

5. Fluvial processes and related effects

Watercourses are the main agents in the creation of alluvial plains and valley floors. In view of this it is obvious that there will always be areas affected by peak flow events and the use of these areas necessarily exposes people and property to the risk of flooding. It is therefore important to identify and outline these areas, with a view to ensuring suitable land use and protecting the population (§ 5.1.2.A/1).

In order to protect people and property, and to ensure the correct use of water resources, it is also important to define the return period for events. Estimating the probability of peak flows is relatively easy in catchments for which there is plenty of historic data available, but entails a degree of uncertainty for catchments without measuring equipment (§ 5.1.2.B/1).

Moreover, in view of the fact that even a seemingly slight variation in the river environment can have considerable repercussions on the human system, in terms of loss of human life and damage to buildings and road infrastructures, it can prove fundamental to characterise the area in question as regards certain risk scenarios, in terms of the *criticality* or *efficiency* of the elements it is composed of (§ 5.2.2.A/1).

5. Flussprozesse und ihre Wirkungen

Die Wasserläufe gehören zu den wichtigsten Ursachen der Bildung von Überschwemmungsflächen und Talböden. Angesichts dieser Tatsache ist es unvermeidlich, dass solche Gebiete und ihre Bewohner immer von Überschwemmungen betroffen sein werden. Die Lokalisierung und Eingrenzung von solchen Gebieten ist daher wichtig sowohl für die Wahl der richtigen Bodennutzung, als auch für die Sicherheit der Menschen (§ 5.1.2.A/1).

Genauso wichtig für den Schutz von Menschen und Sachwerten sowie die Nutzung der Wasserreserven ist die Bestimmung der Wiederkehr der Ereignisse. Die Schätzung der Wahrscheinlichkeit von Hochwasser ist relativ einfach in solchen Becken, für die es weit zurückreichende Daten gibt. Becken ohne Messvorrichtungen dagegen bringen viele Unsicherheiten mit sich (§ 5.1.2.B/1).

Sobald eine – auch scheinbar unbedeutende – Änderung der Umgebung der Flussumgebung vorgenommen wird, kann es zu bedeutenden Auswirkungen auf das anthropische System mit Gefährdung von Menschenleben, Gebäude- und Straßenschäden kommen. Es ist wichtig, dass das zu schützende Gelände im Hinblick auf bestimmte Risikoszenarien nach Anfälligkeit oder der Effizienz seiner Elemente beschrieben wird (§ 5.2.2.A/1).

5. Processi fluviali e relativi effetti

I corsi d'acqua sono tra i principali fattori della genesi delle pianure alluvionali e dei fondovalle. Partendo da questa premessa, appare ovvio affermare che ci saranno sempre zone soggette al passaggio delle piene e che l'uso di tali zone non può che esporre persone e cose al rischio di inondazioni. L'individuazione e delimitazione delle aree esposte è pertanto importante per quanto riguarda sia le corrette scelte di uso del territorio, sia la salvaguardia delle persone (§ 5.1.2.A/1).

Altrettanto importante per la tutela dei beni e delle attività umane e per il corretto utilizzo delle risorse idriche è la definizione del periodo di ritorno che caratterizza gli eventi. La stima della probabilità di occorrenza delle piene è relativamente agevole in bacini per i quali si dispone di ampie serie storiche di dati, mentre comporta incertezze per i bacini privi di strumentazione di misura (§ 5.1.2.B/1).

Inoltre, dal momento che una variazione anche poco rilevante dell'ambiente fluviale può indurre notevoli ripercussioni sul sistema antropico in termini di perdita di vite umane, danni ad edificati e alla rete stradale, può essere importante, in relazione a determinati scenari di rischio, caratterizzare il territorio da tutelare in termini di criticità oppure di efficienza degli elementi da cui è costituito (§ 5.2.2.A/1).

5.1. Fluvial processes

As highlighted in the literature, peak flows run into two morphological environments: watercourses and floodplains (Luino *et al.*, 1993).

The former, which can be classified according to the route of the runoff channel(s), is where the most violent hydrodynamic processes occur. The area occupied by the watercourse(s) and deposit-based formations caused by peak flows is commonly known as the channel, which can be separated into a low discharge area, the level always occupied by flow, and a high discharge area, occupied during peak flow conditions. From the morphological point of view the channel is a strip, generally limited by banks, which is carved out by the passing of peak flow surges.

Floodplains are generally the site of flooding caused by peak flows which occur at a frequency varying from decades to centuries. In this area runoff is conditioned by abandoned river formations, which may be topographically remodelled or buried, but which can be recognised by particle size and/or sediment content. In this environment a second, no less important conditioning factor is represented by the man-made constructions present (§ 5.1.2.A/1).

The need for information on the probability of exceptional peak flows, or at the other extreme, minimum flow regimes, in view of protection of water resources in areas at risk of drought, has led the Styria Region (A) to develop a probabilistic model to predict the return period of extreme runoff expected in non-instrumented catchments, starting with the analysis of substantial amounts of historic data regarding catchments in the area (§ 5.1.2.B/1).

5.1. Flussprozesse

Wie in der Literatur dargestellt, fließen Hochwasser von Flüssen in zwei verschiedene morphologische Umgebungen ab: in Kanäle oder in Überflutungsflächen (Luino *et al.*, 1993).

Abflusskanäle können nach einem planimetrischen Modell eingeteilt werden. Im Fall von Kanälen treten die heftigsten hydrodynamischen Prozesse auf. Der Streifen, der vom Kanal bedeckt wird, und die zu den Überschwemmungen gehörenden Ablagerungsgebiete an den Seiten werden als Flussbett bezeichnet, dabei ist das Niedrigwasser- vom Hochwasserflussbett zu unterscheiden. Das Niedrigwasserflussbett ist immer von Wasser bedeckt, das Hochwasserflussbett nur bei Überschwemmungen. Aus morphologischer Sicht entspricht das Flussbett einem Streifen, der rechts und links meistens von Ufern begrenzt wird. Dieser Streifen ist das Ergebnis des Vorbeifließens von Hochwasser mit höchster Energie.

In den Überflutungsflächen treten in der Regel Überschwemmungen mit Frequenzen von 10 bis 100 Jahren auf. In diesem Bereich werden die Abflüsse von ehemaligen, auch topografisch veränderten oder verschütteten Flussläufen bestimmt, die sich aber granulometrisch oder sedimentologisch noch erkennen lassen. In einer solchen Umgebung stellen die anthropischen Eingriffe einen zweiten, aber nicht weniger wichtigen Faktor für die Beeinflussung des Geländes dar (§ 5.1.2.A/1).

Der Informationsbedarf über die Wahrscheinlichkeit von außergewöhnlichem Hochwasser oder, auf der anderen Seite, Mindestabflüssen zur Sicherung der Wasserversorgung und zur Vorbeugung von Trockenheit hat das österreichische Bundesland Steiermark dazu angeregt, im Rahmen dieses Projekts ein Modell zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Wiederkehr von solchen Extremereignissen für die nicht mit Messinstrumenten versehenen Becken zu entwickeln. Grundlage sind die weit reichenden Analysen von historischen Messdaten aus Becken, die zum selben geografischen Kontext gehören (§ 5.1.2.B/1).

5.1. Processi fluviali

Come evidenziato in letteratura, le piene fluviali defluiscono in due ambienti morfologici: i canali e la piana alluvionale (Luino *et al.*, 1993).

Nel primo ambiente, classificabile in base al modello planimetrico del/i canale/i di deflusso, si esplicano i processi idrodinamici più violenti. La fascia occupata dal/i canale/i e dalle forme deposizionali che si sviluppano al passaggio delle piene viene indicata comunemente con il termine alveo, che si distingue in alveo di magra, sempre occupato dai deflussi e alveo di piena, che viene occupato dai deflussi solo durante le piene. Dal punto di vista morfologico l'alveo corrisponde ad una fascia, generalmente delimitata da sponde, che rappresenta il risultato del passaggio della parte dell'onda di piena a maggiore energia.

Il secondo ambiente è generalmente sede di fenomeni di inondazione indotti dalle piene a frequenza da decennale a secolare. In quest'area i deflussi sono condizionati dalle forme fluviali abbandonate, anche topograficamente rimodellate o sepolte, ma riconoscibili dal punto di vista granulometrico e/o sedimentologico; in tale ambiente un secondo e non meno importante fattore di condizionamento è rappresentato dagli interventi antropici realizzati (§ 5.1.2.A/1).

La necessità di avere informazioni sulla probabilità che si verifichino piene eccezionali o, all'estremo opposto, minimi di deflusso per la salvaguardia delle risorse idriche in zone esposte a rischio di siccità, ha condotto la Regione Stiria (A) a sviluppare nell'ambito del presente Progetto un modello probabilistico per la previsione del periodo di ritorno dei valori estremi di deflusso attesi in bacini non strumentati, a partire dall'analisi di ampie serie storiche di dati relativi a bacini appartenenti al medesimo contesto geografico (§ 5.1.2.B/1).

5.1.1. General framework

The study of river environments from the morphological and hydrological points of view is aimed at identifying areas affected by peak flows. In general the study of flood risk focuses on the following subjects: areas affected by peak flow runoff, how the terrain responds to peak flows, and the frequency that a given area can be affected by peak flows. Morphological analysis can help respond to where and how (Maraga *et al.*, 1996), but in order to know when it is necessary to use a hydrological/hydraulic model.

Among the cases with an integrated approach presented in the literature, one significant example is the programme *Floodaware - Prevention and forecast of flood (2000)*, which aims to offer a predictive model for peak flows and organise an operative centre for warnings. In more detail, it focuses on creating a specific map of flood risk and the relative scenarios based on a multidisciplinary approach which combines information from geomorphologic and hydraulic analyses. In the context of this programme a real-time warning system has been set up in Piedmont (Anselmo *et al.*, 2000), based on the integration of historic data, geomorphologic studies and hydraulic studies, with three operative phases:

- analysis of peak flow events with the aim of reconstructing flooded areas, runoff processes and their effects;
- morphological analysis of the channel, its development over the last century and the physiographic characteristics of the area outside the channel which condition the dynamics of the peak flow;
- evaluation of runoff areas and unobstructed bridge spans for peak flows with return periods of 20 and 200 years, carried out by creating hydraulic sections.

5.1.1. Zusammenfassung des Kenntnisstandes

Die Untersuchung von Flussumgebungen aus morphologischer und hydraulischer Sicht hat das Ziel, die Gebiete auszumachen, die von Hochwasser betroffen sind. Im Allgemeinen liefern solche Untersuchungen Antworten auf die Fragen, wo die Hochwasser herlaufen, wie das Gebiet auf das Hochwasser reagiert und wie häufig eine bestimmte Zone vom Hochwasser betroffen wird. Die morphologische Analyse kann dazu beitragen, die Fragen nach dem Wo und Wie zu beantworten (Maraga *et al.*, 1996), aber um die Frage nach dem Wann zu lösen, muss ein hydrologisch-hydraulisches Modell entworfen werden.

Unter den in der Literatur beschriebenen Fällen, bei denen zwei integrierte Ansätze verwendet worden sind, ist das Programm *Floodaware - Prevention and forecast of flood (2000)* besonders bedeutsam. Es zielt auf die Erstellung eines Vorhersagemodells für Hochwasser und auf die Schaffung einer Zentrale für die Frühwarnung ab. Vor allem wurde dabei eine besondere Kartografie für das Überschwemmungsrisiko und die entsprechenden Szenarien auf der Grundlage eines multidisziplinären Zugangs erarbeitet, bei der Informationen zur geomorphologischen und hydraulischen Analyse kombiniert wurden. Im Rahmen dieses Programms wurde in Piemont ein Echtzeit-Warnsystem entwickelt (Anselmo *et al.*, 2000), das auf der Integration historischer Daten, geomorphologischer und hydraulischer Analysen basiert und drei Phasen umfasst:

- Analyse der wichtigsten Hochwasser-Ereignisse mit dem Ziel, die überschwemmten Gebiete, die Abflüsse und ihre Auswirkungen zu rekonstruieren
- morphologische Analyse des Flussbettes, seiner Entwicklungstendenzen im vergangenen Jahrhundert und der physiografischen Merkmale des außerhalb des Flussbettes gelegenen

5.1.1. Breve sintesi delle conoscenze

Lo studio degli ambienti fluviali dal punto di vista morfologico e idraulico è finalizzato all'individuazione delle zone ancora soggette al passaggio delle piene. In genere gli studi dell'inondabilità tendono a rispondere a: dove transitano i deflussi di piena, come risponde il territorio alla piena e con quale frequenza una determinata zona potrà essere interessata dal passaggio delle piene. L'analisi morfologica può contribuire a risolvere il dove e il come (Maraga *et al.*, 1996), ma per conoscere il quando è necessario ricorrere ad un modello idrologico/idraulico.

In letteratura, tra i casi in cui i due approcci sono integrati, è significativo quello rappresentato dal Programma *Floodaware - Prevention and forecast of flood (2000)*, mirato alla definizione di un modello di previsione delle piene e all'organizzazione di un centro operativo per il loro preannuncio. In modo particolare è stata elaborata una specifica cartografia del rischio di inondazione e dei relativi scenari, sulla base di un approccio multidisciplinare che ha combinato informazioni relative all'analisi geomorfologica e idraulica. Nell'ambito del Programma è stato sviluppato in Piemonte un sistema di allertamento in tempo reale (Anselmo *et al.*, 2000), basato sull'integrazione di dati storici, analisi geomorfologica e analisi idraulica, attraverso tre fasi operative:

- analisi dei principali eventi di piena con l'obiettivo di ricostruire le aree inondate, i processi di deflusso e i relativi effetti;
- analisi morfologica dell'alveo, della sua tendenza evolutiva nell'ultimo secolo e dei caratteri fisiografici dell'area esterna all'alveo che condizionano la dinamica delle piene;
- valutazione riferita a piene con tempo di ritorno di 20 e 200 anni della sezione libera di deflusso e della luce libera dei ponti mediante la realizzazione di sezioni idrauliche.

To complete the analysis of flood risk, the constructions at risk of being flooded are also identified.

Gebietes, durch die die Dynamik der Hochwasser beeinflusst wird

- Bewertung des freien Abflussschnittes und der Freiräume unter Brücken mit Bezug auf Hochwasser mit einer Frequenz von 20 bis 200 Jahren über hydraulische Schnitte

Zur Vervollständigung der Analysen über die Überschwemmbarkeit wurden die Bauwerke bestimmt, die von der Hochwassergefahr betroffen sind.

A completamento delle analisi sull'inondabilità, sono state individuate le opere a rischio di inondazione.

5.1.2. Methods applied within the Project

5.1.2.A Morphological diagnosis for flood prone areas analysis

General introduction to the method

While numerical calculations contribute to the significance of the results of studies on the flooding of watercourses, it is necessary to dedicate extreme care to geomorphologic and morphometrical characterisation and the historic evolution of the river system being studied. This stage guides the subsequent stages and represents both a support for and verification of work carried out.

The identification of areas at risk of flooding is important to protect the population and ensure correct land use.

Definition

The morphological diagnosis method aims to identify areas potentially at risk of flooding, and characterise these into categories of relative probability, evaluating the present and past morphological aspect of the watercourse.

Aims

The aims of the method are:

- to classify the area according to level of flood risk, by characterising the deposits which are typical of river environments and analysing their variation over time;
- to identify areas at risk of erosion and stretches of the watercourse with a) stable channel bed, b) deepening bed, c) rising bed.

Potential

If carried out before the hydraulic analysis, this method provides a precise outline of areas potentially affected by peak flows and enables lengthwise and crosswise topographical sections of the watercourse to be identified.

5.1.2. Verwendete Methoden

5.1.2.A Morphologische Diagnose für Analysen zur Überflutbarkeit

Allgemeine Einführung der Methode

Auch wenn die numerische Berechnung dazu beiträgt, dem Ergebnis der Studien zu den Erscheinungen im Zusammenhang mit dem Überfließen eines Wasserlaufs eine gewisse Signifikanz zu verleihen, muss der geomorphologischen, morphometrischen und historischen Charakterisierung des untersuchten Flusssystemes die größte Sorgfalt beigemessen werden. Diese Phase bestimmt den Verlauf der folgenden Analysen, unterstützt sie und ermöglicht deren Prüfung. Die Bestimmung der überschwemmbar Gebiete ist wichtig für den Schutz von Menschenleben und die korrekte Auswahl der Bodennutzung.

Definition

Die Methode der morphologischen Diagnose ist auf die Bestimmung der Gebiete gerichtet, die möglicherweise von Überschwemmungen betroffen werden könnten, sowie deren Einteilung in Klassen nach der relativen Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse. Die aktuelle und historische morphologische Anordnung des Wasserlaufs muss dabei berücksichtigt werden.

Ziel

Die Methode hat folgende Ziele:

- Einteilung des Gebietes nach seiner Neigung zu Überschwemmungen über die Beschreibung der typischen Ablagerungsformen von Flussgebieten und der Analyse ihrer Entwicklung im Lauf der Zeit.
- Bestimmung von Zonen, die Erosion ausgesetzt sind und Abschnitten von Wasserläufen mit a) ebenem, b) abfallendem, und c) ansteigendem Grund

Potentialität

Wenn die Methode vor den hydraulischen Analysen durchgeführt wird, ermöglicht sie eine präzise Eingrenzung der möglicherweise von Überschwemmungen betroffenen Gebiete und eine vernünftige

5.1.2. Metodi applicati nel Progetto

5.1.2.A Diagnosi morfologica per analisi di inondabilità

Introduzione generale sul metodo

Sebbene il calcolo numerico contribuisca a dare significatività al risultato degli studi inerenti i fenomeni di esondazione di un corso d'acqua, è necessario dedicare la massima cura alla caratterizzazione geomorfologica, morfometrica e di evoluzione storica del sistema fluviale in studio. Tale fase infatti pilota le analisi successive e ne costituisce contemporaneamente il supporto ed il momento di verifica.

L'individuazione delle aree potenzialmente inondabili è importante per la salvaguardia delle persone e per le corrette scelte di uso del territorio.

Definizione

Il metodo della diagnosi morfologica è orientato all'individuazione delle aree potenzialmente soggette a inondazione e alla loro caratterizzazione in classi di probabilità relativa, valutando l'assetto morfologico attuale e passato del corso d'acqua.

Finalità

Le finalità del metodo sono:

- classificare il territorio in funzione della propensione all'inondabilità, attraverso la caratterizzazione delle forme deposizionali tipiche degli ambienti fluviali e all'analisi della loro variazione nel tempo;
- individuare le zone soggette ad erosione ed i tratti di corso d'acqua con fondo: a) stabile, b) in abbassamento e c) in innalzamento.

Potenzialità

Se condotto prima di analisi idrauliche, il metodo porta ad una precisa delimitazione delle aree potenzialmente interessate dalle piene e permette di ubicare in modo ragionato le sezioni topografiche longi-

The method enables us to carry out a flood risk analysis, even where there is no flow data, which is indispensable for hydraulic models.

It requires a small number of highly specialised professionals, and the standard equipment for carrying out geomorphologic analyses.

Limits

The soundness of results is strongly conditioned by the data available (cartography and aerial photography).

If applied to plains areas to study single channel meandering watercourses, the method only partially identifies areas which may be flooded.

The method does not provide a flood risk map for given return periods.

Activities

- Morphological survey using photo-interpretation and field surveys.
- Mapping of results.

Expected products

- Numeric morphological maps referring to different periods: a current morphological map and a map summarising inherently floodable areas.
- Quantitative morphometric indexes.
- Descriptions of the main morphological characteristics of the watercourse.
- Map of the developmental trends of the watercourse deduced from processing the information created.

Appropriate professional figures

Geologists who are experts on river geomorphology, with experience of photo-interpretation.

Ortsbestimmung der topografischen Längs- und Querschnitte des Wasserlaufs.

Die Methode erlaubt die Durchführung von Analysen zur möglichen Überschwemmung auch dann, wenn keine Daten über die Durchflussmengen vorhanden sind, die sonst für hydraulische Modelle unverzichtbar sind.

Es sind nur wenige hoch spezialisierte Mitarbeiter erforderlich, sowie die Standardausrüstung für geomorphologische Analysen.

Grenzen

Die Qualität der Ergebnisse hängt in starkem Maß von den verfügbaren Daten ab (Karten und Luftbilder).

Wenn die Methode im Flachland zur Untersuchung von einarmigen Wasserläufen mit Mäandern verwendet wird, können die Überflutungsgebiete nur teilweise erkannt werden.

Die Methode liefert keine Karte der Überflutbarkeit nach vordefinierten Wiederkehrzeiten.

Aktivitäten

- Morphologische Vermessung über Analysen von Fotomaterial und Geländevermessung.
- Erstellung von Übersichtskarten.

Erwartete Produkte

- Numerische morphologische Karten, die sich auf verschiedene Zeitabschnitte beziehen: aktuelle morphologische Karte und Übersichtskarte der grundsätzlich überflutbaren Gebiete.
- Quantitative morphometrische Indizes.
- Beschreibende Datenblätter nach homogenen Abschnitten der wichtigsten morphologischen Eigenschaften des Wasserlaufs.
- Karte der Entwicklungstendenzen des Wasserlaufs, die sich aus der Verarbeitung der angefallenen Informationen ableiten.

Geeignete Berufsbilder

Geologen, die die Geomorphologie von Flüssen kennen und Erfahrung bei der Auswertung von Fotomaterial haben.

tudinali e trasversali al corso d'acqua.

Il metodo consente di effettuare analisi di inondabilità anche in mancanza di dati sulle portate, indispensabili per i modelli idraulici.

È richiesto un numero limitato di figure professionali ad alta specializzazione e la strumentazione *standard* per le analisi geomorfologiche.

Limiti

La bontà dei risultati è fortemente condizionata dalle basi dati disponibili (cartografie e riprese aeree).

Se applicato in pianura per lo studio di corsi d'acqua di tipo monocursale-meandriforme, il metodo permette di riconoscere solo parzialmente le aree ancora inondabili.

Il metodo non fornisce una carta dell'inondabilità per tempi di ritorno definiti.

Attività

- Rilevamento morfologico mediante analisi fotointerpretativa e rilievi di terreno.
- Redazione di cartografie di sintesi.

Prodotti attesi

- Carte morfologiche numeriche riferite a differenti periodi: carta morfologica attuale e carta di sintesi delle zone geneticamente inondabili.
- Indici morfometrici quantitativi.
- Schede descrittive per tratto omogeneo delle principali caratteristiche morfologiche del corso d'acqua.
- Carta delle tendenze evolutive del corso d'acqua dedotta dall'elaborazione delle informazioni prodotte.

Figure professionali idonee

Geologi esperti in geomorfologia fluviale con buona capacità di fotointerpretazione.

§ 5.1.2.A/1 Morphological diagnosis for flood prone areas analysis
ARPA PIEMONTE

§ 5.1.2.A/1 ARPA PIEMONTE

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

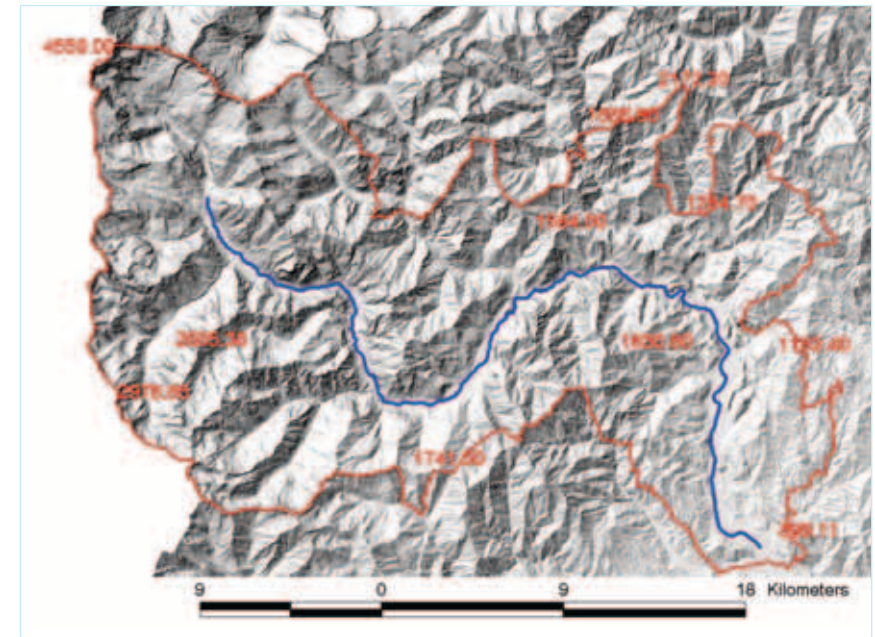
Country - Staat - Nazione	Italy (Piemonte)
Village - Ort - Riferimento amministrativo	Vercelli
Basin - Becken - Bacino	Sesia
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Sesia



Figure 5.1.2.A/1.1 Location of the Alpine catchment of the di Sesia river.

Figur 5.1.2.A/1.1 Lage des Alpenbeckens des Sesia.

Figura 5.1.2.A/1.1 Ubicazione del bacino alpino di del F. Sesia.



Figureure 5.1.2.A/1.2 A stretch of the Sesia river which was studied (points of elevation in m, are shown in red).

Figur 5.1.2.A/1.2 Untersuchter Abschnitt des Sesia (in rot die gemessenen Punkte in m).

Figuraure 5.1.2.A/1.2 Tratto del F. Sesia, oggetto dello studio (in rosso i punti quotati, in m).

5.1.2.A/1.1 Preliminary tasks

The sample area was chosen because it complements that of the Floodaware Project (§ 5.1.1), in so far as for the stretch in consideration the maximum peak flow recorded dates back to 1948 and there are no maps for flooding for peak flows with centennial return periods which can be used as flood risk maps for extreme events.

The preliminary tasks regarded research into bibliographical sources, cartography and the aerial photographs available. The cartography and aerial photographs used were the following: the maps of the *Istituto Geografico Militare Italiano* on a scale of 1:25.000 created from 1885-1906 and the aerial photographs (4 series) taken between 1954 and 2000. Particular attention was devoted to photographs taken after peak flow events. When choosing aerial photography to use it is opportune to select low altitude flights without elements which hinder photo-interpretation such as thick vegetation or snow cover.

5.1.2.A/1.1 Vorarbeiten

Das Untersuchungsgebiet wurde ausgewählt, weil es dem des Floodaware-Projektes (§ 5.1.1) entspricht: im beobachteten Abschnitt ereignete sich das Hochwasser mit dem höchsten Stand im Jahr 1948, und es gibt keine Überflutungskarten für Hochwasser mit Jahrhunderthäufigkeit, die als Karten für die Überflutbarkeit verwendet werden könnten.

Die Vorbereitungsphasen der Untersuchung umfassen eine bibliografische und kartografische Recherche sowie eine Durchsicht des verfügbaren fotogrammetrischen Materials an Luftbildern. Für Kartografie und Luftbilder wurden folgende Dokumente verwendet: die Karten des Istituto Geografico Militare Italiano mit einem Maßstab von 1:25.000 aus den Jahren 1885-1906 und die Luftaufnahmen (4 Serien) aus den Jahren zwischen 1954 und 2000. Den Aufnahmen, die nach Hochwassern gemacht wurden, wurde besondere Bedeutung beigemessen. Bei der Auswahl der Luftaufnahmen sollten solche aus niedriger Höhe bevorzugt werden, bei denen die Auswertung nicht durch Hindernisse wie wuchernde Vegetation oder Schneefall behindert wird.

5.1.2.A/1.1 Fasi preliminari

L'area campione è stata scelta perché complementare a quella del Progetto Floodaware (§ 5.1.1), in quanto nel tratto considerato la piena con portata massima registrata risale al 1948 e non esistono carte di inondazione per piene con tempi di ritorno secolari utilizzabili come mappe dell'inondabilità per eventi estremi.

Le fasi preliminari dello studio sono state dedicate alla ricerca delle fonti bibliografiche, della cartografia e delle riprese aereofotogrammetriche disponibili. Per la cartografia e le riprese aeree sono stati utilizzati i seguenti documenti: le Cartografie dell'Istituto Geografico Militare Italiano in scala 1:25.000, realizzate negli anni 1885-1906, e le riprese aeree (4 serie) realizzate tra il 1954 e il 2000. È stata data particolare significatività alle riprese successive a eventi di piena. Nella scelta delle riprese aeree da utilizzare è opportuno selezionare voli a quota bassa e privi di elementi in grado di ostacolare la fotointerpretazione, quali vegetazione rigogliosa o innevamento.

5.1.2.A/1.2 Activities

In order to evaluate the geometric and morphological modifications of the watercourse we examined the aerial photography and analysed the historical maps available. In view of the limited average width of the section of the channel with respect to the scale employed (1:10.000), and the need to survey river formations with a good degree of accuracy and study them using GIS, both photographs and cartography were georeferenced.

All the geometric analyses needed to highlight the correlations between current morphology and abandoned formations were carried out. Based on photo-interpretation we identified the main features of the current morphology of the river. In order to outline areas susceptible to flooding it was fundamental to estimate the heights of all the types of banks of the channel.

Banks were grouped into 4 categories:

category I – height under 1.5 m;

category II – height between 1.5 m and 3.0 m;

category III – height between 3.0 m and 5.0 m ;

category IV – height over 5.0 m.

Variations in elevation of the channel were analysed using both photo-interpretation and surveys, with a local comparison between cross sections. Indirect evidence, derived from photo-interpretation, while providing non-quantitative information, allowed us to extend the analysis to the entire watercourse for the periods when comparable sections of the channel were not available.

Based on an examination of the material analysed, we calculated the morphometrical indexes necessary to summarise the evolution of the watercourse in the past, and its current patterns of development. The morphometrical indexes corresponded to each point taken into consideration to classify the watercourse: for each point we traced a perpendicular section of

5.1.2.A/1.2 Aktivitäten

Für die Auswertung der geometrischen und morphologischen Änderungen des Wasserlaufs wurden Fotos und Luftbilder verwendet, ferner wurde eine Analyse der verfügbaren historischen Kartografie durchgeführt. Angesichts der geringen Breite des Flussbettschnitts beim Arbeitsmaßstab von 1:10.000 und der Notwendigkeit, das Relief der Flussformen mit einer hinreichenden Präzision zu erstellen und die Verwendung in einem GIS-System möglich zu machen, wurden Fotogramme und historische Karten georeferenziert.

Es wurden alle geometrischen Analysen durchgeführt, die für eine Herausarbeitung der Korrelationen zwischen aktueller Morphologie und ehemaligen Formen nötig sind. Auf der Grundlage der Auswertung der neuesten Luftbilder wurden die wichtigsten Elemente der aktuellen Flussmorphologie erkennbar gemacht. Grundlegend für die Begrenzung der überflutbaren Gebiete war die Schätzung der Höhe aller Uferbereiche am Rand des Flussbettes.

Die Ufer wurden in 4 Klassen eingeteilt:

Klasse I – Höhe unter 1.5 m;

Klasse II – Höhe zwischen 1.5 und 3.0 m;

Klasse III – Höhe zwischen 3.0 und 5.0 m;

Klasse IV – Höhe über 5.0 m.

Es wurden die Variationen der Uferhöhe analysiert, und zwar sowohl auf der Grundlage der Auswertung der Fotos, als auch über Begehungen und durch den Vergleich von Querschnitten. Die indirekten Erkenntnisse aus der Analyse der Fotos liefern keine quantitativen Angaben, erlauben aber eine Ausweitung der Analyse auf den ganzen Wasserlauf für Zeiten, für die keine vergleichbaren Flussbettschnitte vorliegen.

Auf der Grundlage der Analyse des Materials wurden die morphometrischen Indizes berechnet, die für die Zusammenfassung der historischen Entwicklung und die Beschreibung der laufenden Entwicklungstendenzen des Wasserlaufs nötig sind. Die Bestimmung der mor-

5.1.2.A/1.2 Attività

Per la valutazione delle modificazioni geometriche e morfologiche del corso d'acqua sono state fotointerpretate le riprese aeree ed è stata analizzata la cartografia storica disponibile. In considerazione della limitata larghezza media della sezione dell'alveo rispetto alla scala di lavoro (1:10.000), della necessità di procedere al rilievo delle forme fluviali con una sufficiente precisione e di rendere possibile il loro utilizzo in ambiente GIS, sono stati georiferiti sia i fotogrammi sia la cartografia storica.

Sono state eseguite tutte le analisi di carattere geometrico necessarie per evidenziare le correlazioni tra morfologia attuale e forme abbandonate. Sulla base dell'analisi delle riprese aeree più recenti, sono stati individuati i principali elementi della morfologia fluviale attuale. Fondamentale per la delimitazione delle aree inondabili è stata la stima delle altezze di tutte le tipologie di sponda delimitanti l'alveo.

Le sponde sono state classificate in 4 classi:

classe I – altezza minore di 1.5 m;

classe II – altezza compresa tra 1.5 m e 3.0 m;

classe III – altezza compresa tra 3.0 m e 5.0 m ;

classe IV – altezza maggiore di 5.0 m.

Sono state analizzate le variazioni di quota dell'alveo sia da fotointerpretazione sia mediante sopralluoghi e, localmente, con il confronto tra sezioni trasversali. Le evidenze indirette, derivanti da fotointerpretazione, pur fornendo indicazioni non quantitative, hanno consentito di estendere l'analisi a tutto il corso d'acqua per periodi per i quali non sono disponibili sezioni d'alveo confrontabili.

Sulla base dell'esame del materiale analizzato, sono stati calcolati gli indici morfometrici necessari per sintetizzare l'evoluzione subita in epoca storica e le condizioni evolutive in atto del corso d'acqua. La determinazione degli indici morfometrici è stata eseguita in corrispondenza di ognuno dei punti considerati per

the current channel, in order to evaluate the following measurements from the available flights:

- the width of the main channel and other active channels (La , m);
- the length according to the axis of the valley (Luv , m), calculated according to runoff directions in the envelope of current or abandoned river formations associated with the watercourse;
- the length of the *thalweg* line or active channel at the time of observation (Lut , m);
- the braiding index (ir , the maximum number of channels limited by bars or islands);
- the sinuosity index ($Is = Lut/Luv$);
- the total length of active bank erosions (Se , m) per homogeneous stretch;
- the entrenchment index ($It = La/Luv$) per homogeneous stretch.

The classification of abandoned formations according to their capacity to reconnect up to the current watercourse or not was carried out on the basis of photographs and reconstructions of the most recent peak flow events (1993 and 2000). The situation regarding route and altimetric modifications to the channel and abandoned channels was correlated as much as possible to the period of works on the channel.

We identified the works located in the channel area during the period in consideration, with particular attention to works which interfere with active or abandoned channels. Lastly information on damage caused by historic flood events was analysed using photo-interpretation (1978, 1994, 2000), and we identified works which conditioned runoff.

phometrischen Indizes wurde an jedem der für die Klassifizierung berücksichtigten Punkte durchgeführt. Für jeden Punkt wurde ein Schnitt quer zum aktuellen Flussbett erstellt. Für diese Schnitte wurden für die verschiedenen Flüge folgende Werte eingeschätzt:

- Breite des Flussbettes und der aktiven Kanäle (La , in m);
- Länge gemäß der Talachse (Luv , in m), berechnet nach der Abflussrichtung innerhalb der Begrenzung durch Nebenflüsse oder ehemalige Nebenflüsse;
- Länge gemäß der *Thalweg*-Linie oder des aktiven Kanals im Augenblick der Beobachtung (Lut , in m);
- Index der Verzweigungen (ir , Höchstzahl der Kanäle, die durch Landstriche oder Inseln begrenzt werden);
- Kurvenindex ($Is = Lut/Luv$);
- Gesamtlänge der aktiven Ufererosion (Se , in m) pro homogenem Abschnitt;
- Entrenchment-Index ($It = La/Luv$) pro homogenem Abschnitt.

Die Einteilung der Reliktformen je nach deren Fähigkeit, wieder mit dem aktuellen Wasserlauf vereinigt zu werden (oder umgekehrt) wurde auf der Grundlage der Bilder und Rekonstruktionen der letzten Hochwasser (1993 und 2000) vorgenommen. Die Beschreibung der planimetrischen und höhenmäßigen Änderungen des Flussbettes und der Reliktformen wurde so weit wie möglich anlässlich von Arbeiten im Flussbett durchgeführt.

Es wurden die Infrastrukturen innerhalb des Uferstreifens für den untersuchten Zeitraum herausgearbeitet, dabei wurde besondere Aufmerksamkeit den Bauwerken gewidmet, die mit den aktiven und mit den ehemaligen Kanälen in Wechselwirkung treten. Es wurden schließlich Informationen über Schäden analysiert, die von historischen Überschwemmungen verursacht wurden. Außerdem wurde eine Auswertung von Fotos (1978, 1994 und 2000) durchgeführt, bei der die Bauwerke erkannt wurden, die den Abfluss des Wassers beeinflussen.

la classificazione del corso d'acqua: per ogni punto è stata tracciata una sezione perpendicolare all'alveo attuale sulla quale sono stati valutati per i vari voli disponibili:

- la larghezza dell'alveo e dei canali attivi (La , m);
- la lunghezza secondo l'asse *della valle* (Luv , m), calcolata secondo la direzione dei deflussi entro l'inviluppo delle forme fluviali associate al corso d'acqua attuali o abbandonate;
- la lunghezza della linea di *thalweg* o canale attivo al momento dell'osservazione (Lut , m);
- l'indice di ramificazione (ir , numero massimo di canali limitati da barre o isole);
- l'indice di sinuosità ($Is = Lut/Luv$);
- la lunghezza totale delle erosioni di sponda attive (Se , m) per tratto omogeneo;
- l'indice di *entrenchment* ($It = La/Luv$) per tratto omogeneo.

La classificazione delle forme relitte in funzione della capacità di riconnettersi al corso d'acqua attuale o viceversa della condizione di non riattivabilità, è stata effettuata sulla base dell'interpretazione delle immagini e delle ricostruzioni relative alle più recenti piene (1993, 2000). Il quadro relativo alle modificazioni planimetriche e altimetriche dell'alveo e delle forme relitte è stata correlata per quanto possibile ai tempi di realizzazione delle opere in alveo.

Sono state individuate le infrastrutture collocate all'interno della fascia pertinente l'alveo per il periodo considerato, con particolare attenzione per quelle opere che interferiscono con i canali attivi e abbandonati. Sono state infine analizzate le informazioni sui danni indotti da eventi alluvionali storici e attraverso l'analisi fotointerpretativa (1978, 1994, 2000) sono state individuate le opere che hanno condizionato il deflusso delle acque.

Morphological diagnosis for flood prone areas analysis
§ 5.1.2.A/1 ARPA PIEMONTE

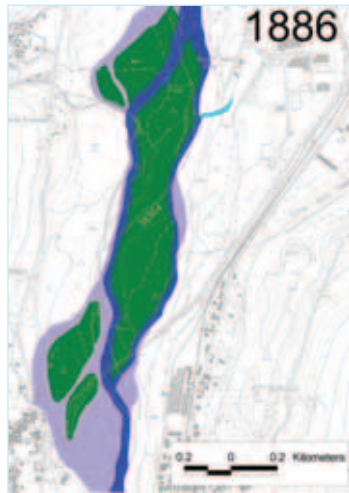


Figure 5.1.2.A/1.3

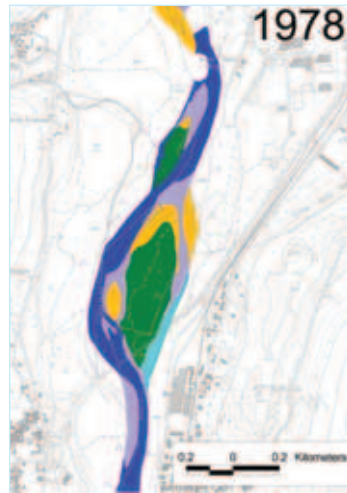


Figure 5.1.2.A/1.4



Figure 5.1.2.A/1.5

Key. Areas: 1) Active channel, 2) bedrock, 3) Active channel with flow, 4) Inactive channel, 5) bar/island with vegetation, 6) bar/island without vegetation. Linear elements (1994, 2000): 1) ancient channel bank, 2) Bank of bank-full channel, 3) Terrace scarp, 4) Main terrace, 5) scarp of main or exposed terrace, 6) Protection work.

Legende. Gebietselemente: 1) aktiver Kanal, 2) Unterschicht, 3) Aktiver Kanal mit Abflüssen, 4) inaktiver Kanal, 5) dauerhaft bewachsene Landzunge oder Insel, 6) nicht bewachsene Landzunge oder Insel. Lineare Elemente (1994, 2000): 1) Böschung einer früheren Flussform, 2) Ufer des Flussbettes, 3) erodiertes Ufer des Flusses, 4) Terrassenrand, 5) nicht überflutbarer Terrassenrand, 6) Schutzwerke.

Legenda. elementi areali: 1) canale attivo, 2) substrato, 3) canale attivo con deflussi, 4) canale inattivo, 5) barra/isola stabilmente vegetata, 6) barra/isola non vegetata. Elementi lineari (1994, 2000): Elementi lineari (1994, 2000) 1) scarpata di antica forma fluviale, 2) sponda delimitante l'alveo, 3) sponda erosa delimitante l'alveo, 4) orlo di terrazzo, 5) orlo di terrazzo principale o insommergiabile, 6) opera idraulica.

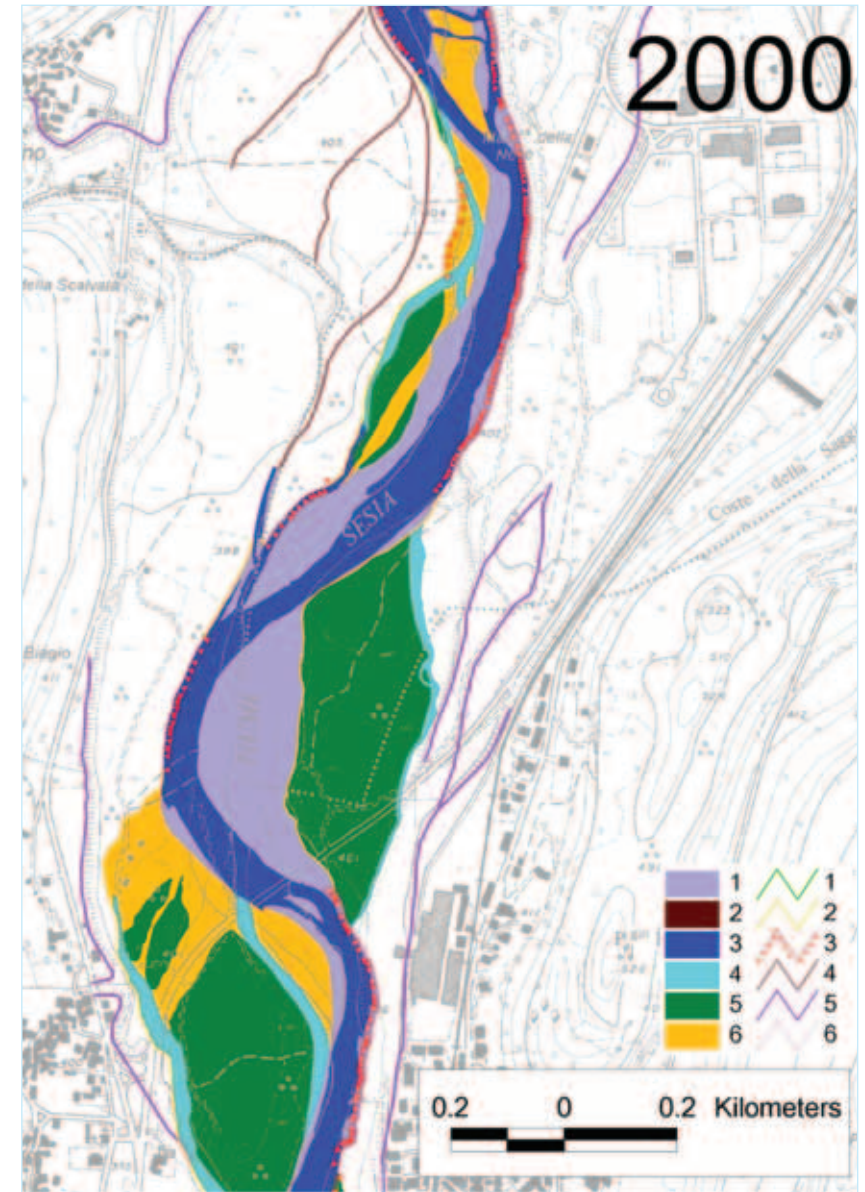


Figure 5.1.2.A/1.6

Figures 5.1.2.A/1-3 ÷ 5.1.2.A/1.6 Channel active on the dates shown. The limits of the active channel are identified as the external banks. Where there is no bank the surveyor sets a limit, according to the type of vegetation, for example.

Figur 5.1.2.A/1.3 ÷ 5.1.2.A/1.6 Aktives Flussbett mit Daten. Die Grenzen des aktiven Flussbettes werden durch Die äußeren Ufer bestimmt; wenn kein Ufer vorhanden ist, bestimmt das Vermessungsgerät eine Grenze, zum Beispiel auf der Grundlage der Vegetation.

Figure 5.1.2.A/1.3 ÷ 5.1.2.A/1.6 Alveo attivo alle date riportate.

I limiti dell'alveo attivo sono definiti dalle sponde esterne; qualora non sia presente una sponda il rilevatore definisce un limite, in base ad esempio al tipo di vegetazione.

Morphological diagnosis for flood prone areas analysis
§ 5.1.2.A/1 ARPA PIEMONTE

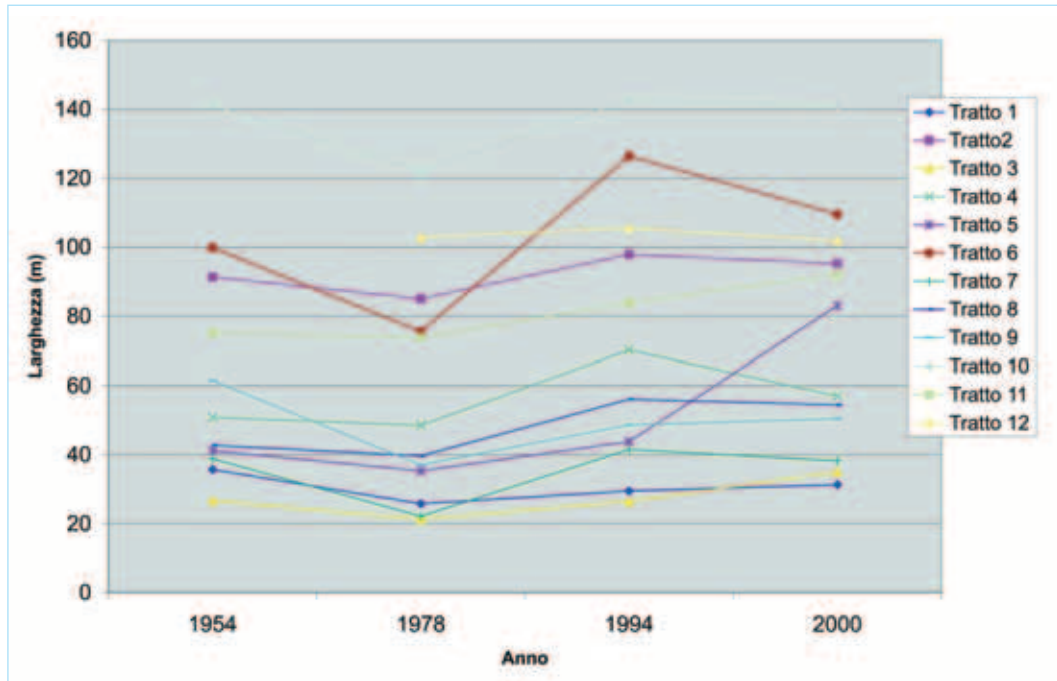


Figure 5.1.2.A/1.7 Evolution of the route of the Sesia river (period: 1954 – 2000): variation in the width of the channel when bank-full. Measurements were taken from photo-interpretation of aerial photographs taken in the years shown.

Figur 5.1.2.A/1.7 Planimetrische Entwicklung des Flusses Sesia (Zeitraum: 1954-2000):

Variation der Breite des *Bankfull-Ufers*. Die Messwerte ergaben sich aus einer Auswertung der Luftbilder der genannten Jahre.

Figura 5.1.2.A/1.7 Evoluzione planimetrica del fiume Sesia (periodo: 1954 – 2000): variazione della larghezza dell'alveo bankfull. Le misure sono state effettuate sulla base di fotointerpretazione delle foto aeree degli anni riportati.

Table 5.1.2.A/1.1 Examples of the planimetric characteristics analysed for each homogeneous stretch.

Tabelle 5.1.2.A/1.1 Beispieltabelle für die analysierten planimetrischen Eigenschaften pro homogenem Abschnitt.

Tabella 5.1.2.A/1.1 Tabella esemplificativa delle caratteristiche planimetriche analizzate per tratto omogeneo.

Evoluzione planimetrica del corso d'acqua dal 1885 al 2000		
	Situazione pregressa	Situazione attuale
Alveotipo	1954 - pluricursale 1978 - pluricursale 1994 - pluricursale	Pluricursale irregolare localmente ramificato
Larghezza media (m)	1954 - 49.1 1978 - 46.5 1994 - 66.1	65.3
Indice di braiding	1954 - 2 1978 - 2 1994 - 2	2
Erosione di sponda (m)	1994 – sp. sx – 567.6 (15.10%) 1994 – sp. dx – 772.8 (20.28 %)	sp. sx – 310.64 (16.50 %) sp. dx – 1028.1 (28.54%)
Evoluzione altimetrica del fondo alveo		
Stato attuale	Evidenze approfondimento	
Riattivabilità delle forme fluviali relitte		
Forme abbandonate recenti	1 sulla sponda sinistra e 1 sulla sponda destra	
Forme abbandonate antiche	assenti	
Composizione granulometrica prevalente		
Massi e ciottoli		
Tipologia di vegetazione lungo asta fluviale		
Arborea e arbustiva		
Interventi antropici		
□		

5.1.2.A/1.3 Results

The results of the aforementioned activities were presented as maps or data sheets. We created morphological maps of the channel and abandoned formations for the period in question. To create the maps of floodable areas, and only for the most recent aerial photographs, we also made numerical maps of the banks and terrace scarps. The watercourse was divided into 12 stretches (in agreement with Rosgen, 1996) and summaries of the morphological characteristics and morphometric indexes for each stretch were made. By analysing all the elements which emerged we assigned a level of *genetic* propensity for flooding for each area. Each homogeneous area was assigned a figure for flooding propensity, which varied from *I* to *IV* on a scale indicating the probability of flooding. A figure of *0* was also used for areas which though of fluvial origin, could be excluded from current river dynamics in view of their characteristics. The degrees of propensity to flooding were:

- *very high probability of flooding* (level 1 area): this corresponds to the area occupied by the current channel and the areas covering its historic range of migration, wherever banks are less than 5 m high;
- *high probability of flooding* (level 2 area): corresponds mostly to first and second degree terraces, often intersected by the range of migration, associated with category 1 or category 2 banks (see § 5.1.2/1.2), with possible erosion;
- *medium-low probability of flooding* (level 3 area): corresponds to areas usually outside the historic range of migration, for example older terraces higher than the watercourse or areas with banks at a height which implies that the risk of flooding is limited to particularly intense, violent peak flow events;
- *very low probability of flooding* (level 4 area): cor-

5.1.2.A/1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der beschriebenen Tätigkeiten wurden in Karten und zusammenfassenden Datenblättern verarbeitet. Es wurden morphologische Karten des Flussbettes und der ehemaligen Formen für den analysierten Zeitraum erstellt. Für die Erstellung der Karten der Überflutungsgebiete und ausschließlich für die neueren Luftaufnahmen wurden numerische Karten auch von den Ufern und Terrassenrändern erstellt. Für die 12 homogenen Abschnitte, in die der Wasserlauf unterteilt wurde (gemäß Rosgen 1996) wurden synthetische Datenblätter der morphologischen Eigenschaften und der morphometrischen Indizes erstellt. Über eine Analyse aller gewonnenen Elemente wurden die Grade der Überflutunggefährlichkeit für die untersuchten Gebiete bestimmt. Den homogenen Gebieten wurde ein Wert von *I* bis *IV* für die Überflutbarkeit zugewiesen, gemäß einer Hierarchie der relativen Wahrscheinlichkeit. Es wurde außerdem der Grad *0* verwendet, und zwar für all die Gebiete, die zwar fluvialen Ursprungs sind, aber aufgrund ihrer Eigenschaften als von den aktuellen fluvialen Dynamismen nicht betroffen betrachtet werden können.

- Folgende Grade der Überflutbarkeit wurden ermittelt:
- *sehr hohe Überflutbarkeit* (Grad I): das Gebiet des aktuellen Flussbettes und die Zonen der relativen historischen Mobilität, wenn die Ufer niedriger als 5 m sind
 - *hohe Überflutbarkeit* (Grad II): entspricht vor allem den Terrassen der ersten und zweiten Ordnung, die oft von den Mobilitätsstreifen geschnitten werden, dazu gehören eventuell erodierte Ufer der Klassen I oder II (siehe § 5.1.2/1.2)
 - *mittlere bis niedrige Überflutbarkeit* (Grad III): entspricht den Bereichen, die normalerweise außerhalb der historischen Mobilitätsgrenzen liegen,

5.1.2.A/1.3 Risultati

I risultati delle attività precedentemente descritte si sono concretizzati in cartografie ed in schede di sintesi. Sono state realizzate le carte morfologiche dell'alveo e delle forme abbandonate per il periodo analizzato. Per la realizzazione delle carte delle aree inondabili e solo per le riprese aeree più recenti sono state realizzate cartografie numeriche anche delle sponde e degli orli di terrazzo. Per i 12 tratti omogenei nel quale è stato suddiviso il corso d'acqua (in accordo con Rosgen, 1996), sono state realizzate schede sintetiche delle caratteristiche morfologiche e degli indici morfometrici. Attraverso l'analisi di tutti gli elementi emersi sono stati assegnati i gradi di propensione genetica all'inondabilità al territorio analizzato. Alle diverse aree omogenee è stato assegnato un valore di propensione all'inondabilità variabile da *I* a *IV* secondo una gerarchia che considera la probabilità relativa di allagamento. È stato inoltre introdotto un grado *0* per quelle aree che, sebbene di origine fluviale, presentano caratteristiche tali da poter essere considerate escluse dalle dinamiche fluviali attuali.

I gradi di propensione all'inondabilità individuati sono:

- inondabilità molto elevata (area di grado I): corrisponde all'area che comprende l'alveo attuale e le aree ricadenti entro la relativa fascia di mobilità storica qualora le sponde presentino altezze inferiori a 5 m;
- inondabilità elevata (area di grado II): corrisponde per lo più ai terrazzi di primo e secondo ordine, spesso intersecati dalla fascia di mobilità, cui si associano sponde di classe I o II (vedi § 5.1.2/1.2), eventualmente erose;
- inondabilità medio-bassa (area di grado III): corrisponde alle aree solitamente esterne alla fascia di mobilità di divagazione storica, ad esempio terraz-

responds to areas of clear fluvial origin, but at a distance or average elevation with respect to the watercourse which means they present a very limited genetic propensity for flooding (in catastrophic peak flow events).

In order to determine homogeneous areas and classify them from the point of view of genetic flooding probability, particular attention was devoted to analysing the geomorphologic conditions of the channel and the characteristics of the bank. In some cases, areas almost entirely characterised by a low level of flood probability are assigned a higher level of probability due to the presence of an area upstream subject to erosion, where peak flow could overflow.

zum Beispiel ältere Terrassen, die oberhalb des Wasserlaufs liegen oder Bereiche innerhalb von Ufern mit einer Höhe, die das Überflutungsrisiko mit Ausnahme von besonders heftigen und starken Hochwassern gering erscheinen lassen

- *sehr niedrige Überflutbarkeit* (Grad IV): entspricht Bereichen mit klarem fluvialen Ursprung, die wegen ihrer Entfernung oder einer mittleren Höhe oberhalb des Wasserlaufs ein sehr geringes Risiko der Überflutungen aufweisen (mit Ausnahme von Katastrophenfluten)

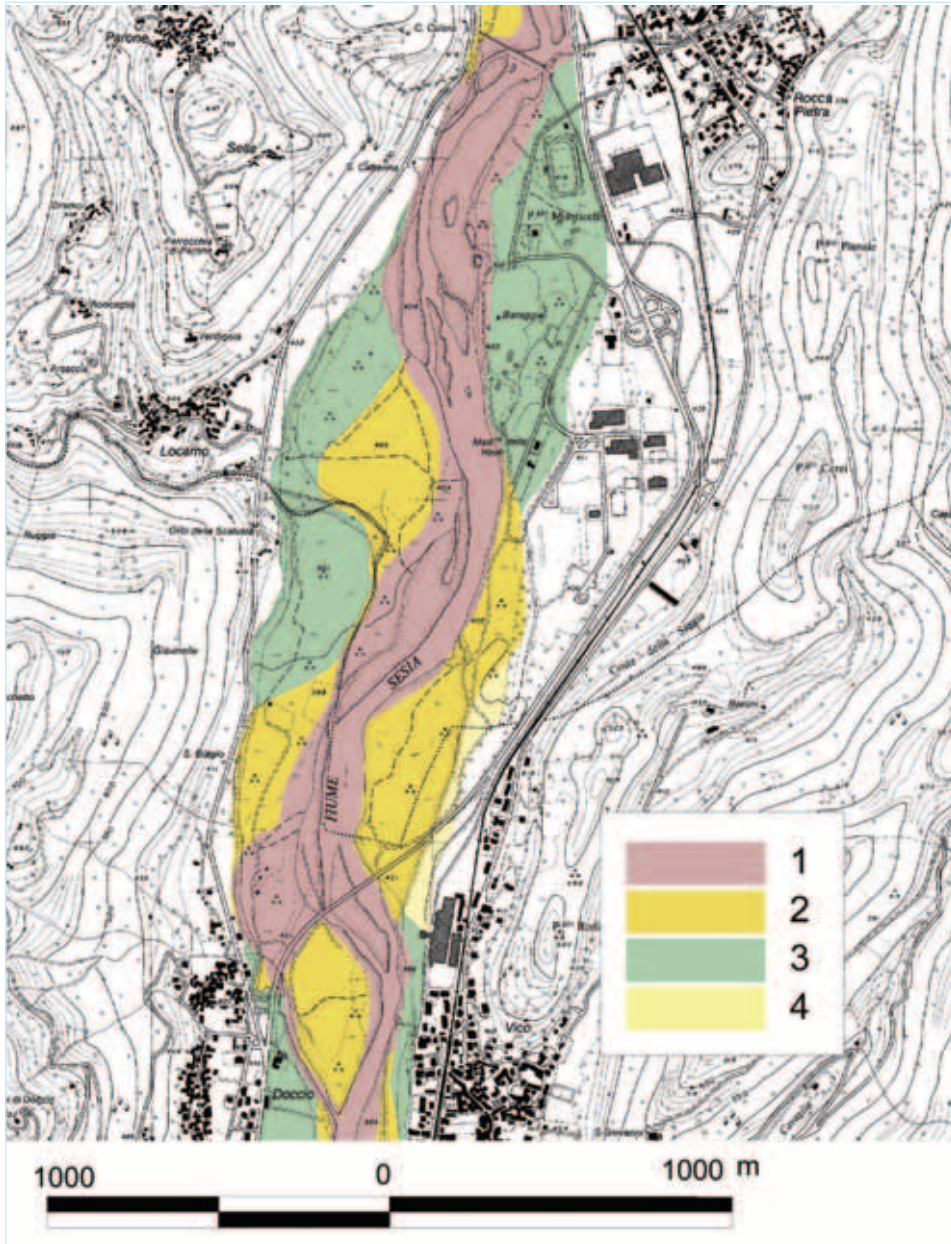
Bei der Definition der homogenen Gebiete und ihrer Klassifizierung gemäß der ihnen innewohnenden Überflutbarkeit wurde besondere Aufmerksamkeit auf die Analyse der geomorphologischen Bedingungen des Flussbettes und der Eigenschaften der Ufer gelegt. In einigen Fällen wurden Gebiete mit einer eigentlich über weite Strecken niedrigen Überflutbarkeit dennoch in einen höheren Grad eingestuft, weil oberhalb von ihnen eine Erosionszone liegt, über die Hochwasserfluten auslaufen könnten.

zi più vecchi e posti a quote più elevate rispetto al corso d'acqua o aree aventi sponde di altezza tale da considerare il rischio di inondazione limitato a casi di piena particolarmente intensi e violenti;

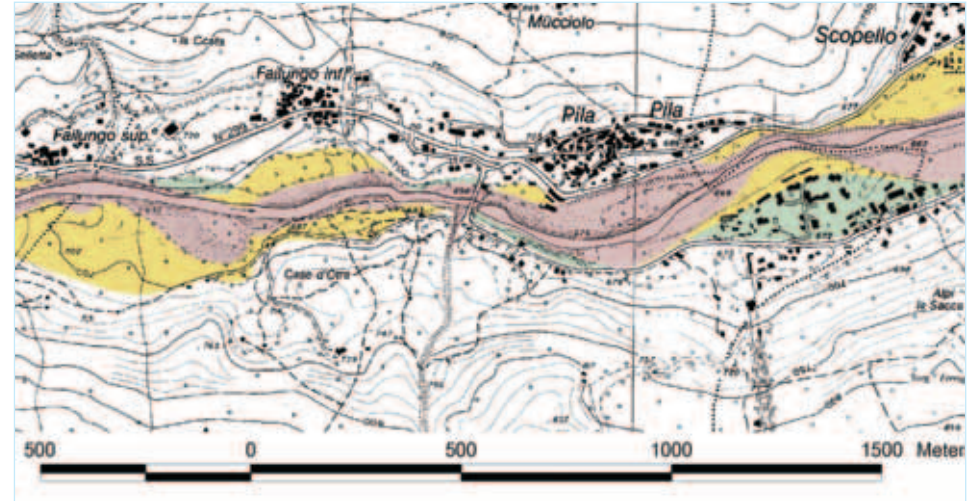
- inondabilità molto bassa (area di grado IV): corrisponde ad aree di chiara origine fluviale ma che per distanza o per quota media rispetto al corso d'acqua presentano una propensione genetica all'inondabilità molto limitata (per piene catastrofiche).

Per la definizione delle aree omogenee e per la loro classificazione dal punto di vista dell'inondabilità genetica si è fatta particolare attenzione all'analisi delle condizioni geomorfologiche dell'alveo e delle caratteristiche delle sponde. In alcuni casi aree caratterizzate da basso grado di inondabilità sulla quasi totalità del tratto possono essere inserite nella classe a grado di inondabilità più alto a causa della presenza di una zona in erosione posta a monte, attraverso la quale potrebbero fuoriuscire le acque di piena.

Morphological diagnosis for flood prone areas analysis
 § 5.1.2.A/1 ARPA PIEMONTE



(a)



(b)

Figure 5.1.2.A/1.8 (a) and (b) Examples of flood risk zoning with classification into 4 levels (key of levels 1 to 4).
 Figur 5.1.2.A/1.8 (a) und (b) Beispiele für eine Zoneneinteilung nach Überflutbarkeit in 4 Grade (Type von 1 bis 4 in der Legende).
 Figuraure 5.1.2.A/1.8 (a) e (b) Esempi di zonazione dell'inondabilità, con classificazione in 4 gradi (in legenda Type da 1 a 4 in legenda).

5.1.2.A/1.4 Conclusions

The damage caused by flooding in recent years has led to increased attention being paid to preventive measures in river areas.

The morphological diagnostic method aims to identify areas potentially subject to flooding and classify these into relative categories of probability, evaluating the current and past morphological characteristics of the watercourse. Very often this attention *takes a form which all but neglects the genetic instability of the watercourse, namely the permanent and temporary changes in the river landscape. The changes in river formations occur relatively slowly (migration of meanders, deepening of channels, etc.) and may not be visible to the human eye (except in the case of specific surveys repeated over time), therefore not considered as a natural condition of instability, above all when hydraulic or construction works are to be carried out. Moreover, rapidly-occurring processes, which exert immediate effects on people and property, highlight the vulnerability of the site only in view of the exceptional nature of the event* (Maraga et al., 1996).

The present Guidelines have been created with the view that these problems require a detailed geomorphologic approach.

5.1.2.A/1.4 Schlussfolgerungen

Die Schäden, die in den letzten Jahren von Überflutungen ausgelöst wurden, haben die Aufmerksamkeit auf Maßnahmen zum Schutz der Flussgebiete gelenkt.

Die Methode der morphologischen Diagnose orientiert sich an der Erkennung von Gebieten, die möglicherweise überflutet werden könnten und teilt diese in relative Wahrscheinlichkeitsklassen ein. Dabei wird der aktuelle und historische morphologische Verlauf des Flusses berücksichtigt. Sehr oft wurde bei der Erarbeitung der Erkenntnisse dabei *wenig Wert auf die Einschätzung der dem Wasserlauf innewohnenden Instabilität gelegt. Diese drückt sich in der Flusslandschaft in dauerhaften oder vorübergehenden Veränderungen aus. Die Änderung der fluvialen Formen mit einer relativ langsamen Entwicklung (Migration von Mäandern, Vertiefung der Flussbetten und ähnliches) wird vom Menschen nicht wahrgenommen (es sei denn, es liegen in zeitlichen Abständen wiederholte Messungen vor), so dass sie nicht als eine natürliche Instabilität angesehen werden, vor allem wenn Schutzwerke oder Ansiedlungen errichtet werden. Die schnellen Prozesse dagegen betreffen Menschen und Bauwerke und zeigen deutlich ihre Verletzbarkeit bei außergewöhnlichen Ereignissen* (Maraga et al., 1996).

Aus der Überzeugung heraus, dass die Steuerung dieser Probleme einen detailreichen geomorphologischen Ansatz erfordert, wurden die folgenden Richtlinien erarbeitet.

5.1.2.A/1.4 Conclusioni

I danni provocati negli ultimi anni dagli eventi alluvionali hanno richiamato attenzione sulle azioni di salvaguardia in territorio fluviale.

Il metodo della diagnosi morfologica è orientato all'individuazione delle aree potenzialmente soggette a inondazione e alla loro caratterizzazione in classi di probabilità relativa, valutando l'assetto morfologico attuale e passato del corso d'acqua. Molto spesso tale attenzione *si manifesta con un supporto conoscitivo poco mirato alla valutazione dell'instabilità genetica del corso d'acqua, che si esplica nel paesaggio fluviale in cambiamenti sia permanenti sia transitori. Il cambiamento delle forme fluviali con sviluppo relativamente lento (migrazione di meandri, approfondimento degli alvei, ecc.) può non essere percepito dall'uomo (a meno di rilievi strumentali ripetuti nel tempo), tanto da non essere considerato una condizione d'instabilità naturale, specie nel caso si debbano realizzare opere idrauliche o di urbanizzazione. Per contro, nei processi a sviluppo rapido l'immediata efficacia del fenomeno è tale da coinvolgere uomini e cose, mettendo in evidenza la vulnerabilità del sito solo per eccezionalità d'evento* (Maraga et al., 1996).

Nella convinzione che la gestione di tali problematiche richieda un approccio geomorfologico di dettaglio, sono state realizzate le presenti Linee Guida.

5.1.2.B Regionalization model for estimation of flood and low flow probability of unobserved catchments in Styria

General introduction to the method

The knowledge of floods with a certain occurrence interval represents an important basis for the protection and use of the water resources and the protection of human being against damages.

The estimation of the probability of extreme runoff events for ungauged catchment areas is containing high uncertainties and is one of the big challenges of hydrologists. Usually sufficient runoff data are existing for larger catchment areas but there is a lack of data for smaller drainage basins in many alpine regions.

Definition

Development and calibration of a model to predict the occurrence interval of extreme runoff events for ungauged small to medium size catchment areas (< 10 km² to 1.500 km²).

Aims

Forecasting of flood and low flow probability for ungauged small to medium catchment areas

Potentiality

Calibrated regionalization model of flood and low flow probability based on catchment parameters (morphometric, meteorological, land use distribution).

Limits

Small to medium size catchment areas (< 10 km² to 1.500 km²).

The calibration is valid for the province of Styria and within the limits of the used calibration parameters. The model can be transferred to other regions, but has to be recalibrated.

5.1.2.B Regionalisierungsmodell für die Schätzung der Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit un beobachteter Einzugsgebiete in der Steiermark

Allgemeine Einführung der Methode

Die Kenntnis von Hochwässern mit einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit stellt eine wichtige Basis für den Schutz und die Nutzung von Wasserressourcen und den Schutz der Bevölkerung vor Hochwasserschäden dar.

Die Schätzung der Wahrscheinlichkeit extremer Abflussereignisse für un beobachtete Einzugsgebiete ist mit großen Unsicherheiten behaftet und stellt eine der großen Herausforderungen für Hydrologen dar. Normalerweise existieren ausreichende Abflussdaten nur in größeren Einzugsgebieten, während in vielen alpinen Gebieten ein Datenmangel bei kleinen Einzugsgebieten herrscht.

Definition

Entwicklung und Kalibrierung eines Modells zur Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Abflussereignisse für un beobachtete kleine bis mittelgroße Einzugsgebiete (< 10 km² to 1.500 km²).

Ziel

Vorhersage der Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit für un beobachtete kleine bis mittelgroße Einzugsgebiete.

Potentialität

Kalibriertes Regionalisierungsmodell für Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit basierend auf Einzugsgebietsparametern (morphometrisch, meteorologisch, Landnutzungsverteilung).

Grenzen

Kleine bis mittelgroße Einzugsgebiete (< 10 km² to 1.500 km²).

Die Kalibrierung ist für die Region Steiermark und

5.1.2.B Modello di regionalizzazione per la stima della probabilità di piena e di minimo vitale in bacini non strumentati in Stiria

Introduzione generale sul metodo

La conoscenza della probabilità con la quale si possono manifestare fenomeni di piena a determinati intervalli temporali costituisce una base importante per la salvaguardia e lo sfruttamento delle risorse idriche, nonché per la protezione della popolazione da eventuali danni provocati dalle alluvioni.

La valutazione della probabilità con la quale si possono verificare fenomeni estremi di deflusso nei bacini idrografici non tenuti sotto osservazione è caratterizzata da una notevole incertezza e rappresenta una delle grandi sfide che gli idrologi si trovano a dover affrontare. Normalmente esistono dati sufficienti sui deflussi soltanto per quanto riguarda i bacini idrografici di dimensioni maggiori, mentre in molte zone alpine si riscontra una scarsità di dati sui bacini idrografici di dimensioni minori.

Definizione

Sviluppo e calibratura di un modello per la valutazione della probabilità con cui si possono manifestare fenomeni estremi di deflusso nei bacini idrografici di dimensioni piccole e medie (da < 10 km² a 1.500 km²) non tenuti sotto osservazione.

Finalità

Previsione dei fenomeni di piena e di minimi di deflusso nei bacini idrografici di dimensioni piccole e medie non tenuti sotto osservazione.

Potenzialità

Modello calibrato di regionalizzazione per la previsione dei fenomeni di piena e di minimi di deflusso in base ai parametri relativi al bacino idrografico (morfometrici, meteorologici e relativi alla distribuzione dell'uso del suolo).

Activities

1. Compilation of all relevant GIS and hydrological data of Styria.
2. Delineation of all gauged catchment areas of Styria.
3. Trend analysis of runoff time series
4. Estimation of the return levels (3, 5, 10, 30, 50 and 100 years) for all gauged catchment areas with sufficient data with sufficient data using the generalized extreme value (GEV) distribution and the Gumbel distribution.
5. Calculation of the relevant catchment parameters: surface, slope, mean altitude, stream length, drainage density, mean annual precipitation, land use distribution (portion of forest, grassland, no vegetation, sealed areas).
6. Definition of subregions with comparable hydrogeological and meteorological conditions.
7. Choice of catchment areas for calibration of the regionalization model.
8. Calibration of the model.
9. Analysis of sensitivity.

Expected products

Software tool for the estimation of return levels of extreme runoff events for ungauged catchment areas.

Appropriate professional figures

Hydrologists, Hydrogeologists, Water Resources Managers, Regional Planners, Hydrographical Surveys, Constructors.

nur innerhalb der Bandbreite der verwendeten Kalibrationsparameter.
Das Modell kann auf andere Regionen übertragen werden, muss aber rekaliert werden.

Aktivitäten

1. Kompilation aller relevanten GIS und Hydrologiedaten der Steiermark
2. Abgrenzung aller Einzugsgebiete mit Abflussdaten
3. Trendanalyse der Abflusszeitreihen
4. Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten (3, 5, 10, 30, 50 and 100 Jahre) für alle Einzugsgebiete mit ausreichend langen Abflusszeitreihen mittels der generalisierten Extremwertverteilung und der Gumbel-Verteilung.
5. Berechnung der relevanten Einzugsgebietsparameter Fläche, mittlere Neigung, mittlere Seehöhe, Gewässernetzlänge, Gerinndichte, mittlerer Jahresniederschlag, Landnutzungsverteilung (Anteile für Wald, Grasland, keine Vegetation, versiegelte Flächen).
6. Definition von 6 Unterregionen mit vergleichbaren hydrogeologischen und meteorologischen Verhältnissen.
7. Auswahl der Einzugsgebiete für die Kalibrierung des Regionalisierungsmodells.
8. Modellkalibrierung.
9. Sensitivitätsanalyse.

Erwartete Produkte

Softwaretool für die Schätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten extremer Abflussereignisse für unbeobachtete Einzugsgebiete.

Geeignete Berufsbilder

Hydrologen, Hydrogeologen, Wasser-ressourcenmanager, Regionalplaner, Hydrographische Dienste, Baugewerbe.

Limiti

Bacini idrografici di piccole e medie dimensioni (da < 10 km² a 1.500 km²).

La calibratura vale per la regione della Stiria e soltanto all'interno del *range* di parametri utilizzati per la calibratura.

Il modello può essere applicato ad altre regioni, ma deve essere calibrato nuovamente.

Attività

1. Compilazione di tutti i dati idrologici e relativi all'ambiente GIS per la Stiria.
2. Delineazione di tutti i bacini idrografici della Stiria, con relativi dati sul deflusso.
3. Analisi di tendenza delle serie temporali di dati relativi al deflusso superficiale.
4. Stima dei tempi di ritorno (3, 5, 10, 30, 50 e 100 anni) per tutti i bacini idrografici aventi serie temporali di deflusso sufficientemente lunghe, mediante la distribuzione generalizzata dei valori estremi e la distribuzione di Gumbel.
5. Calcolo dei parametri relativi ai bacini idrografici: superficie, pendenza media, altitudine media, lunghezza della rete idrografica, tenuta dei canali di scolo, precipitazioni medie annue, distribuzione dello sfruttamento del suolo (porzioni di bosco, di prati, di aree prive di vegetazione e di superfici rese stagne).
6. Definizione di sei sottoregioni aventi condizioni idrogeologiche e meteorologiche paragonabili.
7. Scelta dei bacini idonei per la calibratura del modello di regionalizzazione.
8. Calibratura del modello.
9. Analisi di sensibilità.

Prodotti attesi

Software per la valutazione della probabilità di comparsa dei fenomeni estremi di deflusso nei bacini idrografici non tenuti sotto osservazione.

Figure professionali idonee

Idrologi, idrogeologi, gestori delle risorse idriche, addetti alla pianificazione regionale, servizi idrografici ed imprese di costruzione.

§ 5.1.2.B/1 LAND STEIERMARK

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Austria – Steiermark
Municipality - Gemeinde - Comune	all municipalities of Styria
Basin - Einzugsgebiet - Bacino	Enns, Mur, Drau, Raab
Pilot areas - Pilotgebiete - Aree campione	Weisse Sulm, Unterthaler Bach
Stream - Fluß - Corso d'acqua	all tributary streams of Enns, Mur, Drau and Raab

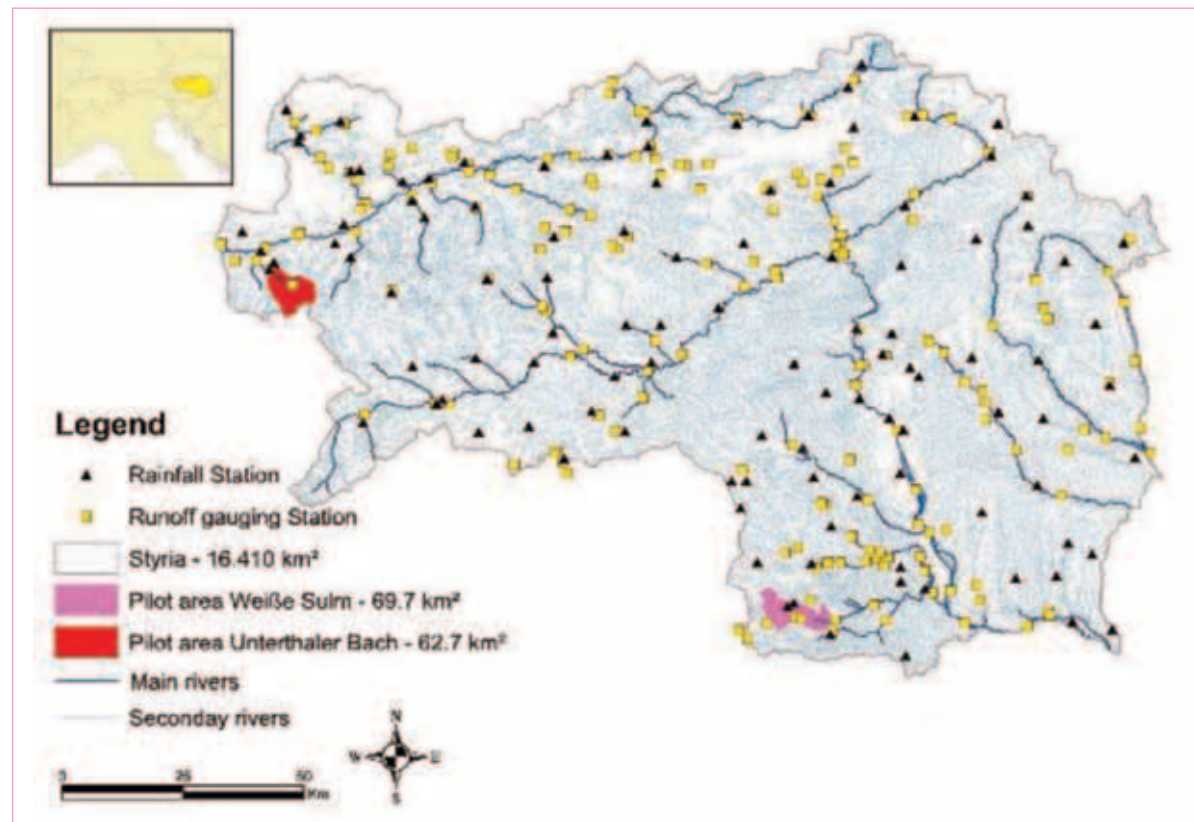


Figure 5.1.2.B/1.1 Hydrological measuring network of the province of Styria.
Figur 5.1.2.B/1.1 Hydrologisches Messstellennetz des Bundeslandes Steiermark.
Figura 5.1.2.B/1.1 Rete per le misure idrologiche nella provincia della Stiria.

5.1.2.B/1.1. Preliminary tasks

The area of the province of Styria was chosen as consequence of the results of the Water Master Plan of Styria (R. Benischke *et al.*, 2002) where activities of regionalization of water balance parameters as precipitation, potential and actual evapotranspiration, mean annual runoff and mean annual groundwater recharge have been carried out.

The investigations were mainly focussed on the quantification of the groundwater resources, but the results and the extreme high and low flow events in the years 2002 and 2003 showed that there is a high demand of to get information on the risk and probability of extreme floods and low flows mainly what concerns small ungauged catchment areas.

The data base used for the investigations in the frame of CatchRisk can be divided into four parts:

1. Data base created in the frame of the Water Master Plan of Styria: Land use on the base of LANDSAT images, precipitation, evapotranspiration, runoff regimes and regionalized runoff.
2. Official hydrological data from the Hydrographical Survey of Styria.
3. GIS data: Official Digital Elevation Model, geological map, stream network.
4. Previous hydrological and hydrogeological investigations in Styria.

5.1.2.B/1.1. Vorarbeiten

Das Bundesland Steiermark wurde als Konsequenz der Ergebnisse des Wasserversorgungsplans Steiermark ausgewählt (R. Benischke *et al.*, 2002) ausgewählt, im Rahmen dessen die Wasserbilanzparameter Niederschlag, potentielle und aktuelle Evapotranspiration, mittlere jährliche Abflusshöhe und mittlere jährliche Grundwasserneubildung regionalisiert wurden.

Die Untersuchungen waren in der Hauptsache auf die Quantifizierung der Grundwasserressourcen ausgerichtet, aber die Ergebnisse und extremen Hoch- und Niedrigwasserereignisse der Jahre 2002 und 2003 zeigten, dass eine große Nachfrage besteht, Informationen über Risiko und Wahrscheinlichkeit extremer Hoch- und Niedrigwasserereignisse besteht vor allem, was kleine unbeobachtete Einzugsgebiete betrifft.

Die im Rahmen von CatchRisk verwendete Datenbasis kann in vier Teile gegliedert werden:

1. Im Rahmen des Wasserversorgungsplans Steiermark erarbeitete Datenbasis: Landnutzung auf der Basis von LANDSAT- Bildern, Niederschlag, Evapotranspiration, Abflussregime und regionalisierte Abflüsse.
2. Offizielle hydrologische Daten der Hydrographischen Landesabteilung Steiermark.
3. GIS-Daten: offizielles digitales Geländemodell, geologische Karte, Gewässernetz.
4. Frühere hydrologische und hydrogeologische Untersuchungen in der Steiermark.

5.1.2.B/1.1 Fasi preliminari

La Stiria è stata scelta in base ai risultati del Piano di Approvvigionamento Idrico per la Stiria (R. Benischke *et al.*, 2002), nell'ambito del quale sono stati regionalizzati i parametri relativi al bilancio idrico, vale a dire le precipitazioni, l'evapotraspirazione potenziale ed effettiva, il deflusso medio annuale e la ricarica media annuale delle falde acquifere.

Le ricerche si sono concentrate principalmente sulla quantificazione delle risorse idriche sotterranee, ma i risultati ottenuti e i fenomeni estremi di piena e di minimi di deflusso verificatisi nel corso del 2002 e del 2003 hanno dimostrato che esiste una grande richiesta di informazioni sul rischio e sulla probabilità di comparsa dei fenomeni estremi di piena e di minimi di deflusso, soprattutto per quanto riguarda i bacini idrografici di piccole dimensioni non tenuti sotto osservazione.

Il *database* utilizzato nell'ambito di CatchRisk può essere suddiviso in quattro parti:

1. *Database* creato nell'ambito del Piano di Approvvigionamento Idrico per la Stiria: uso del suolo in base alle immagini provenienti da LANDSAT, precipitazioni, evapotraspirazione, regime di deflusso e deflussi regionalizzati.
2. Dati idrologici ufficiali forniti dal Dipartimento Idrografico della Stiria.
3. Dati relativi all'ambiente GIS: modello digitale ufficiale del terreno, mappa geologica e rete idrografica.
4. Ricerche idrologiche ed idrogeologiche condotte precedentemente in Stiria.

Regionalisation model for estimation of flood and low flow probability of unobserved catchments in Stiria
 § 5.1.2.B/1 LAND STEIERMARK

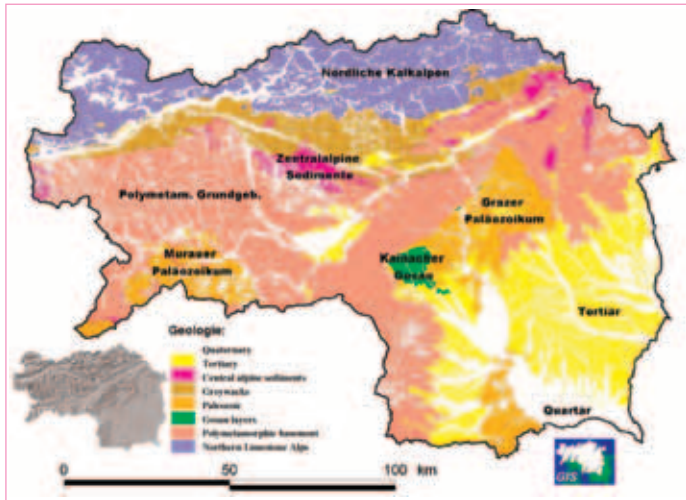


Figure 5.1.2.B/1.2 Geological and morphological background.
 Figur 5.1.2.B/1.2 Geologischer und morphologischer Hintergrund.
 Figura 5.1.2.B/1.2 Quadro geologico e morfologico.



Figure 5.1.2.B/1.3 Land use.
 Figur 5.1.2.B/1.3 Landnutzung.
 Figura 5.1.2.B/1.3 Uso del suolo.

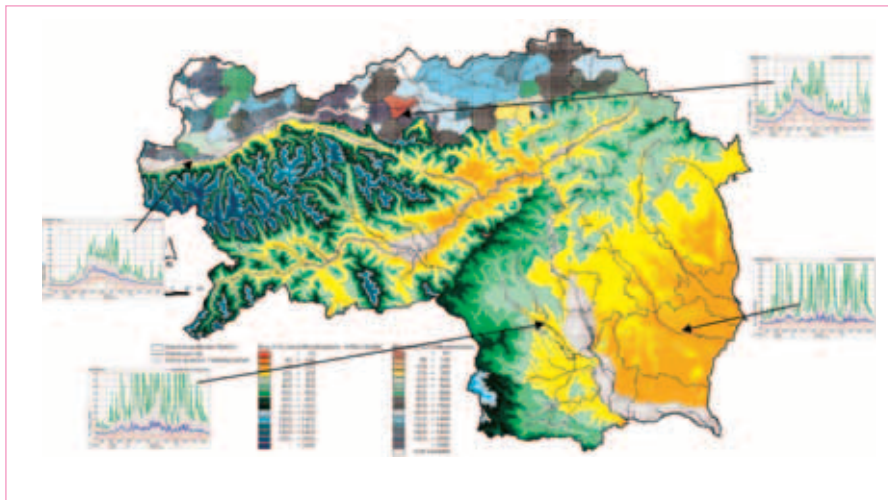


Figure 5.1.2.B/1.4 Runoff depths and flow regimes.
 Figur 5.1.2.B/1.4 Abflusshöhen und Abflussregimes.
 Figura 5.1.2.B/1.4 Profondità di deflusso e regimi di flusso.

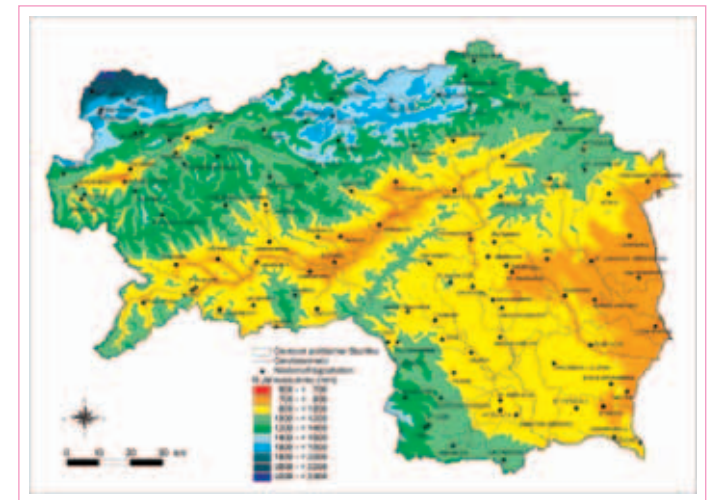


Figure 5.1.2.B/1.5 Mean annual precipitation.
 Figur 5.1.2.B/1.5 Mittlerer Jahresniederschlag.
 Figura 5.1.2.B/1.5 Precipitazione media annuale.

5.1.2.B/1.2 Activities

The following activities have been carried out:

- Compilation of all relevant GIS and hydrological data of Styria;
- definition of hydrological subregions;
- automatic delineation of all gauged catchment areas of Styria;
- trend analysis of all runoff time series;
- estimation of the return levels (3, 5, 10, 30, 50 and 100 years) for all gauged catchment areas with sufficient data using the generalized extreme value (GEV) distribution and the Gumbel distribution;
- calculation of the relevant catchment parameters: surface, slope, mean altitude, stream length, drainage density, mean annual precipitation, land use distribution (portion of forest, grassland, no vegetation, sealed areas);
- definition of 6 subregions with comparable hydrogeological and meteorological conditions;
- choice of catchment areas for calibration of the regionalization model;
- calibration of the model;
- analysis of sensitivity.

5.1.2.B/1.2 Aktivitäten

Die folgenden Aktivitäten wurden durchgeführt:

- Kompilation aller relevanten GIS und hydrologischen Daten der Steiermark.
- Definition hydrologischer Teilregionen.
- Automatische Abgrenzung aller Pegel Einzugsgebiete.
- Trendanalyse aller Abflusszeitreihen.
- Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten (3, 5, 10, 30, 50 und 100 Jahre) für alle Pegel Einzugsgebiete mit ausreichenden Daten mittels der generalisierten Extremwertverteilung (GEV) und der Gumbel-Verteilung.
- Berechnung der relevanten Einzugsgebietsparameter Fläche, Neigung, mittlere Höhe, Gewässernetzlänge, Gewässernetzdichte, mittlerer Jahresniederschlag, Landnutzungsverteilung (Anteile von Wald, Grasland, keine Vegetation, versiegelte Flächen).
- Auswahl der Einzugsgebiete für die Kalibrierung des Regionalisierungsmodells.
- Kalibrierung des Modells.
- Sensitivitätsanalyse.

5.1.2.B/1.2 Attività

Sono state condotte le seguenti attività:

- Compilazione di tutti i dati idrologici e relativi all'ambiente GIS per la Stiria.
- Definizione delle sottoregioni idrologiche.
- Delineazione automatica di tutti i bacini idrografici misurati.
- Analisi di tendenza delle serie temporali di dati relativi al deflusso superficiale.
- Previsione della probabilità di comparsa dei fenomeni (3, 5, 10, 30, 50 e 100 anni) per tutti i bacini idrografici misurati aventi serie temporali di deflusso sufficientemente lunghe, mediante la distribuzione generalizzata dei valori estremi (GEV) e la distribuzione di Gumbel.
- Calcolo dei parametri relativi ai bacini idrografici: superficie, pendenza media, altitudine media, lunghezza della rete idrografica, tenuta dei canali di scolo, precipitazioni medie annue, distribuzione dello sfruttamento del suolo (porzioni di bosco, di prati, di aree prive di vegetazione e di superfici rese stagne).
- Scelta dei bacini idrografici per la calibrazione del modello di regionalizzazione.
- Calibrazione del modello.
- Analisi di sensitività.

Regionalisation model for estimation of flood and low flow probability of unobserved catchments in Stiria
 § 5.1.2.B/1 LAND STEIERMARK



Figure 5.1.2.B/1.6 Hydrological subregions and catchment areas with sufficient data.
 Figur 5.1.2.B/1.6 Hydrologische Teilregionen und Einzugsgebiete mit ausreichender Datenbasis.
 Figura 5.1.2.B/1.6 Regioni idrologiche e bacini con numero sufficiente di dati.

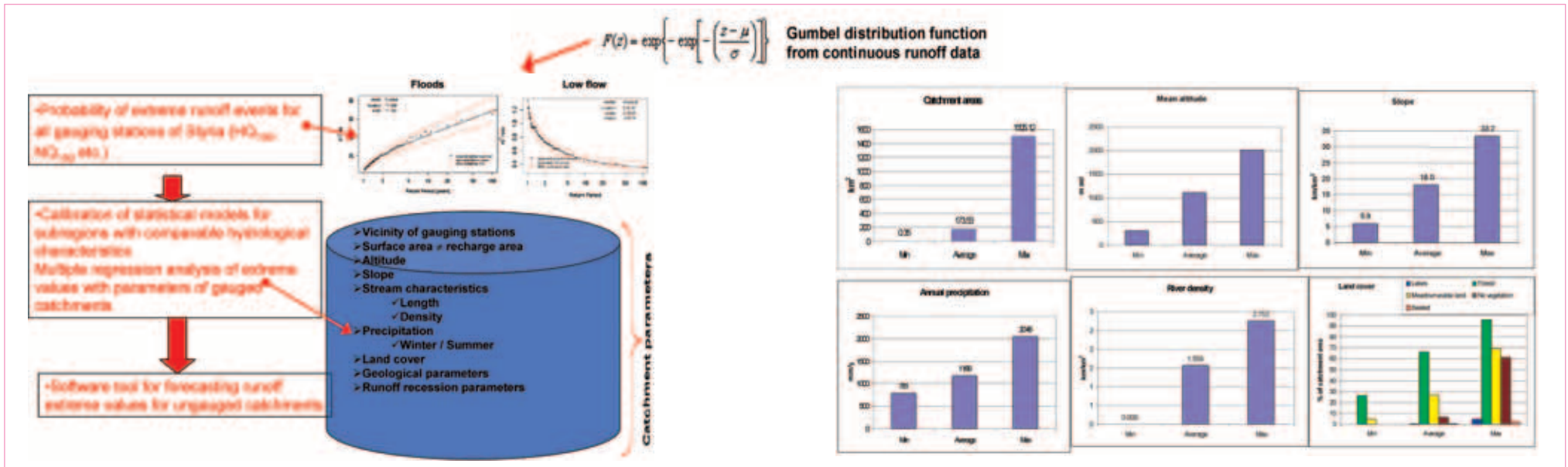


Figure 5.1.2.B/1.7 Model definition and calculation of catchment parameters.
 Figur 5.1.2.B/1.7 Modelldefinition und Berechnung der Einzugsgebietesparameter.
 Figura 5.1.2.B/1.7 Definizione del modello e calcolo dei parametri relativi ai bacini.

5.1.2.B/1.3 Results

Basic data for the regionalization model are catchment specific parameters and the return levels from gauging stations. For the calibration only those gauged catchment areas are used where the following assumptions are valid:

- corresponding orographic catchment area and the underground drainage area can be assumed due to the hydrogeological situation;
- satisfactory fit of the Gumbel distribution.

The catchment areas which cannot be used are mainly located in the karstic areas.

An appropriate model for the estimated parameters μ_i and σ_i was determined. Because the hydrogeological and geological circumstances change in some regions, the gauging stations were assigned to 5 different regions. Therefore we allowed different models for different regions, but try to simplify these models with finding some relationship between the response variable and the explanatory variable which is the same for all regions.

Based on these models for the location and scale parameter of the Gumbel distribution the return level of all unobserved catchments can be predicted with an accuracy for most of them of $\pm 20\%$.

5.1.2.B/1.3 Ergebnisse

Basisdaten für das Regionalisierungsmodell sind einzugsgebietspezifische Parameter und die Eintrittswahrscheinlichkeiten an Pegelstationen. Für die Kalibrierung wurden nur jene Einzugsgebiete mit Abflussdaten herangezogen, bei denen die folgenden Voraussetzungen gelten:

- eine Übereinstimmung zwischen orographischem und hydrographisch wirksamem Einzugsgebiet kann aufgrund der hydrogeologischen Situation angenommen werden;
- zufriedenstellender Fit der Gumbelverteilung.

Nicht verwendbare Einzugsgebiete befinden sich vor allem in den verkarsteten Gebieten.

Ein geeignetes Modell für die zu schätzenden Parameter μ_i und σ_i wurde entwickelt. Aufgrund der unterschiedlichen hydrogeologischen und geologischen Verhältnisse in einigen Teilgebieten wurden die Pegeldaten letztlich 5 verschiedenen Teilregionen zugewiesen. Es werden daher verschiedene Modelle für verschiedene Regionen zugelassen, aber diese Modelle werden vereinfacht durch die Herstellung einer Beziehung zwischen der Antwortvariablen und der erklärenden Variablen, welche die selbe für alle Gebiete ist.

Basierend auf diesen Modellen für die beiden Parameter der Gumbelverteilung kann die Eintrittswahrscheinlichkeit für alle unbeobachteten Einzugsgebiete mit einer Genauigkeit von $\pm 20\%$ geschätzt werden.

5.1.2.B/1.3 Risultati

I dati di base per il modello di regionalizzazione sono i parametri specifici dei bacini idrografici e i periodi di ritorno rilevati dalle stazioni di misura. Per la calibrazione sono stati utilizzati i bacini idrografici nei quali i dati relativi al deflusso rispettavano le seguenti condizioni:

- presunta corrispondenza tra il bacino orografico e il bacino idrografico in base alla situazione idrogeologica;
- applicazione soddisfacente della distribuzione di Gumbel.

I bacini non utilizzabili si trovano prevalentemente nelle zone soggette a fenomeni di carsismo.

Si è sviluppato un apposito modello per i parametri μ_i e σ_i da valutare. In base alle diverse condizioni idrogeologiche e geologiche delle singole zone, i dati rilevati dalle stazioni di misura sono stati infine assegnati a 5 diverse regioni. È stato quindi possibile avere modelli diversi per regioni diverse, benché tali modelli siano stati semplificati, trovando un rapporto tra le variabili di risposta e le variabili esplicative, che sono le stesse per tutte le zone.

Basandosi su questi modelli per i due parametri della distribuzione di Gumbel si è potuta stimare, con una precisione pari a $\pm 20\%$, la probabilità di manifestazione dei fenomeni considerati in tutti i bacini idrografici non tenuti sotto osservazione.

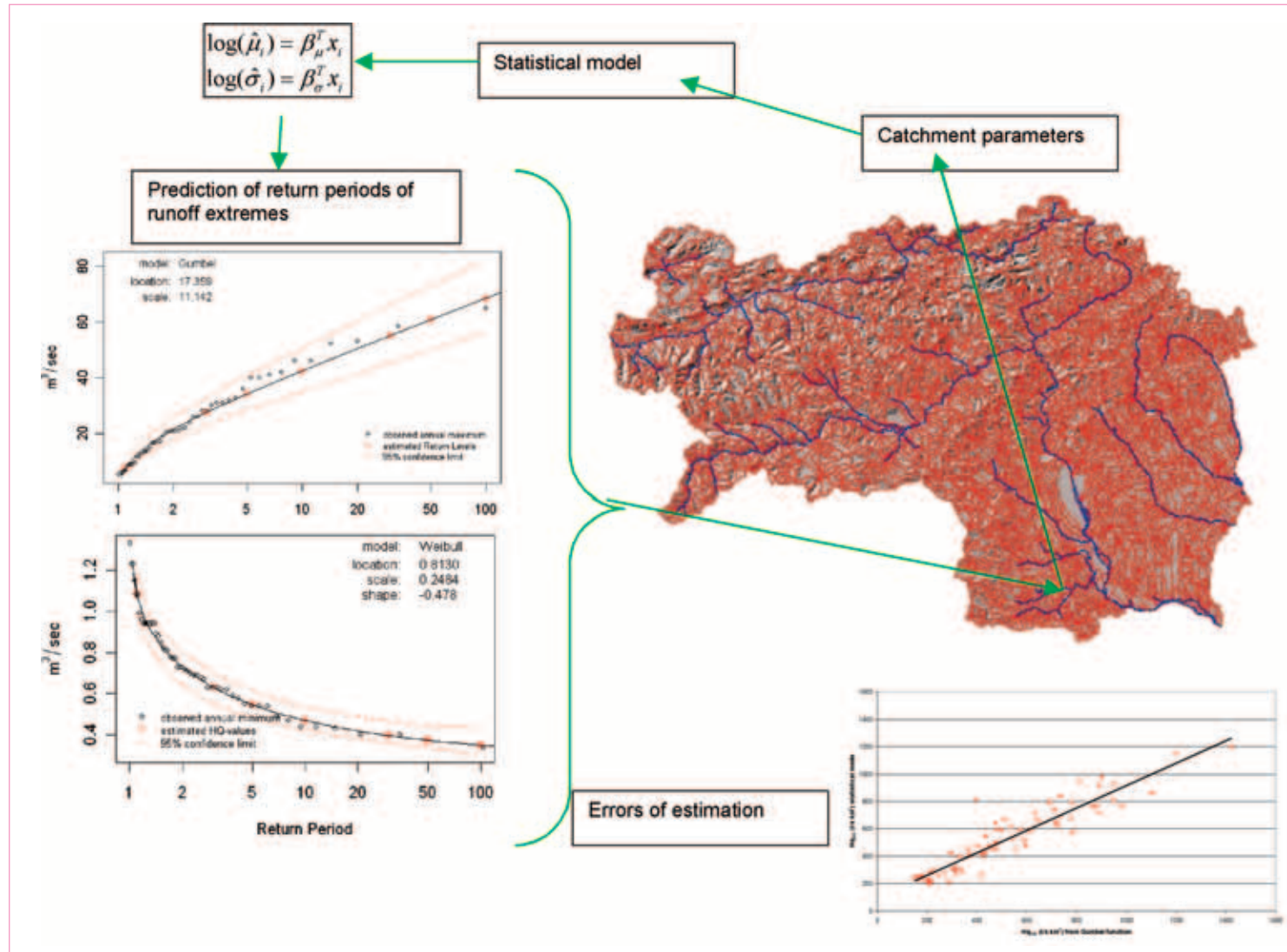


Figure 5.1.2.B/1.8 Statistical model for the estimation of the return period of runoff extremes for ungauged catchments of Styria (until 8th order).

Figur 5.1.2.B/1.8 Statistisches Modell für die Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Abflussextemereignissen unbeobachteter Einzugsgebiete der Steiermark (bis zur 8. Ordnung).

Figura 5.1.2.B/1.8 Modello statistico per la stima del tempo di ritorno di deflussi estremi per bacini non strumentati della Stiria (fino all'ottavo ordine).

5.1.2.B/1.4 Conclusions

A statistical model for the prediction of the return period of runoff extreme values has been calibrated on the basis of shape and scale parameters of the Gumbel distribution function from various catchment areas in Styria with longer runoff time series.

The model is able to predict flood and low flow values for return periods of 3, 5, 10, 30, 50 and 100 years on the basis of catchment relevant parameters with sufficient accuracy. It is calibrated for the region of Styria within the limits of the parameters of the catchments used for calibration.

The methodology is transferable to other regions, but must be in this calibrated using runoff time series from there.

The advantage in comparison with more sophisticated rainfall runoff models is that it can be used with few efforts for areas with only regional scale GIS data bases.

Disadvantage is that in the contrary to rainfall runoff models the statistical approach gives no information what concerns the response of runoff to extreme rainfall events.

5.1.2.B/1.4 Schlussfolgerungen

Es wurde ein statistisches Modell für die Vorhersage Eintrittswahrscheinlichkeit von Abflussextremereignissen auf Basis der Parameter der Gumbelverteilungsfunktion zahlreicher Einzugsgebiete der Steiermark mit längeren Zeitreihen der Abflüsse kalibriert.

Das Modell ist imstande, Hoch- und Niedrigwasserwerte für Eintrittswahrscheinlichkeiten von 3, 5, 10, 30, 50 und 100 Jahren auf der Basis von Einzugsgebietsparametern mit ausreichender Genauigkeit vorherzusagen. Es wurde für die Region Steiermark kalibriert und ist für diese gültig innerhalb der Bandbreite der verwendeten Parameter.

Die Methodik kann auf andere Regionen übertragbar, müsste aber auf Basis dortiger Abflusszeitreihen neu kalibriert werden.

Vorteil im Vergleich zu anspruchsvolleren Niederschlag-Abfluss-Modellen ist die einfache Anwendbarkeit für Gebiete mit geringer Datendichte. Nachteil ist, dass der statistische Ansatz im Gegensatz zu Niederschlag-Abfluss-Modellen keine Informationen über die Reaktionszeit der Abflüsse auf extreme Niederschlagsereignisse liefert.

5.1.2.B/1.4 Conclusioni

Si è calibrato un modello statistico volto alla previsione della probabilità di manifestazione dei fenomeni estremi di deflusso in base ai parametri della funzione di distribuzione di Gumbel relativi a numerosi bacini della Stiria aventi serie temporali lunghe per i deflussi.

Il modello è in grado di prevedere, con sufficiente precisione, i valori relativi alle piene ed ai minimi di deflusso con periodi di ritorno di 3, 5, 10, 30, 50 e 100 anni in base ai parametri relativi ai bacini. Il modello è stato calibrato per la Stiria ed è applicabile in questa regione all'interno del *range* di parametri utilizzati.

La metodologia può essere applicata ad altre regioni, ma deve essere calibrata nuovamente in base alle serie temporali dei deflussi riscontrabili in queste regioni.

Il vantaggio offerto da questo modello rispetto ai più sofisticati modelli di precipitazione e deflusso è la sua semplicità di applicazione per le zone aventi dati in ambiente GIS soltanto a livello regionale.

Lo svantaggio è rappresentato dal fatto che, a differenza dei modelli di precipitazione e deflusso, l'approccio statistico non fornisce informazioni sul tempo di reazione dei deflussi ai fenomeni estremi di precipitazione.

5.2. Models for territorial vulnerability evaluation

The interaction between natural and man-made environments in any given area is always a significant factor. On the one hand we immediately think of the generally negative effects of the impact of building work and different human activities on the natural environment, upsetting its equilibrium by forcibly introducing new elements and altering or replacing existing ecosystems. On the other hand, the effect of particularly intense natural phenomena (peak flows in torrents and rivers, slope instability, etc.) on the man-made environment, in terms of considerable damage to human life, property and industry, with short or long term effects, should not be ignored.

Such considerations are particularly apt in the case of overflows from watercourses in mountain catchments, where the space available for the coexistence of the river system and the man-made environment is often limited, and even a small variation in the former can have considerable repercussions on the latter, causing loss of life, interrupting road traffic, cutting off entire areas and hindering the activities of everyday life.

5.2. Modelle zur Einschätzung der Verletzlichkeit des Gebietes

Die natürliche und die anthropische Umgebung interagieren in einem bestimmten Umfeld stark miteinander. Auf der einen Seite denkt man sofort an allgemeine negative Auswirkungen, die die Siedlungen und die anthropischen Aktivitäten auf die Natur haben, deren Gleichgewicht sie durch die zwangsweise Einführung von neuen Elementen stören und so die bestehenden Ökosysteme ändern oder ersetzen. Auf der anderen Seite darf aber auch die Auswirkung von besonders intensiven Naturerscheinungen (Hochwasser von Flüssen und Gebirgsbächen, Hangbewegungen und ähnliches) auf die anthropische Seite nicht unterschätzt werden. Dabei ist vor allem an Gefährdung von Menschenleben und Bauten sowie Beeinträchtigungen der Wirtschaft zu denken, die kurzfristige oder langfristige Folgen haben kann.

Diese Überlegungen sind vor allem in solchen Fällen angebracht, wenn Wasserläufe in Gebirgsbecken über die Ufer treten, wo Flusssysteme und menschliche Ansiedlungen auf engem Gebiet nebeneinander existieren und daher auch geringfügige Änderungen das jeweils andere Element stark beeinflussen können. Dabei kann es zum Verlust von Menschenleben und zur Unterbrechung von Straßenverbindungen kommen, die den Zugang zu weiten Gebieten versperrt und den korrekten Ablauf des normalen Lebens verhindert.

5.2. Modelli per la valutazione della vulnerabilità territoriale

L'ambiente naturale e quello antropico interagiscono in un determinato ambito territoriale in misura assai rilevante. Da un lato è immediato pensare all'insieme degli impatti generalmente di tipo negativo che gli insediamenti stessi e le diverse attività antropiche inducono sull'ambiente naturale, perturbandone gli equilibri introducendo in maniera forzata nuovi elementi e modificando o sostituendo ecosistemi preesistenti. D'altro canto non deve essere trascurato l'effetto dei fenomeni naturali particolarmente intensi (piene fluviali e torrentizie, movimenti di versante, *etc.*) sull'ambiente antropico, in termini di rilevanti danni a persone, manufatti e attività produttive, con effetti a breve o lungo termine.

Tali considerazioni sono particolarmente appropriate nel caso relativo alle esondazioni di corsi d'acqua nei bacini montani, dove gli spazi di convivenza del sistema fiume e del sistema antropico sono spesso ristretti, e una variazione anche poco rilevante nel primo può provocare notevoli ripercussioni sul secondo, provocando vittime, interrompendo la circolazione sulla rete stradale, impedendo l'accesso ad intere aree e il corretto svolgimento delle normali attività.

5.2.1. General framework

The activities carried out focused on analysing the effects of intensive natural events on the land, concentrating not so much on the hazards connected to river processes, but the vulnerability of the area in question. The definition of vulnerability we have applied differs from that which is generally used to evaluate the risk that an element is subject to ($risk = hazard\ level \times vulnerability \times value$); here the focus is on *functional vulnerability*, namely the propensity to be subjected to a loss of function during an emergency, also due to functional links with other elements in the same system. This type of analysis can be carried out starting with

- a) methods of analysing infrastructure systems (the single element is viewed as a component of a more complex system);
- b) the theory of diagrams of influence (the knowledge of the state of an element is influenced by the knowledge of the state of other elements connected to it).

These methods are not entirely appropriate for the analysis of a territorial and/or environmental system, and it was therefore necessary to define a specific method for the CatchRisk Project.

5.2.1. Zusammenfassung des Kenntnisstandes

Das Vorgehen legt den Schwerpunkt auf die Analyse der Auswirkungen von intensiven Naturereignissen auf das Gelände. Die Aufmerksamkeit konzentriert sich dabei nicht nur auf die Gefährlichkeit in Verbindung mit fluvialen Erscheinungen, sondern auch auf die Verletzlichkeit des betroffenen Gebietes. Die Definition der hier gemeinten Verletzlichkeit unterscheidet sich von der gemeinhin verwendeten, wenn es um die Bewertung des Risikos geht, dem ein Element ausgesetzt ist ($Risiko = Gefährlichkeit \times Verletzlichkeit \times Wert$). Hier wird das Gewicht auf die funktionelle Verletzlichkeit eines Elementes gelegt, die als Neigung zur Abnahme der Funktionalität in Notfällen verstanden wird, und zwar auch aufgrund von eventuellen funktionellen Verbindungen mit anderen Elementen desselben Systems. Diese Art von Analyse kann ihren Anstoß in folgenden Elementen finden:

- a) Analysemethoden der infrastrukturellen Systeme (das Einzelement wird als Komponente eines komplexeren Systems angesehen);
- b) Theorie der Einflussdiagramme (die Kenntnis des Zustandes eines Elements wird von der Kenntnis des Zustandes anderer mit diesem verbundener Elemente beeinflusst).

Diese Methoden passen sich nicht vollständig an die Analyse eines Gelände- bzw. Umweltsystems an. Es ist daher nötig, ad hoc eine Methode für das Projekt CatchRisk zu bestimmen.

5.2.1. Breve sintesi delle conoscenze

Le attività sviluppate sono state concentrate sull'analisi degli effetti sul territorio di eventi naturali intensi, focalizzando l'attenzione non tanto sulla pericolosità legata ai fenomeni fluviali, quanto piuttosto sulla vulnerabilità del territorio interessato. La definizione di vulnerabilità cui si fa riferimento, però, è differente da quella comunemente utilizzata quando si voglia valutare il rischio cui è soggetto un elemento ($rischio = pericolosità \times vulnerabilità \times valore$); viene qui posto l'accento sulla *vulnerabilità funzionale* di un elemento, intesa come propensione a subire decrementi di funzionalità in fase di emergenza, anche a causa di eventuali legami funzionali con altri elementi dello stesso sistema. Tale tipo di analisi può essere effettuata traendo spunto:

- a) dalle metodologie di analisi dei sistemi infrastrutturali (il singolo elemento viene visto come componente di un sistema più complesso);
- b) dalla teoria dei diagrammi di influenza (la conoscenza dello stato di un elemento è influenzata dalla conoscenza dello stato di altri elementi ad esso collegati).

Tali metodologie non si adattano completamente all'analisi di un sistema territoriale e/o ambientale; è stato quindi necessario definire una metodologia *ad hoc* per il Progetto CatchRisk.

5.2.2. Methods applied within the Project

5.2.2.A Acceptable risk model

General introduction to the method

The term *systemic vulnerability* signifies the propensity of an element to be subjected to damage, generally of a functional nature, due to its links with other elements in the same system.

Definition

The proposed method allows us to evaluate the *systemic vulnerability* of the elements of an area in relation to set scenarios.

Aims

The main aim of the method is to characterise the area in question in terms of critical points, or efficiency in relation to certain scenarios. *Criticality* is evaluated for elements directly involved in an event which require intervention in emergency conditions, while *efficiency* is evaluated for elements which must offer a service to restore normal conditions.

Potentialities

This approach enables us to identify the major critical points of an area in the event of a natural disaster, highlighting the elements of the emergency management system that are most likely to fail.

Limits

It is necessary to integrate information on the major elements of the area, as well as on the type and location of emergency management resources.

Notes

The greater the number of heterogeneous elements involved in function-based relations of influence, the greater the utility of the proposed method.

Activities

5.2.2. Verwendete Methoden

5.2.2.A Modell zur Einschätzung des hinnehmbaren Risikos

Allgemeine Einführung der Methode

Mit dem Ausdruck systematische Verletzbarkeit wird die Tendenz eines Elements beschrieben, Schädigungen, vor allem solchen funktioneller Natur, ausgesetzt zu werden. Ursache sind seine Verbindungen zu anderen Elementen des Systems.

Definition

Die vorgeschlagene Methode erlaubt eine Einschätzung der systematischen Verletzbarkeit der Elemente eines Geländesystems im Hinblick auf vorher bestimmte Szenarien.

Ziel

Das wichtigste Ziel der Methode ist die Charakterisierung des Untersuchungsgebietes im Hinblick auf Anfälligkeit oder Effizienz bei bestimmten Szenarien. Die Anfälligkeit der Geländeelemente wird bewertet, wenn diese direkt von einem Ereignis betroffen werden, das Notfallmaßnahmen erfordert. Die Effizienz wird für die Elemente bewertet, die Unterstützung zur Wiederherstellung des Normalzustandes leisten.

Potentialität

Der Ansatz erlaubt eine Identifikation der wichtigsten Anfälligkeiten vor Ort bei Unglücksfällen, dabei werden die Elemente des Systems der Notfallmaßnahmen hervorgehoben, die am leichtesten in ihrer Funktion beeinträchtigt werden können.

Grenzen

Es müssen die Informationen über die wichtigsten Geländeereignisse aufgenommen werden, außerdem solche über Arten von Ressourcenverschiebungen im

5.2.2. Metodi applicati nel Progetto

5.2.2.A Modello per la valutazione del rischio accettabile

Introduzione generale sul metodo

Con il termine *vulnerabilità sistemica* si intende la propensione di un elemento a subire danni, in genere di tipo funzionale, a causa dei propri legami con gli altri elementi del sistema stesso.

Definizione

Il metodo proposto permette la valutazione della vulnerabilità sistemica degli elementi di un sistema territoriale in relazione a scenari prestabiliti.

Finalità

La finalità principale del metodo è quella di caratterizzare l'area in esame in termini di criticità oppure di efficienza in relazione a determinati scenari. La criticità degli elementi territoriali viene valutata nel caso in cui si analizzino quegli elementi direttamente coinvolti in un evento e caratterizzati da una richiesta di azioni di intervento in fase di emergenza. L'efficienza viene invece valutata per gli elementi che devono fornire servizio allo scopo di ripristinare le condizioni di normalità.

Potenzialità

L'approccio permette di identificare sul territorio le maggiori criticità in caso di evento calamitoso, evidenziando gli elementi del sistema di gestione delle emergenze che potrebbero più facilmente entrare in crisi.

Limiti

È necessario aggregare le informazioni sugli elementi territoriali di maggior rilievo, nonché su tipologie e dislocazione delle risorse per la gestione delle emergenze.

The activities required to evaluate the vulnerability of an area can be divided into three groups:

- analysis and organisation of information regarding the area;
- definition of a specific method;
- application of the method to scenario analysis.

The determination of coefficients of criticality and efficiency for the elements in an area is carried out by applying algorithms to solve a set of non-linear equations; these equations are defined by analysing the graph of reciprocal influence between the elements of an area and quantifying the intensity of these influences.

Appropriate professional figures

Environmental and land engineers with suitable IT skills (use of Territorial Information Systems, databases, etc.).

Zusammenhang mit Notfallmaßnahmen.

Bemerkungen

Die vorgeschlagene Methode ist um so nützlicher, als das Gelände durch eine Vielzahl von heterogenen Elementen gekennzeichnet ist, die funktionell beeinflusst werden.

Aktivitäten

Das nötige Vorgehen zur Einschätzung der Verletzbarkeit eines Geländesystems kann in drei Phasen eingeteilt werden:

- Analyse und Organisation der Informationen über das Geländesystem;
- Definition der Methode ad hoc;
- Anwendung auf die Analyse der Szenarien.

Die Bestimmung der Koeffizienten für die Anfälligkeit und Effizienz der Geländeelemente erfolgt über die Anwendung eines algorithmischen Prozesses zur Lösung einer Reihe von nicht linearen Gleichungen. Die Aufstellung dieser Gleichungen ergibt sich aus der Analyse des Graphen zur Darstellung der gegenseitigen Einflüsse zwischen den Geländeelementen und der Quantifizierung der Intensität dieser Einflüsse.

Geeignete Berufsbilder

Umweltingenieure und Geländeingenieure mit ausreichenden Computerkenntnissen (Verwendung von Gelände-Informationssystemen, Datenbanken und ähnliches).

Note

La metodologia proposta risulta tanto più utile quanto più il territorio è caratterizzato da una molteplicità di elementi eterogenei interessati da relazioni di influenza di tipo funzionale.

Attività

Le attività necessarie per la valutazione della vulnerabilità di un sistema territoriale possono essere suddivise in tre fasi:

- analisi e organizzazione delle informazioni relative al sistema territoriale;
- definizione di metodologia *ad hoc*;
- applicazione all'analisi di scenari.

La determinazione dei coefficienti di criticità e di efficienza per gli elementi territoriali avviene attraverso l'applicazione di una procedura algoritmica per la risoluzione di un *set* di equazioni non lineari; la definizione di tali equazioni proviene dall'analisi del grafo realizzato per la rappresentazione delle influenze reciproche tra gli elementi territoriali e dalla quantificazione delle intensità di tali influenze.

Figure professionali idonee

Ingegneri ambientali e del territorio dotati di adeguate capacità informatiche (uso di Sistemi Informativi Territoriali, di basi dati, etc.).

§ 5.2.2.A/1 AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DE LA SPEZIA

Study area - Anwendungsgebiet - Area d'indagine

Country - Staat - Nazione	Italy - Liguria
Village – Ort -Comune	La Spezia
Basin - Becken - Bacino	Magra
Stream - Fluß - Corso d'acqua	Vara

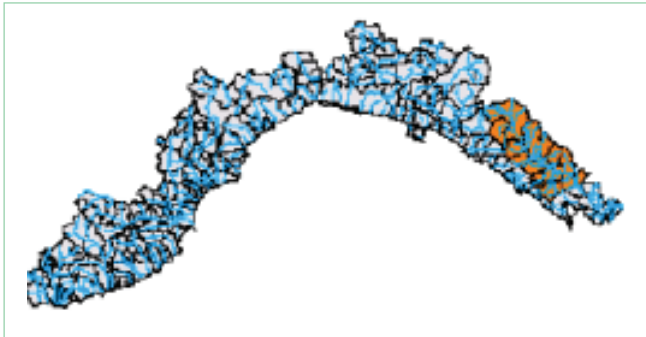


Figure 5.2.2.A/1.1 Location of Val di Vara in the east of the region of Liguria (Imperia).

Figur 5.2.2.A/1.1 Lage des Val di Vara im Osten von Ligurien (I).

Figura 5.2.2.A/1.1 Localizzazione della Val di Vara nella parte orientale del territorio ligure (I).



Figure 5.2.2.A/1.2 Val di Vara and its main hydrographic network.
Figur 5.2.2.A/1.2 Das Val di Vara und sein hydrografisches Netz.
Figura 5.2.2.A/1.2 La Val di Vara e il suo principale reticolo idrografico.

5.2.2.A/1.1 Preliminary tasks

The Magra torrent catchment includes Val di Vara, Lunigiana and the lower Val di Magra in Liguria and covers land in 2 regions, 4 provinces, 6 mountain communities and 51 communes; around 152.000 people live there, mainly in the lower area of Val di Magra in Liguria. The surface of the Magra-Vara hydrographic basin is 1.698.5 km², 983.9 km² of which lies in Tuscany and 714.6 km² in Liguria. The sample area chosen for the *systemic vulnerability* analysis was Val di Vara, which is characterised by prevalently mountainous/hilly terrain. The area was deemed to be of interest for the purposes of the analysis in question in view of the vicinity of a number of towns to the hydrographic network, including a number within the flood risk area, with a return period as low as 30 years. Moreover, the terrain has been subject to a considerable number of landslides located both in the urban area and its immediate vicinity, and lastly, the urban areas are scattered throughout the area and marked by a dense network of road infrastructures. Furthermore, in view of the fact that the Vara river lies within the inter-regional catchment of the Magra torrent, the Hydrogeological Plan for the former represents a good source of information, above all with regards to aspects of civil protection, which this study is principally concerned with. Other types of information, above all those linked to the man-made elements in the area, were supplied by the various departments of the Provincial Administration in La Spezia.

5.2.2.A/1.1 Vorarbeiten

Das Becken des Flusses Magra umfasst das Val di Vara, das Gebiet von Luni und das untere Val di Magra von Ligurien. Es schneidet zwei Regionen, vier Provinzen, sechs Berggemeinden und 51 Gemeinden und zählt etwa 152.000 Einwohner, die sich vor allem im Gebiet von Ligurien im unteren Magra-Tal konzentrieren. Die Fläche des hydrografischen Magra-Vara-Beckens beträgt 1.698.5 Quadratkilometer, von denen 983.9 in der Toskana und 714.6 in Ligurien liegen. Das Untersuchungsgebiet, in dem die Analyse zur Einschätzung der systematischen Verletzbarkeit im Hinblick auf das hydrologische Risiko angewendet wurde, ist das Val di Vara, das in geografischer Hinsicht vor allem von Bergen und Hügeln gekennzeichnet ist. Das Gebiet wurde für die Zwecke der vorliegenden Analyse als interessant eingestuft, weil die Ortschaften in der Nähe des hydrografischen Netzes liegen, einige sogar innerhalb des Überflutungsgebietes mit einer Überschwemmungsfrequenz von 30 Jahren. Außerdem zeichnet sich das Gebiet durch zahlreiche Erdbeben sowohl in den bewohnten Gebieten, als auch in deren direkter Nachbarschaft aus. Und schließlich haben die Ortschaften eine weit im Gelände verstreute Entwicklung durchgemacht, was zu einer besonders stark kapillar entwickelten Infrastruktur geführt hat. Der Fluss Vara verläuft im interregional bedeutenden Becken des Magra, und der Hydrologische Verlaufsplan für diesen erlaubt die Erfassung einer großen Menge von Informationen, vor allem im Hinblick auf Aspekte des Zivilschutzes, auf den sich diese Untersuchung konzentriert. Die anderen Informationen, vor allem solche, die den anthropischen Aspekt betreffen, wurden durch verschiedene Stellen der Provinzverwaltung von La Spezia zur Verfügung gestellt.

5.2.2.A/1.1 Fasi preliminari

Il bacino del T. Magra comprende la Val di Vara, la Lunigiana e la bassa Val di Magra ligure e vi ricadono 2 Regioni, 4 Province, 6 Comunità Montane, 51 Comuni e vi risiedono circa 152.000 persone, concentrate principalmente nel territorio ligure della bassa valle del Magra. La superficie del bacino idrografico Magra-Vara è di 1.698.5 km², di cui 983.9 km² ricadenti in Toscana e 714.6 km² in Liguria. L'area campione alla quale è stata applicata la metodologia di analisi per la valutazione della *vulnerabilità sistemica* per il rischio idrologico è la Val di Vara, caratterizzata da una conformazione geografica prevalentemente montagnoso-collinare. L'area è stata ritenuta interessante ai fini dell'analisi in oggetto innanzi tutto a causa della vicinanza dei diversi centri abitati al reticolo idrografico, nonché della localizzazione di alcuni di essi all'interno della fascia di inondabilità anche per periodo di ritorno 30 anni; inoltre il territorio è caratterizzato da una considerevole presenza di frane localizzate sia nell'area di urbanizzazione, sia nelle immediate vicinanze; infine gli aggregati urbani dell'area sono caratterizzati da uno sviluppo sparso sul territorio e contraddistinto da una forte capillarità dei collegamenti infrastrutturali. Inoltre, poiché il F. Vara ricade all'interno del bacino di rilevanza interregionale del T. Magra, l'esistenza del Piano di Assetto Idrogeologico ad esso relativo permette di ottenere una notevole quantità di informazioni, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti di protezione civile, cui questo studio principalmente si rivolge. Le altre informazioni, soprattutto legate all'assetto antropico del territorio, sono state rese disponibili dai diversi uffici dell'Amministrazione Provinciale di La Spezia.

5.2.2.A/1.2 Activities

The study of environmental and man-made elements in the test area enabled us to characterise the area in detail. The entire area was divided into a variety of different functional systems, and a database was created with information on population and housing, as well as industry, education, tourism and transport. Once the centres which offer services to the community in emergency situations had been identified (hereinafter *service centres*) we mapped these using GIS. A database was also created for these centres, identifying the number of staff and vehicles (divided into different types) belonging to each centre, as well as identifying temporary facilities for use during and after an emergency (hospitals, accident and emergency departments, clinics, meeting points, etc.). We then drew up a general methodology to evaluate the efficiency and critical points of the elements in the local system, with the aim of evaluating the status of the system itself should it be subject to an event representative of a given scenario. The basic assumption was that an element subject to an event is characterised by a level of criticality in proportion to the intensity of physical/functional damage that this undergoes, as well as to the shortcomings of service centres and infrastructures that should intervene during an emergency to restore conditions of normality. It was also assumed that service centres and infrastructures are efficient only if undamaged and correctly supported by any other elements connected to them. In the methodology developed for the CatchRisk Project, the local system is represented by a graph, with points representing the elements (residential areas, stretches of road infrastructures, health centres, etc.) of that system, while the lines represent the functional relations which exist between those elements and which are able to influence criticality and/or efficiency. The structure of this

5.2.2.A/1.2 Aktivitäten

Die Untersuchung von umweltbezogenen und anthropischen Aspekten des Testgebietes hat es ermöglicht, das Gelände punktgenau zu beschreiben. Im Anschluss an die Unterteilung des gesamten Geländesystems in die einzelnen funktionellen Systeme wurde eine Datenbank mit Informationen aufgebaut, die vor allem Bevölkerung und Wohnbauten betrifft und außerdem Produktion, Schulwesen, Tourismus und Verkehr berücksichtigt. Nachdem die Zentren gekennzeichnet wurden, die der Bevölkerung im Notfall Hilfestellung leisten (in der Folge Notfallzentren genannt), wurden sie in einer GIS-Umgebung erfasst. Auch für diese Zentren wurde eine Datenbank erstellt; es wurde ihnen eine Anzahl von Personen und Mitteln (eingeteilt nach Typen) zur Verfügung gestellt, außerdem wurden die Zentren für die Aufnahme von Personen während und nach einem Notfall lokalisiert (Krankenhäuser, Notaufnahmen, medizinische Strukturen, Sammelstellen und ähnliches). Anschließend wurde eine allgemeine Methode bestimmt, mit der die Effizienz und die Anfälligkeit der Elemente des Geländesystems eingeschätzt werden soll. Damit soll der Zustand des Systems bewertet werden, wenn dieses einem außergewöhnlichen Ereignis und dem damit verbundenen Szenario ausgesetzt wird. Die Grundannahme ist die, dass ein Element, das einem Ereignis ausgesetzt wird, sich in seiner Anfälligkeit proportional zum physischen und funktionellen Schaden verhält, den es erleidet, sowie zum Ausfall der Notfallzentren und der Infrastrukturen, die in der Notfallphase zur Wiederherstellung des Normalzustandes beitragen sollten. Außerdem wird angenommen, dass die Notfallzentren und die Infrastrukturen nur dann wirksam sind, wenn sie sich physisch in einem unversehrten Zustand befinden und von anderen mit ihnen verbundenen Elementen angemessen unterstützt werden. Die für das Projekt CatchRisk entwickelte Methode schematisiert das Geländesystem über einen Graphen, dessen

5.2.2.A/1.2 Attività

Lo studio degli aspetti ambientali e antropici dell'area *test* ha consentito di caratterizzare puntualmente il territorio. A seguito della suddivisione dell'intero sistema territoriale nei diversi sistemi funzionali, è stata predisposta una base dati contenente informazioni su popolazione e abitazioni, nonché sui diversi assetti produttivo, scolastico, turistico e dei trasporti. Una volta individuati i centri che forniscono servizio alla popolazione in caso di evento eccezionale (di seguito denominati *centri erogatori di servizio*), si è proceduto alla loro mappatura in ambiente GIS. Anche nel caso di tali centri si è proceduto alla creazione di una base dati, consistente nell'individuazione del numero di personale e di mezzi (suddivisi per tipologia) di ciascun ente, nonché nella localizzazione dei centri preposti all'accoglienza nelle fasi di emergenza e post-emergenza (ospedali, pronto soccorso, ambulatori, luoghi di aggregazione, etc.). È stata quindi definita una metodologia di carattere generale per la valutazione dell'efficienza e della criticità degli elementi facenti parte di un sistema territoriale, allo scopo di valutare lo stato del sistema stesso nel caso in cui questo sia sottoposto ad un evento caratterizzante un certo scenario. L'assunzione di base è che un elemento soggetto ad un evento è caratterizzato da una criticità proporzionale all'intensità del danno fisico/funzionale che subisce, nonché al mancato funzionamento degli erogatori di servizio e delle infrastrutture che dovrebbero intervenire nella fase di emergenza per ripristinare le condizioni di normalità; inoltre si assume che gli erogatori di servizio e le infrastrutture siano efficienti solo se sono fisicamente integri e se sono correttamente supportati da altri elementi ad essi eventualmente collegati. Nella metodologia sviluppata per il Progetto CatchRisk, il sistema territoriale viene schematizzato tramite un grafo orientato, i cui nodi rap-

graph is used as the basis for determining a number of mathematical relationships, which can be used to evaluate the criticality of elements that would require service in an event scenario, and the efficiency of those elements which are designed to provide that service. We also defined the structure of mathematical functions that can be used to measure the intensity of relations of functional dependency between the various categories of local elements, according to information which is as objective as possible and can be inferred from an analysis of the elements themselves. These functions vary according to the category of elements considered, but are all characterised by a structure in which the importance of the relation depends on the rapport between demand (damaged elements) and supply (service centres) of service during an emergency, as well as the distance between the two elements.

The methodology for analysing systemic vulnerability was then applied to Val di Vara in relation to river-related events. Four different scenarios were defined: the first two refer to an event with a return period of 200 years, while the other two refer to an event with a return period of 500 years. The scenarios also differed according to the season (summer/winter) when the hypothetical event takes place. The analysis of the systemic vulnerability of Val di Vara was then carried out for each of the four scenarios, obtaining the results which are summarised in the following paragraph.

Knotenpunkte die Elemente des Systems darstellen (Siedlungen, Straßenabschnitte, Krankenhäuser und ähnliches), während die Kreisbögen die funktionellen Beziehungen zwischen den Elementen repräsentieren, die die Anfälligkeit oder Effizienz beeinflussen. Die Struktur des Graphen wird als Grundlage für die Definition eines Ensembles von mathematischen Beziehungen verwendet, die eine Einschätzung der Anfälligkeit derjenigen Elemente möglich macht, die bei dem angewandten Szenario Hilfe benötigen, sowie die Effizienz der Elemente, die diese Hilfe zur Verfügung stellen. Es wurde außerdem eine Struktur von mathematischen Funktionen erstellt, die für eine Quantifizierung der Intensität der funktionellen Abhängigkeitsbeziehungen herangezogen werden können, die zwischen den einzelnen Elementen des Geländes herrschen. Grundlage sind Informationen, die so objektiv wie möglich gehalten werden und aus der Analyse der Elemente selbst ableitbar sein sollten. Diese Funktionen unterscheiden sich je nach den Kategorien der einbezogenen Elemente, sind aber alle durch eine Struktur gekennzeichnet, in der die Bedeutung der Beziehungen von dem Verhältnis zwischen Nachfrage (beschädigte Elemente) und Angebot (Notfallzentren) im Notfall gekennzeichnet sind, außerdem von der Entfernung zwischen den Elementen.

Die Methode zur Analyse der systematischen Verletzbarkeit wurde also auf das Val di Vara im Hinblick auf fluviale Prozesse angewandt. Es wurden vier verschiedene Szenarien erarbeitet: die ersten beiden beziehen sich auf ein Ereignis mit einer Wiederholungsrate von 200 Jahren, die anderen beiden auf ein Ereignis mit einer Wiederholungsrate von 500 Jahren. Die weitere Differenzierung zwischen den Szenarien erfolgte über die Jahreszeit (Sommer – Winter), in der das angenommene Ereignis eintritt. Die Analyse der Verletzbarkeit des Geländesystems des Val di Vara wurde dann für jedes der vier Ereignisse durchgeführt. Die Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

presentano gli elementi (aree insediative, tratti di infrastrutture stradali, centri sanitari, etc.) di tale sistema, mentre gli archi rappresentano le relazioni funzionali che esistono tra tali elementi e che sono in grado di influenzarne la criticità e/o l'efficienza. La struttura del grafo è utilizzata come base per definire un insieme di relazioni matematiche, utili a valutare la criticità degli elementi che nell'evento di scenario richiedono servizio, e l'efficienza degli elementi che sono adibiti a fornire tale servizio. È stata inoltre definita la struttura di funzioni matematiche che possono essere utilizzate per la quantificazione dell'intensità delle relazioni di dipendenza funzionale che intercorrono tra le diverse categorie di elementi territoriali, sulla base di informazioni il più possibili oggettive e desumibili dall'analisi degli elementi stessi. Tali funzioni sono diverse a seconda delle categorie di elementi considerati, ma sono tutte caratterizzate da una struttura in cui l'importanza della relazione dipende dal rapporto tra domanda (per gli elementi danneggiati) e offerta (per gli erogatori di servizio) di servizio in fase di emergenza, nonché dalla distanza tra i due elementi.

La metodologia di analisi della *vulnerabilità sistemica* è stata quindi applicata alla Val di Vara in relazione a processi di tipo fluviale. Sono stati definiti 4 differenti scenari: i primi due scenari si riferiscono ad un evento caratterizzato da periodo di ritorno di 200 anni, mentre gli altri due ad un evento caratterizzato da tempo di ritorno 500 anni. L'ulteriore differenziazione tra gli scenari è relativa alla stagione (estiva/invernale) in cui si ipotizza che l'evento avvenga. L'analisi di vulnerabilità del sistema territoriale della Val di Vara è stata quindi effettuata per ciascuno dei quattro scenari considerati, ottenendo i risultati che verranno sintetizzati nel corso del successivo paragrafo.

5.2.2.A/1.3 Results

For each scenario considered we evaluated the levels of criticality and/or efficiency of all the elements in the local system. The results obtained for the first two scenarios do not differ significantly, neither do the results obtained for scenarios 3 and 4.

In general it can be seen that the most critical elements are not those subjected to the most damage in the event scenarios. This is the case, for example, of Varese Ligure, which in Scenario 1 proves to be the most critical element, while in the same scenario the town which is most damaged is Riccò del Golfo. Moreover, in view of the difference between criticality and level of direct damage (that is, resulting from the event, without including the influence of shortcomings in other local elements), the town where this is highest is Brugnato.

For the sake of brevity, we present only the results for scenario 1, which are summarised in Figures 5.2.2.A/1.3, 5.2.2.A/1.4, and 5.2.2.A/1.5, and Table 5.2.2.A/1.6. The first figure regards the criticality of urban centres; the second, which shows the difference between criticality and direct damage, highlights how even low levels of damage can be associated with high levels of criticality, where key services are affected; the third represents the residual efficiency of the stretches of road in consideration, and the table shows the efficiency of the elements designed to provide services during an emergency.

5.2.2.A /1.3 Ergebnisse

Für jedes berücksichtigte Szenario wurden die Werte für Anfälligkeit und Effizienz für jedes Element des Geländesystems ermittelt. Die Ergebnisse für die ersten beiden Szenarien unterscheiden sich nicht signifikant, das gilt auch für die Ergebnisse der Szenarien 3 und 4.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Elemente mit einer höheren Anfälligkeit nicht mit denen identisch sind, die von den Ereignissen des Szenarios am schwersten geschädigt werden. Das ist zum Beispiel der Fall in Varese Ligure, das beim Szenario 1 als der Ort mit der höchsten Anfälligkeit auffiel, während im selben Szenario der am stärksten geschädigte Ort Riccò del Golfo war. Der größte Unterschied zwischen Anfälligkeit und direktem Schaden (oder Schaden, der sich aus dem im Szenario dargestellten Ereignis ergab, ohne dabei die Wirkung einzuschließen, die durch den eventuellen Einfluss von anderen und wenig funktionellen Geländeelementen zurückgeht) zeigte sich in der Ortschaft Brugnato.

Aus Platzgründen werden in diesem Kontext nur die Ergebnisse aus dem Szenario 1 vorgestellt, die in den Figuren 5.2.2.A/1.3, 5.2.2.A/1.4, 5.2.2.A/1.5 und in der Tabelle 5.2.2.A/1.6 dargestellt sind. Das erste Bild bezieht sich auf die Anfälligkeit der Ortschaften, das zweite zeigt den Unterschied zwischen Anfälligkeit und direktem Schaden und belegt, dass unter Umständen auch eine hohe Anfälligkeit nicht zu großen Schäden führt. Das dritte Bild zeigt die Resteffizienz der betrachteten Straßen, und die Tabelle zeigt die Effizienzwerte zu den Elementen, die im Notfall helfen sollen.

5.2.2.A/1.3 Risultati

Per ciascuno scenario considerato, sono stati valutati i valori di criticità e/o di efficienza per tutti gli elementi del sistema territoriale. I risultati ottenuti per i primi due scenari non differiscono significativamente tra loro, così come avviene per i risultati ottenuti per gli scenari 3 e 4.

In generale, si nota che gli elementi con criticità maggiore non coincidono con quelli maggiormente danneggiati dagli eventi di scenario. È il caso, ad esempio, di Varese Ligure, che nello Scenario 1 risulta essere l'elemento caratterizzato da maggiore criticità, mentre l'aggregato insediativo che risulta maggiormente colpito, sempre nello stesso scenario, è Riccò del Golfo. Inoltre, considerando la differenza tra criticità e livello di danno diretto (ovvero conseguente all'evento di scenario, senza includere l'effetto dovuto all'eventuale influenza di altri elementi territoriali poco funzionali), l'aggregato urbano per cui tale valore è maggiore appartiene al comune di Brugnato.

Per necessità di sintesi in questo contesto vengono presentati solo i risultati relativi allo scenario 1, che sono sintetizzati nelle Figure 5.2.2.A/1.3, 5.2.2.A/1.4, 5.2.2.A/1.5, e in Tabella 5.2.2.A/1.6. La prima figura è relativa alla criticità degli aggregati urbani; la seconda figura, che riporta la differenza tra criticità e danno diretto mette in luce come a danni anche poco rilevanti possono essere associate elevate criticità nel caso in cui sono colpiti servizi significativi; la terza rappresenta l'efficienza residua degli archi stradali considerati; infine la tabella riporta i valori di efficienza relativi agli elementi preposti a fornire servizio in fase di emergenza.

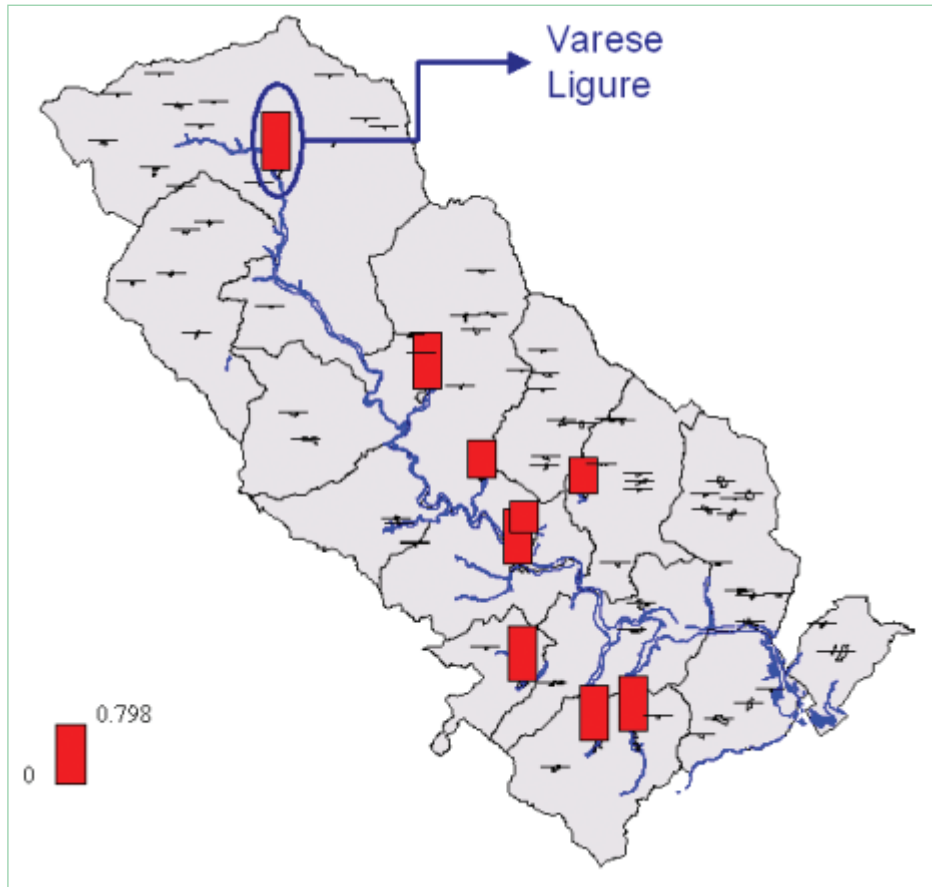


Figure 5.2.2.A/1.3 Representation of the criticality of the towns of Val di Vara.
Figur 5.2.2.A/1.3 Darstellung der Anfälligkeit der Orte im Val di Vara.
Figura 5.2.2.A/1.3 Rappresentazione della criticità degli aggregati urbani della Val di Vara.

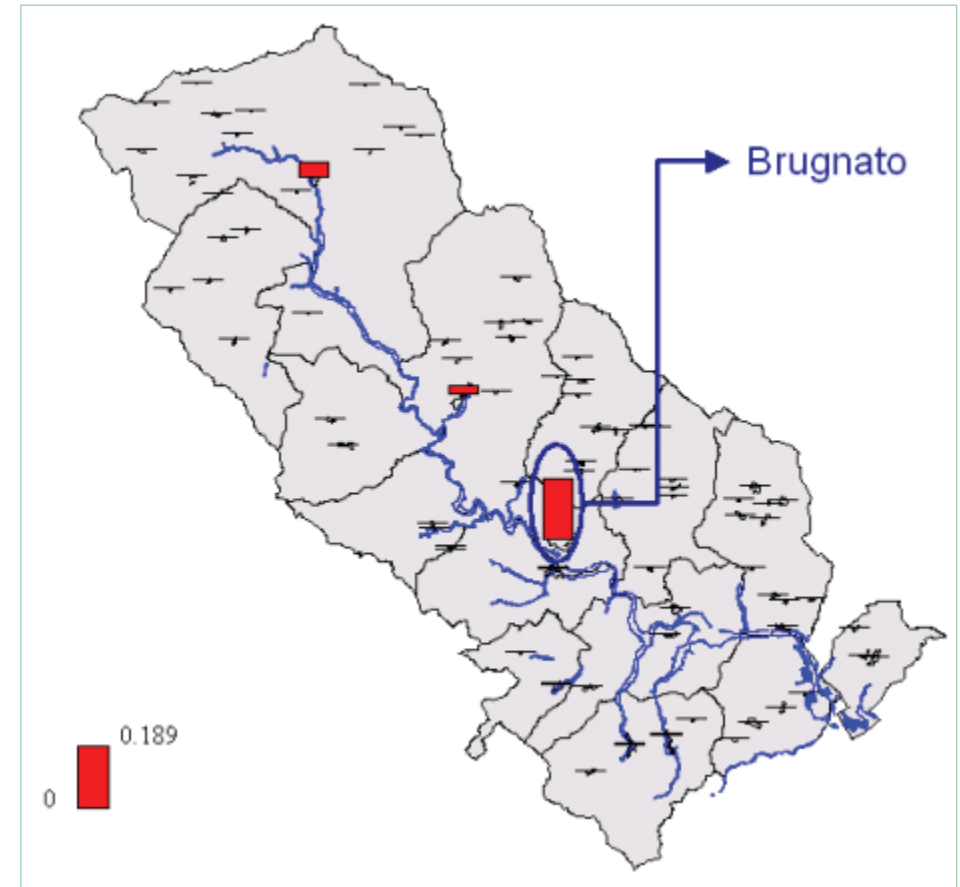


Figure 5.2.2.A/1.4 Representation of the difference between criticality and direct damage in the towns of Val di Vara.
Figur 5.2.2.A/1.4 Darstellung der Unterschiede zwischen Anfälligkeit und direktem Schaden für die Ortschaften des Val di Vara.
Figura 5.2.2.A/1.4 Rappresentazione della differenza tra criticità e danno diretto per gli aggregati urbani della Val di Vara.

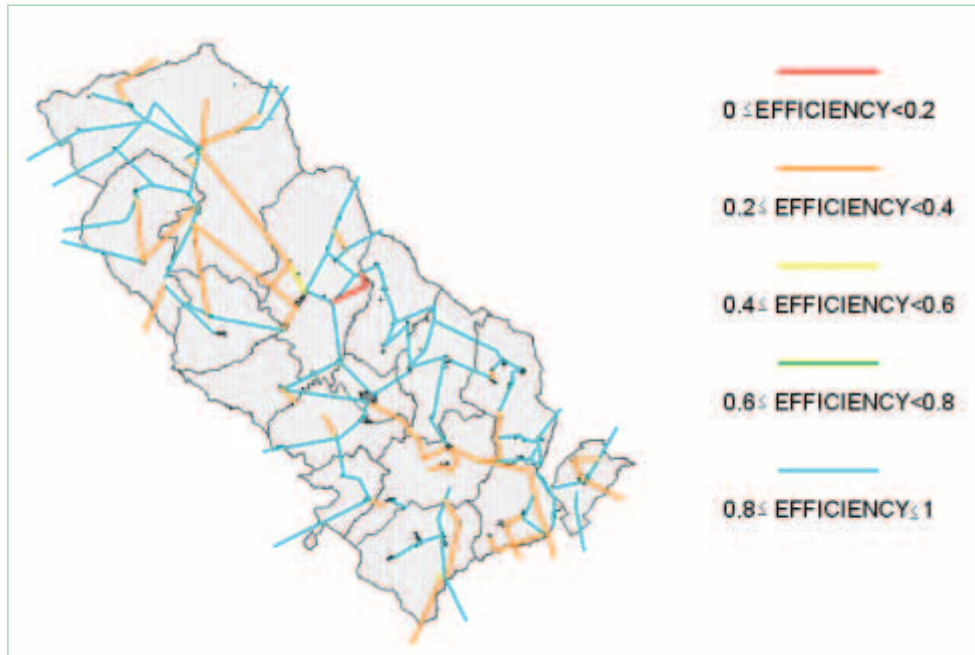


Figure 5.2.2.A/1.5 Representation of the residual efficiency of stretches of the road network in Val di Vara.

Figur 5.2.2.A/1.5 Darstellung der Resteffizienz des Straßennetzes im Val di Vara.

Figura 5.2.2.A/1.5 Rappresentazione dell'efficienza residua degli archi della rete stradale della Val di Vara.

T=200		summer	
ID	Categoria	Efficienza	Decremento eff.
161	C.C.	1.000	0.000
162	C.C.	1.000	0.000
163	C.C.	0.885	0.115
164	C.C.	0.962	0.038
165	C.C.	0.887	0.113
166	C.C.	0.811	0.189
167	V.V.F.F.	0.750	0.250
168	P.S.	0.750	0.250
169	Prot. Civ.	0.750	0.250
170	Prot. Civ.	0.750	0.250
171	Prot. Civ.	0.873	0.127
172	Prot. Civ.	0.887	0.113
173	Prot. Civ.	0.811	0.189
174	Ambulatori/Ospedali	0.956	0.044
175	Ambulatori/Ospedali	0.750	0.250
176	Ambulatori/Ospedali	0.962	0.038
177	Ambulatori/Ospedali	1.000	0.000
178	Ambulatori/Ospedali	0.961	0.039
179	Ambulatori/Ospedali	1.000	0.000
180	Ambulatori/Ospedali	1.000	0.000
181	Ambulatori/Ospedali	1.000	0.000

Figure 5.2.2.A/1.6 Efficiency of the elements designed to provide services during an emergency in Val di Vara.

Figur 5.2.2.A/1.6 Werte für die Effizienz der Elemente im Val di Vara, die im Notfall Hilfe leisten sollen.

Figura 5.2.2.A/1.6 Valori di efficienza degli elementi preposti a fornire servizio in fase di emergenza in Val di Vara.

5.2.2.A/1.4 Conclusions

The application of the procedure to evaluate the *systemic vulnerability* of Val di Vara underlines a number of important aspects, some directly linked to the area in question, and some more general considerations. First and foremost, even in an area characterised by a low level of urbanisation, the existence of functional links between the various elements involved in emergency management can have considerable repercussions on the area as a whole, even to the point of shifting criticality (and therefore demand for services) from the areas more affected by an event to other areas, which in a preliminary analysis may appear less affected. This type of information can be used in planning the emergency management structure, whether locally or for the entire system, with regards to both intervention procedures and resources to allocate.

The proposed procedure can be easily applied to other local areas, once the necessary information for the analysis has been arranged in a similar way to the strategy applied to Val di Vara. This also applies to evaluating the level of influence between the various elements in the system. The methodology is in fact based on information which can be inferred from an objective analysis of the area, and can therefore be used to evaluate the reciprocal influence of elements belonging to any local system.

5.2.2.A/1.4 Schlussfolgerungen

Die Anwendung des Bewertungsprozesses für die systematische Verletzbarkeit auf das Val di Vara unterstreicht einige wichtige allgemeine Aspekte und einige andere, die mit der Situation vor Ort direkt in Verbindung stehen.

Vor allem kann die Existenz von funktionellen Bindungen zwischen den einzelnen Elementen, die an den Notfalleinsätzen beteiligt sind, auch in wenig urbanisierten Gebieten spürbare Auswirkungen auf das Gesamtgebiet haben, wobei sich unter Umständen auch die Anfälligkeit (und damit die Nachfrage nach solchen Einsätzen) von den am stärksten betroffenen Gebieten in andere verschiebt, die nach einer vorläufigen Analyse weniger betroffen zu sein schienen. Solche Informationen können in der Planungsphase von der Notfallzentrale für die Einsatzplanung und die Planung der Ressourcenverteilung verwendet werden, und zwar auf lokaler Ebene oder auch auf der Ebene des gesamten Geländesystems.

Der vorgeschlagene Ablauf kann leicht auch auf andere Geländesituationen übertragen werden, wenn die zur Analyse nötigen Informationen nach dem Beispiel des Val di Vara sortiert sind. Das gilt auch für die Einschätzung der Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen im Gelände. Die vorgeschlagene Methode basiert auf Informationen, die von einer objektiven Analyse des Geländes ableitbar sind. Sie kann daher für die Einschätzung der wechselseitigen Einflüsse von Elementen in einem beliebigen Geländesystem herangezogen werden.

5.2.2.A/1.4 Conclusioni

L'applicazione della procedura di valutazione della *vulnerabilità sistemica* alla Val di Vara sottolinea alcuni importanti aspetti, direttamente legati alla realtà territoriale in esame, oppure di carattere più generale.

Innanzitutto, anche in una realtà territoriale caratterizzata da un'urbanizzazione poco accentuata, l'esistenza di legami funzionali tra i vari elementi coinvolti nella gestione delle emergenze può provocare notevoli ripercussioni sul territorio nel suo complesso, eventualmente anche spostando la criticità (e quindi la domanda di servizio) dalle zone più colpite da un evento ad altre che, da un'analisi preliminare, potrebbero sembrare meno coinvolte. Tali informazioni possono essere usate in fase di pianificazione, a livello locale o a livello dell'intero sistema territoriale, della struttura di gestione delle emergenze, per quanto riguarda sia le procedure di intervento, sia le risorse da allocare.

La procedura proposta può essere agevolmente applicata anche ad altre realtà territoriali, una volta organizzate le informazioni necessarie all'analisi in maniera analoga a quanto fatto per la Val di Vara. Tale discorso è valido anche per quanto riguarda la valutazione dell'entità delle influenze tra i diversi elementi territoriali. Infatti, la metodologia proposta si basa su informazioni desumibili da un'analisi oggettiva del territorio, e può quindi essere utilizzata per la valutazione delle reciproche influenze di elementi appartenenti a un qualsivoglia sistema territoriale.