrente Miozza. Tuttavia, bisogna porre l'accento sul fatto che non si sono ottenuti risultati significativi prendendo in considerazione l'ipotesi *standard* (mancanza di coesione e angolo di resistenza al taglio di 45°): un'ampia porzione del bacino risultava infatti classificabile come incondizionatamente instabile.

Sulla base di dati derivanti da rilievi su campo e guidati dalle evidenze di una carta di uso del suolo, è stato selezionato un complesso di parametri (angolo di resistenza al taglio di 33°, coesione del suolo variabile da 1 kPa a 2 kPa, coesione della radice di 6 kPa per l'area con vegetazione ad alto fusto, spessore del suolo variabile da 0.5 m a 1.0 m), ottenendo un considerevole miglioramento della prestazione del modello.

La mappa delle precipitazioni critiche è stata quindi utilizzata per derivare uno scenario di possibile espansione delle aree sorgente di detriti. Su questa base risulta interessante evidenziare uno scenario di possibile incremento della produzione di detrito dovuto al potenziale contributo di frane superficiali.

§ 3.1.2.B/4 KANTON GRAUBÜNDEN

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Switzerland - Graubünden
Village - Ort - Comune	Schlans, Trun
Basin - Becken - Bacino	Surselva



Figure 3.1.2.B/4.1 Study area.
Figur 3.1.2.B/4.1 Investigation Area.
Figura 3.1.2.B/4.1 Area d'indagine.



Figure 3.1.2.B/4.2 Incipient crack of a shallow landslide
in the Schlans/Trun region.
Figur 3.1.2.B/4.2 Anriss einer flachgründigen Rutschung
im Gebiet Schlans/Trun.
Figura 3.1.2.B/4.2 Frattura incipiente di una frana superficiale
nella regione di Schlans/Trun.

3.1.2.B/4.1 Preliminary tasks

The Graubünden activities within the project concern shallow landslides and debris flows. During the November 2002 rainstorms in Graubünden, several landslides were triggered causing severe damages. The objective of the Graubünden project is to model the disposition of the incipient crack areas of shallow landslides, which could, in case of sufficient water inflow, develop into mud and debris flows. If these flows get into stream channels, big and far-reaching mudslides can develop and cause devastation accordingly. The great mudslides of Schlans and Trun had such an origin and generated, due to the great water inflow from the slope, debris flows that partially reached the bottom of the valley. The project aim is, on the one hand, to model the incipient crack areas of the events in 2002 with a computer simulation and, on the other hand, to model potential incipient crack areas by means of the SLIDIPS models and by integrating all available digital bases and the collection of soil characteristics.

3.1.2.B/4.1 Vorarbeiten

Das Projekt Graubünden bearbeitet die Prozesse der flachgründigen Rutschungen und Schlang- und Schuttströme. Bei den Unwettern im November 2002 in Graubünden ereigneten sich mehrere 100 Rutschungen und Hangmuren die grossen Schaden anrichteten. Das Ziel des Projekts Graubünden ist die Modellierung der Disposition der Anrissgebiete für flachgründigen Rutschungen (*soil slips*) aus denen sich bei genügend Wasserzufuhr Hangmuren entwickeln können. Gelangen diese Hangmuren in ein Gerinne können sich daraus grosse Murgänge bilden, die sehr grosse Reichweiten aufweisen und entsprechende Zerstörungen anrichten können. Die grossen Murgänge von Schlans und Trun hatten ihren Ursprung in Rutschungen ausserhalb von Gerinneabhängen und entwickelten sich mit einem grossen Wasserinput aus dem Hang zu Hangmuren, die z.T. im Gerinne bis in den Talboden vorstiessten. Im Projekt geht es darum, einerseits die Anrissgebiete der Ereignisse 2002 mit Computersimulationen nachzubilden und andererseits sollen mit dem Modell SLIDISP unter Einbezug aller verfügbaren digitalen Grundlagen und der Erfassung der Bodeneigenschaften potentielle Anrissgebiete für flachgründige Rutschungen modelliert werden.

3.1.2.B/4.1 Fasi preliminari

Durante l'evento del novembre 2002, nel Cantone dei Grigioni si sono innescate numerose frane, che hanno causato ingenti danni.

Le attività condotte nell'ambito del Progetto sono inerenti alle frane superficiali e alle colate di fango e detriti.

L'obiettivo del Progetto è individuare, mediante l'applicazione di un modello di simulazione, le aree soggette a fratturazione incipiente connessa a franamento superficiale; in corrispondenza di tali aree si possono innescare, in caso di sufficiente apporto idrico, colate di fango e detriti. Tali flussi di detrito, se si incanalano lungo i tributari minori, possono evolvere in colate imponenti che causano disastrose devastazioni, propagandosi per notevoli distanze. Le grandi frane di Schlans e Trun nel 2002 hanno avuto tale origine e, anche a causa dell'importante contributo d'acqua proveniente dai versanti, sono evolute in grandi colate di detrito che hanno raggiunto il fondovalle. Il Progetto mira da un lato a modellare a posteriori le aree soggette a fratturazione interessate dall'evento del 2002 e, in secondo luogo, a simulare le aree di fratturazione incipienti potenziali mediante l'applicazione del modello SLIDISP, integrando tutte le basi dati disponibili e i dati caratteristici relativi ai suoli, ricavati da indagini di terreno.



Figure 3.1.2.B/4.3 November 2002 Event, Grison.
Figur 3.1.2.B/4.3 November 2002 Event, Grison.
Figura 3.1.2.B/4.3 Evento del novembre 2002, Cantone dei Grigioni.



Figure 3.1.2.B/4.4 November 2002 Event, Grison.
Figur 3.1.2.B/4.4 November 2002 Event, Grison.
Figura 3.1.2.B/4.4 Evento del novembre 2002, Cantone dei Grigioni.

3.1.2.B/4.2 Activities

The aim of the first part of the study is the revision of all existing digital data. In a first step, all existing digital basic data that, in one way or another, are connected to the triggering of landslides were collected. For this, one could fall back on the following archives:

- cantonal archive (Ereigniskataster [*database for natural disasters*], road network, swampy areas, forest stand maps, register of springs);
- GEOSTAT (Geotechnical Map of Switzerland, land use in Switzerland, property of land in Switzerland, statistics of the area);
- geotechnical commission: hydrogeological map, Panixerpass, further archives: TERGESO (rainfall data event nov. 2002).

The different data sets were checked for their quality. It turned out that the complete data sets of GEOSTAT that are available in Switzerland are imaged, as a general rule, on a too small scale (max. 1:200.000). The validity of the results will be strongly limited as regards these rough input data. The data from other archives are more detailed and thus sufficient for the intended study.

From the geological bases and the forest stand maps, the input parameters for the SLIDISP model are treated and several model sequences could be carried out. The remaining data sets were classified according to their influence (according to data in literature) on the triggering of shallow landslides. We could distinguish between landslide-supporting and landslide-inhibitory factors. The factors were offset against each other via a dot matrix in a GIS. As a product, a disposition map on the scale of 1:50.000 for incipient crack areas of shallow landslides could be presented. This map is composed of the model results of SLIDISP and the GIS model results of the supporting and inhibitory factors.

A specific workshop was organized in order to dis-

3.1.2.B/4.2 Aktivitäten

Der erste Teil der Studie umfasst die Aufarbeitung aller vorhandenen digitalen Daten. In einem ersten Arbeitsschritt wurden alle vorhandenen digitalen Grundlagedaten, welche in irgendeiner Art mit der Auslösung von Rutschungen in Zusammenhang stehen, beschafft. Dabei konnte auf die folgenden Archive zurückgegriffen werden:

- Kantonsarchiv (Ereigniskataster, Wegnetz, Moorflächen, Waldbestandeskarten, Quellenverzeichnis);
- GEOSTAT (Geotechnische Karte der Schweiz, Bodennutzung der Schweiz, Bodeneignung der Schweiz, Arealstatistik);
- geotechnische Kommission: hydrogeologische Karte Panixerpass weitere Archive: TERGESO (Niederschlagsdaten Ereignis Nov. 2002).

Die verschiedenen Datensätze wurden auf ihre Güte überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die gesamtschweizerisch vorhandenen Datensätze von GEOSTAT generell in zu kleinem Massstab vorliegen (max. 1:200.000). Die Aussagekraft der Resultate wird in Anbetracht diese groben Eingabedaten stark limitiert sein. Die Daten aus den anderen Archiven detaillierter und genügen daher für die vorgesehene Untersuchung.

Aus den geologischen Datenbanken und der Waldbestandeskarte wurden die Eingabeparameter für das Modell SLIDISP aufbereitet und mehrere Modellläufe konnten durchgeführt werden. Die restlichen Datensätze wurden nach ihrem Einfluss (gemäss Literaturangaben) auf die Auflösung von flachgründigen Rutschungen klassiert. Es konnte zwischen rutschungsfördernden und rutschungshemmenden Faktoren unterschieden werden. Die Faktoren wurden über eine Punktierungsmatrix in einem GIS miteinander verrechnet. Als Produkt kann eine Dispositionskarte im Massstab 1:50.000 für

3.1.2.B/4.2 Attività

La prima parte dello studio è mirata alla revisione di tutti i dati disponibili per l'area d'indagine in formato digitale. In una prima fase sono state raccolte tutte le informazioni connesse con l'insacco di frane, consultando i seguenti archivi:

- archivio cantonale (*Ereigniskataster* [base dati relativa ai disastri naturali], infrastrutture stradali, zone acquitrinose, mappe della vegetazione ad alto fusto, catasto delle sorgenti);
- GEOSTAT (Mappa geotecnica della Svizzera, uso del suolo in Svizzera, mappa catastale, dati statistici);
- Commissione geotecnica: mappa idrogeologica, Panixerpass, altri archivi (TERGESO, dati di precipitazione dell'evento 2002).

I differenti *data set* sono stati testati per definirne la qualità. È emerso che le basi dati complete di GEOSTAT, disponibili in Svizzera, sono riprodotti in linea generale ad una scala troppo piccola (1:200.000). La validità dei risultati attraverso l'impiego di tali informazioni, sarebbe fortemente limitata, a causa dello scarso grado di dettaglio. Al contrario i dati provenienti dagli altri archivi sono più dettagliati ed adeguati alle finalità del presente studio.

I parametri d'ingresso al modello SLIDISP sono stati processati a partire dalla base geologica e dalle carte della vegetazione ad alto fusto, rendendo possibile condurre numerose serie di analisi. I *data set* rimanenti sono stati classificati secondo la loro influenza sull'insacco di frane superficiali, come da letteratura.

Si possono distinguere fattori favorevoli e fattori inibitori all'instabilità, confrontati in ambiente GIS in forma di griglie regolari di punti.

Come prodotto di tale analisi può essere predisposta una mappa in scala 1:50.000 delle aree soggette ad incipiente fratturazione connessa a franamento

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
§ 3.1.2.B/4 KANTON GRAUBÜNDEN

cuss the procedure and the quality of the results.

In the second step, the existing input data sets (geology and land use) were replaced by more precise data from a detailed geological mapping and a soil mapping. In addition to this, the exclusion of supporting and inhibitory factors was specified.

With the new data sets arising from new field studies, for two detailed regions within a study perimeter a new disposition map on a scale of 1:25.000 was generated.

Anrissbereiche von flachgründigen Rutschungen präsentiert werden. Diese Karte setzt sich aus den Modellresultaten von SLIDISP und den GIS Modellresultaten der Förder- und Hemmfaktoren zusammen.

Anlässlich eines Workshops wurde das Vorgehen diskutiert und die Resultate auf ihre Güte überprüft.

Im zweiten Arbeitsschritt wurden die bestehenden Inputdatensätze (Geologie und Bodennutzung) durch genauere Daten aus einer detaillierten geologischen Kartierung und einer Bodenkartierung ersetzt. Zudem wurde die Ausscheidung von Förder- und Hemmfaktoren verfeinert.

Mit den neuen, aus Felduntersuchungen stammenden Datensätzen wurde für zwei Detailgebiete innerhalb des Untersuchungsperimeters eine neue Dispositionskarte im Massstab 1:25.000 generiert.

superficiale, in cui sono rappresentati i risultati del modello SLIDISP e del modello GIS relativo ai fattori di supporto e inibitori.

In occasione di un *workshop* è stata discussa la procedura ed è stata testata la qualità dei risultati.

In una seconda fase le basi dati preesistenti utilizzate in ingresso al modello (geologia e uso del suolo) sono stati sostituiti con dati più precisi derivanti da mappe a maggiore grado di dettaglio, non considerando i fattori favorevoli ed inibitori.

Con i nuovi dati derivanti da rilievi di dettaglio, per due aree specifiche poste all'interno dell'area d'indagine, è stata predisposta una nuova mappa alla scala 1:25.000.

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
 § 3.1.2.B/4 KANTON GRAUBÜNDEN

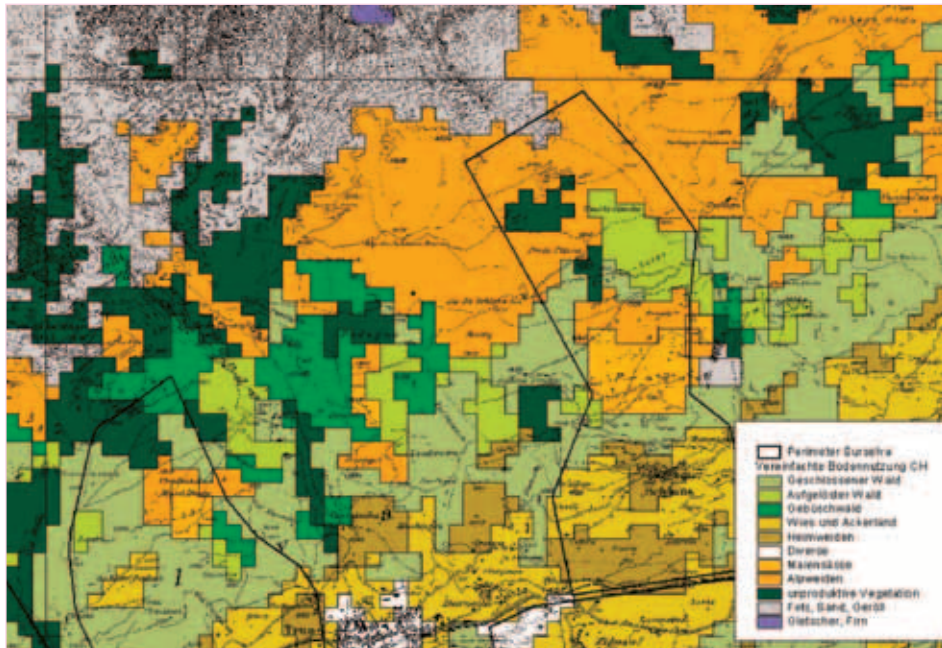


Figure 3.1.2.B/4.5 Example of base data; simplified map of the land use in Switzerland (GEOSTAT).

Figur 3.1.2.B/4.5 Beispiel von Grundlagedaten, Karte der vereinfachten Bodennutzung der Schweiz (GEOSTAT).
 Figura 3.1.2.B/4.5 Esempio di dati di base; mappa semplificata dell'uso del suolo in Svizzera (GEOSTAT).

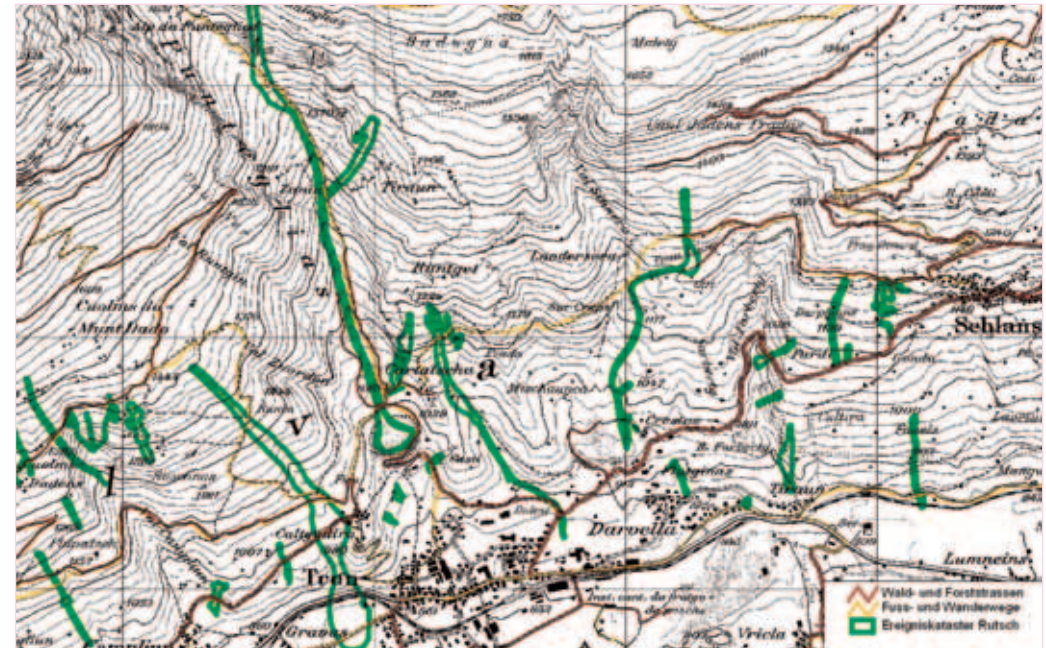


Figure 3.1.2.B/4.6 Events in november 2002 (green) in a situation with highlighted forest roads.

Figur 3.1.2.B/4.6 Ereignisse November 2002 (grün) auf einer Situation mit hervorgehobenen Wald- und Forststrassen.
 Figura 3.1.2.B/4.6 Inneschi nel novembre 2002 (in verde) con le piste forestali in evidenza.

3.1.2.B/4.3 Results

The results of the preliminary study are not applicable for a scale of 1:50.000. For such a scale the input parameters are too imprecise (geology 1:200.000, soil 1:500.000). With the help of detailed studies (field mapping on a scale of 1:5.000 of geology and soil), very precise input parameters could be determined. The validity of the disposition map for shallow landslides on a scale of 1:10.000 was thus significantly improved.

The detailed studies show that the assessment of incipient crack regions for shallow regions must inevitably take into account pedological aspects. On account of the pedological data in two detailed perimeters, the sliding horizons of many shallow landslides of November 2002 were determined. The modelling with SLIDISP was carried out both with the detailed geological input parameters and the parameters that could be derived from the soil mapping. It turned out that in the study area, significantly better results could be achieved with the input parameters derived from the soil mapping.

3.1.2.B/4.3. Ergebnisse

Die Resultate der Vorstudie sind auf einen Masstab 1:50.000 nicht anwendbar. Dazu sind die Eingangsparemeter zu ungenau (Geologie 1:200.000, Boden 1:500.000). Anhand der Detailuntersuchungen (Feldkartierungen im Masstab 1:5.000 von Geologie und Boden) konnten sehr genaue Eingangsparemeter festgelegt werden. Damit wurde die Aussagekraft der Dispositionskarte für flachgründige Rutschungen im Masstab 1:10.000 deutlich verbessert.

Die Detailuntersuchungen zeigen, dass bei der Beurteilung von Anrissgebieten flachgründiger Rutschungen unbedingt pedologische Aspekte berücksichtigt werden müssen. Anhand der bodenkundlichen Aufnahmen in zwei Detailperimetern konnten die Gleithorizonte vieler flachgründiger Rutschungen vom November 2002 eruiert werden. Die Modellierung mit SLIDISP wurde sowohl mit den detaillierten geologischen Inputparametern als auch mit den aus der Bodenkartierung abgeleiteten Parametern durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass im Untersuchungsgebiet deutlich bessere Resultate mit den aus der Bodenkartierung abgeleiteten Inputparametern erreicht werden.

3.1.2.B/4.3 Risultati

I risultati dello studio preliminare non sono utilizzabili alla scala 1:50.000 in quanto i dati in ingresso al modello sono troppo imprecisi (geologia 1:200.000 e uso del suolo 1:500.000). Con l'ausilio di studi di dettaglio alla scala 1:5.000 relativi a geologia e uso del suolo, sono stati definiti parametri in ingresso decisamente più precisi. Con tali parametri è stata perfezionata in modo significativo la validità di una mappa della predisposizione nei confronti dell'innesco di frane superficiali, alla scala 1:10.000.

Gli studi di dettaglio indicano che l'individuazione delle aree potenzialmente soggette a fratturazione incipiente, connessa a franamento superficiale, deve necessariamente considerare gli aspetti pedologici. Tenendo conto dei dati pedologici, in due siti sono stati individuati i piani di scivolamento di molti dei fenomeni franosi che si sono verificati nel novembre del 2002. La modellazione con SLIDISP è stata condotta a partire dai parametri geologici di dettaglio e dai parametri derivanti dalle mappe del suolo. L'utilizzo di parametri in ingresso derivanti da mappe del suolo porta a risultati decisamente più significativi.

Physically based modelling of the triggering of rapid evolution shallow landslides
§ 3.1.2.B/4 KANTON GRAUBÜNDEN

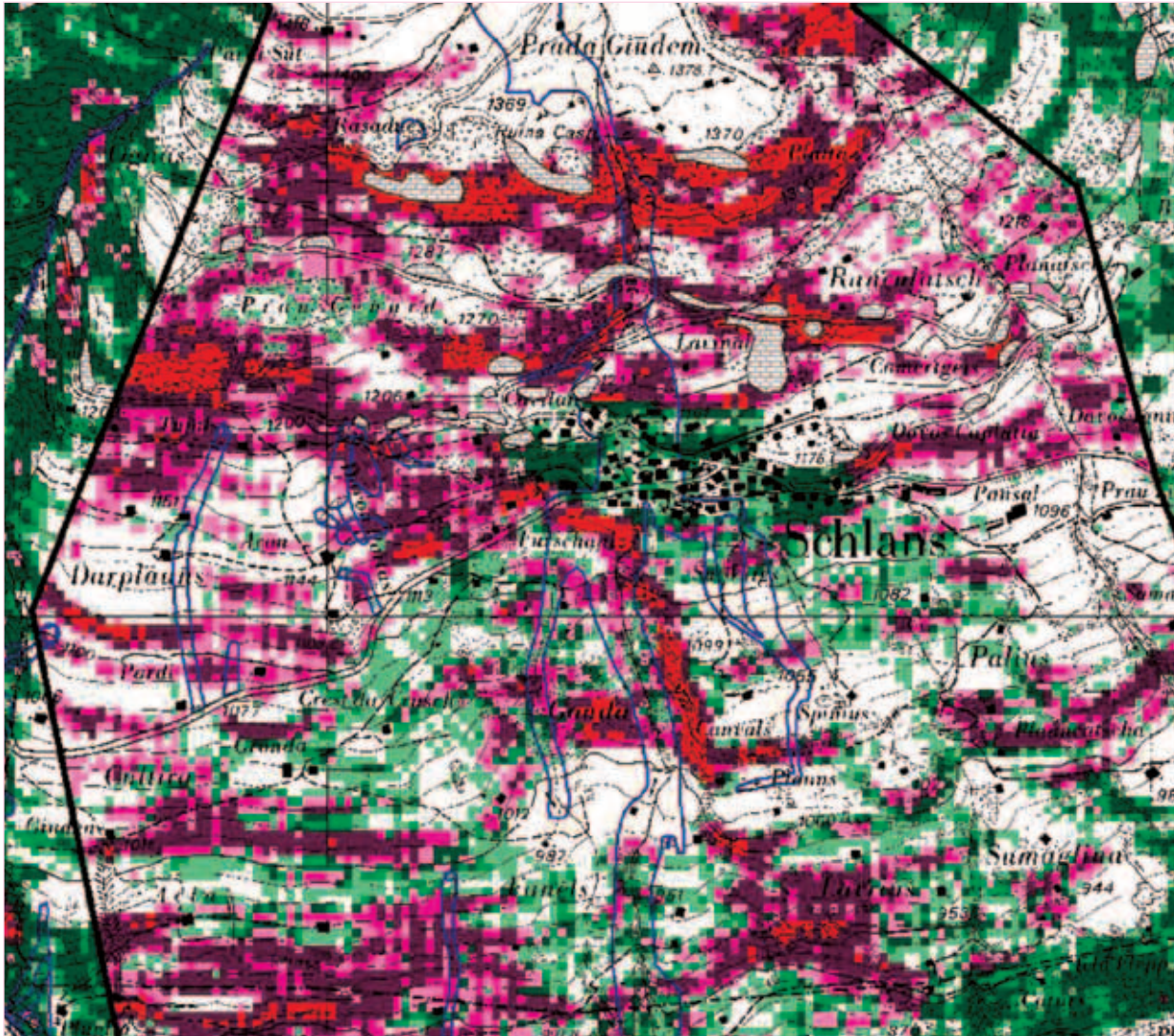


Figure 3.1.2.B/4.7 Disposition map of the incipient crack areas of shallow landslides. Red: incipient crack regions after the modelling with soil parameters. Green: areas which were also unstable after the modelling with rough input parameters. The map shows that, with the use of the soil parameters, a significant improvement could be achieved.

Figur 3.1.2.B/4.7 Dispositions-karte der Anrissbereiche flachgründiger Rutschungen. Rot: Anrissbereiche nach Modellierung mit Bodenparametern. Grün: Bereiche, welche nach der Modellierung mit groben Inputparametern ebenfalls instabil waren. Die Karte zeigt, dass mit dem Einsatz der Bodenparametern eine deutliche Verbesserung erreicht wurde.

Figura 3.1.2.B/4.7 Mappa della disposizione delle aree soggette a fratturazione connessa all'innescò di frane superficiali. In rosso: aree soggette a fratturazione secondo la modellazione condotta con i parametri del suolo. In verde: aree anch'esse instabili secondo la modellazione che ha dati in ingresso di scarsa precisione. La carta mostra come, attraverso l'uso dei parametri del suolo il risultato è decisamente migliore.

3.1.2.B/4.4 Conclusions

The studies show that for the demarcation of incipient crack areas of shallow landslides on a scale of 1:10.000, detailed basic data must be available. For this, detailed geological data are as important as pedological information.

In the Surselva, shearing parameters derived from the pedological map gave models more plausible than those based on geological information.

Currently, further studies are in progress focussing on the pedological aspects.

Furthermore, the assumption that uncontrolled dehydration of forest roads and hiking trails decisively influence the triggering of events could not yet been confirmed. Further studies in the framework of diploma theses (e.g. colouring tests for the determination of the activity area of road dehydration that have been disregarded) are also planned.

3.1.2.B/4.4 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zeigen, dass für die Abgrenzung von Anrissbereichen flachgründiger Rutschungen im Massstab 1:10.000 genaue Grundlagedaten vorhanden sein müssen. Detaillierte geologische Karten sind dabei ebenso wichtig wie pedologische Informationen. In der Surselva konnte anhand der aus der pedologischen Karte abgeleiteten Scherparameter die plausibleren Modellresultate erzielt werden, als mit den geologischen Informationen. Zur Zeit sind weitere Untersuchungen mit Schwerpunkt auf den pedologischen Aspekten im Gang.

Im Weiteren konnte die Vermutung, dass die unkontrollierte Entwässerungen von Forststrassen und Wanderwegen einen entscheidenden Einfluss auf die Auslösung der Ereignisse haben, bis anhin nicht bestätigt. Weitere Untersuchungen im Rahmen von Diplomarbeiten (z.B. Färbversuche zur Bestimmung des Wirkungsraumes von ungefassten Strassenentwässerungen) sind ebenfalls geplant.

3.1.2.B/4.4 Conclusioni

Lo studio condotto mostra come per l'individuazione a scala 1:10.000 delle aree soggette a fratturazione connessa a franamento superficiale devono essere disponibili basi dati dettagliate. Per questo i dati geologici di dettaglio sono importanti così come le informazioni pedologiche. Nell'area del bacino di Surselva, per mezzo dei parametri di resistenza al taglio derivanti dalle mappe pedologiche, i risultati del modello sono più plausibili di quelli conseguiti utilizzando le sole informazioni geologiche; attualmente sono in corso ulteriori studi focalizzati sugli aspetti pedologici.

APPENDIX 1 Propaedeutical analysis: pedological survey

Definition

Pedology is a branch of earth science which studies the soil and the processes of transformation of the surface of the earth. A pedological survey responds to two demands: on the one hand to identify homogeneous areas from the pedological/land formation point of view and analyse the spatial distribution of the main pedological categories (units of soil types), in relation to other environmental components, and on the other to provide numeric data (measurements and/or estimates) to input into stability models.

Aims

The aim of a pedological survey is to identify basic land units and estimate the values of a number of input parameters for mechanical/hydrological models. To this end the typical pedological parameters required are permeability, soil thickness and effective cohesion. With regards to the latter variable, the pedological approach is able to evaluate the cohesion of individual soil horizons, by means of direct observation of the density and development of plant roots, but these data are difficult to measure and are to be estimated in relative terms (categories) rather than absolute terms.

Potential

In this project pedological studies, when integrated with geological and geomorphological surveys, basically represent a support to stability models. Surveys are carried out in limited sample areas and are integrated with a series of toposequences and/or transects from outside the area which enable the information gathered to be extended to

ANHANG 1 Propädeutische Analysen: das pädologische Relief

Definition

Die Pädologie ist eine Unterabteilung der Geowissenschaften, die sich mit dem Boden und den Transformationsprozessen der Erdoberfläche beschäftigt. Die pädologische Untersuchung erfüllt einen doppelten Zweck: zum einen soll sie pädologisch-landschaftlich homogene Gebiete herausarbeiten und in deren Inneren die räumliche Verteilung der wichtigsten pädologischen Typen (typologische Bodeneinheiten) in Relation zu den anderen Umweltkomponenten analysieren, zum anderen soll sie numerische Daten (gemessen oder geschätzt) für die Größen liefern, die als Eingangsvariablen für Stabilitätsmodelle fungieren.

Ziel

Die pädologische Reliefbildung hat die Definition von Grundeinheiten des Geländes als Referenzen zum Ziel, ferner die Einschätzung der Werte für einige Eingangsparameter für mechanisch-hydrologische Modelle. Zu diesem Zweck sind die für die Bearbeitung typischerweise nötigen pädologischen Parameter Durchlässigkeit und Sättigung, die Mächtigkeit der Bodendecke und die wirksame Kohäsion. Für diese letzte Variable kann die pädologische Methode Einschätzungen über die Kohäsion der einzelnen Bodenhorizonte liefern. Dazu wird die Dichte und die Entwicklung des Wurzelwerks der Pflanzen beobachtet, wobei es sich allerdings um schwer zu messende Daten handelt, die eher relativ als absolut einschätzbar sind.

Potentialität

In diesem Projekt dient die angemessen mit den geologischen und geomorphologischen Daten in

APPENDICE 1 Analisi propedeutiche: il rilievo pedologico

Definizione

La pedologia è una branca delle Scienze della Terra che si occupa dello studio del suolo e dei processi di trasformazione della superficie terrestre. L'indagine pedologica risponde ad una duplice esigenza: da un lato individuare aree omogenee da un punto di vista pedo-paesaggistico ed analizzare al loro interno la distribuzione spaziale delle principali tipologie pedologiche (unità tipologiche di suolo), in relazione alle altre componenti ambientali; dall'altro fornire dati numerici (misurati e/o stimati) delle grandezze che entrano come variabili di ingresso a modelli di stabilità.

Finalità

Il rilevamento pedologico ha come obiettivo la definizione delle unità di terre elementari di riferimento e la stima dei valori di alcuni parametri di ingresso per modelli meccanico-idrologici; a questo particolare scopo i parametri tipicamente pedologici richiesti per l'elaborazione sono la permeabilità a saturazione, lo spessore della copertura e la coesione efficace. Per quest'ultima variabile, l'approccio pedologico è in grado di fornire valutazioni sulla coesione dei singoli orizzonti del suolo, attraverso l'osservazione diretta della densità e dell'andamento degli apparati radicali delle piante; si tratta però di dati difficili da misurare e stimabili in termini relativi (classi) piuttosto che assoluti.

Potenzialità

Nel presente progetto lo studio pedologico, opportunamente integrato con i rilievi geologici e geomorfologici, è essenzialmente di supporto a modelli di stabilità; il rilievo è concentrato in aree campione di

the entire area being studied, with a satisfactory level of accuracy.

Limits

This type of study is expensive and lengthy; the spatialisation of pedological information using semi-automatic procedures involves a margin of approximation in the definition of group types for areas not directly explored.

Activities

The work involves the following steps:

- preliminary bibliographical research;
- preliminary photointerpretation, which includes physiographic photointerpretation and photointerpretation of land use, giving rise to a map of Land Units and a map of Land Cover;
- pedological survey. This is carried out in three stages: 1) field observations with the purpose of calibrating the cartography derived from photointerpretation with an initial pedological characterisation (description of local characteristics of observation points and surface soil horizons); 2) description of slopes; bore samples using a hand bore; systematic survey alternating field observations and the description of pedological profiles in order to characterise and verify soil type units and their properties; 3) control and verification survey with field hydrological testing.

Appropriate professional figures

Surveying is a multi-disciplinary activity which requires geologists and soil analysts to integrate their work in order to provide the exhaustive quantitative responses that the simulation model requires.

Beziehung gesetzte pädologische Untersuchung zur Unterstützung der Stabilitätsmodelle. Das Relief konzentriert sich auf Modellgebiete mit geringer Ausdehnung. Es wird von einer Reihe von Toposequenzen beziehungsweise externen *Transects* integriert, durch die die erfassten Daten mit einem zufriedenstellenden Zuverlässigkeitsgrad auf das ganze Gebiet übertragen werden können.

Grenzen

Die Untersuchung dauert lange und bringt hohe Kosten mit sich; Die räumliche Einteilung der punktuellen pädologischen Informationen über halbautomatische Abläufe bringt es bei der Definition von Typologien für die nicht direkt erforschten Gebiete mit sich, dass einige Ergebnisse nur Näherungswerte bleiben.

Aktivitäten

Das Vorgehen gliedert sich in folgende Phasen:

- bibliografische Recherche zur Vorbereitung;
- vorbereitende Auswertung von Fotos, vor allem im Hinblick auf Physiografie und Bodennutzung. Daraus abgeleitet werden eine Karte der Geländeeinheiten (*Land Units*) und eine Karte der Geländedecke (*Land Cover*);
- pädologische Reliefbildung. Sie hat drei aufeinander folgende Momente: 1) Beobachtungen vor Ort. Damit soll die Karte, die durch die Auswertung der Fotos erstellt wurde, durch pädologische Merkmale ergänzt werden (Beschreibung der stationären Eigenschaften und der oberflächlichen Horizonte des Bodens); 2) Beschreibung von Abhängen, Durchführung von Probebohrungen mit Handbohrern; die systematische Relieferstellung, bei der sich Beobachtungen vor Ort mit Beschreibungen der pädologischen Profile zur Charakterisierung und Prüfung der typologischen Einheiten des Bodens und seiner

estensione limitata ed è integrato da una serie di toposequenze e/o *transect* ad esse esterne, che permettono di estendere le informazioni acquisite a tutta l'area di indagine con un grado di attendibilità soddisfacente.

Limiti

Lo studio implica tempi e costi elevati; la spazializzazione delle informazioni puntuali relative a tipo pedologico attraverso procedure semiautomatiche comporta un margine di approssimazione nella definizione del gruppo tipologico per le aree non esplorate direttamente.

Attività

Il lavoro prevede le seguenti fasi:

- ricerca bibliografica preliminare;
- fotointerpretazione preliminare, che comprende la fotointerpretazione fisiografica e la fotointerpretazione di uso del suolo, da cui derivano la Carta delle Unità di Terre (*Land Units*) e la Carta della Copertura delle Terre (*Land Cover*);
- rilevamento pedologico. Si svolge in tre momenti successivi: 1) osservazioni speditive con la funzione di calibrare la cartografia derivata dalla fotointerpretazione con una prima caratterizzazione pedologica (descrizione dei caratteri stazionali e degli orizzonti superficiali del suolo); 2) descrizione di scarpate; esecuzione di trivellate con trivella manuale; rilevamento sistematico in cui le osservazioni speditive sono alternate alla descrizione di profili pedologici per la caratterizzazione e la verifica delle unità tipologiche di suolo con le loro proprietà; 3) rilevamento di verifica e controllo, con esecuzione delle analisi idrologiche di campo.

Figure professionali idonee

Il rilevamento è un'attività multidisciplinare in cui le figure professionali del geologo e dell'analista pedo-

Eigenschaften ergänzen; 3) Reliefbildung zur Prüfung und Kontrolle, mit Durchführung von hydrologischen Untersuchungen vor Ort

Geeignete Berufsbilder

Die Reliefbildung ist eine multidisziplinäre Tätigkeit, in die sich Geologen und pädologische Analyseexperten einfügen müssen, um die quantitativen Anforderungen des Simulationsmodells erfüllen zu können.

logo devono integrarsi per potere rispondere in maniera esauriente alle richieste di tipo quantitativo che il modello di simulazione richiede.

Propaedeutical analysis: pedological survey
§ APP1/1 CANTON TICINO

§ APP1/1 CANTON TICINO

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione Switzerland – Canton Ticino
Village - Ort - Comune Quinto
Basin - Becken - Bacino Ticino



Figure APP1/1.1 Geographic context.
Figur APP1/1.1 Geografische Übersicht.
Figura APP1/1.1 Inquadramento geografico.

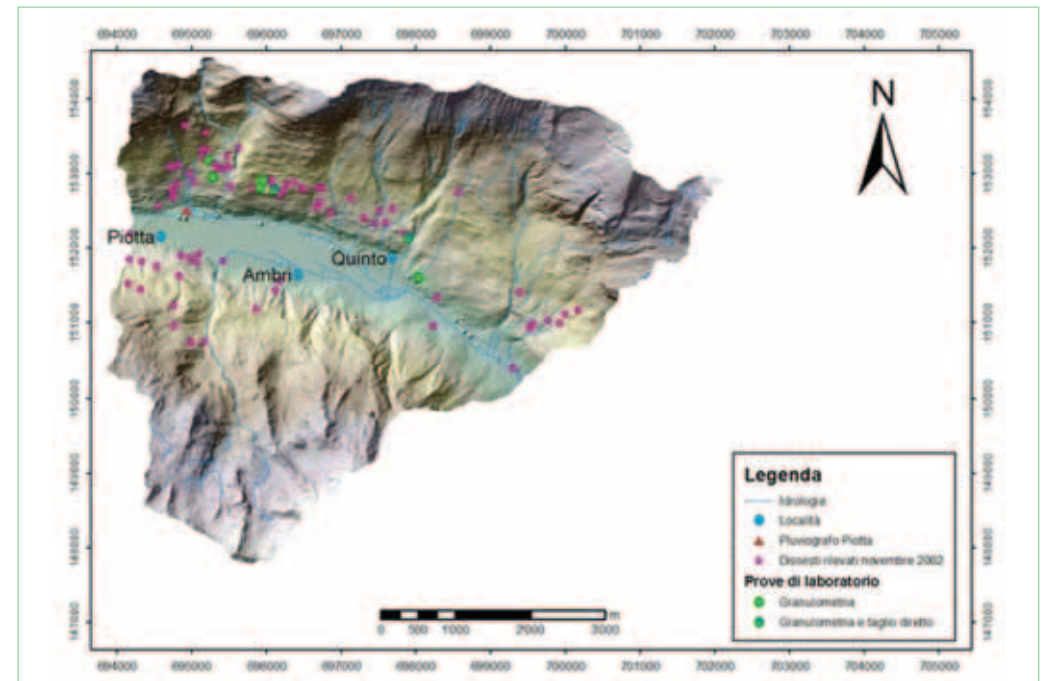


Figure APP1/1.2 Location of samples taken for laboratory testing.
Figur APP1/1.2 Lokalisierung der Probenahmen für die Laboranalysen.
Figura APP1/1.2 Localizzazione dei prelievi di campioni per le prove di laboratorio.

APP1/1.1 Activities

The following activities were carried out:

- in situ determination of uniaxial compressive strength and shear strength using penetrometer and vane pocket test (VSS 670350 norm);
 - field samples;
 - particle size analysis with sieving (VSS 670810) and sedimentation (VSS 670816);
 - determination of limits of consistency (VSS 670345);
 - identification of terrains (VSS 670008);
 - determination of typical parameters (VSS 670010);
- direct shear strength tests.

APP1/1.1 Aktivitäten

Die folgenden Aktivitäten wurden ausgeführt:

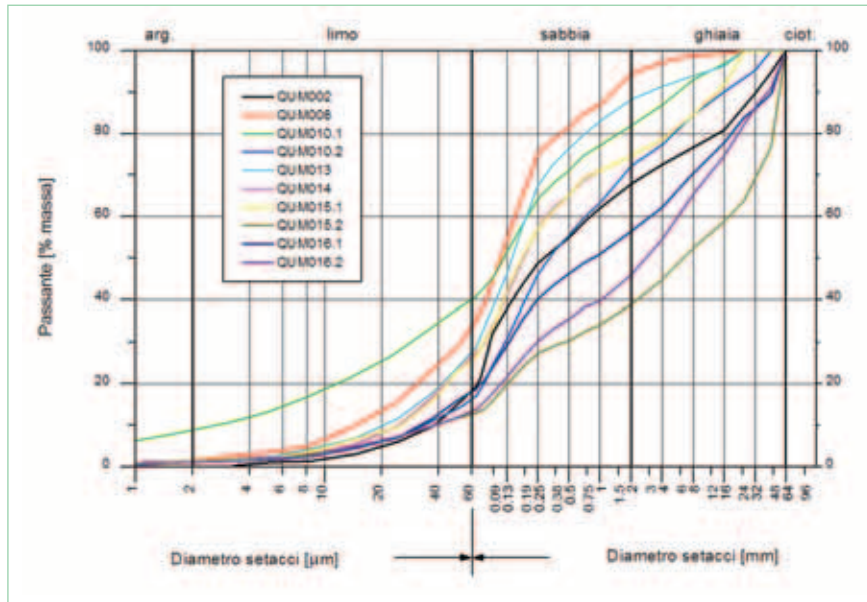
- In-situ Bestimmung der Druck- und Scherfestigkeit mittels Taschenpenetrometer und -flügelsonde (Norm VSS 670350);
- Probenentnahme im Feld;
- Analyse der Korngrößenverteilung mittels Siebanalyse (VSS 670810) und Aräometermethode (VSS 670816);
- Bestimmung der Konsistenzgrenzen (VSS 670345);
- Identifikation der Lockergesteine (VSS 670 008);
- Bestimmung von typischen Lockergesteinsparameter (VSS 670010);
- Direkter Scherversuch (ASTM D 3080).

APP1/1.1 Attività

Sono state condotte le seguenti attività:

- determinazione *in situ* della resistenza alla compressione e della resistenza al taglio tramite penetrometro e scissometro tascabile (norma VSS 670350);
- prelievo dei campioni sul terreno;
- analisi granulometrica tramite setacciatura (VSS 670810) e sedimentazione (VSS 670816);
- determinazione dei limiti di consistenza (VSS 670345);
- identificazione dei terreni (VSS 670008);
- determinazione dei parametri tipici (VSS 670010);
- prove di taglio diretto.

Propaedeutical analysis: pedological survey
§ APP1/1 CANTON TICINO



Set	c'	z	g	f	k
	[kPa]	[m]	[kN/m ³]	[°]	[m/s]
Valore unitario	5	0.5	2.2	39	$2 \cdot 10^{-4}$
Valore distribuito sulle unità elementari	1 - 12	0 - 1.2	2.2	38 - 45	$2 \cdot 10^{-4}$

Figure APP1/1.3 Particle size distribution curves of the samples.
Figura APP1/1.3 Kornverteilungskurven der Proben.
Figura APP1/1.3 Curve granulometriche dei campioni.

Figure APP1/1.4 Typical parameters for an SM soil (silty sand).
Figur APP1/1.4 Typische Parameter für ein Lockergestein SM
(Siltiger Sand).

Figura APP1/1.4 Parametri tipici per un suolo di tipo SM (sabbia limosa).

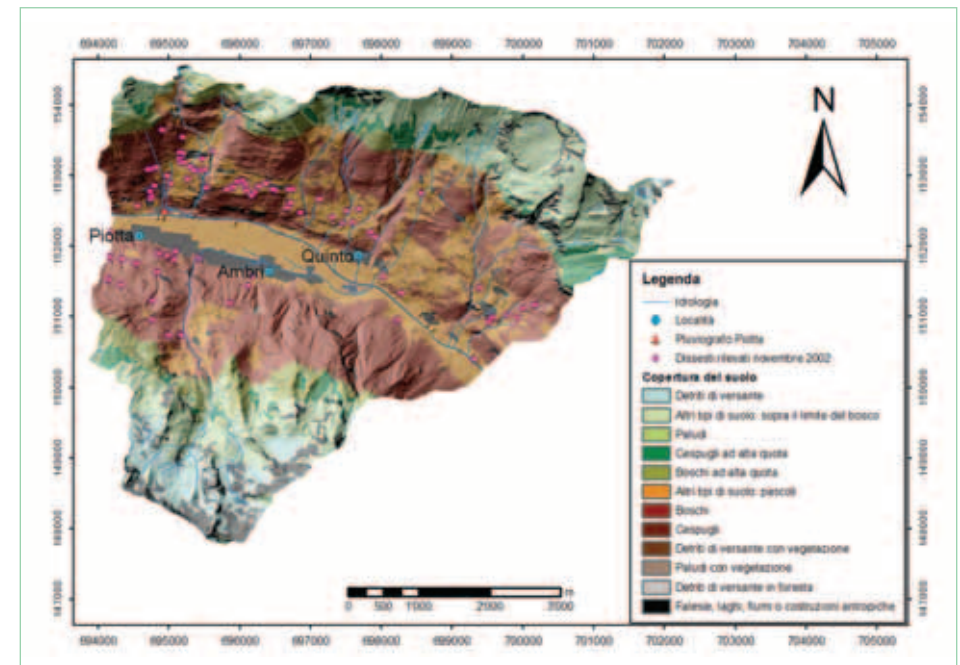


Figure APP1/1.5 Soil classification.
Figur APP1/1.5 Lockergesteinsklassifikation.
Figura APP1/1.5 Classificazione dei suoli.

APP1/1.2 Results

Results were obtained using typical coefficients for the terrains surveyed using the norm VSS 670010 for soils which have undergone landslides, while for the remaining types of soils (wooded, undergrowth, slope debris, surface outcrops of rock) the data available in the literature were used.

APP1/1.2 Ergebnisse

Das Lockergesteinsmaterial der Rutschungen wurde im Labor untersucht, die entsprechenden Parameter wurden aus der Norm VSS 670010 entnommen. Für die verbleibenden Bodentypen (Wald, Unterholz, Hangschutt und anstehendes Gestein) wurden Literaturdaten verwendet.

APP1/1.2 Risultati

I risultati sono stati ottenuti utilizzando i coefficienti caratteristici dei terreni rilevati dalla norma VSS 670010 per i suoli che hanno avuto dissesti, mentre per i tipi di suolo restanti (bosco, boscaglia, detrito di versante, roccia affiorante) sono stati utilizzati i dati disponibili in letteratura.

§ APP1/2 REGIONE LOMBARDIA

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy - Lombardia
Village - Ort - Comune	Zone, Marone (BS)
Basin - Becken - Bacino	Bagnadore
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Bagnadore

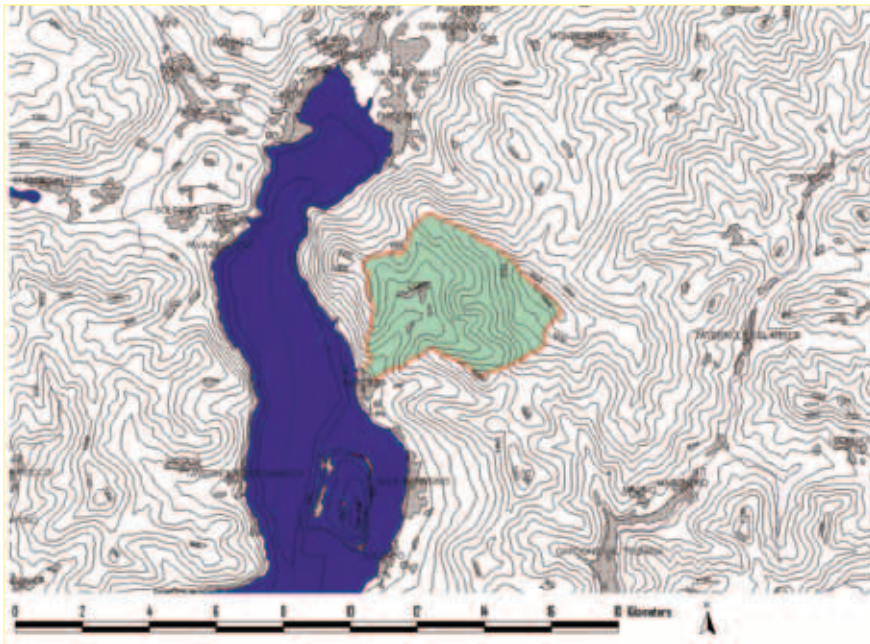


Figure APP1/2.1 Geographical context of the Bagnadore Torrent catchment (BS).
Figur ANHANG1/2.1 Geografische Umgebung des Bagnadore-Beckens (Provinz Brescia).
Figura APP1/2.1 Inquadramento geografico del bacino del Torrente Bagnadore (BS).

APP1/2.1 Preliminary tasks

In order to apply a model to evaluate erosion risks we identified 10 potential catchments in the foothills of the Alps. Starting with the typical conditions of the pre-Alpine area, with a prevalence of wooded cover and carbonate bedrock, we opted for areas with branched hydrographic networks without great anomalies. The main characteristics of these catchments were calculated starting from geological information (on a scale of 1:250.000) and land use, and from the Digital Elevation Model on a 40 x 40 m² grid. From the ten catchments identified at the initial stage, we selected the catchment area of the Bagnadore torrent in the province of Brescia, east of the Iseo Lake (Figure APP1/2.1).

The model for evaluating erosion risk that was chosen considers both static factors which influence mass erosion, and dynamic factors connected to heavy rainfalls, with an estimate of potential infiltration and run-off. This model also requires parameters regarding soil and sub-strate which can either be directly measured in situ or calculated indirectly later: 1) soil/debris type, 2) soil depth, 3) level of impermeability or lesser permeability, and 4) hydrological group.

APP1/2.1 Vorarbeiten

Um ein Modell zur Einschätzung von Erosionsrisiken aufstellen zu können, wurden im Voralpengebiet 10 verwendbare Becken ausgesucht. Abgesehen von den typischen Bedingungen des Voralpengebietes mit seinen Wäldern und kohlenstoffhaltigen Unterschichten wurden solche Umgebungen mit verzweigten hydrografischen Netzen ohne zu große Anomalien bevorzugt. Von diesen Becken wurden die wichtigsten Eigenschaften auf der Grundlage der Karten zur Information über Geologie (1:250.000) und Bodennutzung berechnet, ferner unter Zuhilfenahme des Digitalen Geländemodells mit einer Rasterdichte von 40 x 40 m². Von den 10 zur Verfügung stehenden Becken wurde am Ende das des Flusses Bagnadore in der Provinz Brescia ausgewählt, im Osten des oberen Iseo-Sees. (Figur ANHANG1/2.1).

Das geplante Modell zur Einschätzung des Erosionsrisikos berücksichtigt statische Faktoren, die einen Einfluss auf die Massenerosion ausüben, ebenso wie dynamische Faktoren, die in Verbindung mit starken Niederschlägen stehen und vor allem die potenzielle Infiltration und das Abflusspotenzial betreffen. Dieses Modell erfordert als Input auch Parameter über den Boden und den Unterboden, und zwar sowohl solche, die direkt vor Ort messbar sind, als auch solche, die später berechnet werden: 1) die Art des Bodens (*soil/debris type*); 2) die Tiefe des Bodens; 3) die Durchlässigkeitsstufe; 4) die hydrologische Gruppe.

APP1/2.1 Fasi preliminari

Al fine di applicare un modello di valutazione del rischio di erosione sono stati individuati in ambiente prealpino 10 bacini potenzialmente utilizzabili. A partire dalle condizioni tipiche dell'ambito prealpino, con prevalenza di coperture a bosco e substrati carbonatici, sono stati privilegiati ambienti con reticoli idrografici ramificati privi di forti anomalie. Di tali bacini sono state calcolate le caratteristiche salienti a partire dagli strati informativi *geologia* (scala 1:250.000) e *uso del suolo* e dal Modello Digitale del Terreno a maglia 40 x 40 m². Tra i dieci bacini individuati nella fase iniziale è stata scelta l'area del bacino del torrente Bagnadore, in provincia di Brescia, ad est dell'alto Lago d'Iseo (Figura APP1/2.1).

Il modello di valutazione del rischio di erosione che si intende applicare prende in considerazione sia i fattori statici che influenzano l'erosione in massa, sia quelli dinamici legati alle piogge intense attraverso la stima dell'infiltrazione potenziale e del deflusso. Tale modello richiede come *input* anche parametri relativi al suolo e al sottosuolo sia direttamente rilevabili in campo sia calcolati indirettamente a posteriori: 1) il tipo di suolo (*soil/debris type*), 2) la profondità del suolo, 3) il livello impermeabile o meno permeabile, 4) il gruppo idrologico.

APP1/2.2 Activities

Compared to initial estimates, we discovered that pedological information must be strictly integrated with the geology of surface materials, and with observations and specific surveys to study deeper deposits. With regards to the measurements made and data collected, we were obliged to abandon the direct measurements which were initially planned for a number of parameters (for example apparent density and saturation conductivity), as these can only be evaluated in particular conditions.

With regards to the use of the data collected we decided to adopt a strategy of correlating similar but independent sets of data, in the case of strictly pedological interpretation, and for the interpretation of data for the application. In both cases the spatialisation of the information into types and groups was carried out according to the similarity of static characteristics, evaluated at every point on a grid with a 20 m mesh.

The results were attributed to entire cartographic units of the soilscape, so as to extend them to wider areas which were judged to be sufficiently homogeneous. In some cases, however, it may be preferable to use spatialisation of data without re-applying the data to land unit polygons.

Processing the strata and preliminary analyses

In order to analyse the area and cartography of the soilscape in the sample catchment we used thematic, geological, morphological and land use data. From the analysis of the strata and photointerpretation we created a map of Land Units. In particular we evaluated the relation between detailed geological cartography (maps of formations and facies of quaternary deposits), land use cartography, vegetation and morphology (elevations, hills, local relief) from a 20 x 20 m² Digital Elevation Model. Finally, ortho-images pro-

APP1/2.2 Aktivitäten

Angesichts der Vorhersagen wurde festgestellt, dass die pädologische Information mit den geologischen Informationen über die oberflächlichen Materialien abgeglichen werden muss, sowie mit Beobachtungen und Studien über die tieferen Ablagerungen. Im Hinblick auf die Messungen und die erhobenen Daten musste auf die direkte Bewertung einiger ursprünglich vorgesehenen Parameter verzichtet werden (zum Beispiel die scheinbare Dichte und die gesättigte Leitfähigkeit), die nur in besonderen Situationen einschätzbar sind. Was die Verarbeitung der erhobenen Daten betrifft, sollen für die pädologische Interpretation im engen Sinn und für die Interpretation der Daten im Hinblick auf die Verwendung Strategien zur Korrelierung von ähnlichen, aber autonomen Daten angewandt werden. In beiden Fällen ist die Aufteilung der Informationen nach Typen und Gruppen durch die Ähnlichkeit der Eigenschaften zustande gekommen, die an jedem Punkt eines Rasters von 20 m Seitenlänge bewertet wurden.

Die Ergebnisse wurden kartografischen Einheiten der pädologischen Landschaft zugewiesen, so dass sie auch auf größere Landstriche übertragen werden können, die als ausreichend homogen angesehen werden können. In einigen Fällen kann es von Vorteil sein, die punktuelle Raumeinteilung der Daten zu verwenden, ohne eine Neuzuweisung an die Mehrecke der Landschaftseinheiten vorzunehmen.

Ausarbeitung der thematischen Schichten und vorausgehende Analysen

Für die Analyse des Terrains und die Kartografierung der pädologischen Landschaften des Untersuchungsbeckens wurden thematische, geologische und morphologische Daten sowie solche über die Bodennutzung verwendet. Aus der Analyse der

APP1/2.2 Attività

Rispetto alle previsioni iniziali si è constatato che l'informazione pedologica deve essere fortemente integrata con la geologia dei materiali superficiali e con osservazioni e indagini apposite per lo studio dei depositi più profondi. Riguardo alle misure e ai dati rilevati, si è dovuto rinunciare a valutazioni dirette di alcuni parametri inizialmente preventivati (ad esempio densità apparente e conducibilità satura), valutabili solo in situazioni particolari.

Riguardo all'utilizzazione dei dati rilevati si è scelto di adottare strategie di correlazione dei dati simili ma autonome nel caso della interpretazione pedologica in senso stretto e in quello della interpretazione dei dati derivati di interesse applicativo. In entrambi i casi la spazializzazione delle informazioni puntuali in *tipi* e *gruppi* è avvenuta per mezzo della similitudine dei caratteri stazionali, valutati in ogni punto di una griglia a maglia di 20 m di lato.

I risultati sono stati attribuiti ad intere unità cartografiche del pedopaesaggio, così da estenderli a paesaggi più ampi e ritenuti comunque sufficientemente omogenei. In qualche caso, tuttavia può essere preferibile utilizzare la spazializzazione puntuale dei dati senza riattribuzione ai poligoni delle unità di paesaggio.

Elaborazione degli strati tematici e analisi preliminari

Per l'analisi del territorio e la cartografia dei pedopaesaggi del bacino campione si sono utilizzati dati di carattere tematico, geologico, morfologico e di uso del suolo. Dall'analisi degli strati tematici e da fotointerpretazione è stata ricavata la carta delle Unità di Terre. In particolare sono stati valutati gli effetti delle relazioni tra cartografia geologica di dettaglio (carte delle formazioni e delle *facies* dei depositi quaternari), cartografia dell'uso del suolo e vegetazione e morfologia (quote, clivometria, energia del rilievo) da Modello Digitale del Terreno 20 x 20 m². Infine sono

jected in 3-D on the Digital Land Model, were examined. In order to describe the landscape we created a database containing descriptions of level 4 soils, their surfaces and indications of general pedological characteristics, with reference to the catalogue of types of soil units in the mountains of the Lombardy region (Figure APP1/2.2).

Field surveys

Pedological and geo-pedological field surveys were carried out (on outcrops or with a hand-held borer) to obtain 15 profiles, on the basis of 34 soil samples taken. The distribution of the profiles aimed to explore the salient characteristics of the cartographic units identified. The main profiles were classified according to the World Reference Base for Soil Resources (1998) and the USDA Soil Taxonomy (1999). Three permeability tests were also carried out on site (Figure APP1/2.3). All the profiles and field observations were recorded in a dedicated database (PACSI) (Figure APP1/2.4).

The next stage was to group the different varieties of soil into unit types representative of widespread, significant situations; 8 types were identified (UTS), each representing a number of observations. For the purposes of the present project it was decided to characterise only four types:

- *Group 1*: very shallow soils (< 25 cm), with very low skeleton content, limited by a carbonate bedrock;
- *Group 2*: shallow soils, at a depth between 25 cm and 50 cm, limited by the bedrock, with an organic carbon and terrigenous layer;
- *Group 3*: deep and very deep soils (> 100 cm) lying on different materials and in different environments;
- *Group 4*: soils from shallow to deep formed in different environments and in terms of characteristics and thickness, strongly conditioned by the presence of clasts/blocks.

thematischen Schichten und der Fotos wurde eine Karte der Landschaftseinheiten erstellt. Besonders die Beziehungen zwischen geologischer Detailkartografie (Karten der Formationen und *Facies* der quartären Ablagerungen), Kartografie der Bodennutzung sowie Vegetation und Morphologie (Höhe, Hangmaße, Energie) des Digitalen Geländemodells (20 x 20 m²) wurden ausgewertet. Schließlich wurden die Luftbilder ausgewertet, die dreidimensional auf das Digitale Geländemodell projiziert wurden.

Um die Landschaft beschreiben zu können, wurde eine Datenbank erstellt, die eine Beschreibung der Landschaften der Stufe IV enthält (*Soilscape*), ferner ihre Oberfläche und Angaben über den pädologischen Inhalt mit Verweisen auf den Katalog der typologischen Einheiten des Bodens der lombardischen Berge (Figur ANHANG1/2.2).

Vermessung des Geländes

Im Verlauf der pädologischen und geopädologischen Vermessung wurden Untersuchungen vor Ort von insgesamt 15 Profilen durchgeführt (durch Ausstriche oder mit Handbohrer), dabei wurden 34 Bodenproben entnommen. Die Verteilung der Profile sollte die wichtigsten Merkmale der identifizierten kartografischen Einheiten erkennbar machen. Die wichtigsten Profile wurden nach der *World Reference Base for Soil Resources* (1998) und der *Soil Taxonomy* der USDA (1999) eingeteilt. Es wurden auch drei Durchlässigkeitsproben in situ entnommen (Figur ANHANG1/2.3). Alle Profile und die Beobachtungen bei den Begehungen wurden in einer Datenbank archiviert (PACSI, Figur ANHANG1/2.4).

In der folgenden Phase wurden die einzelnen Böden in typologische Einheiten unterteilt, die für verbreitete und signifikante Situationen stehen. Es wurden 8 Typologien (UTS) unterschieden, auf deren jede einige Beobachtungen zutreffen. Was die Ziele der vorliegenden Arbeit angeht, wurden vier Arten herausgearbeitet:

state esaminate le ortoimmagini proiettate in tre dimensioni sul Modello Digitale del Terreno.

Ai fini della descrizione dei paesaggi è stato realizzato un *data base* contenente la descrizione dei paesaggi di IV livello (*Soilscape*), la loro superficie e indicazioni sul contenuto pedologico generale, con riferimento al catalogo delle unità tipologiche di suolo della montagna lombarda (Figura APP1/2.2).

Attività di rilevamento su terreno

Nel corso delle attività di rilevamento pedologico e geo-pedologico sono state realizzate osservazioni speditive (su affioramenti o mediante trivella a mano) di 15 profili esplorativi, con il prelievo di 34 campioni di terreno. La distribuzione dei profili ha cercato di esplorare i caratteri salienti delle unità cartografiche identificate. I profili principali sono stati classificati secondo il *World Reference Base for Soil Resources* (1998) e la *Soil Taxonomy* dell'USDA (1999). Sono anche state realizzate tre prove di permeabilità *in situ* (Figura APP1/2.3). Tutti i profili e le osservazioni speditive sono state archiviate in un apposito *data base* (PACSI) (Figura APP1/2.4).

Nella fase successiva si sono riunite le differenti varietà di suoli in *unità tipologiche* che rappresentano situazioni diffuse e significative; sono state individuate 8 tipologie (UTS) che raggruppano ciascuna alcune osservazioni. Per gli scopi applicativi del presente lavoro si è scelto di caratterizzare solo quattro raggruppamenti tipologici:

- *Gruppo I*: suoli molto sottili (< 25 cm), a bassissimo contenuto di scheletro, limitati da substrato roccioso carbonatico;
- *Gruppo II*: suoli sottili, con profondità comprese tra 25 cm e 50 cm, limitati da substrato roccioso, di natura carbonatica e terrigena;
- *Gruppo III*: suoli profondi e molto profondi (> 100 cm) formati su materiali ed in ambienti differenti;
- *Gruppo IV*: suoli da poco profondi a profondi for-

Generalisation of static pedological information

The pedological data gathered were extended using semi-automatic procedures based on probability, taking into account two parameters (elevation and inclination) and two characteristics (land use and geology). This method consists of attributing a probability for the presence of a soil type to each cell of the Digital Elevation Model. The degree of probability is linked to the level of similarity of environmental characteristics between cells. Based on the evaluations made in the field, the actual distribution of the reference profiles of the different types, and their probable distribution, evaluated by means of the aforementioned methods, a group/soil type was attributed to each unit. Obviously this is a simplified process, which while enabling uniform pedological content to be attributed to all areas, does introduce a considerable degree of approximation, especially in the areas where less direct exploration was carried out.

- *Gruppe I:* sehr dünne Böden (< 25 cm) mit geringem Steinanteil, darunter eine kohlenstoffhaltige Felsschicht;
- *Gruppe II:* dünne Böden mit einer Tiefe zwischen 25 und 50 cm und einer kohlenstoff- und erdhaltigen Unterschicht aus Fels;
- *Gruppe III:* tiefe und sehr tiefe Böden (> 100 cm), die sich auf verschiedenen Materialien und Umgebungen gebildet haben;
- *Gruppe IV:* tiefe und weniger tiefe Böden, die sich in unterschiedlichen Umgebungen gebildet haben und durch ihre Eigenschaften auf eine Bildung unter dem Einfluss von Felsen und Blöcken hinweise.

Verallgemeinerung der pädologischen Informationen

Die Übertragung der pädologischen Daten, die bei der Vermessung ermittelt wurden, erfolgt durch halb-automatische Abläufe, die auf dem Grundsatz der Wahrscheinlichkeit beruhen und zwei Parameter berücksichtigen: Höhe und Hangneigung, sowie die beiden Eigenschaften Bodennutzung und Geologie. Diese Methode besteht darin, jeder Zelle des Digitalen Geländemodells eine bestimmte Wahrscheinlichkeit eines bestimmten pädologischen Merkmals zuzuweisen. Die Wahrscheinlichkeit ist an den Grad der Ähnlichkeit gebunden, die die Umweltmerkmale der verglichenen Zellen aufweisen. Auf der Grundlage der vor Ort ermittelten Werte, der tatsächlichen Verteilung der Referenzprofile der typologischen Gruppen und ihrer stochastischen Verteilung, die mit der beschriebenen Methode gemessen wird, wurde eine Auswahl getroffen, die den pädologischen Typ für jede Einheit berücksichtigt. Dabei handelt es sich natürlich um eine Vereinfachung, die einerseits für alle Gebiete eine einheitliche pädologische Zuweisung ermöglicht, andererseits ungenaue Annäherungswerte vor allem in den weniger direkt erforschten Gebieten liefert.

mati in ambienti differenti e fortemente condizionati, per caratteristiche e spessore, da presenza di clasti/blocchi.

Generalizzazione delle informazioni pedologiche su base stazionale

L'estensione dei dati pedologici raccolti con il rilevamento è avvenuta con procedure semi-automatiche basate sul concetto di probabilità, che prendono in considerazione due parametri (quota e pendenza) e due caratteristiche (uso del suolo e geologia). Tale metodo consiste nell'assegnare ad ogni cella del Modello Digitale del Terreno una probabilità di occorrenza di un particolare tipo pedologico. La maggiore o minore probabilità è connessa al grado di somiglianza dei caratteri ambientali delle celle che si confrontano. Sulla base delle valutazioni effettuate in campagna, della distribuzione reale dei profili di riferimento dei gruppi tipologici e della loro distribuzione probabilistica, valutata con le metodologie espone in precedenza, si è operata la scelta relativa al gruppo/tipo pedologico da attribuire ad ogni unità. Naturalmente si tratta di una semplificazione che, se da un lato permette di assegnare un contenuto pedologico uniforme a tutte le aree, dall'altro introduce ampie approssimazioni soprattutto nelle aree meno esplorate direttamente.

Propaedeutical analysis: pedological survey
 § APP1/2 REGIONE LOMBARDIA

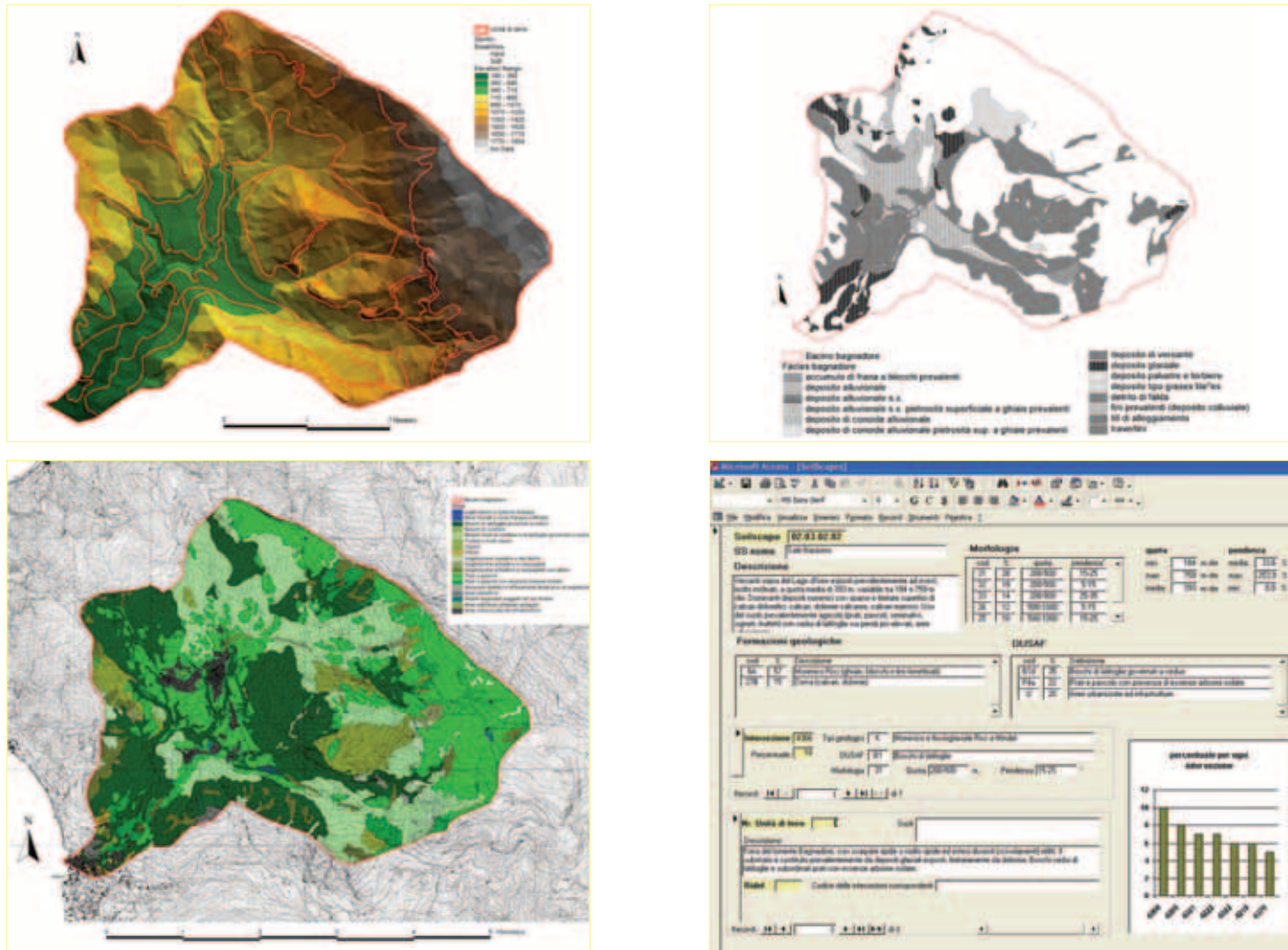


Figure APP1/2.2 The thematic maps and database used in the preliminary analysis. Clockwise: the Digital Elevation Model, the geological map, the soilscape database and the land use map.

Figur ANHANG1/2.2 Thematische Karten und Datenbank für die vorbereitenden Analysen. Im Uhrzeigersinn: das Digitale Geländemodell, die geologische Karte, die Datenbank der Soilscapes und die Karte zur Bodennutzung.

Figura APP1/2.2 Carte tematiche e basi dati utilizzate per le analisi preliminari. In ordine orario: il Modello Digitale del Terreno, la carta geologica, il data base dei soilscapes e la carta di uso del suolo.

Propaedeutical analysis: pedological survey
§ APP1/2 REGIONE LOMBARDIA



Figure APP1/2.3 Permeameters in the Commune of Zone – Place Cusato.
Figur ANHANG1/2.3 Messgeräte für die Durchlässigkeit
in der Gemeinde Zone – Cusato.
Figura APP1/2.3 Permeametri in Comune di Zone – Località Cusato.

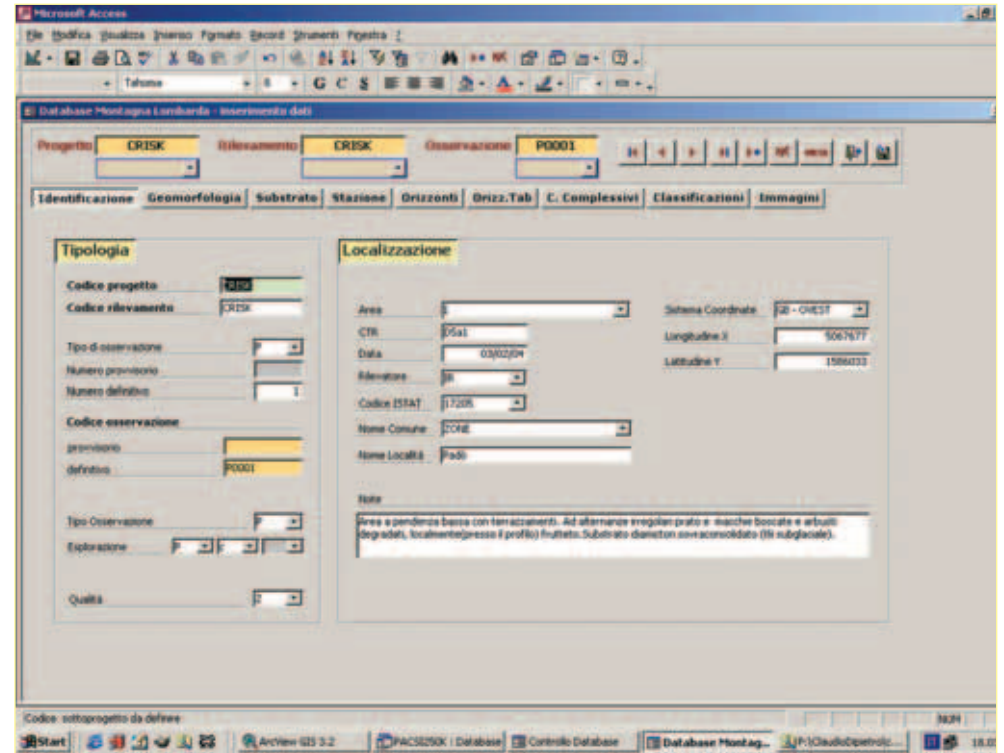


Figure APP1/2.4 Database of observations made in the Lombardy mountains,
including profiles and field observations.
Figur ANHANG1/2.4 Datenbank der Beobachtungen über die Berge der
Lombardei: vor Ort erstellte Profile und Beobachtungen sind eingearbeitet.
Figura APP1/2.4 Base dati delle osservazioni sulla montagna lombarda:
sono inseriti i profili e le osservazioni speditive.

APP1/2.3 Results

The main dimensions and input parameters for the model were calculated from the characteristics surveyed and measured. The first assessments regarded the main individual points of soil observation, assigning a hydrological group, category of depth, category of run-off and category of permeability to each profile. In order to extend these to the area a single type of analysis was used, producing two types of output in a GIS environment (shapefile and grid formats). In the first case the required characteristics were attributed to entire cartographical units according to pedological and geopedological similarities. The resultant cartography presents the area subdivided into land units, attributing the characteristics required by the Project to each one. In the second case grids showing run-off probabilities for each soil type classified were created for each characteristic analysed.

APP1/2.3 Ergebnisse

Auf der Grundlage der ermittelten Eigenschaften wurden die wichtigsten Größen und Input-Parameter des Modells ausgewertet. Die Auswertungen beziehen sich in erster Linie auf die einzelnen Beobachtungspunkte des Bodens, wobei jedem Profil eine hydrologische Gruppe zugewiesen wird, eine Tiefenklasse, eine Abflussklasse und eine Durchlässigkeitsklasse. Für die Extension der Eigenschaften auf das ganze Gelände wurde nur eine Art der Analyse verwendet, aber es können zwei verschiedenen Arten von Output über Informationsschichten in einer GIS-Umgebung (Formate *Shapefile* und *Grid*) verwendet werden. Im ersten Fall wurden die Eigenschaften auf der Grundlage der Einschätzungen der pädologischen und geopädologischen Ähnlichkeiten den kartografischen Einheiten zugewiesen. Die erstellte Kartografie stellt die Unterteilung des Gebietes in Geländeeinheiten dar und weist jeder von diesen die erforderlichen Eigenschaften in der Projektumgebung zu. Im zweiten Fall werden für jede analysierte Eigenschaft die *Grids* zu der entsprechenden Abflusswahrscheinlichkeit jeder pädologischen Klasse zugewiesen.

APP1/2.3 Risultati

Sulla base dei caratteri rilevati e misurati sono state valutate le principali grandezze ed i parametri di *input* al modello. Le valutazioni sono state riferite in prima istanza ai singoli punti di osservazione principali del suolo, assegnando ad ogni profilo un gruppo idrologico, una classe di profondità utile, una classe di deflusso ed una classe di permeabilità. Per l'estensione al territorio delle caratteristiche applicative cercate si è proceduto con un unico tipo di analisi, ma la produzione di due possibili *output* mediante strati informativi in ambiente GIS (formati *shapefile* e *grid*). Nel primo caso le caratteristiche richieste sono state attribuite, sulla base delle valutazioni di similitudine pedologica e geopedologica, alle intere unità cartografiche. La cartografia prodotta presenta la suddivisione dell'area in esame in Unità di Terre e l'attribuzione a ciascuna di esse delle caratteristiche richieste nell'ambito del Progetto. Nel secondo caso si propongono per ogni caratteristica analizzata i *grid* relativi alla probabilità di deflusso di ciascuna classe pedologica classificata.

Propaedeutical analysis: pedological survey
§ APP1/2 REGIONE LOMBARDIA

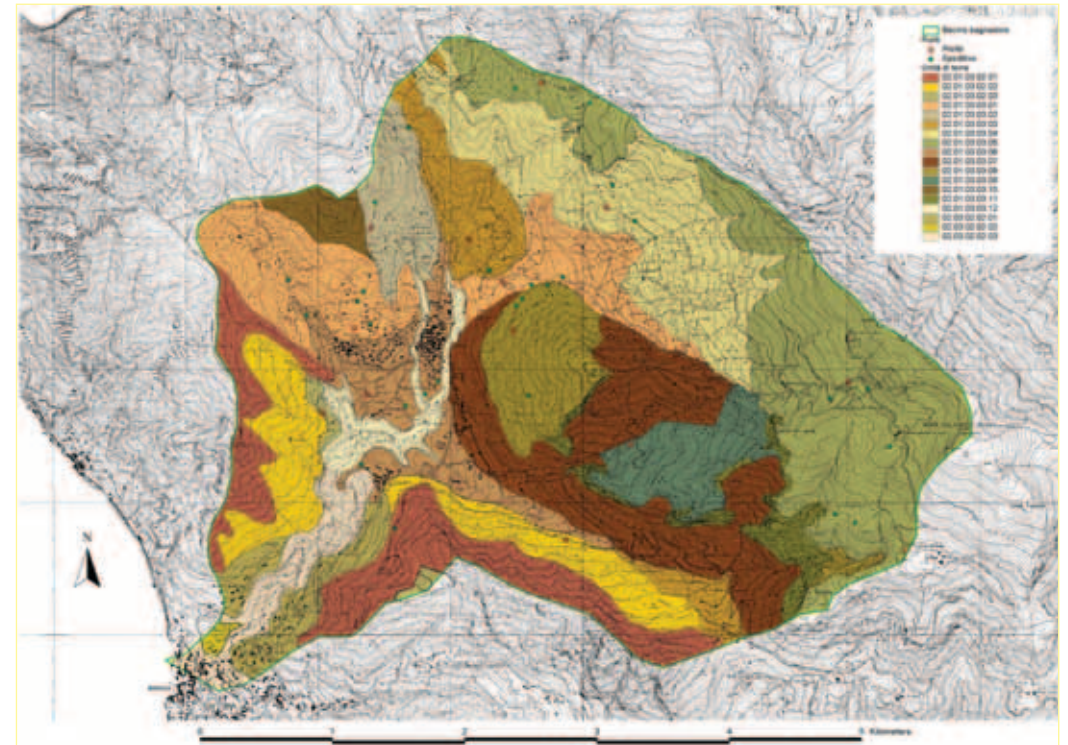
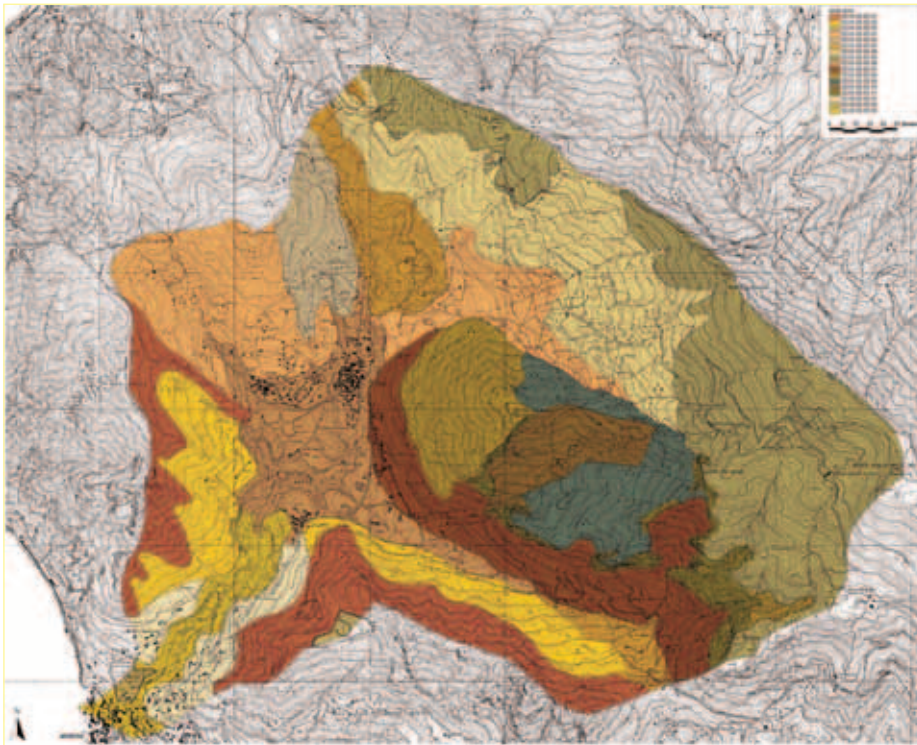


Figure APP1/2.5 Preliminary soilscape map (left) and final version (right).
Figur ANHANG1/2.5 Vorläufige (links) und endgültige (rechts) Karte der pädologischen Landschaften.
Figura APP1/2.5 Carta dei pedo-paesaggi preliminare (a sinistra) e definitiva (a destra).

APP1/2.4 Conclusions

The catchment being studied was discretised into homogeneous areas according to measured or estimated soilscape and hydrogeological characteristics. Different Land Units were defined, and 8 different Soil Types were identified, described and analysed, only four main types of which were then further characterised for the specific purposes of the present project (Figure APP1/2.5).

Starting from this characterisation, using probability surfaces, the various parameters which influence erosion, potential infiltration and runoff were assessed from a qualitative point of view. These parameters can be used for the application of erosion risk assessment models.

The activities carried out enable us to make a few overall observations, but the studies planned are both lengthy and expensive, making them unsuitable for general application: it was specifically noted that the procedure should be simplified, and the number of parameters should be reduced.

APP1/2.4 Schlussfolgerungen

Das untersuchte Becken wurde nach gemessenen und geschätzten geo-pädologischen und hydrogeologischen Merkmalen in homogene Zonen unterteilt. Vor allem wurden unterschiedliche Geländeeinheiten definiert, ferner wurden acht unterschiedliche Arten von Böden bestimmt, von denen dann für die besonderen Anforderungen dieser Arbeit vier Haupttypen herausgearbeitet wurden (Figur ANHANG1/2.5).

Abgesehen von dieser Einteilung wurden für jede dieser Gruppen qualitativ und mit Hilfe von Wahrscheinlichkeiten die verschiedenen Parameter berechnet, die die Erosion, die potenzielle Infiltration und den Abfluss beeinflussen. Diese Parameter können für Bewertungsmodelle für das Erosionsrisiko verwendet werden.

Die Aktivitäten erlauben auch einige übergeordnete Betrachtungen, aber eine Studie wie die beschriebene bringt erhöhte Kosten mit sich und dauert lange. Dadurch ist eine allgemeine Verwendung kaum möglich, vor allem muss der Ablauf vereinfacht und das Feld der zu analysierenden Parameter reduziert werden.

APP1/2.4 Conclusioni

Il bacino in esame è stato discretizzato in aree omogenee per caratteri geo-pedologici ed idrogeologici, misurati o stimati. In particolare sono state definite differenti Unità di Terre; sono state riconosciute, descritte ed analizzate 8 Unità Tipologiche di Suolo, di cui sono poi stati ulteriormente caratterizzati, per le finalità specifiche del presente lavoro, solo quattro principali raggruppamenti tipologici (Figura APP1/2.5).

A partire da tale caratterizzazione, per ognuno dei gruppi sono stati valutati qualitativamente, mediante superfici di probabilità, i differenti parametri che influenzano l'erosione, l'infiltrazione potenziale ed il deflusso. Tali parametri possono essere utilizzati per l'applicazione di modelli di valutazione del rischio di erosione.

Le attività svolte consentono alcune considerazioni complessive, però lo studio, così come impostato, implica tempi e costi elevati che non ne consentono un'applicazione generalizzata; in particolare si osserva che il procedimento va semplificato e va ridotto il campo di parametri da analizzare.

§ APP1/3 ARPA PIEMONTE

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione

Italy - Piemonte

Village - Ort - Comune

a) Andorno Micca, Biella, Campiglia Cervo, Mosso Santa Maria, Quittengo, Rosazza, Sagliano Micca, San Paolo Cervo, Veglio;
b) Alba, Albaretto della Torre, Arguello, Benevello, Borgomale, Bosia, Castino, Cortemilia, Cossano Belbo, Diano d'Alba, Grinzane Cavour, Lequio Berria, Mango, Montelupo Albere, Neive, Neviglie, Rocchetta Belbo, Rodello, Serralunga d'Alba, Sinio, Treiso, Trezzo Tinella.

Basin - Becken - Bacino

a) Cervo;
b) Tanaro.

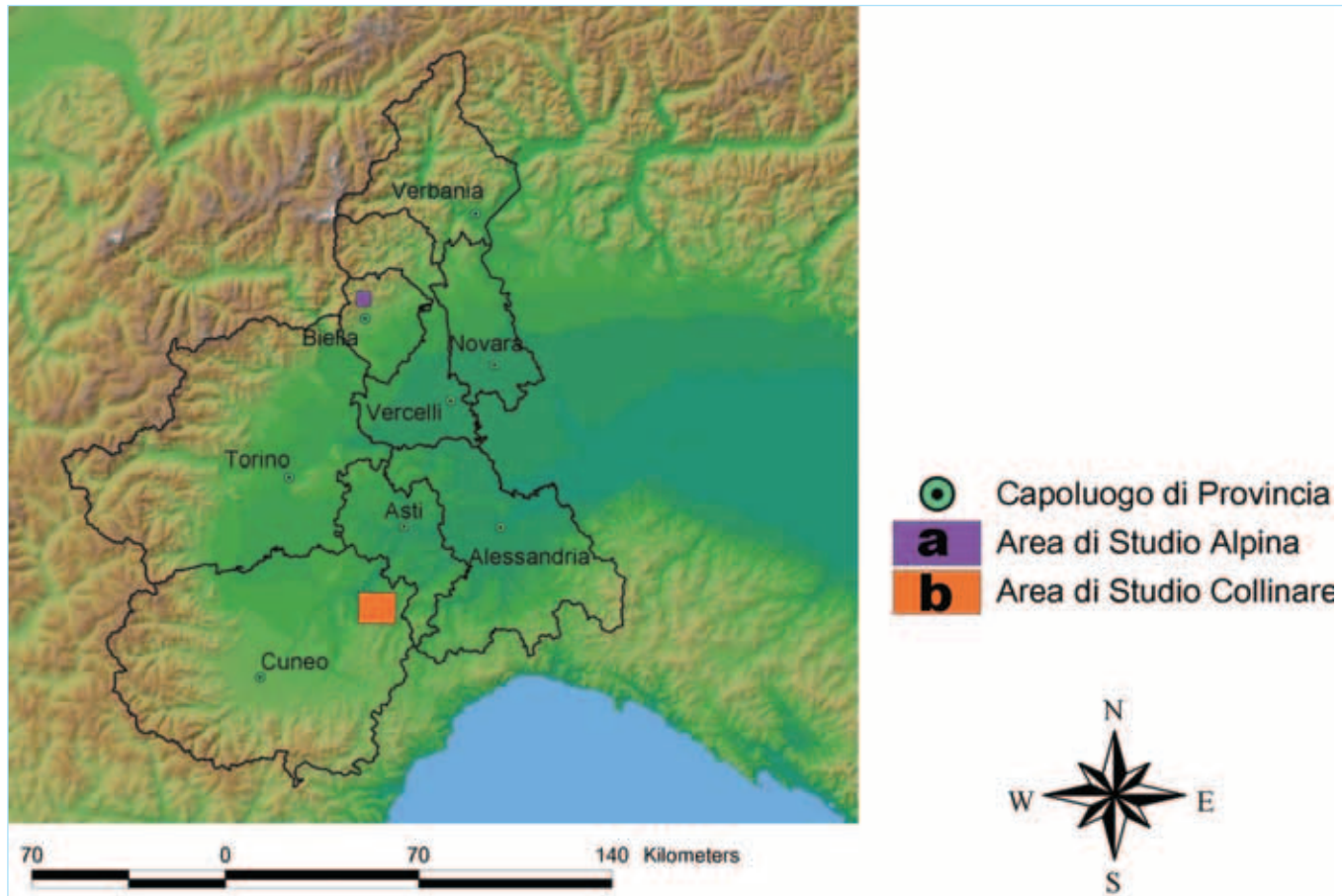


Figure APP1/3.1 Location of the study areas.
Figur ANHANG1/3.1 Lage der
Untersuchungsgebiete.
Figura APP1/3.1 Ubicazione delle zone di studio.

APP1/3.1 Preliminary tasks

The initial stages of the pedological survey were research, consultation and critical analysis of the bibliography and the main and thematic cartography regarding the areas of study.

All the information needed for the subsequent work in the field was gathered. The research work focused on studying the bibliography and pedological cartography on different scales concerning the area of study and adjacent areas with similar geolithological and morphological characteristics. We also made special consideration of documents and publications regarding all elements of the area which contribute to soil formation (geology, geomorphology, hydrology, climatology, vegetation, *etc.*).

Parallel to this wide-ranging bibliographic research work, we carried out a preliminary photointerpretation, which consisted of physiographic analysis of land use.

Physiographic photointerpretation involves dividing the area into relatively homogeneous polygons in terms of lithological sub-strates, relief shape, land use and natural vegetation. Its function is to identify areas which are relatively homogeneous from a pedological point of view (Land Units), which represent the unit of reference for the field survey. Photointerpretation follows an interdisciplinary methodological approach, in which the concept of "terrain" includes not only soil but also the main environmental factors: geomorphology, lithology, climate, vegetation and man-made alterations.

The land use photointerpretation was carried out, using the Land Cover *Corine* on a scale of 1:100.000 available on a regional scale, with an interpretation of aerial photographs regarding three different periods to analyse the evolution of vegetation cover over time.

The interpretation of the most recent available flight

APP1/3.1 Vorarbeiten

Die Vorbereitung für die pädologische Vermessung umfasst bibliografische Recherchen und kritische Analysen der Literatur und der Kartografie auf thematischer Grundlage nach den Untersuchungszonen.

Es wurden alle Informationen gesammelt, die für die weitere Arbeit nützlich sein könnten. Vor allem wurde die Recherche auf pädologische Untersuchungen und Karten mit verschiedenen Maßstäben konzentriert, die das Untersuchungsgebiet und die umliegenden Zonen betreffen, sofern diese geolithologische und morphologische Ähnlichkeiten aufweisen. Außerdem wurden Dokumenten und Veröffentlichungen über alle die Elemente des Bodens besondere Beachtung geschenkt (Geologie, Geomorphologie, Hydrologie, Klimatologie, Vegetation, *etc.*), die an der Bildung des Bodens beteiligt sind.

Parallel zu den bibliografischen Recherchen im weitesten Sinn wurde eine vorläufige Analyse der Fotos durchgeführt, genauer gesagt, eine physiografische Analyse der Bodennutzung.

Diese Analyse besteht in einer Aufteilung des Geländes in relativ homogene Mehrecke für die lithologische Unterschicht, die Form des Reliefs, die Nutzung des Bodens und die natürliche Vegetation. Sie soll aus pädologischer Sicht relativ homogene Bereiche bestimmen (Geländeeinheiten), die als Referenz für die Vermessung vor Ort dienen sollen. Die Analyse der Fotos folgt einem interdisziplinären methodischen Ansatz, bei dem unter *Gelände* neben dem Boden auch die wichtigsten Umweltfaktoren zusammengefasst werden: Geomorphologie, Lithologie, Klima, Vegetation, anthropische Veränderungen.

Die Analysen der Fotos zur Bodennutzung wurden mit dem Land Cover *Corine* und einem Maßstab von

APP1/3.1 Fasi preliminari

Le fasi preliminari alle attività di rilievo pedologico propriamente detto hanno riguardato la ricerca, la consultazione e l'analisi critica della bibliografia e della cartografia di base e tematica relativa alle zone di studio.

Sono state infatti acquisite tutte quelle informazioni che potessero essere utili alla successiva attività di campo. In particolare la ricerca è stata focalizzata allo studio della bibliografia e cartografia pedologica a diversa scala, concernente l'area di indagine ed aree limitrofe, con caratteristiche geolitologiche e morfologiche analoghe; inoltre sono stati presi in particolare considerazione documenti e pubblicazioni riguardanti tutti gli elementi del territorio che concorrono alla formazione dei suoli (geologia; geomorfologia; idrologia; climatologia; vegetazione; *etc.*).

Parallelamente alle attività di ricerca bibliografica in senso ampio, è stata effettuata una foto-interpretazione preliminare, consistente in un'analisi fisiografica di uso del suolo.

La foto-interpretazione fisiografica prevede la scomposizione del territorio in poligoni relativamente omogenei per quanto riguarda il substrato litologico, la forma del rilievo, l'uso del suolo e la vegetazione naturale. Ha la funzione di definire aree relativamente omogenee da un punto di vista pedologico (Unità di Terre), che costituiscono l'elemento di riferimento per il rilevamento di campagna. La foto-interpretazione segue un approccio metodologico interdisciplinare, nel quale il concetto di *terre* comprende, oltre al suolo, i principali fattori ambientali: geomorfologia, litologia, clima, vegetazione, modificazioni antropiche.

La foto-interpretazione di uso del suolo è stata eseguita, avendo come punto di riferimento il Land Cover *Corine* alla Scala 1:100.000 disponibile su scala regionale, attraverso l'interpretazione di foto aeree

(2000 for the hilly area of Alba and 2002 for the Alpine area of Biella) was followed by a further level of detail, on a local level, in order to provide sufficiently accurate parameters to evaluate the increase in cohesion due to the presence of plant roots.

1:100.000 durchgeführt, der im regionalen Rahmen verfügbar ist. Die Fotos wurden zu drei verschiedenen Jahreszeiten aufgenommen, um die Entwicklung der Vegetation verfolgen zu können.

Vor allem die Analyse der neuesten Luftbilder (2000 für das Hügelgebiet von Alba und 2002 für das Alpengebiet von Biella) machte noch mehr lokale Details sichtbar, um ausreichend zuverlässige Parameter für die Einschätzung der zunehmenden Kohäsion durch das Wurzelwerk zu bekommen.

relativa a tre diverse epoche per analizzare l'evoluzione nel tempo della copertura vegetale.

In particolare, all'interpretazione del volo disponibile più recente (2000 per l'area collinare di Alba e 2002 per l'area alpina di Biella) è seguito un ulteriore livello di dettaglio, di carattere locale, al fine di fornire parametri sufficientemente attendibili per la valutazione dell'incremento di coesione dovuto alla presenza degli apparati radicali.

APP1/3.2 Activities

A number of activities were undertaken, all aimed at making a pedological characterisation of the soil in the area of study, in order to provide useful indications for the evaluation of a number of parameters needed to apply the Montgomery & Dietrich model. First and foremost was the pedological survey, carried out in three stages with brief intervals for data processing and reviews of preliminary cartography. The first stage of the survey mainly concerned field observations (description of static characteristics and soil surface horizons, description of slopes, bore samples with hand bore), aimed at calibrating the cartography taken from the preliminary physiographic photointerpretation. The result was an initial pedological characterisation of the map of Land Unit polygons, verifying the correct interpretation of the categories of Land Cover.

The systematic surveying process consisted in carrying out field observations, alternated with descriptions of pedological profiles, which yield more information. In this stage we proceeded to:

- characterise soil type units by describing profiles;
- verify the variability of individual soil properties during field observations;
- check the limits of individual polygons and single cartographic units during field observations.

The last stage involved surveying for verification and checking purposes, with a hydrological field analysis and selecting the samples destined for physical, chemical and hydrological analysis in the laboratory. The observations, carried out at a rate of around 8 per km², were described according to the methodology prepared for the creation of the 1:250.000 scale pedological map (Carnicelli *et al.*, 2001), integrated with a number of areas offering additional information regarding the input parameters for the model, based on recent similar work (Joannas, 2003).

APP1/3.2 Aktivitäten

Das Vorgehen berücksichtigt verschiedene Aspekte, die alle eine pädologische Charakterisierung der Böden im Untersuchungsgebiet zum Ziel haben. Dadurch sollen nützliche Hinweise für die Einschätzung einiger Parameter geliefert werden, die für die Anwendung des Modells von Montgomery & Dietrich unverzichtbar sind.

Im Vordergrund steht die pädologische Vermessung, die von kurzen Phasen der Datenverarbeitung und Revision der vorläufigen Kartierung unterbrochen wird.

In der ersten Phase der Vermessung wurden vorwiegend Beobachtungen vor Ort durchgeführt (Beschreibung der jahreszeitbedingten Eigenschaften und der Oberflächenhorizonte des Bodens, Beschreibung der Vorsprünge, Durchführung von Probebohrungen mit dem Handbohrer). Dadurch soll die Kartierung auf der Grundlage der physiografischen Analyse der Fotos verfeinert werden. Das Ergebnis ist eine erste pädologische Beschreibung der Mehrecke auf der Karte der Bodeneinheiten und eine Prüfung der korrekten Interpretation der Land-Cover-Klassen.

Die systematische Vermessung erfolgt durch Ortstermine und abwechselnde Beschreibung der pädologischen Profile, von denen mehr Informationen abgeleitet werden können. In dieser Phase wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Charakterisierung der topologischen Bodeneinheiten über eine Beschreibung der Profile;
- Prüfung des Variabilitätsintervalls der einzelnen Bodeneigenschaften bei den Ortsterminen;
- Prüfung der Grenzen der einzelnen Mehrecke und der kartografischen Einheiten bei Ortsterminen.

Die letzte Phase betrifft Vermessung und Kontrolle. In dieser Phase wurden hydrologische Analysen durch-

APP1/3.2 Attività

Le attività hanno riguardato diversi aspetti, tutti comunque volti alla caratterizzazione pedologica dei suoli ricadenti nel dominio di studio, al fine di fornire indicazioni utili per la valutazione di alcuni parametri necessari all'applicazione del modello di Montgomery & Dietrich.

Innanzitutto il rilevamento pedologico, svolto in tre momenti successivi, intervallati da brevi fasi di elaborazione dati e di revisione della cartografia preliminare.

Nella prima fase di rilevamento sono state eseguite prevalentemente osservazioni speditive (descrizione dei caratteri stazionali e degli orizzonti superficiali del suolo; descrizione di scarpate; esecuzione di trivellate con trivella manuale), aventi la funzione di calibrare la cartografia derivata dalla foto-interpretazione fisiografica preliminare. Il risultato è stato una prima caratterizzazione pedologica dei poligoni della carta delle Unità di Terre e verificare la corretta interpretazione delle classi di Land Cover.

Il rilevamento sistematico è consistito nell'esecuzione di osservazioni speditive alternate alla descrizione di profili pedologici, dai quali è possibile dedurre una mole maggiore di informazioni. In questa fase si è proceduto a:

- caratterizzare le unità tipologiche di suolo, attraverso la descrizione dei profili;
- verificare l'intervallo di variabilità delle singole proprietà dei suoli attraverso le osservazioni speditive;
- controllare i limiti dei singoli poligoni e delle singole unità cartografiche attraverso le osservazioni speditive.

L'ultima fase ha riguardato il rilevamento di verifica e controllo, in cui sono state eseguite le analisi idrologiche di campo e scelti i campioni destinati alle analisi fisico-chimiche ed idrologiche di laboratorio.

Physical and chemical lab testing was also performed, though in view of the high cost of such procedures, this was kept to the minimum indispensable for the purposes of the study. Physical and chemical analyses of the soils were limited to a number of diagnostic characteristics deemed important for the comprehension of current or past pedological dynamics and processes. They also aim to highlight phenomena connected to shallow hydrogeological instability.

The processing of survey data aimed to modify and complement the preliminary cartography, with further stages of physiographic photointerpretation, modifying and integrating the contents. The soils were classified using WRB 1998 (FAO, ISRIC, 1998) and the classification scale of the Ministry of Forests of British Columbia (Green *et al.*, 1993), with regards to surface horizons (*Humus Forms*).

geführt und die Proben für die chemisch-physikalischen und hydrologischen Laboranalysen ausgewählt.

Die Beobachtungen wurden in einer Dichte von acht pro Quadratkilometer durchgeführt. Sie wurden nach den Methoden zur Erstellung der pädologischen Karte mit dem Maßstab 1:250.000 beschrieben (Carnicelli *et al.*, 2001), dabei wurden einige für Zusatzinformationen nützliche Felder hinzugefügt, die sich auf Parameter beziehen, die in das Modell integriert werden müssen. Grundlage dafür sind jüngere Experimente (Joannas, 2003).

Es wurden auch physikalisch-chemische Laboranalysen durchgeführt. Angesichts der hohen Kosten für solche Untersuchungen wurden diese allerdings auf das für die Ziele der Studie nötige Minimum reduziert. Die physikalisch-chemischen Analysen des Bodens wurden auf einige diagnostische und für die laufenden und früheren pädologischen Dynamiken und Prozesse als wichtig erachtete Merkmale beschränkt. Außerdem waren sie dazu bestimmt, einige Erscheinungen im Zusammenhang mit den oberflächlichen hydrogeologischen Störungen herauszustreichen.

Die Datenverarbeitung der Daten aus den Vermessungen hatte das Ziel, die vorläufige Kartierung über weitere physiografische Fotoanalysen zu modifizieren und zu integrieren. Die Böden wurden durch das WRB 1998 (FAO, ISRIC 1998) eingeteilt, ferner durch die Klassifizierung des *Ministry of Forests of British Columbia* (Green *et al.*, 1993) für die oberflächlichen Horizonte (*Humus Forms*).

Le osservazioni, aventi una densità di circa 8 osservazioni/km², sono state descritte secondo le metodologie messe a punto per la realizzazione della Carta Pedologica alla Scala 1:250.000 (Carnicelli *et al.*, 2001), integrate con alcuni campi utili per acquisire informazioni aggiuntive in campagna relative ai parametri da inserire nel modello, secondo recenti esperienze analoghe (Joannas, 2003).

Sono state eseguite anche analisi fisico-chimiche di laboratorio, che tenendo conto dei costi relativamente elevati, sono state ridotte al minimo indispensabile per le finalità dello studio. Le analisi chimico-fisiche dei suoli sono state limitate ad alcuni caratteri diagnostici ritenuti importanti per la comprensione delle dinamiche e dei processi pedologici in atto o progressi. Inoltre sono finalizzate alla messa in evidenza di fenomeni connessi con il dissesto idrogeologico superficiale.

L'elaborazione dei dati derivanti dal rilevamento ha avuto lo scopo di modificare ed integrare la cartografia preliminare, attraverso ulteriori fasi di foto-interpretazione fisiografica, modificandone ed integrandone i contenuti. I suoli sono classificati con il WRB 1998 (FAO, ISRIC, 1998) e con la classificazione del *Ministry of Forests of British Columbia* (Green *et al.*, 1993), per quanto riguarda gli orizzonti superficiali (*Humus Forms*).

APP1/3.3 Results

The results obtained provide new information, in the form of geographic and alpha-numeric data regarding:

- Land units;
- Observation points;
- Current and previous Land cover, through multi-temporal diachronic analysis;
- Data for the application of the Montgomery & Dietrich model. The usual pedological parameters required for the model are permeability and saturation, soil thickness and cohesion, for which it was necessary to identify particle sizes. Indirectly this analysis helped us to estimate the shear strength angle.

With particular regard to cohesion, the pedological approach enabled us to integrate the classic geotechnical model, with a relative estimate of the density and development of plant roots.

APP1/3.3 Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse sind neue Informationsschichten, die aus einer geografischen und einer alphanumerischen Komponente bestehen. Sie beziehen sich auf:

- Bodeneinheiten;
- Beobachtungspunkte;
- aktuelle und frühere Bodenbedeckung durch zeitübergreifende diachronische Analysen;
- Daten zur Anwendung des Modells von Montgomery & Dietrich. Folgende typische pädologische Parameter sind für die Datenbearbeitung nötig: Durchlässigkeit bis zur Sättigung des Bodens, Dicke der Deckschicht und Kohäsion, für deren Einschätzung die Granulometrie berücksichtigt werden musste. Indirekt hat die Analyse dazu beigetragen, den Winkel für den Bruchwiderstand zu bestimmen.

Vor allem im Hinblick auf die Kohäsion hat der pädologische Zugang dabei geholfen, das klassische geotechnische Modell über eine relative Einschätzung der des Einflusses der Dichte und der Entwicklung des Wurzelwerks der Pflanzen zu integrieren.

APP1/3.3 Risultati

I risultati ottenuti sono dei nuovi livelli informativi, costituiti da una componente geografica e una alfanumerica, relativi a:

- Unità di Terre;
- Punti di Osservazione;
- Copertura delle Terre attuale e di epoche passate, attraverso analisi multi-temporale diacronica;
- Dati per l'applicazione del modello di Montgomery & Dietrich. I parametri tipicamente pedologici richiesti per l'elaborazione del modello sono la permeabilità a saturazione, lo spessore della copertura e la coesione, per la cui valutazione è stato necessario individuare la granulometria. Indirettamente, l'analisi ha aiutato a stimare l'angolo di resistenza al taglio.

In particolare, per quanto riguarda la coesione l'approccio pedologico ha aiutato ad integrare il modello di tipo geotecnico classico mediante la stima relativa dell'influenza della densità e dell'andamento degli apparati radicali delle piante.

Propaedeutical analysis: pedological survey
§ APP1/3 ARPA PIEMONTE

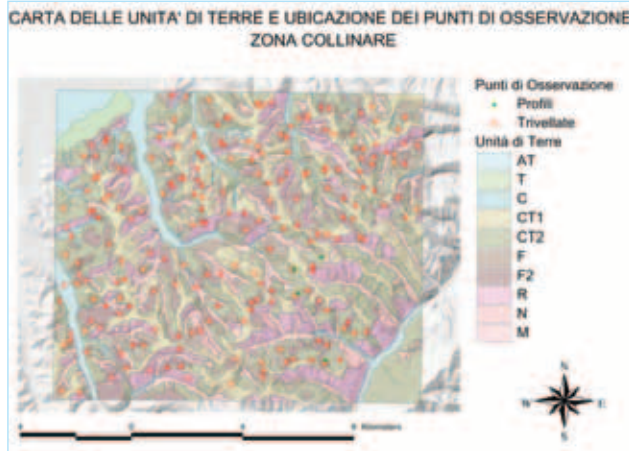


Figure APP1/3.2 Land Units Map of the hill area.
Figur ANHANG1/3.2 Karte der Bodeneinheiten in der Hügellzone.
Figura APP1/3.2 Carta delle Unità di Terre della Zona Collinare.

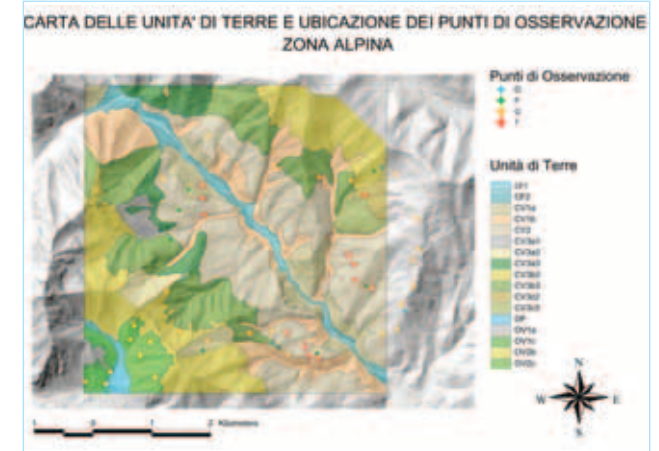


Figure APP1/3.3 Land Units Map of the Alpine area.
Figur ANHANG1/3.3 Karte der Bodeneinheiten in der Alpenzone.
Figura APP1/3.3 Carta delle Unità di Terre della Zona Alpina.

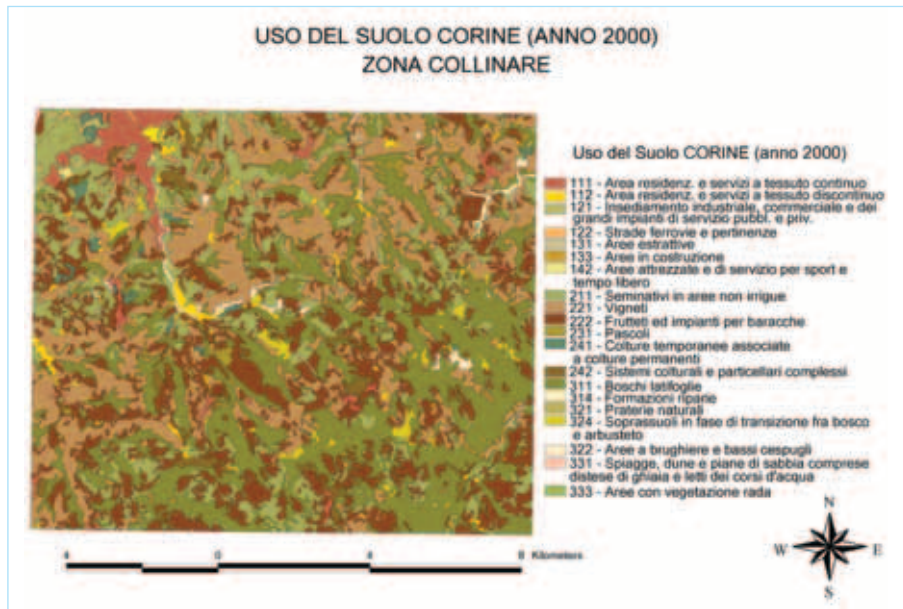


Figure APP1/3.4 Land Use Map of the hill area.
Figur ANHANG1/3.4 Karte der Bodennutzung in der Hügellzone.
Figura APP1/3.4 Carta dell'Uso del Suolo della Zona Collinare.

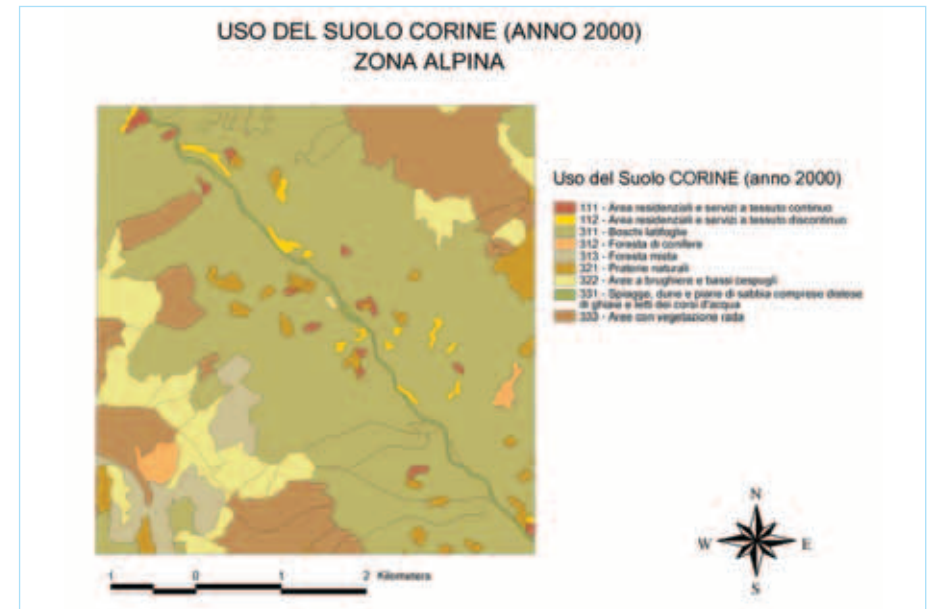


Figure APP1/3.5 Land Use Map of the Alpine area.
Figur ANHANG1/3.5 Karte der Bodennutzung in der Alpenzone.
Figura APP1/3.5 Carta dell'Uso del Suolo della Zona Alpina.

APP1/3.4 Conclusions

The work carried out in the two areas of study enabled us on the one hand to characterise the soils in question from the point of view of classic pedology, but above all helped evaluate the spatial distribution of a number of variables which were then used to apply the Montgomery and Dietrich stability model for shallow landslides.

Indeed the Land Units, composed of various types of soils with homogeneous characteristics from a pedological point of view, were assigned values for parameters which are not strictly pedological, but certainly depend on a number of soil characteristics which can be determined by means of this science. This is the case, for instance, of cohesion and the shear strength angle, which can only be determined in situ, and is not easy to extrapolate using the usual geotechnical techniques.

The efficacy of these studies is however bound to the need for a highly *multi-* and *inter-*disciplinary approach, which is fundamental when dealing with areas which border on many other areas, such as geology, classic pedology and engineering.

APP1/3.4 Schlussfolgerungen

Die durchgeführte Untersuchung in den beiden Gebieten hat es ermöglicht, aus einer klassischen pädologischen Position heraus die betroffenen Böden zu charakterisieren, vor allem aber hat sie dazu beigetragen, die räumliche Verteilung einiger Variablen einzuschätzen, die dann in der Anwendung des Stabilitätsmodells für oberflächliche Erdrutsche von Montgomery und Dietrich verwendet wurden.

Die Bodeneinheiten, die aus verschiedenen Arten von Böden gebildet werden, haben pädologisch gesehen homogene Eigenschaften. Es wurden Werte für Parameter zugewiesen, die nicht rein pädologisch orientiert sind, aber dennoch von einigen pädologischen Bodenmerkmalen abhängig sind. Das trifft zum Beispiel auf die Kohäsion zu und auf den Bruchwiderstandswinkel, dieser kann nur punktuell bestimmt werden und lässt mit Sicherheit nicht überall Rückschlüsse mit den üblichen geotechnischen Methoden zu.

Die Wirksamkeit dieser Studien wird durch die Notwendigkeit von Multi- und Interdisziplinarität eingeschränkt, eine Bedingung, die unbedingt berücksichtigt werden muss, wenn es um Themen geht, die im Grenzbereich der einzelnen Fächer (Geologie, Pädologie im eigentlichen Sinn und Ingenieurwissenschaft) angesiedelt sind.

APP1/3.4 Conclusioni

Lo studio eseguito nelle due zone di studio ha permesso da una parte di caratterizzare dal punto di vista pedologico *classico* i suoli coinvolti, ma soprattutto ha contribuito a valutare la distribuzione spaziale di alcune variabili utilizzate poi nell'applicazione del modello di stabilità per le frane superficiale di Montgomery e Dietrich.

Infatti alle Unità di Terre, formate da vari tipi di suoli aventi caratteristiche pedologicamente omogenee, sono stati attribuiti i valori di parametri non propriamente pedologici ma sicuramente dipendenti da alcune caratteristiche dei suoli determinabili attraverso questa disciplina. È il caso ad esempio della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio; quest'ultimo determinabile solo puntualmente e non facilmente estrapolabile con le usuali tecniche geotecniche.

L'efficacia di questi studi è comunque vincolata alla necessità di forte *multi* ed *inter* disciplinarietà, condizione assolutamente imprescindibile quando si trattano argomenti che si pongono alla frontiera di molte materie come la geologia, la pedologia propriamente detta e l'ingegneria.

§ APP1/4 KANTON GRAUBÜNDEN

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione Switzerland - Grison
Village - Ort - Comune Schlans, Trun
Basin - Becken - Bacino Surselva



Figure APP1/4.1 Investigation area.
Figur APP1/4.1 Investigation Area.
Figura APP1/4.1 Area d'indagine.

APP1/4.1. Activities

In a first step, the field works are prepared with the help of aerial photo interpretations of the november 2002 event.

Based on the aerial photo interpretations, the slope steepness analysis and general field surveys, soil profiles are taken at representative spots which are then analysed and described (Figure APP1/4.1). Within the detailed perimeters of Schlans and Trun, soil maps on a scale of 1:5.000 were subsequently drawn up for the region showing potential incipient crack areas for shallow landslides (Figure APP1/4.2).

APP 1/4.1 Aktivitäten

In einem ersten Schritt werden die Geländearbeiten mit Hilfe der Luftbildanalysen der Bilder des Ereignisses im November 2002 vorbereitet. Basierend auf den Luftbildanalysen, der Hangneigungsanalyse und den Übersichts-Geländebegehungen, werden im Gelände an repräsentativen Stellen Bodenprofile ausgehoben, analysiert und beschrieben (Figur ANHANG1/4.1). Innerhalb der Detailperimeter Schlans und Trun werden anschliessend für die Gebiete mit potentiellen Anrissstellen für flachgründige Rutschungen Bodenkarten im Massstab 1:5.000 erstellt (Figur ANHANG1/4.2).

APP 1/4.1 Attività

In una prima fase sono state preparate le attività di campagna con l'ausilio dell'interpretazione di foto aeree relative all'evento meteorologico del novembre 2002.

Sulla base della fotointerpretazione sono stati scelti punti rappresentativi per condurre le indagini di terreno, per eseguire l'analisi delle condizioni di pendenza dei versanti e per realizzare i profili di suolo; tali punti sono stati poi analizzati e descritti (Figura APP1/4.1). Per le aree studiate in dettaglio (Schlans e Trun), sono state prodotte mappe del suolo alla scala 1:5.000, finalizzate a definire le aree soggette a fratturazione per franamento superficiale (Figura APP1/4.2).

APP1/4.2 Results

The hand-drawn soil maps are digitalised and collected in ESRI ArcInfo® as closed polygons with their corresponding attributes.

In a short report, the results are described and characterised as regards the hydrological and soil-mechanical features.

The results are the input data for the SLIDISP programme in order to exclude potential incipient crack areas for shallow landslides.

APP1/4.2 Ergebnisse

Die handgezeichneten Bodenkarten werden digitalisiert und als geschlossene Polygone mit den entsprechenden Attributen im GIS ArcInfo® erfasst. In einem Kurzbericht werden die Resultate beschrieben und bezüglich der hydrologischen und bodenmechanischen Eigenschaften charakterisiert. Die Resultate werden in eine Modellbeschreibung umgesetzt und Modellierungen mit dem Programm SLIDISP zur Ausscheidung von potentiellen Anrissgebieten für flachgründige Rutschungen durchgeführt.

APP1/4.2 Risultati

Le mappe del suolo sono state digitalizzate e raccolte nel GIS ArcInfo® e le aree rappresentate come poligoni chiusi con i loro specifici attributi. In una breve relazione sono stati descritti i risultati, con particolare riferimento alle caratteristiche idrologiche e meccaniche del suolo.

I risultati sono tradotti in una descrizione modellistica condotta con il programma SLIDISP per individuare le aree potenzialmente soggette a fratturazione incipiente per franamento superficiale.



Figure APP1/4.2 Photo of a soil profile taken during the mapping works.

Figur APP1/4.2 Foto eines ausgehobenen Bodenprofils während der Kartierarbeiten.

Figura APP1/4.2 Ripresa fotografica di un profilo di suolo scattata durante i lavori per la realizzazione della mappa.

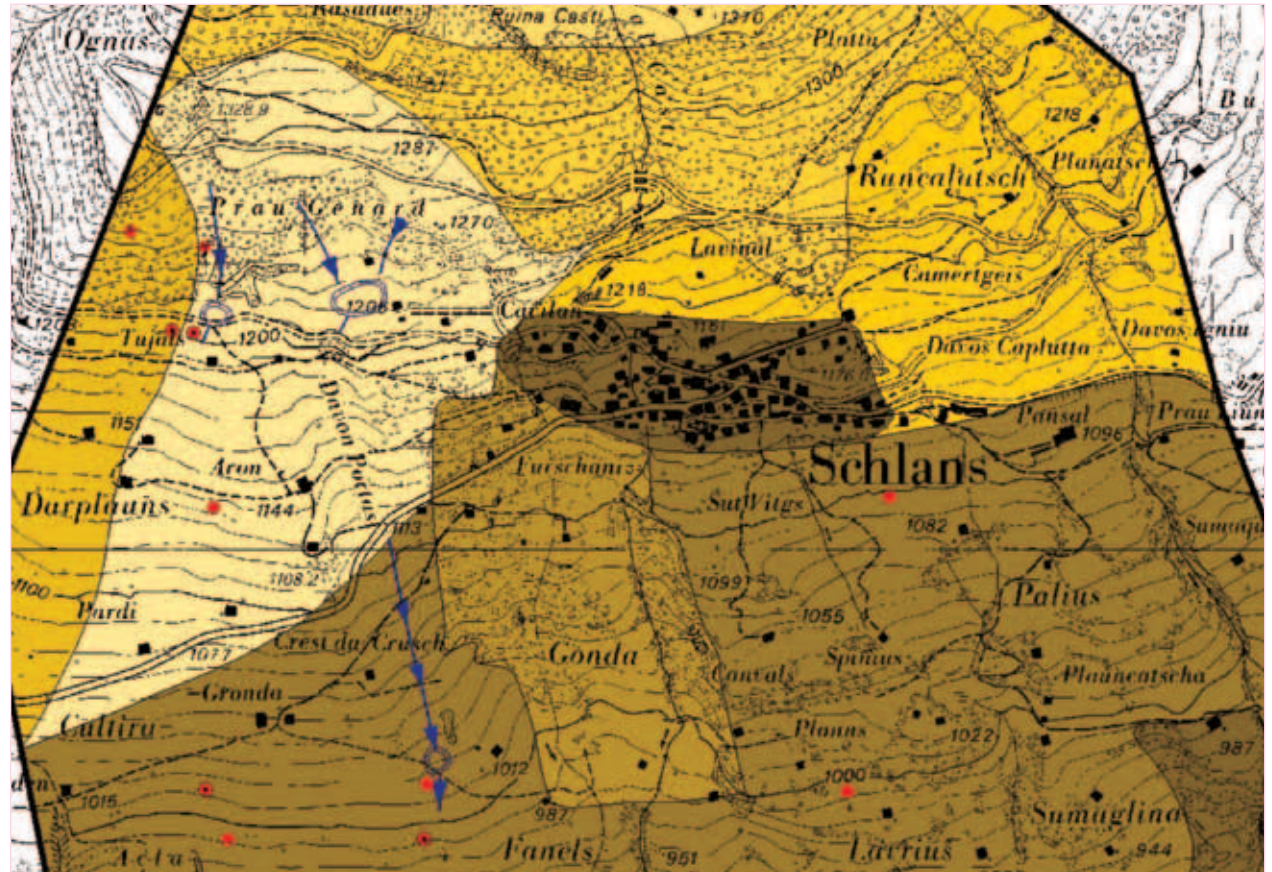


Figure APP1/4.3 Soil map of Schlans on a scale of 1:10.000 with information on the soil profile (red points) and potential subterranean water flow paths with water seepage spots.

Figur APP1/4.3 Bodenkarte Schlans 1:10.000 mit Angaben der Bodenprofile (rote Punkte) und von potentiellen unterirdischen Wasserfließwegen und Versickerungsstellen.

Figura APP1/4.3 Mappa del suolo della zona di Schlans in scala 1:10.000 con informazioni sul profilo del suolo (punti in rosso) e sui percorsi potenzialmente seguiti dal flusso idrico sotterraneo; sono indicate le zone di infiltrazione dell'acqua.

3.2. Rock falls

Rock falls are defined as the sudden detachment of rock blocks from steep slopes. After the detachment, rocks descend by bouncing and rolling rather than by falling. Rock falls represent a very dangerous process even in case of low recurrence.

Rock falls are sudden by definition; time-prediction is almost impossible.

The movement is very or extremely rapid, so the possibility for persons to avoid rock block is very low. Furthermore, the process implies very high energy, so the resulting destructive potential is enormous.

Rock falls may occur throughout the whole year without specific triggering by special weather conditions; seasonal freeze-thaw cycles may however induce higher fall-rates. In high alpine regions, variations in the permafrost regime may also be a rock fall cause. Nevertheless most rock falls are due to natural weathering processes as well as to natural stress release.

Single rock falls are unpredictable, but important predictions can be made about larger areas subject to rock fall impact.

3.2. Sturzprozesse

Als Sturzprozess wird das plötzliche Ablösen von Gestein aus Steilhängen bezeichnet. Nach dem Ablösen sind Aufprallen und Rollen die üblichste Bewegungsweise hangabwärts. Sturzprozesse sind eine sehr gefährliche Erscheinung, auch in jenen Gebieten, wo die Häufigkeit der Sturzprozesse sehr niedrig ist.

Sturzprozesse sind plötzliche Erscheinungen; eine zeitliche Vorhersage ist fast unmöglich.

Die Bewegungen sind sehr schnell, und die Möglichkeit der Leute einen Sturzprozess zu vermeiden ist auf das Minimum beschränkt. Dazu ist die beteiligte Energie sehr hoch, von daher ist das Potential zur Zerstörung riesig.

Sturzprozesse können zu jeder Jahreszeit sich ereignen, unabhängig von den besonderen Wetterbedingungen, die die Erscheinung auslösen; trotzdem können die jahreszeitliche Frost-Tau-Zyklen ein häufigeres Wiedergeschehen der Erscheinungen verursachen. Auch eine Veränderung im Permafrostregime im hoch gelegenen Alpengebieten kann für Sturzprozesse verantwortlich sein. Die meisten Erscheinungen werden von Verwitterung und von Veränderungen in der Hangentspannung verursacht.

3.2. Crolli in roccia

Si definisce crollo in roccia il distacco improvviso di materiale roccioso da pareti ripide. Dopo il distacco le forme di moto prevalenti, lungo il versante, sono il rotolamento ed il rimbalzo. I crolli in roccia rappresentano un fenomeno molto pericoloso, anche in quelle aree ove la ricorrenza di tali processi è bassa. I crolli in roccia sono fenomeni improvvisi e la previsione temporale è pressoché impossibile.

Il movimento è molto veloce e la possibilità, per le persone, di evitare un crollo è minima. Inoltre l'energia in gioco è molto alta ed il potenziale di distruzione è di conseguenza enorme.

I crolli in roccia si possono verificare in qualsiasi periodo dell'anno, a prescindere da particolari condizioni meteorologiche d'innescio; i cicli stagionali di gelo-disgelo possono comunque indurre una maggiore ricorrenza dei fenomeni. Anche una variazione nel regime del *permafrost* nelle zone alpine poste a quote più elevate può essere responsabile di crolli in roccia. La maggior parte dei fenomeni è comunque causata dai processi naturali di degradazione, indotti dagli agenti atmosferici e da variazioni del regime tensionale dei versanti.

I singoli fenomeni non sono prevedibili; sono però possibili previsioni spaziali estese alle aree soggette a crolli.

3.2.1. General framework

The methods to define the areas of maximum rock fall reach depends on the extend of the area that has to be investigated. The run-out zone of a rock fall with a volume exceeding 10^6 m^3 is cinematically different from the run-out zone of a 100 m^3 rock fall.

This study analyse the case of small rock falls, for they are the most frequent.

The investigation methods can be divided in two groups: empiric models and numeric models.

The most basic method of studying rock falls is by means of field surveys; observations concerning old rock fall-related deposits may be extrapolated to predict the reach of future rock fall. This kind of study requires a thorough analysis of the so called "silent witnesses", like impact marks of former rock falls or old rock fall blocks. By means of these techniques empiric run-out models can be created.

The modelling can be carried out by computer in 2-dimensional cross-sections or in the 3-dimensional space. Representative for this empiric models are the global angle models of Lied (1977), Onofri & Candian (1979), Evans & Hungr (1993), Wiezcorek *et al.* (1999), *etc.*

Calculations can be made by means of computer software such as CONEFALL (Jaboyedoff & Labiouse, 2000) or simply by means of ESRI ARCGIS®.

Numerical models are based on different algorithms describing the relationship among the energy of a falling block, the type of movement (falling, bouncing, rolling) and the attenuation factors of the slope surface. Rock fall simulation can be made on 2-dimensional cross sections or in the 3-dimensional space. The so-called trajectory models (2 D) can be controlled with different parameters. An example of simulation programmes in 2-dimensional cross-sections is the ROCKFALL programme.

3.2.1. Zusammenfassung des Kenntnisstandes

Die Sammlungsmethode für die Daten über die von Sturzprozessen betroffenen Gebieten hängt von der Ausdehnung des Untersuchungsgebiet ab. Ein Steinschlaggebiet, in dem das Volumen des hineingezogenen Materials über 10^6 m^3 ist, einem ganz anderen kinematischen Umfeld. unterzogen ist als bei einem Sturzprozess mit einem Volumen von 100 m^3 . Diese Studie analysiert Sturzprozesse mit kleinerem Volumen, die viel häufiger sind.

Die verschiedene Untersuchungsweise können in zwei Gruppen unterteilt werden: Numerisches Simulationsmodell und Empirisches Modell.

Die Grundmethode für die Untersuchung von Sturzprozessen basiert auf Feldaufnahmen. Die Beobachtungen bezüglich der alten Sturzprozesse können herangezogen werden, um die Sturzweite von zukünftigen Sturzprozessen zu ermitteln. Diese Untersuchungsweise erfordert eine ausführliche Analyse der so genannten *Stummen Zeugen*, z.B. Schlagspuren von vorhergehenden Sturzprozessen oder reliktsche Blöcke.

Mit dieser Analyse können empirische Sturzmodelle entwickelt werden. Die Modellierung kann von einem PC in zweidimensionalen Profilen oder im dreidimensionalen Raum ausgeführt werden.

Repräsentativ für diese Art empirischer Modelle sind die Modellen des Gesamtwinkel von Lied (1977), Onofri & Candian (1979), Evans & Hungr 1993, Wiezcorek *et al.* (1999), *etc.* Die Berechnungen können durch Programme wie CONEFALL (Jaboyedoff & Labiouse, 2000) oder direkt durch ESRI ARCGIS® durchgeführt werden. Die numerischen Simulationsmodelle stützen sich auf verschiedene Algorithmen, die die Beziehung unter der Energie eines fallenden Blocks, Bewegungsart (Fall, Rückprall, Rollen) und Denfkoeffizient des Hanges beschreiben. Das Programm ROCKFALL ist ein Beispiel von

3.2.1. Breve sintesi delle conoscenze

Il metodo di raccolta delle informazioni relative alle aree soggette a crolli in roccia dipende dall'estensione dell'area che si deve investigare. La zona interessata da un crollo che coinvolge materiale per un volume superiore a 10^6 m^3 è soggetta ad un contesto cinematico completamente diverso da quello di un crollo caratterizzato da un volume di materiale di 100 m^3 . Questo studio analizza i crolli di volume minore, di gran lunga i più frequenti.

Le diverse tipologie d'indagine possono essere suddivise in due gruppi: modelli empirici e modelli numerici.

Il metodo base di studio dei fenomeni di crollo si basa su rilievi di terreno; le osservazioni relative a crolli antichi possono essere estrapolate per definire i limiti di invasione di crolli futuri. Tale tipo di analisi richiede studi di dettaglio sui cosiddetti *testimoni silenziosi*, come ad esempio le tracce d'impatto di crolli precedenti o presenza di blocchi di antichi crolli.

A partire da questo tipo di analisi possono essere creati modelli empirici di invasione. La modellazione può essere svolta da un *computer* in sezioni trasversali bidimensionali o nello spazio tridimensionale. Rappresentativi di questo tipo di modelli empirici sono i modelli dell'angolo globale di Lied (1977), Onofri & Candian (1979), Evans & Hungr (1993), Wiezcorek *et al.* (1999), *etc.* I calcoli possono essere eseguiti da programmi come CONEFALL (Jaboyedoff & Labiouse, 2000) o direttamente dal *software* ESRI ARCGIS®.

I modelli numerici sono basati su differenti algoritmi, che descrivono la relazione tra l'energia di un blocco in caduta, il tipo di movimento (caduta, rimbalzo, rotolamento) ed i coefficienti di restituzione del versante. Calcoli e simulazioni di crolli in roccia possono essere condotti in sezioni trasversali bidimensionali o nello spazio tridimensionale. I modelli di propagazio-

In 3-dimensional space different programs of several companies exist. Basically, they all calculate 3-dimensional trajectory vectors based on the Digital Elevation Model.

Quality of all 3D computer-made studies strongly depends on the accuracy of the Digital Elevation Model. Simulations require detailed slope surface data, to allow correct dimensioning of the programme parameters.

The empiric models, especially the global angle models, are less dependent to the accuracy of the Digital Elevation Model.

The Digital Elevation Model should be based on a grid of 10 x 10 m at least.

Empiric models are useful to study rock fall areas at a regional scale (< 1:25.000) and they can give general information about the maximum run-out zone. This information is essential for further investigations. Detailed hazard assessment studies including probability and intensity of rock falls have been carried out in Switzerland (BUWAL, 1997), in Italy and in France. These methods can be transferred to other regions but some modifications have to be made in order to adapt them to the specific geologic and morphologic situations of other areas.

In most of these models probability and intensity of mass movements are connected with a 2-dimensional (Switzerland) or a 3-dimensional (Crosta *et al.*, 2003) matrix to evaluate hazard in specific areas.

Simulationsprogramm in zweidimensionalen Profilen. Berechnungen und Simulationen von Sturzprozessen können in zweidimensionalen Profilen oder im dreidimensionalen Raum durchgeführt werden. Die Ausbreitungsmodelle in 2D können mit verschiedenen Parametern überprüft werden. Zur dreidimensionalen Analyse verfügt man über Programme von mehreren Herstellern. Diese Programme berechnen wesentlich die Ausbreitungsvektoren in drei Dimensionen an Hand von digitalen Geländemodellen.

Die Qualität der 3D ist eng von der Genauigkeit des digitalen Geländemodells abhängig. Alle Simulationen erfordern genaue Daten über die Hangeigenschaften, um die richtige Dimensionierung der vom Programm verwendeten Parameter zu erlauben.

Die empirischen Modelle, welche auf der Methode des Gesamtwinkels beruhen, verwenden einen niedrigeren Detailgrad als das digitale Geländemodell. Jedenfalls sollte das digitale Geländemodell auf Maschen gegründet sein, die nicht kleiner als 10 x 10 Meter sind.

Die empirische Modelle sind nützlich für die Untersuchung der Steinschlaggebiete auf regionalem Maßstab (< 1:25.000), da sie allgemeine Informationen über die Ausbreitungsgebiete der Sturzprozesse geben. Diese Informationen sind wesentlich für weitere und mehr ausführliche Untersuchungen.

In der Schweiz (BUWAL, 1997), in Italien und in Frankreich hat man Studien über die Gefährlichkeit der Sturzprozesse entwickelt, die sowohl die Wahrscheinlichkeit als auch die Intensität der Phänomene einschließen. Solche Methoden können auch in anderen Regionen verwendet werden. Die Gefährlichkeit wird in solchen Modellen geschätzt, indem die Wahrscheinlichkeit und die Intensität der Phänomene Bezug auf eine zweidimensionale (Schweiz) oder dreidimensionale Matrix nehmen (Crosta *et al.*, 2003).

ne in due dimensioni possono dipendere da differenti parametri. Un esempio di programmi di simulazione lungo sezioni trasversali bidimensionali è il programma ROCKFALL.

Per analisi tridimensionali sono disponibili i programmi di numerosi produttori. Tutti calcolano essenzialmente i vettori di propagazione in tre dimensioni sulla base del Modello Digitale del Terreno.

La qualità delle restituzioni in tre dimensioni dipende fortemente dall'accuratezza del Modello Digitale del Terreno. Tutte le simulazioni richiedono dati di dettaglio sulle caratteristiche del versante, per consentire il corretto dimensionamento dei parametri utilizzati dal programma.

I modelli empirici basati sui metodi dell'angolo globale sono meno sensibili al grado di dettaglio del Modello Digitale del Terreno, che in ogni caso dovrebbe avere maglia di lato non inferiore a 10 m.

I modelli empirici sono utili per lo studio delle aree soggette a crollo su scala regionale (< 1:25.000), in quanto possono fornire informazioni generali sulle zone di propagazione dei crolli in roccia, un dato essenziale per indagini di maggiore dettaglio.

In Svizzera (BUWAL, 1997), in Italia ed in Francia sono stati condotti studi di pericolosità da fenomeni di caduta massi che includono sia la probabilità che l'intensità dei fenomeni. Tali metodi possono essere applicati in altre regioni, previe le necessarie modifiche che consentano l'adeguamento a diversi contesti geologici e morfologici. In tali modelli le valutazioni di pericolosità vengono effettuate riferendo la probabilità e l'intensità dei fenomeni ad una matrice bidimensionale (Svizzera) o tridimensionale (Crosta *et al.*, 2003).

3.2.2. Methods applied within the Project

3.2.2.A Rock fall danger maps in Bavaria

General introduction to the method

In order to produce proper Danger Maps concerning rock falls, source rock slopes must be thoroughly identified and described. This element is substantial for a proper evaluation of the areas affected by a potential event.

Within the project, a regional scale method has been developed to define the maximum run-out zones of rock falls. The method is executed with ESRI ArcGis 8.x and the extension Spatial Analyst. Considering the available rock fall data, an empirical method using the global angle have been chosen. Following the analysis made by Evans & Hungr (1993) and Meißl (1998), the maximum run-out zone was evaluated using both the shadow angle and the so called geometrical slope angle. As a result of previous works (GEORISK, Bavarian Geological Survey), most of the detachment areas (starting zones) of rock falls in the Bavarian Alps are already known. Thanks to the digital elevation model (raster resolution ≤ 10 m) additional potential starting zones (e.g. slope angle $\geq 45^\circ$) could also be defined.

The first aim is to develop a method to create Danger Maps. Further development will include Hazard Maps with evaluation of both probability and intensity.

Definition

An empirical method to delineate areas subject to rock fall impact, by means of the shadow and the geometrical slope angle areas crossed with a digital elevation model.

Purposes

Getting information about the maximal run-out zones

3.2.2. Verwendete Methoden

3.2.2.A Karte der Gefährlichkeit zur Ausbreitung des Sturzprozesses in Bayern

Allgemeine Einführung der Methode

Die Erstellung der Karte der Gefahren von Ausbreitung der Sturzprozesse setzt die Bestimmung und die Beschreibung der Anrisszonen voraus.

Diese Voraussetzung ist unerlässlich für eine korrekte Bestimmung der potentiellen Steinschlaggebiete. Im Rahmen des Projekts hat man eine Methode entwickelt, die die Gebiete mit maximaler Ausbreitung des Sturzprozesses auf regionalem Maßstab zu bestimmen erlaubt. Die Methode wird durch ESRI ArcGis 8.x und Extension *Spatial Analyst* entwickelt. An Hand von den verfügbaren Daten hat man gewählt, die auf die so genannten Gesamtwinkel sich stützende Methode zu verwenden. Gemäß der von Evans & Hungr (1993) e Meißl (1998) durchgeführten Analysen hat man das Gebiet mit maximaler Ausbreitung des Sturzprozesses bestimmt, indem beide Methoden des Schattenwinkels (in der Fachliteratur als *shadow angle* e *geometrical slope angle* bekannt) verwendet worden sind.

Dank der vorigen Arbeiten (GEORISK, Bavarian Geological Survey) ist die Mehrheit der Anrisszonen des Sturzprozesses schon bekannt. Außerdem sind durch das digitale Geländemodell (Masche ≤ 10 m) weitere potentielle Anrisszonen in Hängen mit mehr als 45 Grad Gefälle bestimmt worden. Das erste Zweck ist die Erstellung einer Karte der Gefährlichkeit. Weitere Entwicklungen werden die Erstellung von Karten der Gefährlichkeit erlauben, in denen sowohl die Faktoren der Intensität als auch die der Wahrscheinlichkeit enthalten sind.

Definition

Methode für die Bestimmung der Gebiete mit maxi-

3.2.2. Metodi applicati nel Progetto

3.2.2.A Mappe di pericolosità da propagazione dei crolli in roccia in Baviera

Introduzione generale sul metodo

La realizzazione di mappe di pericolo da caduta massi presuppone l'identificazione e la descrizione delle zone di distacco. Tale elemento è indispensabile per una corretta definizione delle aree potenzialmente soggette a caduta massi.

Nell'ambito del Progetto è stato sviluppato un metodo che permette di individuare le zone di massima propagazione dei crolli a scala regionale, tramite l'utilizzo del *software* ESRI ArcGis 8.x e dell'estensione *Spatial Analyst*. Tenendo conto dei dati a disposizione, si è scelto di applicare un metodo empirico basato sul cosiddetto angolo globale. Sulla base delle analisi condotte da Evans & Hungr (1993) e Meißl (1998), è stata definita la zona di massima espansione, utilizzando entrambi i metodi dell'angolo di attrito equivalente, noti in letteratura come *shadow angle* e *geometrical slope angle*. La maggior parte delle aree di distacco dei crolli in roccia nelle Alpi Bavaresi è già nota, grazie al risultato di lavori precedenti (GEORISK, Bavarian Geological Survey).

Sono inoltre state definite ulteriori aree di distacco potenziale, considerando i settori di versante a pendenza maggiore di 45° , identificati attraverso il Modello Digitale del Terreno (maglia ≤ 10 m).

Il primo obiettivo è stato quello di elaborare delle mappe del pericolo. Ulteriori approfondimenti permetteranno di sviluppare mappe di pericolosità, che includano gli elementi *probabilità* e *intensità* dei processi trattati.

Definizione

Metodo per la definizione delle zone di massima pro-

of rock falls. Areas covered by these run-out zones need be investigated with more detail. The need for detailed investigations is otherwise limited in areas outside the computed run-out zones.

Potentiality

The created danger maps help to get a first overview of areas subject to rock fall impact. They may be used to select regions in which an evaluation of possible mitigation measures must be carried out.

Limits

This method is only applicable at a regional scale (<1:25.000). The modelling only includes rock falls with volumes less than 10^4 m³. At the local scale the method cannot replace detailed field investigations or simulations with 2-D or 3-D simulation programmes.

Activities

- Acquisition of all data relevant to defining potential source areas of rock falls: collection of geological data, air photos, landslide inventories and landslide maps;
- creation and interpolation of the digital elevation model of the area to be investigated;
- definition of additional possible rock falls source areas by selecting slope areas steeper than 45°;
- definition of slope attitude data;
- selection and reprocessing areas in which the geometrical slope angle or the shadow angle have to be used;
- data processing by means of ESRI ArcGis® with Spatial Analyst module (Viewshed and Raster Calculator);
- data validation by means of field surveys and simulation programmes.

Expected products

Danger maps at a regional scale. The danger areas

maler Ausbreitung des Sturzprozesses durch die gemischte Verwendung der auf den Schattenwinkel und das digitale Geländemodell sich stützenden empirischen Methoden.

Ziel

Informationen über die Gebiete mit maximaler Ausbreitung des Sturzprozesses gewinnen. Diese Zonen sollen einer ausführlichen Untersuchung unterzogen werden, was für andere Sektoren, welche nicht unter der oben genannten Definition stehen, nicht verlangt wird.

Potentialität

Die Karten der Gefahren geben einen ersten Überblick über die Gebiete, die von Sturzprozessen betroffen werden können. Diese Karten sind dazu eine nützliche Hilfe zur Bestimmung der Sektoren, im Bezug auf welche geschätzt wird, ob es möglich ist, Maßnahmen zur Minderung der Risiken zu ergreifen.

Grenzen

Die Methode ist ausschließlich auf einem regionalen Maßstab (<1:25.000) anwendbar. Die Modellierung ist gültig nur für jene Sturzprozesse, die ein Volumen von weniger als 10^4 m³ haben. Trotzdem kann die Methode im genauen Maßstab die Felderhebungen und die numerischen Simulationen (sowohl zwei- als auch dreidimensionale) nicht ersetzen.

Aktivitäten

- Beschaffung der Daten und aller Elementen, die für die Bestimmung der vom Sturzprozess potentiell betroffene Gebiete nützlich sind, und zwar geologische Grunddaten, Luftaufnahmen, Inventar und Kartographien der Massenbewegungen;
- Erstellung und Interpolation des digitalen Geländemodells für Untersuchungszone;
- Bestimmung von weiteren potentiellen

pagazione dei crolli in roccia, mediante l'impiego di modelli empirici basati sull'angolo di attrito equivalente e del Modello Digitale del Terreno.

Finalità

Ricavare informazioni sulle aree di massima propagazione dei crolli, che dovranno essere indagate ad un maggiore grado di dettaglio; analisi di approfondimento non sono invece necessarie per quei settori che ricadono all'esterno delle aree individuate dal modello.

Potenzialità

Le mappe del pericolo forniscono una prima panoramica delle aree che possono essere interessate dalla propagazione dei crolli in roccia e costituiscono un utile strumento per individuare settori in cui valutare l'opportunità di realizzare interventi di mitigazione del rischio.

Limiti

Il metodo è applicabile esclusivamente a scala regionale (<1:25.000). La modellazione è valida solo per crolli che coinvolgono materiale con cubatura inferiore a 10^4 m³. A scala di dettaglio il metodo non può sostituirsi ai rilievi di terreno ed alle simulazioni numeriche bidimensionali o tridimensionali.

Attività

- Acquisizione di tutti i dati e gli elementi necessari per la definizione delle aree potenzialmente soggette a fenomeni di crollo in roccia, quali dati geologici di base, fotografie aeree, inventari e cartografie dei movimenti franosi;
- creazione e interpolazione del Modello Digitale del Terreno dell'area da indagare;
- definizione di ulteriori zone di potenziale innesco dei crolli, ove la pendenza dei versanti superi i 45°;
- definizione dei dati relativi all'orientazione spaziale delle pareti in roccia;

identify the maximum run-out zones of potential rock falls in the future. The maps also detail the potential detachment zones.

- Anrisszonen, wo das Gefälle der Hänge mehr als 45° ist;
- Daten bezüglich der räumlichen Orientierung von den Steinwänden;
 - Auswahl und Verarbeitung der Gebiete, wo sowohl den Neigungswinkel als auch den Schattenwinkel verwendet werden;
 - Verarbeitung der Daten in ESRI ArcGis® durch *Spatial Analyst (Viewshed e Raster Calculator)*;
 - Überprüfung und Bewertung der Resultate durch Felderhebungen und Simulationsprogramme.

Erwartete Ergebnisse

Karten der Gefahren auf regionalem Maßstab. Die Zonen der Gefahren von Ausbreitung bestimmen die Gebiete mit maximaler Ausbreitung von Sturzprozessen, welche in der Zukunft sich ereignen können.

Geeignete Berufsbilder

Geologen, Geomorphologen und geotechnische Ingenieure.

- selezione e rielaborazione delle aree nelle quali devono essere utilizzati l'angolo di inclinazione del versante e l'angolo di attrito equivalente;
- elaborazione dei dati mediante il *software* ESRI ArcGis® e l'estensione *Spatial Analyst (Viewshed e Raster Calculator)*;
- verifica e validazione dei risultati mediante rilievi di terreno e programmi di simulazione.

Prodotti attesi

Mappe del pericolo a scala regionale. Le aree di pericolo da propagazione identificano le zone di massima espansione di crolli che si possono verificare in futuro. Nella carta sono definite anche le zone di distacco potenziale.

Figure professionali idonee

Geologi, geomorfologi, ingegneri geotecnici.

§ 3.2.2.A/1 LAND BAYERN

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione Germany - Bavaria
Village - Ort - Comune Bad Reichenhall - Schneizlreuth
Basin - Becken - Bacino Saalach valley



Figure 3.2.2.A/1.1 Position of the test area.
Figur 3.2.2.A/1.1 Lage der Untersuchungszone.
Figura 3.2.2.A/1.1 Ubicazione dell'area campione.



Figure 3.2.2.A/1.2 Cut-out of the test area.
Figur 3.2.2.A/1.2 Ausschnitt der Untersuchungszone.
Figura 3.2.2.A/1.2 Particolare dell'area campione.

3.2.2.A/1.1 Preliminary tasks

Although problems with landslides can be found almost all over Bavaria, the relatively small Bavarian part of the Alps still requires special attention. It is not only the high relief producing more impressive mass movements but it is mostly the special political interest in this region. The Bavarian Alps are the most important tourist region and consequently have a high economical impact and also one of the highest price levels on the property market within Germany. Furthermore, they present a unique ecological reservoir that needs special protection. The test area for a method to create danger maps on a regional scale is located in the eastern part of the Bavarian alps. Besides the mentioned reasons this area has been selected because of the different types of rock falls occurring in this region. The landscape is characterised by different morphological forms. Steep cliffs and flat narrow valleys can be found as well as moderate slopes with wide valleys. These different morphological forms are ideal for testing a modelling method. It also represents an area where rock-falls occur and where data already are available. In the Georisk Information System of the Bavarian Geological Survey for the main part of the test area spatial data like maps of activity and a landslide inventory already exist. So it was easy to evaluate the potential detachment zones for rock falls. The Digital Elevation Model was interpolated from the digital elevation lines (elevation distant 10 m).

3.2.2.A/1.1 Vorarbeiten

Obwohl man Schwierigkeiten antreffen kann, welche auf Massenbewegungen in fast ganz Bayern zurückzuführen sind, ist dem kleinen Gebiet der Bayerischen Alpen ein besonderes Augenmerk zu schenken. Dies nicht nur weil die hervorgehobene Geländeform eine höhere Anzahl an größeren Massenbewegungen hervorruft, sondern vor allem wegen des bestehenden politischen Interesses im Bezug auf diese Region. Die Bayerischen Alpen bilden in der Tat die wichtigste touristische Attraktion der Region und demzufolge haben sie eine bedeutende ökonomische Auswirkung und einen Immobilienmarkt, der durch die höchsten Preise Deutschlands gekennzeichnet ist. Des weiteren erfordert die Einzigartigkeit dieses ökologischen Reservats in jener Zone spezielle Sicherheitsvorkehrungen. Das Testgebiet für die Anwendung der Methode für die Erstellung von Karten der Gefahrenzonen durch Sturzprozesse auf regionalem Maßstab befindet sich im östlichen Bereich der Bayerischen Alpen. Abgesehen von der oben geschilderten Region ist dieses Gebiet wegen der unterschiedlichen Sturzarten, welche in dieser Region stattfinden, ausgesucht worden. Die Umgebung ist durch unterschiedliche morphologische Formen gekennzeichnet: abschüssige Stellen und enge niedere Täler neben moderaten Hängen und weiten Tälern; diese unterschiedlichen Geländeformen erwiesen sich als ideal, um eine numerische Simulationsmethode zu testen. In jenem Gebiet erfolgen zudem Sturzprozesse und viele Daten liegen bereits schon vor. Im *Georisk Information System* des Bayerischen Geologischen Dienstes sind von den größten Abschnitten des Untersuchungsgebietes bereits räumliche Daten, wie Karten der Aktivitäten und Massenbewegungsinventar vorhanden, und demzufolge ist es möglich gewesen, die potenziellen Zonen von Abbrüchen der Sturzprozesse (Berg- bzw. Felsstürze) leicht abzuschätzen. Das digitale Geländemodell ist, von den Höhenlinien der vektoriiellen topographischen Karte ausgehend, die durch 10 m Equidistanz gekennzeichnet ist, interpoliert worden.

3.2.2.A/1.1 Fasi preliminari

Sebbene in quasi tutta la Baviera si possano riscontrare problematiche derivanti dalla presenza di frane, la zona pur relativamente esigua delle Alpi bavaresi richiede un'attenzione particolare, non solo perché il rilievo pronunciato è causa di un elevato numero di movimenti franosi importanti, ma soprattutto per l'interesse politico-economico nei confronti della regione. Le Alpi bavaresi costituiscono infatti la più importante attrazione turistica della regione, di conseguenza hanno un forte impatto economico ed un mercato immobiliare caratterizzato dai prezzi più elevati dell'intera Germania. Inoltre, l'unicità della riserva ecologica presente in tale zona necessita di speciali misure protettive. L'area campione scelta per l'applicazione del metodo di realizzazione di mappe del pericolo da propagazione su scala regionale è situata nella zona orientale delle Alpi bavaresi. Al di là delle ragioni precedentemente esposte, è stata selezionata quest'area per le differenti tipologie di crolli in roccia che si verificano nella regione. Il paesaggio è caratterizzato da differenti forme morfologiche: dirupi scoscesi e valli strette ed incise convivono con pendii dolci e valli ampie; questa varietà di forme morfologiche è ideale per collaudare un metodo di simulazione di tipo numerico. In tale area, inoltre, sono già disponibili molti dati sui crolli in roccia. Nel *Georisk Information System* del Servizio Geologico Bavarese, per la maggior parte dell'area presa in esame sono presenti informazioni spaziali, quali mappe del grado di attività, e un inventario delle frane; è stato pertanto possibile stimare con facilità le potenziali zone di distacco dei crolli in roccia. Il Modello Digitale del Terreno è stato interpolato a partire dalle curve di livello della base topografica vettoriale, caratterizzate da un'equidistanza di 10 m.

Rock fall danger maps in Bavaria
§ 3,2.2.A/1 LAND BAYERN

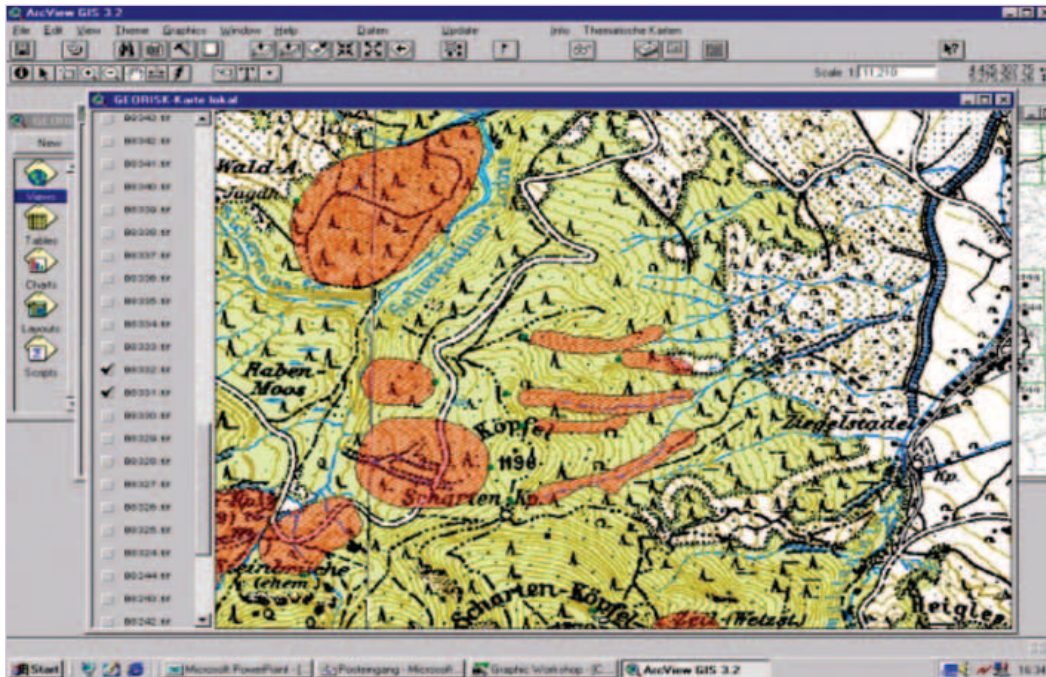


Figure 3.2.2.A/1.3 Data from the Georisk Information System.
Figur 3.2.2.A/1.3 Daten aus dem Georisk Information System.
Figura 3.2.2.A/1.3 Dati estratti dal Georisk Information System.

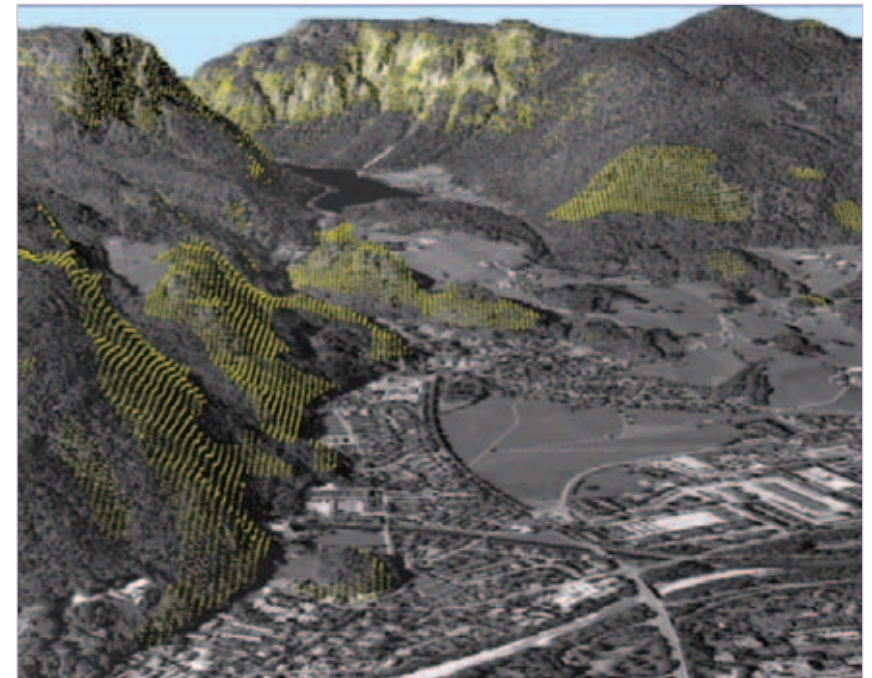


Figure 3.2.2.A/1.4 Potential detachment zones (starting points) of rock falls.
Figur 3.2.2.A/1.4 Potenzielle Abbruchbereiche (Auslösungspunkte) von Sturzprozessen.
Figura 3.2.2.A/1.4 Zone di distacco potenziale (punti d'innesco) dei crolli in roccia.

3.2.2.A/1.2 Activities

To develop a method for the creation of danger maps in a regional scale the activities had to be divided in two parts. The first part is the development of the computer based method and the execution of the method in a test area. The second one is the verification of the results with other methods.

Development of the method

- Investigation of the theoretical background of the global angle method and commitment of a coherence between the so called geometrical slope angle and the shadow angle: the coherence describes whether to use the geometrical slope angle or the shadow angle to identify the rock fall assessment area.
- The development of the programme steps which have to be carried out with ArcGis 8.x[®] to make the modelling of the danger maps. For the modelling the extensions 3-D Analyst and the Spatial Analyst had to be used picking 5 test areas in different morphological and geological situations and development of 5 digital elevation models in a local scale (resolution 10 m).
- The programme was tested in these 5 test areas (local scale) to verify the global angles and to fix the programme procedure.
- The results of the modelling have been verified in field works. The maximum run-out zones have been mapped by “silent witnesses”. In the whole potential detachment area and in the accumulation zone engineering geological and morphological mapping was made. The potential detachment zones are similar to the active areas in the GEORISK Information System and the slope areas steeper 45° detected in the Digital Elevation Model. The procedure of finding the potential detachment zones of the rock falls and converting

3.2.2.A/1.2 Aktivitäten

Um eine Methode zur Realisierung der Karten der Gefahrenzonen durch Sturzprozesse auf regionalem Maßstab zu entwickeln, sind die Tätigkeiten in zwei Teile aufgeteilt worden: Der erste Teil befasst sich mit der Entwicklung der Methode auf informatischer Basis und der Anwendung der Methode im Untersuchungsgebiet, der zweite Teil besteht in der Verifizierung der Ergebnisse mit anderen Methoden.

Entwicklung der Methode

- Untersuchung im Bezug auf die theoretische Grundlage der empirischen Methoden und Definition der Diskriminante zwischen dem Hangneigungswinkel und dem Schattenwinkel: die Diskriminante weist darauf hin, ob man den Hangneigungswinkel oder den Schattenwinkel verwenden soll, um das Abbruchgebiet abzuschätzen.
- Entwicklung der unterschiedlichen Phasen, die mit ArcGis 8.x[®] durchgeführt werden müssen, um die Karten der Gefahrenzonen durch Sturzprozesse zu modellieren. Es wurden die Erweiterungen 3-D Analyst und Spatial Analyst verwendet, in 5 Testgebieten mit unterschiedlichen morphologischen und geologischen Voraussetzungen. Entwicklung von 5 digitalen Modellen auf lokalem Maßstab (Auflösung 10 m).
- Das Programm wurde in diesen 5 Testzonen (in lokalem Maßstab) verifiziert, um die Schattenwinkel und die Ausarbeitungsmaßnahmen zu überprüfen.
- Die Ergebnisse der Modellierung wurden an Hand von Geländeaufnahmen überprüft. Die Zonen mit maximaler Ausbreitung sind durch stumme Zeugen aufgenommen worden. Im gesamten potenziell abbruchgefährdeten Gebiet und in der Ablagerungszone sind geologisch-geotechnische und morphologische Karten erstellt worden. Die potentiell abbruchgefährdeten Gebiete sind mit den Gebieten vergleichbar, die im GEORISK Information System

3.2.2.A/1.2 Attività

Per la definizione del metodo di realizzazione di mappe del pericolo da propagazione su scala regionale, le attività sono state suddivise in due fasi. La prima parte ha riguardato lo sviluppo del metodo su base informatica e la messa in atto del metodo nell'area campione; la seconda fase è consistita nella verifica dei risultati tramite l'applicazione di altri metodi.

Sviluppo del metodo

- In primo luogo è stata condotta un'indagine relativa alle basi teoriche dei metodi empirici e si è proceduto alla definizione della discriminante tra l'angolo di inclinazione del versante e l'angolo di attrito equivalente: la discriminante indica se utilizzare l'angolo di inclinazione del versante o l'angolo di attrito equivalente per stimare l'area soggetta a crollo.
- Sono state sviluppate, con l'impiego del software ESRI ArcGis 8.x[®], le varie fasi del programma per la modellazione delle mappe del pericolo da propagazione. Tramite l'utilizzo delle estensioni 3-D Analyst e Spatial Analyst, sono state selezionate 5 aree campione in contesti morfologici e geologici differenti e sono stati generati 5 modelli digitali in prospettiva, su scala locale (risoluzione 10 m).
- Il programma è stato verificato in queste 5 aree campione (a scala locale), per verificare gli angoli di attrito equivalente e per definire le procedure di elaborazione.
- I risultati della modellazione sono stati controllati mediante rilievi in campo. Le zone di massima propagazione sono state cartografate da *testimoni silenziosi*. Per le aree di potenziale distacco e per le zone di accumulo sono state prodotte mappe geologico-tecniche e morfologiche. Le zone di potenziale distacco sono confrontabili con le aree definite attive nel GEORISK Information System e

- them into start points of rock falls has been fixed.
- The procedure of finding the potential accumulation zones or danger areas by using the 7 extension of ESRI ArcGis® has been fixed.
 - The whole method has been tested on a regional scale. As test area the region between Bad Reichenhall and Schneizlreuth was chosen. The digital elevation model was interpolated from the elevation lines of the topographic map (equidistance 20 m).

Verification of the results

After the development works the whole method was carried out by external experts in the test area to control its feasibility. Additionally, in the whole test area a rock fall simulation has been carried out with a 3-D trajectory model to compare the results and to find mistakes and limits. As a result of previous works in 2/3 of the test area a detailed landslide inventory was already existing. With the help of these data the results of the modelling have been verified.

Additional to this, works have been carried out to evaluate the danger areas with reference to the probability and intensity of the potential rock falls. The evaluation is adapted to the morphological and geological situation in the Bavarian alps and matched to the already existing data for this region.

- als aktiv definiert wurden, und mit den Hängen, die eine Neigung größer als 45° aufweisen, welche durch das digitale Geländemodell ermittelt wurden. Zudem wurde die Vorgangsweise zur Lokalisierung der potenziellen Abbruchstellen von Sturzprozessen festgelegt und um sie in Ablösestellen der Sturzprozesse von zu konvertieren.
- Die Vorgangsweise für die Lokalisierung der potenziellen Ablagerungsräume oder Gefahrenzonen durch Sturzprozesse ist an Hand der Anwendung der Erweiterung *Spatial Analyst* von ESRI ArcGis® durchgeführt worden.
 - Die gesamte Methode wurde auf regionalem Maßstab erprobt. Als Testgebiet wurde das Gebiet zwischen Bad Reichenhall und Schneizlreuth ausgewählt. In diesem Fall wurde das digitale Geländemodell aus den Höhenlinien der topographischen vektoriiellen Karte (Equidistanz 20 m) interpoliert.

Überprüfung der Daten

Nach den Entwicklungsphasen wurde die gesamte Methode von externen Experten im Testgebiet durchgeführt um die Anwendbarkeit zu überprüfen. Noch dazu wurde im gesamten Testgebiet eine Steinschlagsimulation mit einem 3-D Ausbreitungsmodell durchgeführt, um die Ergebnisse zu vergleichen und schließlich Fehler und Grenzen aufzufinden. Als Ergebnis von vorhergehenden Untersuchungen existierte schon von 2/3 des Testgebietes ein detailliertes Massenbewegungsinventar. An Hand von diesen Daten sind die Ergebnisse der Modellierungen überprüft worden.

Es wurden zudem Arbeiten durchgeführt, um die Gefahrenzonen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit und der Intensität der potentiellen Sturzprozesse abzuschätzen. Die Abschätzung ist der morphologischen und geologischen Situation der Bayerischen Alpen angepasst und wird verglichen mit den bereits bestehenden Daten bezüglich dieser Region.

- con i versanti ad inclinazione superiore a 45° ricavati dal Modello Digitale del Terreno. È stata inoltre definita la procedura per localizzare le zone di potenziale distacco dei crolli in roccia e per convertirle in punti d'innescio dei crolli.
- La procedura per la localizzazione delle potenziali zone di accumulo o aree di pericolo da propagazione è stata definita utilizzando l'estensione *Spatial Analyst* di ESRI ArcGis®.
 - L'intero metodo è stato testato su scala regionale. Come area campione è stata scelta la regione compresa tra Bad Reichenhall and Schneizlreuth. In questo caso il Modello Digitale del Terreno è stato interpolato dalle curve di livello della base topografica vettoriale con equidistanza 20 m.

Verifica dei risultati

Successivamente alle fasi di sviluppo, l'intero metodo è stato testato da esperti esterni nell'area campione, in modo da controllarne l'applicabilità. Inoltre, in tutta l'area campione è stata eseguita una simulazione di crollo con un modello di propagazione 3-D, in modo da poter confrontare i risultati e scoprire eventuali errori e limiti. Per 2/3 dell'area campione esisteva già un inventario dettagliato delle frane, come prodotto di precedenti lavori, che ha consentito di verificare ulteriormente i risultati della modellazione.

Sono stati inoltre eseguiti lavori tesi a valutare le aree di pericolo in relazione alla probabilità e all'intensità dei potenziali crolli in roccia. Tale valutazione è stata adattata alla situazione morfologica e geologica delle Alpi bavaresi e confrontata con i dati già esistenti relativi a questa regione.

Rock fall danger maps in Bavaria
§ 3.2.2.A/1 LAND BAYERN

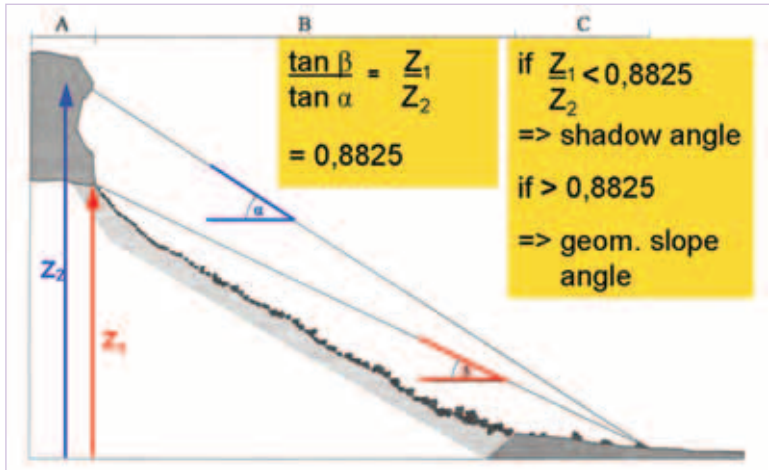


Figure 3.2.2.A/1.5 Theoretical background when to use the shadow angle (27°) and the geometrical slope angle (30°).

Figur 3.2.2.A/1.5 Theoretischer Hintergrund, der aufzeigt, wann der Schattenwinkel (27°) und wann der Hangneigungswinkel (30°) anzuwenden ist.

Figura 3.2.2.A/1.5 Basi teoriche che illustrano quando usare l'angolo di attrito equivalente (27°) e quando l'angolo di inclinazione del pendio (30°).

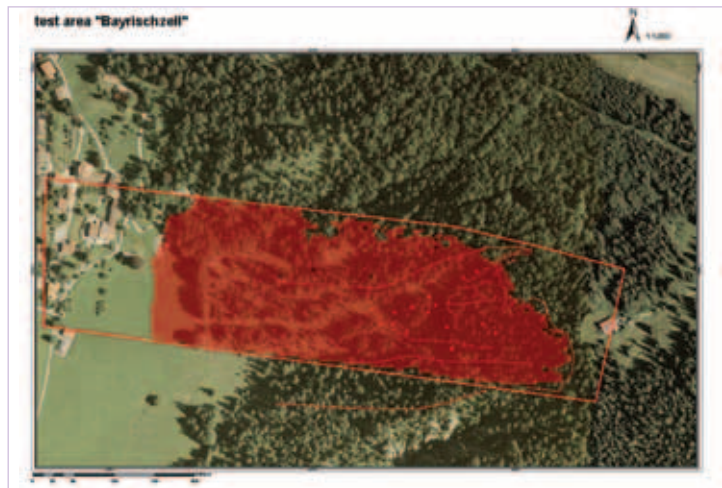


Figure 3.2.2.A/1.6 Example of a small test area in a local scale with the modelling danger area (red zone).

Figur 3.2.2.A/1.6 Beispiel einer kleinen Testfläche (lokaler Maßstab), in rot hervorgehoben die Karten der Gefahrenzonen durch Sturzprozesse, von der Modellierung abgeleitet.

Figura 3.2.2.A/1.6 Esempio di una piccola area campione (scala locale); in rosso evidenziata l'area di pericolo da propagazione dedotta dalla modellazione.

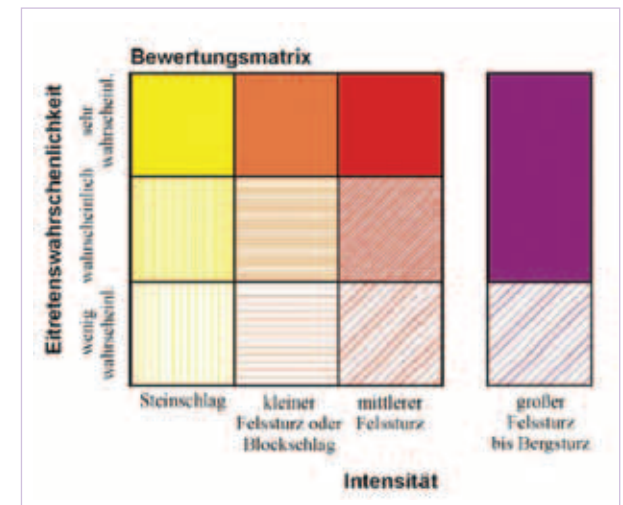


Figure 3.2.2.A/1.7 First concept of a matrix evaluating intensity (x-axis) and probability (y-axis).

Figur Prototyp der Matrix zur Abschätzung der Intensität (x-Achse) und Wahrscheinlichkeit (y-Achse).

Figura 3.2.2.A/1.7 Prototipo di matrice per la stima dell'intensità (asse x) e della probabilità (asse y).

3.2.2.A/1.3 Results

One essential precondition for the development of *Danger Maps* concerning mass movements is the knowledge of the susceptible zones and for rock falls especially the location of the starting zones. Only with this information statements can be made about the size of the areas affected by a potential event.

The introduced regional scale method has been developed to attain the maximum run-out zones of rock falls. The method is executed with the ESRI ArcGis® 8.2 and the extension Spatial Analyst.

The analyses of Evans & Hungr (1993) and Meißl (1998) are carried out to acquire the maximum run-out zone by using the shadow angle and the so called geometrical slope angle. As a result of previous works (GEORISK), most of the detachment areas (starting zones) of rock falls in the Bavarian alps are already known. Based on the digital elevation model (Digital Elevation Model raster resolution $\leq 10\text{m}$) additional potential starting zones (e.g. slope angle $\geq 45^\circ$) can be defined using the *Slope Function* (Spatial Analyst).

A key function in acquiring the run-out zones of rock falls is the *Viewshed Function* (Spatial Analyst). The *Viewshed Function* identifies the locations (cells) on a surface (Digital Elevation Model input raster) that can be seen from one or more observation points. The starting points of the potential rock falls are declared to be the observation points of the *Viewshed Function*. Using the items VERT1 and VERT2 in the attribute table, the vertical angle of the view can be limited according to the analyses of Evans & Hungr (1993) and Meißl (1993). The horizontal view angle (lateral spread from the fall line) can be limited with the items AZIMUTH1 and AZIMUTH2. To process the slope exposition based on the Digital Elevation Model the *Aspect Function* can be used. The evaluation of the control attributes

3.2.2.A/1.3 Ergebnisse

Eine der Grundvoraussetzungen für die Erstellung der Karten der Gefahrenzonen durch Sturzprozesse im Bezug auf Massenbewegungen ist die Kenntnis der empfindlichen Zonen und speziell für Sturzprozesse die Lage der Auslösungszone. Nur mit solch einer Art von Information ist es möglich, Aussagen über die Ausdehnung der Zonen, die von potentiellen Ereignissen betroffen werden könnten, zu formulieren.

Die vorgestellte Methode (in regionalem Maßstab) ist entwickelt worden, um die Zone der maximalen Ausdehnung von Steinschlagereignissen festzulegen. Die Methode wurde mit ArcGis® 8.2 und mit der Erweiterung *Spatial Analyst* durchgeführt.

Um das Gebiet mit maximaler Ausdehnung zu ermitteln, sind Analysen nach Evans & Hungr (1993) und Meißl (1998) durchgeführt worden, mit der Verwendung vom Schattenwinkel und dem Hangneigungswinkel. Als Ergebnis der vorhergehenden Untersuchungen (GEORISK) sind die meisten Abbruchbereiche (Ablösungsstellen) der Steinschlagereignisse in den Bayerischen Alpen bekannt. Im Bezug auf das digitale Geländemodell (Rasterauflösung $\leq 10\text{m}$) können weitere potentielle Ablösungszonen durch die *Slope Funktion* des *Spatial Analyst* (zum Beispiel für Hangwinkelwerte $\geq 45^\circ$) bestimmt werden.

Eine Schlüsselfunktion in der Erhaltung der Auslaufbereiche der Sturzprozesse ist die *Viewshed Function* (*Spatial Analyst*), welche jenen Oberflächenteil identifiziert (in Zellen des digitalen Geländemodells ausgedrückt), das von mehreren Standpunkten aus betrachtet werden kann. Die Ablösungsstellen von potentiellen Sturzprozessen sind als Beobachtungspunkte der *Viewshed Function* gekennzeichnet.

Unter der Verwendung der Felder VERT1 und VERT2

3.2.2.A/1.3 Risultati

Uno dei presupposti essenziali per lo sviluppo di mappe del pericolo da propagazione è la conoscenza delle zone predisposte all'insacco di movimenti franosi; in particolare per i crolli è necessario conoscere la precisa ubicazione delle zone di insacco. Solo con questo tipo di informazioni è possibile fare previsioni relative alle dimensioni delle aree che potrebbero essere potenzialmente interessate dell'evoluzione di fenomeni franosi.

Il metodo presentato (a scala regionale) è stato sviluppato con la finalità di determinare le zone di massima propagazione dei crolli in roccia ed è stato implementato utilizzando il *software* ESRI ArcGis® 8.2 e l'estensione *Spatial Analyst*.

Per determinare la zona di massima propagazione sono state eseguite analisi secondo Evans & Hungr (1993) e Meißl (1998), utilizzando l'angolo di attrito equivalente e l'angolo di inclinazione del versante. Quale risultato di precedenti lavori (GEORISK), è già nota la maggior parte delle aree di distacco (zone di insacco) dei crolli in roccia nelle Alpi bavaresi. Facendo riferimento al Modello Digitale del Terreno (maglia $\leq 10\text{m}$), si possono definire ulteriori zone di potenziale insacco, utilizzando la *Slope Funktion* di *Spatial Analyst* (ad esempio per valori dell'angolo del pendio $\geq 45^\circ$).

Una funzione chiave per l'acquisizione delle zone di propagazione dei crolli in roccia è la *Viewshed Function* (*Spatial Analyst*), che identifica la porzione di superficie (in termini di celle del Modello Digitale del Terreno), che può essere vista da uno o più punti d'osservazione. I punti di insacco di potenziali crolli in roccia sono designati come punti d'osservazione della *Viewshed Function*.

Utilizzando i campi VERT1 e VERT2 nella tavola degli attributi, l'angolo verticale della vista può essere ridotto in conformità con le analisi di Evans &

Rock fall danger maps in Bavaria § 3.2.2.A/1 LAND BAYERN

can be carried out semi-automatically using further tools like the *Reclassify Function* and the *Raster Calculator*.

der attribute table, kann der vertikale Winkel der Sicht reduziert werden in Übereinstimmung mit den Analysen von Evans & Hungr (1993) und Meißl (1993). Der horizontale Winkel der Sicht (laterale Ausdehnung im Bezug zur Falllinie), kann durch AZIMUTH1 und AZIMUTH2 reduziert werden. Um die Daten bezüglich der Hangexponierung, welche durch das digitale Geländemodell erhalten werden, auszuarbeiten, kann die *Aspect Function* verwendet werden. Die Abschätzung der Kontrollattribute kann auf semiautomatische Weise durchgeführt werden, unter der Verwendung von weiteren Funktionen, wie die *Reclassify Function* und den *Raster Calculator*.

Hungr (1993) and Meißl (1993). L'angolo orizzontale della vista (espansione laterale rispetto alla linea di crollo) può essere ridotto con i campi AZIMUTH1 e AZIMUTH2. Per elaborare i dati relativi all'esposizione del versante ricavata dal Modello Digitale del Terreno può essere utilizzata la *Aspect Function*. La stima degli attributi di controllo può essere condotta in modo semiautomatico utilizzando ulteriori strumenti, quali il *Reclassify Function* e il *Raster Calculator*.

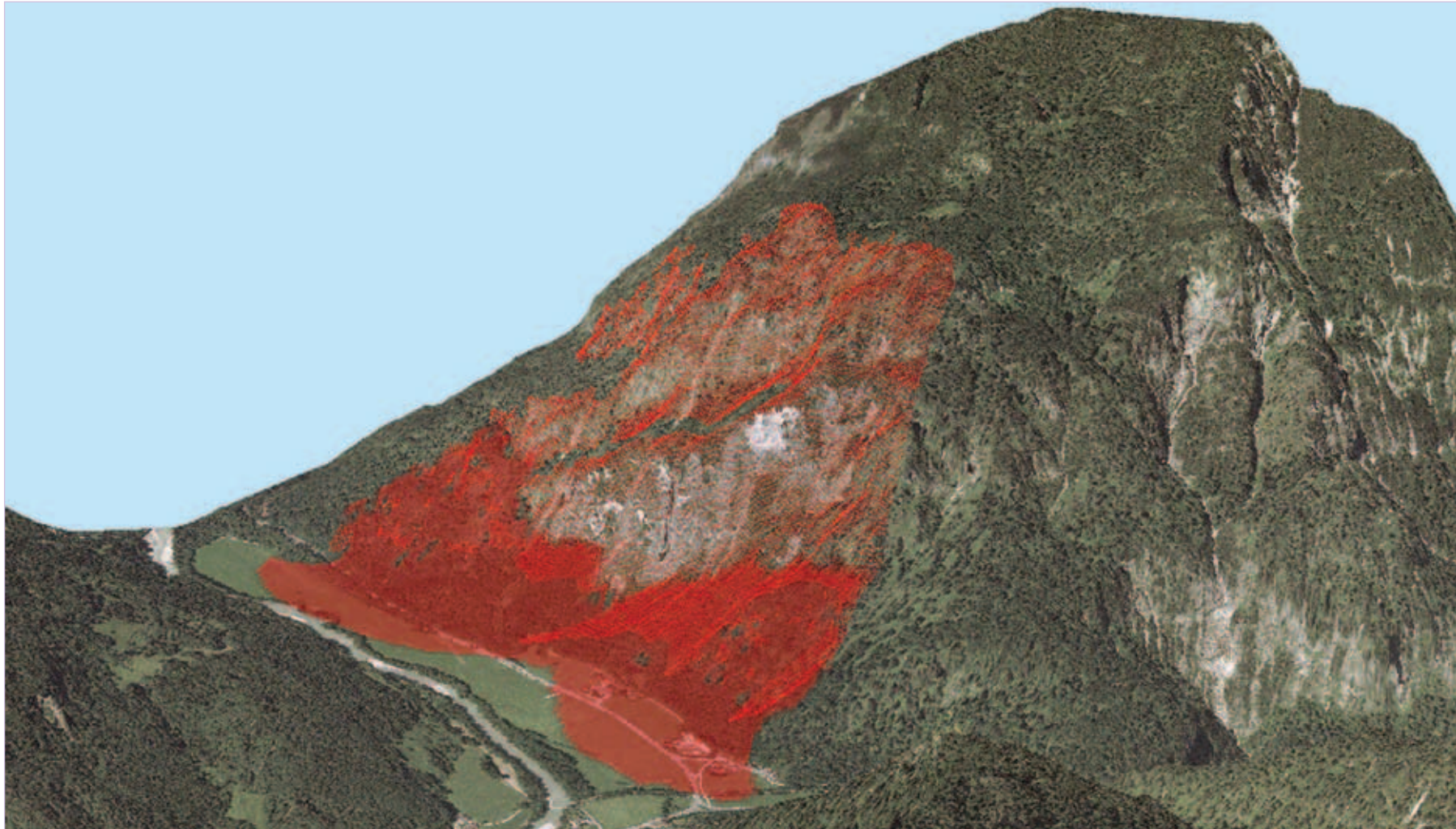


Figure 3.2.2.A/1.8 Cut-out of the test area. The modelling has been carried out with the shadow angle.

The red points are the potential starting points for rock falls, the red area is the potential danger area.

Figur 3.2.2.A/1.8 Ausschnitt des Testgebietes. Die Modellierung wurde durch den Schattenwinkel durchgeführt.

Die roten Punkte sind potentielle Ablösungsstellen der Sturzprozesse, die rote Zone die potenzielle Gefahrenzonen durch Sturzprozesse.

Figura 3.2.2.A/1.8 Particolare dell'area campione. La modellazione è stata condotta con l'angolo di attrito equivalente.

I punti rossi sono i punti di innesco potenziale dei crolli in roccia, l'area rossa la potenziale area di pericolo da propagazione.

Rock fall danger maps in Bavaria
§ 3.2.2.A/1 LAND BAYERN

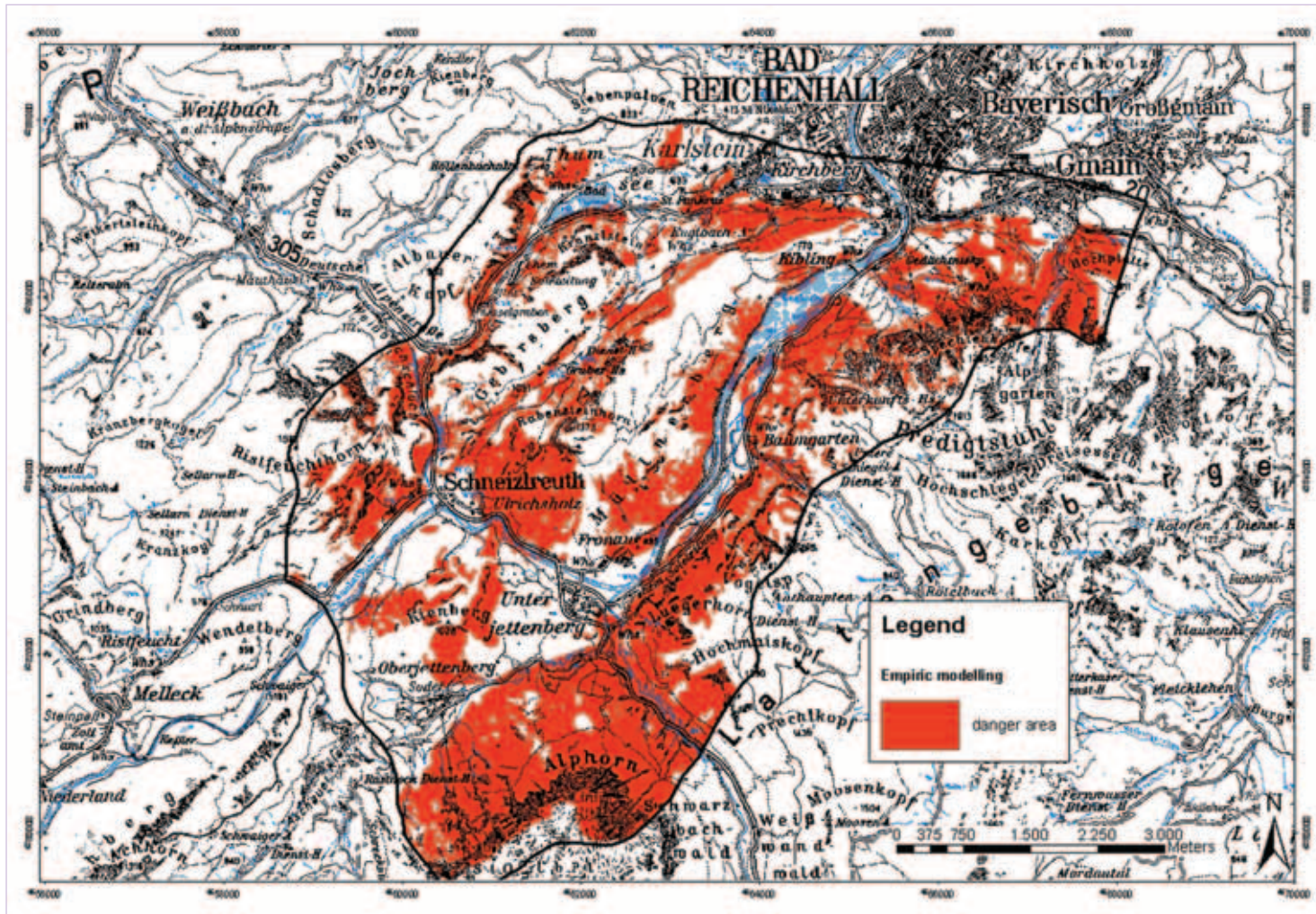


Figure 3.2.2.A/1.9 Empiric modelling in the test area Bad Reichenhall. The red areas are the danger areas. With reference to the theoretical background in Figure 3.2.2.A/1.5, the modelling have been carried out with the shadow angle and the geometrical slope angle.

Figur 3.2.2.A/1.9 Empirische Modellierung des Testgebietes Bad Reichenhall. Die roten Zonen sind die Gefahrenzonen durch Sturzprozesse. Im Bezug auf die theoretische Grundlage, die in Abbildung 3.2.2.A/1.5 dargestellt wird, die Modellierung wurde mit dem Schattenwinkel und dem Hangneigungswinkel durchgeführt.

Figura 3.2.2.A/1.9 Modellazione empirica nell'area campione del Bad Reichenhall. Le aree rosse sono le aree di pericolo da propagazione. Con riferimento alle basi teoriche esposte in Figura 3.2.2.A/1.5, la modellazione è stata condotta con l'angolo di attrito equivalente e l'angolo d'inclinazione del versante.

3.2.2.A/1.4 Conclusions

As the detachment areas already have been detected by earlier works (GEORISK-system), the potential run-out zone can be calculated with ESRI ArcGis®. This is done by intersection of the Digital Elevation Model with the different possible angles of reach which have to be chosen carefully according to the cliff geometry. The resulting surfaces in the danger map already include the most crucial factor for a hazard map; the factors probability and intensity will be added separately.

The danger maps and the hazard maps should be used for regional planning. It is obvious that it cannot replace detailed local investigations.

The accuracy of the acquired attributes of the observation points (starting points of rock falls) and the area of visibility (danger area) is strongly depending on the precision of the Digital Elevation Model. For this reason, the interpolation of the Digital Elevation Model has to be carried out with special care and the raster resolution has to be as high as possible.

The verification of the method in the field and with other programmes showed that the calculation of the danger areas is a worst case analysis and gives a first overview where detailed investigations are necessary.

3.2.2.A/1.4 Schlussfolgerungen

Da die Abbruchbereiche schon zu einem vorherigen Zeitpunkt bestimmt wurden (GEORISK System), kann der potentielle Auslaufbereich mit ESRI ArcGis® errechnet werden. Dies erreicht man mit der Überschneidung zwischen dem digitalen Geländemodell und den unterschiedlichen Winkeln der Trajektorien, die sorgfältig übereinstimmend mit der Hanggeometrie ausgewählt werden müssen. Die resultierende Oberflächen in der Karte der Gefahrenzonen durch Sturzprozesse beinhalten die fundamentalen Faktoren für eine Gefahrenzonenkarte; die Intensität- und Wahrscheinlichkeits-Faktoren können eigens dazu genommen werden.

Die Karte der Gefahrenzonen durch Sturzprozesse und die Gefahrenzonenkarte sollten für die regionale Raumplanung herangezogen werden. Es ist offensichtlich, dass sie die Detailaufnahmen in lokalem Maßstab nicht ersetzen können.

Die Präzision der erhaltenen Attribute für die Beobachtungspunkte (Ablösestellen der Sturzprozesse) und für die Beobachtungsgebiete (Gefahrenzone durch Sturzprozesse) hängt strickt mit der Genauigkeit des Geländemodells zusammen. Aus diesem Grund muss die Interpolierung des Geländemodells mit extremer Sorgfalt durchgeführt werden und die Auflösung des Rasters so hoch wie nur möglich sein.

Die Überprüfung der Methode im Gelände und mit der Zuhilfenahme von anderen Programmen hat gezeigt, dass es sich bei der Berechnung der Gefahrenzonen um eine konservative Analyse handelt, welche einen ersten Überblick über die Gebiete gibt, in denen genauere Untersuchungen durchzuführen sind.

3.2.2.A/1.4 Conclusioni

Avendo a disposizione l'ubicazione delle zone di distacco, precedentemente rilevate (GEORISK System), con il software ESRI ArcGis® è possibile calcolare la zona di potenziale propagazione. Tale risultato si ottiene incrociando il Modello Digitale del Terreno con i differenti angoli di traiettoria possibili, che devono essere accuratamente selezionati in conformità con la geometria del pendio. Le superfici risultanti nella mappa del pericolo da propagazione includono già gli elementi fondamentali per una mappa di pericolosità; i fattori *intensità* e *probabilità* possono essere aggiunti separatamente.

Le mappe del pericolo da propagazione e le mappe di pericolosità dovrebbero essere utilizzate per la pianificazione regionale. È chiaro che non possono sostituire indagini di dettaglio a scala locale.

La precisione degli attributi ricavati per i punti d'osservazione (punti d'innescio dei crolli in roccia) e per l'area di visibilità (area di pericolo da propagazione) dipende strettamente dalla precisione del Modello Digitale del Terreno. Per questa ragione, l'interpolazione del Modello Digitale del Terreno deve essere eseguita con particolare attenzione e la risoluzione della maglia deve essere quanto più alta possibile.

La verifica del metodo, sia sul campo sia con l'ausilio di altri programmi, ha dimostrato che la definizione delle aree di pericolo è piuttosto conservativa, ad offrire una prima panoramica sulle aree in cui sono necessarie indagini di maggiore dettaglio.

3.2.3. Comparison with previous experiences

3.2.3/1 Falaises Project

The Interreg IIC Programme *Falaises* entitled *Preventing rock face instability. A comparison between methods of studying rock falls in the Alps* (<http://www.crealp.ch/fr/contenu/ireg/titre.asp>) developed and compared methods for identifying and outlining risk areas and hazards of rock falls. Below is a summary of the methodological approaches applied in this project, grouped into two categories:

- global methods, which provide a qualitative evaluation of failure probability of rock mass and enable hazard and risk assessments of large areas (up to several km²) to be carried out: (1) LPC, (2) MATTEROCK, (3) RHAP and (4) RES;
- specific methods, which use detailed approaches and focus on characterising slope instability, with the aim of determining the probability of rock face failure: (5) HGP and (6) a probabilistic method.

Lastly we look at the STONE method (7) which analyses, on both local and regional levels, rock fall triggers and the behaviour of falling boulders in 3D.

Table 3.2.3.A/1.1 sets out the properties and Limits of the aforementioned methods.

(1) LPC Methodology – Laboratoire des Ponts et Chaussées, CETE (Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement)

Aims

This method is based on identifying localised or wide-spread instability, and looks for potential failure mechanisms. It uses trajectories lines to assess the hazard levels of areas subject to rock fall.

3.2.3. Vergleich mit vorherigen Erfahrungen

3.2.3/1 Projekt Falaises

In der Umgebung des Programms Interreg IIC *Falaises* mit dem Titel *Vorbeugungen von Instabilität an Felswänden. Vergleich der Untersuchungsmethoden für Steinschlag im Alpenbogen* (<http://www.crealp.ch/fr/contenu/ireg/titre.asp>) wurden Methoden entwickelt und verglichen, die zur Einschätzung und Eingrenzung von Gefährlichkeit und Risiken von Steinschlag dienen. Es folgt eine zusammenfassende Beschreibung der Methoden, die für dieses Projekt verwendet wurden und die sich in zwei Kategorien einordnen lassen:

- globale Methoden, die eine qualitative Einschätzung der Wahrscheinlichkeit von Brüchen der Felsmasse liefern und die Einschätzung von Gefährlichkeit und Risiko auf großen Flächen (bis zu einigen Quadratkilometern) ermöglichen: (1) LPC, (2) MATTEROCK, (3) RHAP und (4) RES
- besondere Methoden, die sich über Detailzugänge vor allem auf die Einschätzung von Instabilität konzentrieren und dabei darauf abzielen, die Wahrscheinlichkeit von Brüchen der Felswand zu bestimmen: (5) HGP und (6) Wahrscheinlichkeitsmethode

Es wird schließlich das Programm zur Berechnung STONE (7) beschrieben, das auf lokaler wie auf regionaler Ebene die Auslösung von Steinschlag und das Verhalten von Massen dreidimensional analysiert.

In der Tabelle 3.2.3.A/1.1 sind die Eigenschaften und Grenzen der genannten Methoden skizziert.

(1) LPC-Methode - Laboratoire des Ponts et Chaussées, CETE (Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement)

Ziel

Die Methode basiert auf der Identifikation von lokaler oder

3.2.3. Confronto con esperienze precedenti

3.2.3/1 Progetto Falaises

Nell'ambito del Programma Interreg IIC *Falaises* dal titolo *Prevenzione dei fenomeni di instabilità delle pareti rocciose. Confronto dei metodi di studio dei crolli nell'arco alpino* (<http://www.crealp.ch/fr/contenu/ireg/titre.asp>) sono stati sviluppati e comparati metodi per l'individuazione e la perimetrazione della pericolosità e del rischio da crolli in roccia. Verranno di seguito illustrati sinteticamente gli approcci metodologici applicati in tale Progetto, raggruppati in due categorie:

- metodi globali, che forniscono una valutazione qualitativa della probabilità di rottura dell'ammasso roccioso e permettono la valutazione della pericolosità e del rischio su superfici ampie (sino ad alcuni km²): (1) LPC, (2) MATTEROCK, (3) RHAP e (4) RES;
- metodi specifici, che attraverso approcci di dettaglio si concentrano prevalentemente sulla caratterizzazione delle instabilità, mirando a determinare la probabilità di rottura della parete di roccia: (5) HGP e (6) metodo probabilistico.

Verrà infine illustrato il programma di calcolo STONE (7) che analizza a scala sia locale sia regionale l'innescare dei crolli e il comportamento della caduta massi in 3D.

In Tabella 3.2.3.A/1.1 sono schematizzati proprietà e limiti dei metodi citati.

(1) Metodologia LPC – Laboratoire des Ponts et Chaussées, CETE (Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement)

Finalità

Il metodo si basa sull'identificazione delle instabilità

Potential

It localises and characterises instability, enables rock fall areas to be calculated and defines the action to implement in terms of prevention/forecast.

Limits

It is mainly used in specific or linear studies, and not for cartographic-type studies, unlike the other methods.

Results

Definition of failure probability using a non-quantified procedure. Information on boulder fall trajectories, speed and height.

(2) MATTEROCK Methodology (Rouiller et al., 1998)

Aims

This method calculates the probability of rock face failure based on a detailed stability analysis using geomechanical parameters and considering external influences. Trajectories are used to establish the boundaries of the areas subject to rock falls in relation to the speed of the boulders.

Potential

It allows for a rapid identification of potential rock fall areas and is suitable for large volumes of rock.

Limits

It calls for a detailed knowledge of the rock mass, therefore a detailed study of the area being investigated. Costly.

Results

A hazard map deriving from the overlay of data from direct observation of unstable mass with the information obtained from the trajectories.

verbreiteter Instabilität und sucht nach Mechanismen von potenziellen Brüchen. Mit der Verwendung der Fallbahnbeschreibungen wird die Gefährlichkeit der vom Steinschlag betroffenen Gebiete eingeschätzt.

Potentialität

Die Methode ermöglicht eine Lokalisierung und Charakterisierung der Instabilität, die Berechnung der vom Herunterfallen der Massen betroffenen Gebiete und die Bestimmung von Maßnahmen zur Vorhersage und Verhütung.

Grenzen

Die Methode ist vor allem für punktuelle oder lineare Spezialuntersuchungen geeignet, nicht aber für kartografische Studien oder für andere Methoden.

Ergebnisse

Definition der Wahrscheinlichkeit von Brüchen über einen nicht quantifizierten Vorgang. Informationen über die Fallbahnen, über die Geschwindigkeit und über die Fallhöhe der Blöcke.

(2) MATTEROCK-Methode (Rouiller et al., 1998)

Ziel

Die Methode befasst sich mit der Wahrscheinlichkeit von Brüchen der Felsmasse und basiert auf einer Detailanalyse der Stabilität mit Verwendung der geomechanischen Parameter und unter Berücksichtigung der externen Einflussfaktoren. Die Beschreibungen der Fallbahnen werden verwendet, um die von den fallenden Blöcken betroffenen Gebieten in Abhängigkeit der Energie der Blöcke zu umgrenzen.

Potentialität

Die Methode erlaubt eine schnelle Identifikation der von Steinschlag betroffenen Zonen. Sie ist für große Volumenintervalle von Steinmassen geeignet.

Grenzen

Es ist eine tief gehende Kenntnis der Felsmassen

localizzate o diffuse ricercando i meccanismi di rottura potenziali. Con l'utilizzo di traiettografie valuta la pericolosità delle aree interessate da fenomeni di crollo.

Potenzialità

Permette di localizzare e caratterizzare le instabilità, calcolare le aree interessate dalla caduta massi e definire i lavori da eseguire ai fini della prevenzione/previsione.

Limiti

Destinato prevalentemente a studi specifici, puntuali o lineari e non a studi di tipo cartografico come per gli altri metodi.

Risultati

Definizione della probabilità di rottura attraverso un procedimento non quantificato. Informazioni sulle traiettorie di caduta, sulla velocità e sulle altezze di volo dei blocchi.

(2) Metodologia MATTEROCK (Rouiller et al., 1998)

Finalità

Il metodo qualifica la probabilità di rottura dell'ammasso roccioso basandosi su un'analisi dettagliata della stabilità con l'utilizzo di parametri geomeccanici e considerando i fattori esterni d'influenza. Le traiettografie sono utilizzate per delimitare il perimetro delle aree interessate dai crolli in relazione alle energie dei blocchi.

Potenzialità

Permette d'identificare rapidamente le zone potenziali di caduta di blocchi di roccia; è adatto per ampi intervalli di volumi di ammassi rocciosi.

Limiti

È necessaria una conoscenza approfondita dell'am-

Notes

This method is suitable for metamorphic or granite rock faces rather than calcareous rock.

(3) RHAP Methodology - Rock Fall Hazard Assessment Procedure (Regione Lombardia, 2000)

Aims

RHAP is a field method aimed at evaluating and zoning hazards in areas at risk of rock falls. The method provides a qualitative evaluation of failure probability.

Potential

Rapid, low cost method. This is an objective method which enables hazard levels in different areas to be compared.

Limits

Used for falls of individual boulders or for a maximum volume of less than 1.000 m³. It is used to study contained, limited areas. Failure probability and propagation probability are assessed with a semi-quantitative approach.

Results

The method provides a map of hazard zones in the area being studied and therefore defines different levels of hazard for the application of specific safety measures.

(4) RES Methodology - Rock Engineering System (Hudson, 1992)

Aims

RES is a general method which deals with a wide range of problems concerning the mechanical aspects of rock, but the characterisation of the rock mass in each case is specific to the project in question. The final aims are to estimate and zone hazard levels and analyse risk.

vonnoten, und damit eine Detailstudie im entsprechenden Gebiet. Hohe Kosten.

Ergebnisse

Karte der Gefährlichkeit, die sich aus dem Abgleich der Daten der direkten Beobachtung der instabilen Blöcke und der Informationen über die Fallbahnen ergibt.

Bemerkungen

Die Methode ist für Felswände aus metamorphischen oder granitoiden Steinen besser geeignet als für Kalkstein.

(3) RHAP-Methode - Rock fall Hazard Assessment Procedure (Region Lombardei, 2000)

Ziel

Die RHAP-Methode sieht Untersuchungen vor Ort vor, die die Gefährlichkeit von Steinschlag in Zonen einteilen sollen. Die Methode liefert eine qualitative Einschätzung der Wahrscheinlichkeit von Brüchen.

Potentialität

Methode mit Untersuchungen vor Ort zu begrenzten Kosten. Objektivität durch Vergleich von Gefährlichkeit in verschiedenen Gebieten.

Grenzen

Verwendet für Steinschlag von einzelnen Blöcken oder für ein Gesamtvolumen von höchstens 1.000 m³. Dient der Untersuchung von begrenzten und umschriebenen Bereichen. Die Wahrscheinlichkeiten von Brüchen und Fortpflanzungen werden in semi-quantitativer Weise berechnet.

Ergebnisse

Die Methode liefert eine Karte mit Zoneneinteilung der Gefährlichkeit des untersuchten Gebietes. Sie erlaubt eine Definition von Bereichen mit unterschiedlicher Gefährlichkeit, bei denen dann unterschiedliche Sicherungsniveaus zur Anwendung kommen.

masso roccioso, quindi uno studio di dettaglio del territorio indagato. Costi elevati.

Risultati

Carta della pericolosità derivata dall'incrocio dei dati ricavati dalle osservazioni dirette dei blocchi instabili associate alle informazioni ottenute dalle traiettografie.

Note

Metodo adatto a pareti in rocce metamorfiche o granitoidi, piuttosto che in rocce calcaree.

(3) Metodologia RHAP - Rock fall Hazard Assessment Procedure (Regione Lombardia, 2000)

Finalità

Il RHAP consiste in un metodo speditivo finalizzato a valutare e zonare la pericolosità in aree soggette a crolli in roccia. Il metodo fornisce una valutazione qualitativa della probabilità di rottura.

Potenzialità

Metodo speditivo con costi limitati. Metodo oggettivo che permette la comparazione della pericolosità tra aree differenti.

Limiti

Utilizzato per crolli di singoli blocchi o per una volumetria massima complessiva inferiore a 1.000 m³. Serve per lo studio di aree limitate e circoscritte. La probabilità di rottura e la probabilità di propagazione sono valutate in modo semi-quantitativo.

Risultati

Il metodo fornisce una cartografia con la zonazione della pericolosità dell'area studiata. Permette quindi di definire aree a differente grado di pericolosità cui apporre specifici vincoli di salvaguardia.

Potential

The number and type of parameters used varies according to the objectives. The choice of parameters to consider in each individual case can determine a reduction in cost.

Limits

Recommended for areas subject to rock falls of less than 1.000 m³.

Notes

There is also a more rapid version of this method (RESr) which uses a number of parameters to indicate the instability of the slope in question.

Results

Hazard and risk map.

(5) Historic, Geomechanical and Probabilistic Method (Historique, Géomécanique et Probabiliste) developed by LIRIGM (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Impliquant la Géologie et la Mécanique) in Grenoble

Aims

This method estimates the rock face failure probability according to the return period of rock falls.

Potential

It allows for an objective classification of the different levels of instability in a rock face.

Limits

The model only considers trigger areas, and not the other areas potentially involved. There must be an inventory of rock slides for the area of study.

Results

Assessment sheet for the rock face failure probability.

(4) RES-Methode - Rock Engineering System (Hudson, 1992)

Ziel

Allgemeine Methode für eine Reihe von Problemen, die mit der Felsmechanik zusammenhängen. Die Charakterisierung der Felsmasse hängt von dem jeweiligen Projekt ab. Endziel sind die Einschätzung und die Zoneneinteilung der Gefährlichkeit und die Risikoanalyse.

Potentialität

Variationen der Zahl und der Art der Parameter je nach Ziel. Die Auswahl der Parameter für jeden einzelnen Fall führt zu einer Kostenreduzierung.

Grenzen

Die Methode ist geeignet für Gebiete mit Steinschlag von weniger als 1.000 m³.

Bemerkungen

Im Zusammenhang mit dieser Methode wurde eine Version entwickelt, die das Gewicht mehr auf Untersuchungen vor Ort legt (RESr) und einige Parameter als Indikatoren für Instabilität des betroffenen Hangs betrachtet.

Ergebnisse

Karten für Gefährlichkeit und Risiko.

(5) Historisch-Geomechanische Wahrscheinlichkeitsmethode (Historique, Géomécanique et Probabiliste) des LIRIGM (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Impliquant la Géologie et la Mécanique) in Grenoble

Ziel

Methode zur Einschätzung der Wahrscheinlichkeit von Brüchen der Felsmasse nach der Häufigkeit der Wiederkehr von Steinschlag

(4) Metodologia RES - Rock Engineering System (Hudson, 1992)

Finalità

Metodo generale che permette di affrontare un ampio panorama di problemi relativi alla meccanica delle rocce, ma la caratterizzazione dell'ammasso roccioso in ciascun caso è mirata al progetto che si vuole sviluppare. Scopo finale sono la stima e la zonazione della pericolosità nonché l'analisi del rischio.

Potenzialità

Variatione del numero e del tipo di parametri utilizzati in funzione degli obiettivi. La scelta dei parametri da considerare per ogni singolo caso produce una riduzione dei costi.

Limiti

Applicazione consigliata su aree soggette a crolli di volume inferiore a 1.000 m³.

Note

All'interno di questo metodo è stata sviluppata una versione speditiva (RESr) che considera alcuni parametri come indicatori dell'instabilità del versante considerato.

Risultati

Carte di pericolosità e rischio.

(5) Metodo Storico Geomeccanico Probabilistico HGP (Historique, Géomécanique et Probabiliste) messo a punto dal LIRIGM (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Impliquant la Géologie et la Mécanique) di Grenoble

Finalità

Metodo che stima la probabilità di rottura dell'ammasso roccioso in funzione del periodo di ritorno dei fenomeni di crollo.

Notes

Suitable for volumes >10.000 m³ and sub vertical calcareous rock faces.

(6) Mechanical-probabilistic method for stability analysis of rock slopes (Politecnico di Torino, Regione Piemonte, Regione Autonoma Valle d'Aosta)

Aims

This method evaluates the rock face failure probability in 2D, combining a mechanical Limit Equilibrium Model and the Monte Carlo statistical method.

Potential

Accurate definition of rock face failure probability.

Limits

Does not determine rock face failure probability over time. Does not define the level of hazard produced further downhill from the rock fall.

Notes

Can be integrated with other methods.

(7) STONE calculation programme (CNR-IRPI Perugia, Università di Milano Bicocca)

Aims

This calculation programme was designed to define the hazard conditions of rock falls on a regional and local scale and makes a three-dimensional simulation of the trajectory down the slope. Using a Digital Elevation Model the programme defines fall trajectories according to topography and coefficients which simulate the loss of speed on impact on the route of the boulder.

Potential

Able to model free fall, bouncing and rolling; can be applied to large areas.

Potentialität

Objektive Einteilung der Instabilitäten an Felswänden.

Grenzen

Es werden nur die Herkunftszonen berücksichtigt, nicht die betroffenen Bereiche. Im Untersuchungsgebiet muss ein Inventar der Steinschläge vorliegen.

Ergebnisse

Einschätzung der Wahrscheinlichkeit von Felsbrüchen.

Bemerkungen

Geeignet für Volumen von mehr als 10.000 m³ und für subvertikale Kalksteinwände.

(6) Mechanische Wahrscheinlichkeitsmethode zur Analyse der Stabilität von Felshängen (Politecnico di Torino, Region Piemont, Autonome Region Aostatal)

Ziel

Einschätzung der Wahrscheinlichkeit von Brüchen in einer Felswand über eine zweidimensionale Analyse, Anwendung eines mechanischen Modells mit Gleichgewichtsgrenze und statistischer Analyse nach Monte Carlo.

Potentialität

Genau Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Brüchen in Felswänden.

Grenzen

Die Methode ermöglicht keine Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Brüchen in der Felsmasse als Funktion der Zeit. Keine Bestimmung der Gefährlichkeit durch den Steinschlag im Tal.

Bemerkungen

Kann in Kombination mit anderen Methoden verwendet werden.

Potenzialità

Permette di poter classificare in maniera oggettiva le diverse instabilità riconosciute in parete.

Limiti

Si prendono in considerazione solo le zone di origine e non le aree di possibile coinvolgimento. Nell'area da investigare deve esistere un inventario delle frane in roccia.

Risultati

Scheda di valutazione della probabilità di rottura dell'ammasso roccioso.

Note

Adatto a volumetrie >10.000 m³ e per pareti calcaree sub verticali.

(6) Metodo meccanico-probabilistico per l'analisi della stabilità dei pendii in roccia (Politecnico di Torino, Regione Piemonte, Regione Autonoma Valle d'Aosta)

Finalità

Valutazione della probabilità di rottura di una parete in roccia, tramite analisi bidimensionale, abbinando un modello meccanico all'equilibrio limite con l'analisi statistica Monte Carlo.

Potenzialità

Definizione accurata della probabilità di rottura in parete.

Limiti

Non permette di determinare la probabilità di rottura nell'ammasso roccioso in funzione del tempo. Non definisce la pericolosità generata a valle dal crollo.

Note

Può essere integrato con altri metodi.

Limits

Personnel must be trained to use the programme. A Digital Elevation Model is indispensable.

Notes

The quality of the simulation depends on the resolution and accuracy of input data; it is also necessary to have an accurate, reliable definition of detachment areas.

Results

Creation of spatially distributed information (maps) which can be used to define hazard conditions for rock falls on a regional and local scale.

Ergebnisse

Berechnung der Wahrscheinlichkeit von Brüchen in Felswänden als Funktion der geomechanischen Merkmalen von Felsmassen.

(7) Berechnungsprogramm STONE (CNR-IRPI Perugia, Universität Mailand-Bicocca)

Ziel

Programm zur projektorientierten Berechnung als Beitrag zur Bestimmung der Gefährlichkeit durch Steinschlag auf regionaler und lokaler Ebene zur dreidimensionalen Simulation der Fallbahnen einer Steinmasse entlang eines Hangs.

Unter Verwendung des Digitalen Geländemodells bestimmt das Programm die Fallbahnen als Funktion der Topografie und in Abhängigkeit von den Geschwindigkeitsverlusten beim Aufschlag und beim Rollen.

Potentialität

Die Methode bildet den freien Fall, das Hochspringen und das Rollen ab. Sie kann auch auf großen Flächen verwendet werden.

Grenzen

Notwendigkeit der Personalschulung für die Anwendung des Programms. Die Verwendung des Digitalen Geländemodells ist unvermeidlich.

Bemerkungen

Die Qualität der Simulationen hängt von der Auflösung und Genauigkeit der Eingangsdaten ab. Außerdem ist eine genaue und zuverlässige Definition der Loslösungsgebiete erforderlich.

Ergebnisse

Erstellung von räumlich verteilten Informationen (Karten) zur Definition der Gefahrenbedingungen für den Fall von Massen auf regionaler und lokaler Ebene.

Risultati

Calcolo della probabilità di rottura in parete in funzione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso.

(7) Programma di calcolo STONE (CNR-IRPI Perugia, Università di Milano Bicocca)

Finalità

Programma di calcolo progettato per contribuire a definire le condizioni di pericolosità da caduta di massi a scala regionale e locale che simula la traiettoria in tre dimensioni di un masso lungo il pendio. Utilizzando il Modello Digitale del Terreno, il programma definisce le traiettorie di caduta in funzione della topografia e dei coefficienti che simulano la perdita di velocità all'impatto o dove il blocco rotola.

Potenzialità

È in grado di modellare la caduta libera, il rimbalzo ed il rotolio; può essere applicato anche su vasti territori.

Limiti

Necessità di formazione di personale per l'utilizzo del programma. È indispensabile l'utilizzo di un Modello Digitale del Terreno.

Note

La qualità della simulazione dipende da risoluzione ed accuratezza dei dati in ingresso; inoltre è necessaria un'accurata ed affidabile definizione delle aree di distacco.

Risultati

Creazione di informazioni spazialmente distribuite (mappe) utili per la definizione delle condizioni di pericolosità per caduta massi a scala regionale e locale.

Table 3.2.3/1.1 General characteristics of the various methods summarised.
Tabelle 3.2.3/1.1 Allgemeine Merkmale der verschiedenen vorgestellten Modelle.
Tabella 3.2.3/1.1 Caratteristiche generali dei diversi metodi sinteticamente esposti.

	LPC	MAT	RHAP	RES	HGP	PT	STONE
TIPO DI STUDIO							
Studi di tipo cartografico		X	X	X	X		
Studi specifici di gestione del territorio	X						
Studi specifici dei siti attivi							
Studi teorici						X	X
VOLUMI DELLE INSTABILITÀ							
<1.000 m ³	X	X	X	X		X	X
>1.000 m ³	X	X			X	X	
MEZZI NECESSARI							
Metodo rapido			X	X			
Metodo più completo	X	X			X	X	X
INDIVIDUAZIONE							
Fase d'individuazione preliminare	X	X			X	X	X
Valutazione diretta			X	X			
VALUTAZIONE FORNITA							
Probabilità di rottura	X	X	X		X	X	
Considerazione della propagazione	X	X	X	X			X
Caratterizzazione della pericolosità	X	X	X	X			X
Valutazione del rischio				X			

3.2.3/2 Recent developments

Setting up of a method to determine rock fall hazards (Research contract between Arpa Piemonte and Politecnico di Torino, 2003)

Aims

To define and test a method which uses data from rapid field observations. It will enable us to estimate failure probability for various areas of a large slope, as well as the speed and possible trajectories of boulders in the event of rock falls, in order to zone areas into different levels of hazard.

Potential

This method can be used on a large scale and does not require detailed surveys of the area.

The main calculation procedures and models generated can be completely GIS integrated, enabling us to use the information in the GIS database belonging to Arpa Piemonte.

Limits

Personnel must be trained to calibrate the input parameters.

Results

An automatic and completely GIS integrated procedure, able to provide local and regional scale hazard maps.

Appropriate professional figures

Geologist, geotechnical engineer. Detailed knowledge of GIS required.

3.2.3/2 Jüngere Entwicklungen

Aufstellung einer Methode zur Bestimmung der Gefährlichkeit durch Steinschlag (Forschungsvertrag zwischen Arpa Piemont und Politecnico di Torino, 2003)

Ziel

Definition und experimentelle Erstellung einer Methode, die Daten aus Feldbeobachtungen verwendet. Sie soll eine Einschätzung der Wahrscheinlichkeit von Brüchen in verschiedenen Zonen eines großen Hanges sowie die Energie und die möglichen Fallbahnen von Blöcken im Fall von Steinschlag. Damit soll das Gebiet in Zonen nach Gefährlichkeit eingeteilt werden.

Potentialität

Die Methode ist im großen Maßstab anwendbar und benötigt keine detaillierten Geländerelevs.

Die wichtigsten Abläufe zur Berechnung und die erstellten Modelle sind vollständig in die GIS-Umgebung integriert. Das ermöglicht die Verwendung der Informationen in der Datenbank des Geologischen Informationssystems von Arpa Piemont.

Grenzen

Notwendigkeit der Personalschulung für eine korrekte Einstellung der Eingangsparameter.

Ergebnisse

Automatischer Ablauf, voll in die GIS-Umgebung integrierbar, Möglichkeit der Lieferung von Gefährlichkeitskarten auf lokaler und regionaler Ebene.

Geeignetes Personal

Geologen, Geotechnik-Ingenieure. Sehr gute Kenntnisse der GIS-Umgebung sind nötig.

3.2.3/2 Recenti sviluppi

Messa a punto di una metodologia per la determinazione della pericolosità dovuta a crolli in roccia (Contratto di ricerca tra Arpa Piemonte e Politecnico di Torino, 2003)

Finalità

Definizione e sperimentazione di una metodologia che avvalendosi di dati provenienti da osservazioni di campagna di tipo speditivo, permette di stimare la probabilità di rottura relativa di diverse zone di un versante di grande estensione, nonché l'energia e le possibili traiettorie dei blocchi nel caso in cui si verificano dei crolli, al fine di ottenere la zonizzazione del territorio in fasce a diverso grado di pericolosità.

Potenzialità

La metodologia è utilizzabile a grande scala e non necessita di rilievi di terreno dettagliati.

Le principali procedure di calcolo e i modelli generati sono totalmente integrati in ambiente GIS, consentendo l'utilizzo delle informazioni contenute nella base dati del Sistema Informativo Geologico di Arpa Piemonte.

Limiti

Necessità di formazione di personale per procedere ad una corretta taratura dei parametri di input.

Risultati

Procedura automatica, completamente integrata in ambiente GIS, in grado di fornire mappe di pericolosità a scala locale e regionale.

Figure professionali idonee

Geologo, ingegnere geotecnico. Richiesta ottima conoscenza dell'ambiente GIS.

3.2.3/2.1 Introduction

This project is part of a study aimed at assessing the hazards caused by rock falls on a regional level, and aims to develop a methodology capable of creating a predictive model GIS integrated. The methodology uses data from rapid field observations, and probabilistic and kinematic analyses, and enables us to estimate a mean safety factor and failure probability for different areas of a slope, as well as the speed and possible trajectories of boulders in the event of rock falls. Testing was carried out at two sample sites located in the middle areas of Val di Susa and Valle Orco, in the communes of Exilles and Locana (Turin) respectively.

3.2.3/2.1 Einführung

Das Projekt gehört zu einer Studie, die die Einschätzung der Gefährlichkeit von Steinschlag auf regionaler Ebene zum Ziel hat. Ziel ist die Entwicklung einer Methode, die ein Modell zur Vorhersage ermöglicht, das voll in die GIS-Umgebung integrierbar ist. Diese Methode verwendet Daten aus Beobachtungen vor Ort, aus Wahrscheinlichkeitsanalysen und kinematischen Analysen, sie erlaubt die Einschätzung eines mittleren Sicherheitsfaktors und der relativen Wahrscheinlichkeit von Brüchen in verschiedenen Zonen eines Hangs, sowie der Energie und der Fallbahnen von Blöcken, wenn es zum Steinschlag kommt. Sie wurde auf zwei Modellhängen getestet, die im mittleren Val di Susa und im mittleren Valle Orco in den Gemeinden von Exilles und Locana in der Provinz Turin liegen.

3.2.3/2.1 Introduzione

Il progetto si colloca nell'ambito di uno studio volto alla valutazione della pericolosità dovuta a crolli in roccia a scala regionale e si pone come obiettivo lo sviluppo di una metodologia in grado di realizzare un modello previsionale totalmente integrato in ambiente GIS. Tale metodologia, avvalendosi di dati provenienti da osservazioni speditive di campagna, da analisi probabilistiche e analisi cinematiche, permette di stimare un fattore di sicurezza medio e la probabilità di rottura relativa di diverse zone di un versante, nonché l'energia e le possibili traiettorie dei blocchi nel caso in cui si verificano dei crolli. La sperimentazione è stata effettuata su due siti campione, ubicati nelle parti mediane della Val di Susa e della Valle Orco, ricadenti rispettivamente nei comuni di Exilles e Locana (TO).

3.2.3/2.2 Operational phases

The project was structured around the following main stages: 1) gathering field data regarding the study areas, aimed at defining homogeneous areas from the point of view of slope direction and systems of discontinuity present in the face, and identifying the main kinematic forces that characterise it; 2) probabilistic calculation of stability, estimating the probability of failure across the slope and the mean safety factor for each kinematic force identified, on the basis of simplified distributions of frequency of geometric input parameters; 3) estimate of the coefficients of normal and tangential restitution and friction angles; 4) kinematic modelling, using the data from the previous stages, combined with other basic parameters, to simulate rock falls, in order to calculate speed, trajectories, fall heights and stopping points for the individual boulders. By assigning a value of probability to each falling boulder it is possible to zone the area into different levels of hazard; 5) final testing on the sample areas, with the methodology applied to two real case studies in order to calibrate the model correctly and evaluate the results obtained.

Probabilistic analysis

The probabilistic component of the method for calculating slope stability is based on the use of the WINTAM programme (Major *et al.*, 1975), supplied by Politecnico di Torino. This programme performs stability calculations for wedges in a particular homogeneous area, based on the limit equilibrium method. Using the Monte Carlo method it is also possible to take the variability of geometrical input parameters into account and calculate the probability of failure according to each kinematic aspect.

Kinematic analysis

Testing of the kinematic aspect of the project was

3.2.3/2.2 Durchführungsphasen

Das Projekt wurde in die folgenden Hauptphasen eingeteilt: 1) Erfassung der Felddaten zu den Untersuchungsgebieten für die Definition von homogenen Arealen im Hinblick auf die Orientierung des Hangs und die Diskontinuitäten der Massen und zur Herausarbeitung der wichtigsten Kinematismen, 2) Wahrscheinlichkeitsberechnung von Stabilität und Brüchen entlang des Hangs und des mittleren Sicherheitsfaktors für jeden einzelnen Kinematismus, auf der Grundlage von vereinfachten Häufigkeitsverteilungen der geometrischen Eingangsparameter, 3) Einschätzung der Koeffizienten für die Rekonstruktion der normalen, tangentialen und Winkelreibung, 4) kinematische Vermessung, wobei die in den vorangegangenen Schritten erfassten Daten zusammen mit anderen Basisparametern für die Simulation von Steinschlagereignissen verwendet werden, bei denen Energien, Fallbahnen, Fallhöhen und Endpunkte der einzelnen Blöcke berechnet werden. Jede fallende Masse bekommt einen Wahrscheinlichkeitswert zugeordnet, so dass sich eine Einteilung des Areals in Zonen nach Gefährlichkeit ergibt, 5) Test in Versuchsgebieten, wobei die Methode bei zwei realen Fällen angewandt wird, um das Modell korrekt geeicht und die Ergebnisse eingeschätzt werden können.

Wahrscheinlichkeitsanalyse

Die Wahrscheinlichkeitskomponente der Methode zur Berechnung der Stabilität der Hänge basiert auf der Anwendung WINTAM (Major *et al.*, 1975), die vom Politecnico in Turin geliefert wurde. Dieses Programm kann Stabilitätsanalysen für jeden tunnel-förmigen Kinematismus durchführen, der zu einem homogenen Gebiet gehört, und zwar auf der Grundlage der Methode des Grenzgleichgewichts.

3.2.3/2.2 Fasi operative

Il progetto è stato strutturato nelle seguenti fasi principali: 1) reperimento dei dati di campagna relativi alle aree oggetto di studio, finalizzata alla definizione di aree omogenee dal punto di vista della orientazione del fronte e dei sistemi di discontinuità presenti nell'ammasso e all'individuazione dei principali cinematismi che le caratterizzano; 2) calcolo probabilistico della stabilità, in cui viene stimata la probabilità di rottura lungo il versante ed il fattore di sicurezza medio per ogni cinematismo rilevato, sulla base di distribuzioni di frequenza semplificate dei parametri geometrici di ingresso; 3) stima dei coefficienti di restituzione normale, tangenziale e degli angoli di attrito; 4) modellazione cinematica, in cui i dati ottenuti nei precedenti *step*, associati ad altri parametri di base, vengono utilizzati per la simulazione dei fenomeni di crollo al fine di calcolare energie, traiettorie, altezze di volo e punti di arresto dei singoli blocchi. Associando a ciascun masso in caduta un valore di probabilità relativa di occorrenza, si ottiene infine la zonizzazione del territorio in fasce a diverso grado di pericolosità; 5) sperimentazione finale su aree campione, in cui la metodologia è stata applicata a due casi di studio reali al fine di tarare correttamente il modello e valutare i risultati ottenuti.

Analisi probabilistica

La componente probabilistica della metodologia per il calcolo di stabilità dei versanti si basa sull'utilizzo dell'applicativo WINTAM (Major *et al.*, 1975), fornito dal Politecnico di Torino. Questo *software* è in grado di condurre analisi di stabilità per ogni cinematismo di tipo cuneiforme appartenente ad una determinata area omogenea, sulla base del metodo dell'equilibrio limite. Tramite il metodo di Monte Carlo è inoltre possibile tenere conto della variabilità dei parametri geometrici di ingresso e calcolare la probabilità di rottura di ogni cinematismo.

carried out using the ROTOMAP® programme developed by Geo&Soft. This software enables us to analyse rock falls originating in the homogeneous areas identified during rapid field surveys. Using a statistical approach, the programme determines *areas of probability* where the rocks will stop, and the distribution of kinetic forces. Then iso-frequency distribution curves of points of arrival can be calculated, as can iso-energy distribution curves, by processing the mean and maximum levels of specific energy, the routes of falling rocks and the maximum bounce height. Lastly it is possible to estimate an “index of hazard” from the normalised product of kinetic energy (calculated) multiplied by detachment probability (input).

Über die Methode von Monte Carlo kann außerdem die Variabilität der geometrischen Eingangsparemeter berücksichtigt und die Wahrscheinlichkeit von Brüchen in jedem einzelnen Kinematismus berücksichtigt werden.

Kinematische Analyse

Die Experimente mit der kinematischen Komponente des Projekts wurden mit der Anwendung ROTOMAP® von Geo & Soft durchgeführt. Das Programm ermöglicht Analysen der Fallbahnen von Massen aus homogenen Gebieten, die während der Begehungen ermittelt wurden. Über einen statistischen Zugang erstellt das Programm Wahrscheinlichkeitszonen für das Anhalten der Blöcke und ermittelt die Verteilung der kinetischen Energie. Anschließend werden die Isofrequenzkurven der Ankunftspunkte und die isoe-nergetischen Kurven berechnet, die sich aus den mittleren und maximalen spezifischen Energien, aus der Bewegungsrichtung der Blöcke und der Höhe der Sprünge ergeben. Schließlich kann aus dem normalisierten Produkt der (berechneten) kinetischen Energie und der Loslösewahrscheinlichkeit (Input) auch ein Gefährlichkeitsindex erstellt werden.

Analisi cinematica

La sperimentazione relativa alla componente cinematica del progetto è stata realizzata mediante l'utilizzo dell'applicativo ROTOMAP® della Geo&Soft. Il *software* consente di condurre analisi di caduta massi con origine nelle aree omogenee individuate durante i rilevamenti speditivi di terreno. Tramite un approccio di tipo statistico, il programma consente di determinare le *aree di probabilità* di arresto dei blocchi e la distribuzione delle energie cinetiche. Vengono quindi calcolate le curve di iso-frequenza dei punti di arrivo, le curve iso-energetiche, ricavate dall'elaborazione dei livelli di energia specifica media e massima, il percorso di scendimento dei blocchi e le altezze massime dei rimbalzi. Infine è possibile stimare anche un “indice di pericolosità”, dato dal prodotto normalizzato dell'energia cinetica (calcolata) per la probabilità di distacco (*input*).

3.2.3/2.3 Comments

The results obtained at the end of the testing stage are a fairly accurate reflection of previous data gathered in the field, confirming that the predictive model is correctly calibrated. The method can be used on medium/large scale and does not require lengthy, detailed field surveys carried out by specialised personnel, who are only required to make a rapid survey of the terrain. Furthermore, the entire process is GIS integrated in order to be able to use existing local databases to analyse and evaluate the results obtained.

3.2.3/2.3 Betrachtungen

Die Ergebnisse, die nach dem Abschluss der Experimentierphase vorlagen, geben die vor Ort gesammelten Daten ziemlich genau wieder. Das bestätigt, dass das Vorhersagemodell korrekt geeicht ist. Das Anwendungsfeld der entwickelten Methode ist mittel bis groß und benötigt keine langen und tief gehenden Geländevermessungen durch Spezialpersonal, das nur eine Untersuchung vor Ort durchführen muss. Außerdem ist der gesamte Prozess in eine GIS-Umgebung integriert, damit die vorhandenen Datenbanken mit Informationen über das Terrain zur Analyse und Einschätzung der Ergebnisse genutzt werden können.

3.2.3/2.3 Considerazioni

I risultati ottenuti a conclusione della fase di sperimentazione rispecchiano abbastanza fedelmente i dati pregressi raccolti durante le osservazioni di campagna, a conferma che il modello previsionale risulta correttamente tarato. Il campo di utilizzo della metodologia sviluppata è a media/grande scala e non necessita di lunghi ed approfonditi rilevamenti di terreno da parte di personale specializzato, il quale è chiamato a svolgere esclusivamente un'indagine speditiva di terreno. Inoltre, l'intero processo è integrato in ambiente GIS al fine di poter utilizzare le banche dati territoriali esistenti per l'analisi e la valutazione dei risultati ottenuti.



Figure 3.2.3/2.1 Distribution of stopping points of boulders after the rock fall simulation (the yellow and red areas show where most boulders stopped). Area of study: Commune of Exilles, left side of Val Susa, province of Turin.

Figur 3.2.3/2.1 Verteilung der Haltepunkte der Massen nach der Simulation von Steinschlag (gelb und rot sind die Zellen dargestellt, in denen die meisten Massen liegen geblieben sind). Untersuchungsgebiet: Gemeinde Exilles, linker Hang des Val Susa, Provinz Turin.

Figura 3.2.3/2.1 Distribuzione dei punti di arresto dei massi in seguito alla simulazione di crolli (in giallo e in rosso le celle dove si è fermato il numero maggiore di massi). Area oggetto di studio: Comune di Exilles, versante sinistro della Val Susa, provincia di Torino.

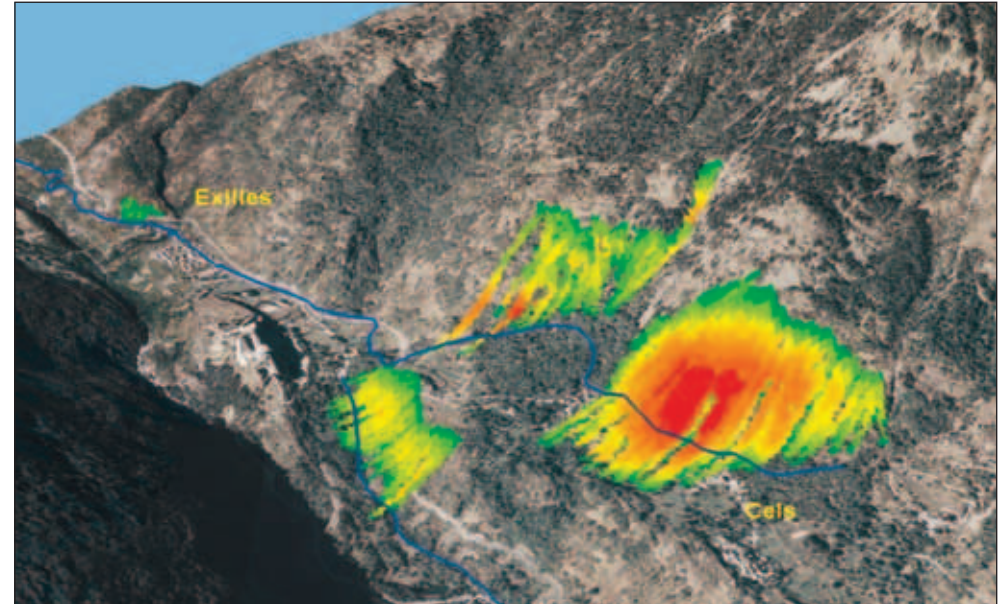


Figure 3.2.3/2.2 Distribution of maximum kinetic energy (the red areas represent the highest energy). The blue lines show the stopping points of boulders in previous falls. Area of study: Commune of Exilles, left side of Val Susa, province of Turin.

Figur 3.2.3/2.2 Verteilung der maximalen kinetischen Energie (rot die Bereiche mit der höchsten Energie). Die blauen Linien zeigen die Haltepunkte der in der Vergangenheit gefallenen Massen an. Untersuchungsgebiet: Gemeinde Exilles, linker Hang des Val Susa, Provinz Turin.

Figura 3.2.3/2.2 Distribuzione dell'energia cinetica massima (in rosso sono rappresentate le aree a maggiore energia). Le linee blu delimitano i punti di arresto dei blocchi caduti in passato. Area oggetto di studio: Comune di Exilles, versante sinistro della Val Susa, provincia di Torino.