

## INDIVIDUAZIONE DELLE SOGLIE PLUVIOMETRICHE DI INNESCO DI FRANE SUPERFICIALI SUL TERRITORIO COMUNALE DI GENOVA: IL CASO DELLA VAL BISAGNO

### EVALUATION OF RAINFALL THRESHOLDS FOR TRIGGERING SHALLOW LANDSLIDES ON THE GENOA MUNICIPALITY AREA (ITALY): THE CASE STUDY OF THE BISAGNO VALLEY

ANDREA CEVASCO<sup>(\*)</sup>, ALESSANDRO SACCHINI<sup>(\*\*)</sup>, ALESSANDRO ROBBIANO<sup>(\*\*)</sup> & ENRICO VINCENZI<sup>(\*\*)</sup>

<sup>(\*)</sup>Università degli Studi di Genova - Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse - Corso Europa, 26 - 16132 Genova (Italy)  
E-mail: cevasco@dipteris.unige.it - Tel. +39 010 353 8294

<sup>(\*\*)</sup>Comune di Genova - Settore Protezione Civile e Pubblica Incolumità - Via di Francia, 1 - 16149 Genova (Italy)

#### RIASSUNTO

Le frane superficiali innescate da eventi meteorici possono esporre, soprattutto in aree antropizzate, la popolazione a gravi rischi. In considerazione delle condizioni morfologiche, climatiche e della marcata antropizzazione, il territorio genovese, frequentemente interessato da eventi meteorici di notevole intensità, risulta particolarmente a rischio di alluvioni e frane indotte da precipitazioni. Lo scopo di questo lavoro è quello di definire le soglie pluviometriche di innesco di frane superficiali su una porzione del territorio comunale genovese, assai nota per l'elevata vulnerabilità nei confronti di eventi alluvionali, sulla quale il verificarsi di frane superficiali connesse ad eventi meteorici è favorito dalla presenza di versanti ad elevata acclività e dalle modifiche nell'uso del suolo intercorse nell'ultimo secolo: la Val Bisagno.

Partendo dal censimento delle frane superficiali innescate da precipitazioni nel periodo 1991-2002, sono stati selezionati i fenomeni superficiali (*debris-flow* e *soil-slip*) che hanno interessato quest'area ed analizzate le caratteristiche degli eventi pluviometrici che ne hanno provocato l'innescio.

Adottando un approccio empirico è stato possibile stimare le soglie di innesco per diverse stagioni ed ottenere indicazioni in merito all'importanza delle piogge cumulate nel periodo antecedente gli eventi. L'analisi delle relazioni fra intensità media e durata degli eventi ha permesso, inoltre di individuare i campi di stabilità, intermedio e di instabilità.

Il confronto fra i valori soglia di precipitazione ottenuti per la Val Bisagno e quelli individuati da altri autori analizzando altri contesti ha evidenziato l'elevato grado di suscettività dell'area indagata allo sviluppo di dissesti quali *debris flow* e *soil-slip*.

Il supporto di dati relativi a nuovi fenomeni d'instabilità potrebbe, tuttavia, consentire una migliore definizione delle soglie individuate.

**TERMINI CHIAVE:** *Comune di Genova, frane indotte da precipitazioni, soglie pluviometriche di innesco, Val Bisagno, Italia*

#### INTRODUZIONE

Nel corso dell'ultimo secolo il territorio comunale genovese è stato interessato da importanti e ricorrenti eventi di dissesto idrogeologico l.s. (erosione, alluvioni, frane) che hanno provocato danni ingenti alle aree

#### ABSTRACT

In urbanized areas rainfall-induced landslides very often expose the population to serious risk and their occurrence can cause considerable economic losses.

Because of its peculiar geological, geomorphological and climatic conditions the Genoese area, frequently affected by heavy intensity rainfall events, presents a very high susceptibility to floods and rainfall induced shallow landslides. The aim of this paper is to define the rainfall thresholds for triggering shallow landslides for a portion of the Genoa Municipality area with homogeneous geological and geomorphological characteristics: the Bisagno Valley. In the study area the occurrence of shallow landslides is favoured by the presence of steep slopes and by the changes in the land-use management occurred during the last century.

An empirical approach has been applied. By using the data recorded by one rain gauge during rainfall events triggering instabilities between 1991 and 2002, it was possible to assess the rainfall thresholds for different seasons and to state the importance of the cumulative amount of precipitations in the previous period (15 days). In addition, a threshold for shallow landslides, in terms of mean intensity and duration was defined.

The comparison between the obtained results and those defined by other authors for other contexts confirms the shallow landslides high susceptibility of the study area.

The support of data relate to new shallow landslides could, however allow to improve the threshold curves trend.

**KEY WORDS:** *Bisagno Valley, rainfall thresholds, Municipality of Genoa, rainfall-induced landslides, Italy*

#### INTRODUCTION

Over the past century, the Genoese municipality area has been affected by important and recurring hydrogeological events (erosion, floods, landslides) that caused extensive damage both to the urban

urbanizzate della piana costiera ed ai versanti retrostanti (BRANDOLINI & RAMELLA, 1994; NOSENGO, in stampa). Oltre alla (tristemente) famosa alluvione del 1970 si ricordano, dal 1907 al 2002, numerosi eventi (almeno una ventina) che interessarono porzioni più o meno ampie del genovese. E' noto che la genesi di tali eventi è favorita sia da fattori naturali, quali le caratteristiche climatiche locali, la ridotta estensione dei bacini idrografici e l'elevata acclività dei versanti che da fattori antropici quali, da un lato, l'intensa edificazione nelle aree di fondovalle e nella fascia pedemontana e, dall'altro, le modificazioni dell'uso del suolo con abbandono delle tradizionali pratiche agricole lungo i versanti, anticamente terrazzati (BRANDOLINI & RAMELLA, 1994; 1998; NOSENGO, in stampa).

Tra i fenomeni di dissesto idrogeologico che periodicamente colpiscono il territorio genovese, le frane superficiali indotte da precipitazioni occupano un ruolo non secondario, in quanto a frequenza, rispetto ad altre tipologie (alluvioni, frane in roccia, riattivazioni di frane). Infatti, un recente censimento delle frane superficiali indotte da eventi meteorici sul territorio comunale genovese (CEVASCO *et alii*, 2008) ha evidenziato che, solo nel periodo 1991-2002, sono pervenute agli Uffici comunali di Protezione Civile oltre un centinaio di segnalazioni inerenti il verificarsi di frane superficiali connesse a precipitazioni.

Ai fini della previsione di tali fenomeni e del conseguente allertamento delle strutture di Protezione Civile e della popolazione esposta al rischio risulta, dunque, particolarmente importante la conoscenza dei valori soglia, ovvero dei livelli minimi di precipitazione necessari per determinare l'innescio di almeno una frana superficiale.

Da oltre un trentennio numerosi autori si sono occupati dello studio delle relazioni fra eventi piovosi e fenomeni d'instabilità con particolare riguardo alla definizione delle soglie pluviometriche di innesco dei fenomeni franosi. A causa dell'importanza dell'argomento la letteratura, in tal caso, è estremamente vasta (una lista di riferimento è riportata in DE VITA & REICHENBACH, 1998; significative sintesi sono riportate, ad esempio, in ALEOTTI, 2004; WIECZOREK & GLADE, 2005; GUZZETTI *et alii*, 2007). Gli approcci metodologici adottati per la determinazione delle soglie pluviometriche di innesco differiscono per complessità, parametri utilizzati ed ambito territoriale di validità. Esse, come noto, possono essere determinate sia attraverso modelli numerici, che tengono conto del rapporto fra precipitazioni, pressione neutra e condizioni di stabilità dei versanti (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; WILSON & WIECZOREK, 1995; CROSTA, 1998), sia attraverso approcci di tipo empirico, basati sull'analisi a posteriori delle relazioni fra caratteristiche delle precipitazioni e fenomeni d'instabilità (CAMPBELL, 1974; CAINE, 1980; CANCELLI & NOVA, 1985; WIECZOREK, 1987). Stante la complessità dei primi, la cui affidabilità dipende dal dettaglio nella conoscenza dei diversi aspetti fisici che governano la stabilità di un versante, una notevole diffusione, hanno avuto i modelli empirici. Le soglie pluviometriche ottenute attraverso questi ultimi vengono distinte in base a (GUZZETTI *et alii*, 2007): a) estensione dell'area geografica per la quale sono state individuate; b) dati pluviometrici considerati. Relativamente al primo aspetto si possono distinguere soglie con validità globale (CAINE, 1980; INNES, 1983; CLARIZIA *et alii*, 1996; CROSTA & FRATTINI, 2001; GUZZETTI *et alii*, 2008), re-

areas of the coastal plain and to the slopes behind (BRANDOLINI & RAMELLA, 1994; NOSENGO, in press). In addition to the (sadly) famous flood of 1970 several events (at least a dozen), that involved more or less extensive portions of the Genoese area, are mentioned from 1907 to 2002. The genesis of these events is supported by both natural factors, such as local climate conditions, limited extension of the water basins and steep slopes and anthropogenic factors such as the intense urbanization in the valley and foothills areas, and the changes of land-use management with abandonment of traditional agricultural practices on the ancient terraced slopes (BRANDOLINI & RAMELLA, 1994; 1998; NOSENGO, in press).

Among the hydrogeological events that periodically affect the Genoese area, rainfall induced landslides play a not secondary role, in terms of frequency, if compared to other types (floods, rock landslides, reactivation of landslides). Indeed, a recent census of rainfall induced shallow landslides in the Genoese municipality area (CEVASCO *et alii*, 2008) revealed that in the period 1991-2002, over one hundred reports reached the Civil Protection Municipal Offices.

To predict these phenomena it is particularly important to know the precipitation threshold values, or the minimum levels of rainfall needed to determine the triggering of at least one shallow landslide.

For over thirty years many authors have dealt with the definition of pluviometric thresholds for the triggering of landslides phenomena. Several research papers on this topic can be found in the literature (a reference list is given by DE VITA & REICHENBACH, 1998; reviews of the literature are given by ALEOTTI, 2004; WIECZOREK & GLADE, 2005; GUZZETTI *et alii*, 2007). The approaches adopted to determine pluviometric thresholds differ in complexity, parameters used and territorial validity. As known, they may be determined either by numerical models, which take into account the relationship between precipitation, neutral pressure and slope stability conditions (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; WIECZOREK & WILSON, 1995; CROSTA, 1998), or through empirical approaches, based on a retrospective analysis of the relations between the characteristics of rainfall and instability phenomena (CAMPBELL, 1974; CAINE, 1980; CANCELLI & NOVA, 1985; WIECZOREK, 1987). Given the complexity of the first, whose reliability depends on the detailed knowledge of the different physical aspects that govern the stability of a slope, empirical models have been more popular. Empirical rainfall thresholds can be classified based on (GUZZETTI *et alii*, 2007): a) the extent of the area for which they were defined; b) the type of rainfall data used to define them. Based on the first aspect rainfall thresholds can be subdivided in global (CAINE, 1980; INNES, 1983; CLARIZIA *et alii*, 1996; CROSTA & FRATTINI, 2001; GUZZETTI *et alii*, 2008), regional (CANNON & ELLEN, 1985; LARSEN & SIMON, 1993; GLADE, 1998) and local (WIECZOREK, 1987; PASUTO & SILVANO, 1998; MARCHI *et alii*, 2002; BERTOLO & BOTTINO, 2006). Regarding the second one: thresholds obtained combining data relating to specific rainfall events (COROMINAS & MOYA, 1999), thresholds that take into account the rainfall in the antecedent period (CAMPBELL, 1975; WIECZOREK & SARMIENTO, 1988; TERL-

gionale (CANNON & ELLEN, 1985; LARSEN & SIMON, 1993; GLADE, 1998) e locale (WIECZOREK, 1987; PASUTO & SILVANO, 1998; MARCHI *et alii*, 2002; BERTOLO & BOTTINO, 2006) mentre, per quanto riguarda il secondo aspetto, sono state distinte soglie basate sull'elaborazione di dati relativi a specifici eventi pluviometrici (COROMINAS & MOYA, 1999), soglie che tengono in considerazione le precipitazioni verificatesi nel periodo antecedente gli eventi innescanti (CAMPBELL, 1975; WIECZOREK & SARMIENTO, 1988; TERLIEN, 1997; 1998; GLADE *et alii*, 2000; CHLEBORAD, 2003) e altre soglie (REICHENBACH *et alii*, 1998; JAKOB & WEATHERLY, 2003). I parametri pluviometrici considerati con maggiore frequenza sono l'intensità (I), la durata (D) e la quantità di precipitazione (precipitazione giornaliera, precipitazioni antecedenti, precipitazione cumulata, precipitazione cumulata normalizzata) degli eventi (GUZZETTI *et alii*, 2007); esistono, tuttavia, numerosi esempi in letteratura in cui le soglie pluviometriche sono state ottenute utilizzando altri parametri (ampie sintesi sono riportate in WIECZOREK & GLADE, 2005 e in GUZZETTI *et alii*, 2007). E' comunque evidente che i risultati derivanti dall'approccio empirico, che prescindono dalla conoscenza dei parametri geologici, geotecnici, geomorfologici e di quelli relativi all'uso del suolo dell'area considerata, sono in grado di fornire solo indicazioni generali circa la risposta di una determinata porzione di territorio alle precipitazioni. Ne consegue che le relazioni fra caratteristiche delle precipitazioni e franosità ottenibili in questi casi possono assumere validità solo se riferiti ad ambiti territoriali circoscritti, con caratteristiche geologiche, morfologiche e climatiche omogenee; inoltre la loro affidabilità dipende, comunque, dal numero di eventi che possono essere considerati nonché dall'attendibilità dei dati pluviometrici a disposizione. In questo lavoro in considerazione dei dati, esclusivamente pluviometrici, a disposizione, sono stati adottati due differenti approcci di tipo empirico.

## IL REGIME PLUVIOMETRICO DI GENOVA

L'andamento delle precipitazioni sul territorio comunale di Genova risulta fortemente condizionato dalla presenza del mare e dalla catena alpino-appenninica che lo cinge; le perturbazioni atlantiche vengono, infatti, frequentemente deviate sul golfo di Genova (BOSSOLASCO, 1948) a causa dell'azione di sbarramento opposta da tale rilievo. In questa situazione, che spesso nel semestre freddo determina le condizioni atmosferiche non solo della Liguria ma dell'intero settore centro-settentrionale italiano, a Genova si registrano al suolo correnti fredde settentrionali mentre in quota si hanno correnti meridionali più calde e ricche di umidità. Dal contrasto di questi due tipi di masse d'aria e dal contrasto terra-mare (BOSSOLASCO *et alii*, 1969) possono originarsi quantità di precipitazioni ingenti che fanno sì che la Liguria, specie nel suo settore centro-orientale, sia tra le aree più piovose dell'intero paese.

Lo studio delle precipitazioni di forte intensità e di quelle che hanno determinato eventi alluvionali sul genovesato (BOSSOLASCO *et alii*, 1971; DAGNINO *et alii*, 1978), pone in risalto come queste si verificano in una configurazione meteorologica caratterizzata da una potente azione di blocco determinata da una massa d'aria calda anticiclonica stazionante ad oriente sul cui bordo occidentale fluisce insistentemente

IENT, 1997; 1998; GLADE *et alii*, 2000; CHLEBORAD, 2003) and other thresholds (e.g. REICHENBACH *et alii*, 1998; JAKOB & WEATHERLY, 2003) may be distinguished. The rainfall data most commonly used to determine the empirical thresholds include rainfall duration (D), rainfall intensity (I), and the amount of precipitation (daily rainfall, antecedent rainfall, cumulative event rainfall, normalized cumulative event rainfall) during the landslide triggering event (GUZZETTI *et alii*, 2007). However, rainfall thresholds may also be obtained by using other parameters as shown by numerous examples in literature (comprehensive reviews are provided by WIECZOREK & GLADE, 2005 and GUZZETTI *et alii*, 2007).

It is clear, however, that the results deriving by such approaches, which don't take in account the knowledge of the geological, geotechnical, geomorphological and land-use parameters, are able to provide only general guidelines about the response of a certain area to precipitations. It follows that the relationship between characteristics of rainfall and landslides obtainable in such cases can be valid only if related to limited areas, with homogenous geological, climatic and morphological conditions; besides their reliability depends, however, on the number of events that can be considered and by the reliability of the available pluviometric data. In this work, by considering the kind of the available data, only pluviometric, two different types of empirical approaches were adopted.

## THE RAINFALL REGIME OF GENOA

The rainfall regime in the Genoese area is strongly affected by both the closeness of the sea and the alpine-appenninic chain; frequently, in fact, Atlantic disturbances are diverted to the Genoa Gulf (BOSSOLASCO, 1948) because of the barrier effect of these mountains. This situation, often occurring in autumn and winter, determines the weather conditions of the whole Mid-North Italy: cold northern currents are surmounted by warmer and moister southern currents. The contrast of these two types of air masses and the land-sea contrast (BOSSOLASCO *et alii*, 1969) can create massive amounts of rain that make Liguria, especially its central-eastern sector, one of the most rainy of the country.

The study of heavy intensity rainfall, that frequently has been responsible of flooding in the Genoese area (BOSSOLASCO *et alii*, 1971; DAGNINO *et alii*, 1978), highlights that these events can occur when the weather configuration is characterized by a powerful blocking action due to a warm eastern anticyclonic air mass on whose western board the cold air, associated with a wide depression in the Atlantic Ocean, flows. These conditions cause continued instability processes with thunderstorm rainfalls concentrated in a restricted area, often

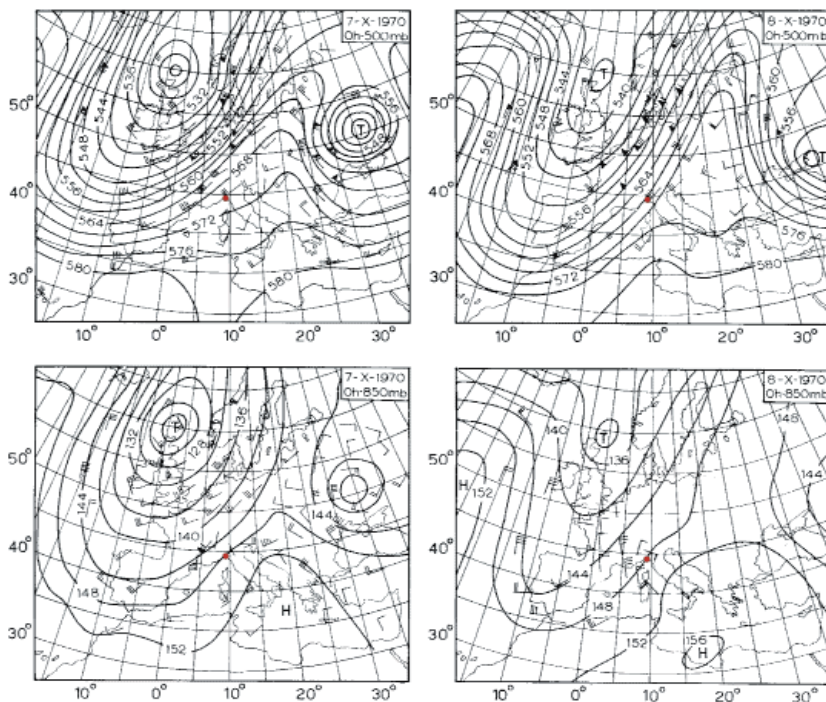


Fig. 1 - Un esempio di condizioni meteorologiche favorevoli alla genesi di piogge alluvionali nel genovesato (da DEUTSCHER WETTERDIENST, 1970, integrato)  
- Example of meteorological conditions causing heavy rainfall in the Genoese area (from DEUTSCHER WETTERDIENST, 1970, integrated)

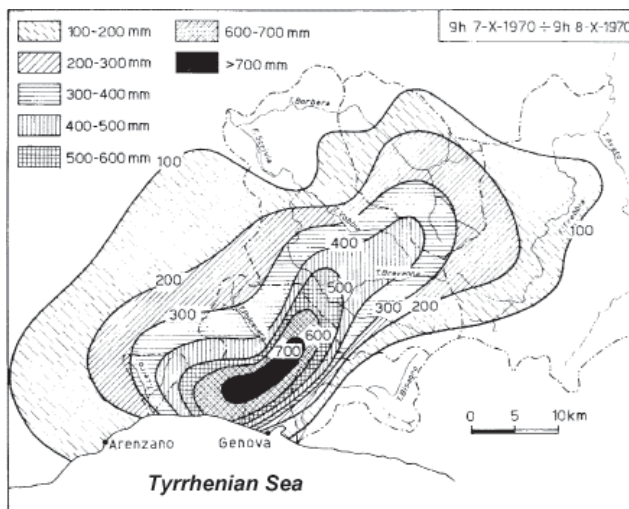


Fig. 2 - Carta delle isoiete dell'alluvione del 1970 a Genova (da BOS-SOLASCO *et alii*, 1971)  
- Isohyets map of October, 1970 floods in Genoa (from Bosso-  
LASCO *et alii*, 1971)

aria più fredda associata ad una saccatura sull'Atlantico, alimentando continui processi di instabilità con piogge temporalesche concentrate su un'area ristretta, spesso corrispondente al golfo di Genova (Fig. 1).

Tali sistemi prefrontali a supercella autorigenerante, tra la fine dell'estate e l'inizio dell'autunno, quando massimi risultano i contrasti termici tra le masse d'aria e tra la terra e il mare, determinano precipitazioni che superano ricorrentemente i 200 mm in un giorno sino a valori eccezionali quali i 948 mm in 24 h consecutive che colpiscono la stazione di Genova-Bolzaneto, a circa 10 km dal centro cittadino, il 7 ed 8 ottobre 1970 in occasione della tragica alluvione genovese (CATI, 1970; BOSSOLASCO *et alii*, 1971; Fig. 2).

corresponding to the Gulf of Genoa (Fig. 1).

Such systems are organized in prefrontal self-generated thunderstorm supercells. Between the end of summer and the start of autumn, when the heat contrasts between both air masses and land - sea are maximum, they recursively determine rainfall exceeding 200 mm/d till exceptional values such as 948 mm/d recorded at the Genoa-Bolzaneto station (10 km far from the city centre) which carried the flood on 7 and 8 October 1970 (CATI, 1970; BOSSOLASCO *et alii*, 1971; Fig. 2).

Lo studio di FLOCCHINI *et alii* (1981) sul regime pluviometrico di Genova desumeva le seguenti principali caratteristiche, dal punto di vista statistico climatico, derivate dall'analisi storica della stazione di Genova-Università, posta nel centro storico cittadino, che registra dati ininterrottamente dal 1833:

- una forte dispersione dei valori dei totali di precipitazione e del numero di giorni piovosi sia per quanto concerne i valori mensili che per quanto riguarda i totali annui: questi ultimi infatti variano da un minimo di 543.5 mm ad un massimo di 2764.5 mm con un numero di giorni piovosi che oscilla tra 67 e 157 giorni annui. I valori mensili possono raggiungere i 780 mm e si sono registrati fino a 24 giorni piovosi mensili. La precipitazione giornaliera raggiunge il valore massimo di 254 mm. Sussiste una correlazione, non particolarmente stretta, tra numero di giorni piovosi e quantità di precipitazione, con i valori non correlati che risultano relativi a periodi di tempo in cui predominano situazioni meteorologiche che non fanno parte del sistema causale stabile delle precipitazioni che interessano di regola questa regione, quali eventi assai intensi od alluvionali;
- l'andamento annuale delle precipitazioni risulta in buon accordo con il regime pluviometrico proprio delle stazioni costiere a media latitudine con un massimo assoluto autunnale ed uno relativo in inverno-primavera (transizione dal clima mediterraneo senso stretto), separati da un minimo assoluto estivo. Il valore medio si attesta attorno ai 1300 mm di precipitazione annua;
- il numero di giorni consecutivi di pioggia (periodi piovosi) così come i periodi secchi diminuiscono con l'aumentare della durata: i primi durano al massimo 23 giorni a marzo, mentre i secondi, nei mesi estivi, possono raggiungere una lunghezza di 64 giorni, in quanto le situazioni meteorologiche responsabili dei periodi di siccità sono più stabili rispetto a quelle che determinano i periodi piovosi. L'analisi statistica proposta da FLOCCHINI *et alii* (1981) infine poneva in risalto come la forte variabilità della serie storica delle precipitazioni presentava comunque delle periodicità.

E' stato posto in rilievo inoltre (PASQUALE *et alii*, 1994, CEVASCO *et alii*, 2008) come la serie storica delle precipitazioni riferita al medesimo intervallo di tempo, a fronte di un andamento circa ciclostazionario della quantità di precipitazione, presenti un importante trend di diminuzione del numero di giorni piovosi, definendo un tasso di precipitazione che aumenta costantemente dall'inizio della serie storica determinando periodi di siccità alternati a più brevi periodi piovosi caratterizzati tuttavia da più elevata intensità, fenomeni peraltro in accordo con i modelli di variazione climatica definiti negli ultimi anni dall'International Panel for Climatic Change.

L'esame delle precipitazioni medie su altre stazioni genovesi e liguri (MINISTERO LL.PP., 1957), pone in evidenza una importante disomogeneità areale delle precipitazioni, che aumentano da ponente a levante e dal mare verso la montagna nei valori annui.

Le variazioni annue tra località anche assai prossime si riscontrano pure a livello di singolo evento piovoso, come evidenziato da FEDERICI *et alii* (2004), i quali osservano come il campo di variazione delle

The study of FLOCCHINI *et alii* (1981) on the genoise rainfall regime, based on the data provided from the historic Genoa University station (which continuously records data since 1833), stresses the importance of the following key features, from a statistical climatological point of view:

- a strong dispersion of the values of total precipitation and number of rainy days, in both the monthly and the annual values. The annual precipitation varies from a minimum of 543.5 mm to a maximum of 2764.5 mm with a number of rainy days between 67 and 157 dd/y. The monthly precipitation can reach 780 mm and up to 24 rainy dd/m were recorded. The daily precipitation reaches a maximum value of 254 mm. There is not a strict relationship between the number of rainy days and amount of precipitation; the values are not well related especially for time periods in which weather conditions different from those that usually affect the region predominate, such as heavy intensity rainfall or flooding events;
- annual precipitation distribution agrees with the precipitation of mid-latitude coastal areas, with an absolute maximum on autumn and a relative one in winter-spring period (Mediterranean transition climate), separated by an absolute minimum in summer. The average value of the annual precipitation is about 1300 mm;
- the number of consecutive rainy days (rainy periods) as well as the dry period decreases with the increasing of their duration: the former last a maximum of 23 days in March, while the latter, in the summer months, can reach 64 days as the meteorological situations causing droughts are more stable than those that determine rainy periods.

The statistical analysis proposed by FLOCCHINI *et alii* (1981), finally stresses that the strong variability of the rainfall historical series, however, presented some periodicities.

Other statistical analysis emphasized (PASQUALE *et alii*, 1994; CEVASCO *et alii*, 2008) that the historical precipitation series referred to the same span time, though presenting a stationary trend for the annual amount of precipitation, shows a significant decreasing trend for the number of rainy days so defining a precipitation rate that increases steadily since the start of the historical series. Nowadays, in other words, the drought periods alternate with shorter rainy seasons but characterized by higher intensity than in the past. These phenomena are also in agreement with models of climate change set out in recent years by the Intergovernmental Panel for Climatic Change.

The analysis of the average rainfall based on the data provided by other stations located in Genoa and, most in general, in Liguria (MINISTERO LL.PP., 1957), highlights an important uneven rainfall distribution in these areas: annual precipitation values increase, in fact, proceeding from west to east and from the sea to the mountains.

Besides the uneven rainfall distribution in the Genoa area is recognizable also at the single rainy events scale, as demonstrated by FEDERICI *et alii* (2004). These authors observed significant variations of precipitation in a few kilometres and a strong variability of the highest hourly and daily precipitation with the maximum 1-3 hours

massime precipitazioni orarie e giornaliere risultati assai differenziato con i valori massimi di precipitazioni in un'ora e in tre ore più elevati presso le stazioni costiere, mentre quelli registrati nelle 6, 12 e 24 ore risultano superiori nelle stazioni di entroterra con variazioni anche notevoli da una vallata cittadina all'altra, distanti solo pochi chilometri.

## EVENTI PLUVIOMETRICI E FRANE SUPERFICIALI SUL TERRITORIO COMUNALE GENOVESE

Assai di frequente, sul territorio genovese, i danni provocati dagli eventi alluvionali sono aggravati dal verificarsi, lungo i versanti, di frane superficiali. Le frane in oggetto, oltre a dare un contributo in termini di trasporto solido e quindi ad aumentare la massa e l'energia in gioco nelle piene, anche se talora di modeste dimensioni, possono creare sbarramenti temporanei negli alvei invasando migliaia di metri cubi che, rilasciati quasi contemporaneamente, al momento dello sfondamento generano onde anomale da cui derivano punte di piena assolutamente imprevedibili e di molto maggiori rispetto a quelle anche "estreme" valutate con i dati di massima pioggia: è evidente che questi casi, purtroppo abbastanza frequenti, sono quelli che sottraggono ad ogni previsione e controllo il comportamento di questi bacini (NOSENGO, in stampa). In Fig. 3 sono stati riportati i risultati del censimento delle frane superficiali (*debris-flow* e *soil slip*) indotte da precipitazioni sul territorio comunale genovese fra il 1991 e il 2002, effettuato nell'ambito di uno studio delle relazioni fra eventi meteorici ed innesco di frane superficiali (CEVASCO *et alii*, 2008). Le frane rappresentate (in totale 119) corrispondono a *soil slip* e *debris flow* di cui è pervenuta segnalazione al Settore Protezione Civile e Pubblica Incolumità del Comune di Genova da parte di enti, aziende o privati. Sono state escluse da questa indagine le frane in roccia (crolli, ribaltamenti, scivolamenti planari, scivolamenti a cuneo), le frane con superficie di scorrimento profonda e le riattivazioni di frane. Si ritiene che il numero di frane superficiali realmente innescate dagli eventi meteorici sia assai maggiore rispetto a quello di segnalazioni pervenute ma è, altresì, plausibile ritenere l'esistenza di un legame di proporzionalità diretta fra il numero di dissesti segnalati e quelli realmente occorsi.

E' attualmente in corso, da parte degli scriventi, lo studio delle relazioni fra le frane censite e le caratteristiche degli eventi pluviometrici "innescanti" al fine di pervenire ad una definizione delle soglie di innesco sull'intero territorio comunale. Tuttavia alcuni fattori locali, fra cui la notevole eterogeneità, forse unica nel panorama nazionale, del comune genovese sotto il profilo litologico, strutturale e geomorfologico e, in parte, la già citata disomogeneità areale delle precipitazioni che impedisce, di fatto, l'esportabilità dei dati puntuali, registrati alle singole stazioni pluviometriche, a contesti più ampi, inducono a ritenere che le soglie pluviometriche debbano riferirsi a contesti territoriali con caratteristiche di una certa omogeneità e pertanto possano assumere validità solo su aree di ridotta estensione. Ulteriori problemi sono rappresentati dal numero, non elevato, di stazioni pluviometriche di riferimento e dalla disponibilità di serie complete di dati, oltrechè dal dettaglio dei dati reperibili. Sulla base delle considerazioni sopra esposte e dei dati a disposizione si è

precipitation reaching the highest values in coastal stations, while those referred to 6, 12 and 24 hours are higher in inland stations.

## PLUVIOMETRIC EVENTS AND SHALLOW LANDSLIDES IN THE GENOA MUNICIPALITY AREA

Very frequently in the area of Genoa the damage caused by flooding events are worsened by the occurrence of shallow landslides along the slopes. These landslides increase the sediment load of rivers and therefore their mass and energy. Besides they can create temporary barrages along river-beds making possible the accumulation of thousands of cubic metres of water. When this huge amount of water is loosened all of the sudden, it can cause abnormal crests with unforeseeable flooding peaks, that have higher values than those referable to maximum rainfall events. In these cases the control and the dynamics of these basins are unlikely foreseeable (NOSENGO, in press).

In Fig. 3, are shown the results of a census of rainfall induced shallow landslides (*debris-flow* and *soil-slip*) in the Genoa area between 1991 and 2002. This census is part of a study about the relationships between precipitation and the triggering of shallow landslides (CEVASCO *et alii*, 2008). The landslides shown in the picture (119 in total) correspond to the *debris-flows* and the *soil-slips* reported, between 1991 and 2002, to the Civil Protection Office of the Municipality of Genoa by public offices, companies and citizens. Rock landslides (i.e. collapses, topplings, planar failure, wedge failure, etc.), landslides with deep sliding surface and reactivation of landslides are not included in this study. It is very likely that the number of shallow landslides really triggered by precipitation is significantly greater than the one of the reported ones.

The connection between the observed landslides and the features of the pluviometric events that triggered them is currently being studied in order to define triggering thresholds all over the Genoa area.

Nevertheless some factors listed below don't make the above thresholds applicable to the whole area. Indeed it has to be taken into account that:

- the territory around Genoa is extremely heterogeneous (perhaps unique in Italy) from a lithological, structural and geomorphological point of view;
- the precipitations in the area are not homogeneous;
- it is difficult, due to the problem above, to apply the data reported in the single pluviometric stations to wider contexts.

The triggering thresholds can therefore only refer to areas with homogeneous features and so are of limited extension.

Besides, the number of pluviometric stations is not high and the availability and the details of the data collected by those stations has to be taken into account.

On this basis, we studied a restricted area that presents homoge-

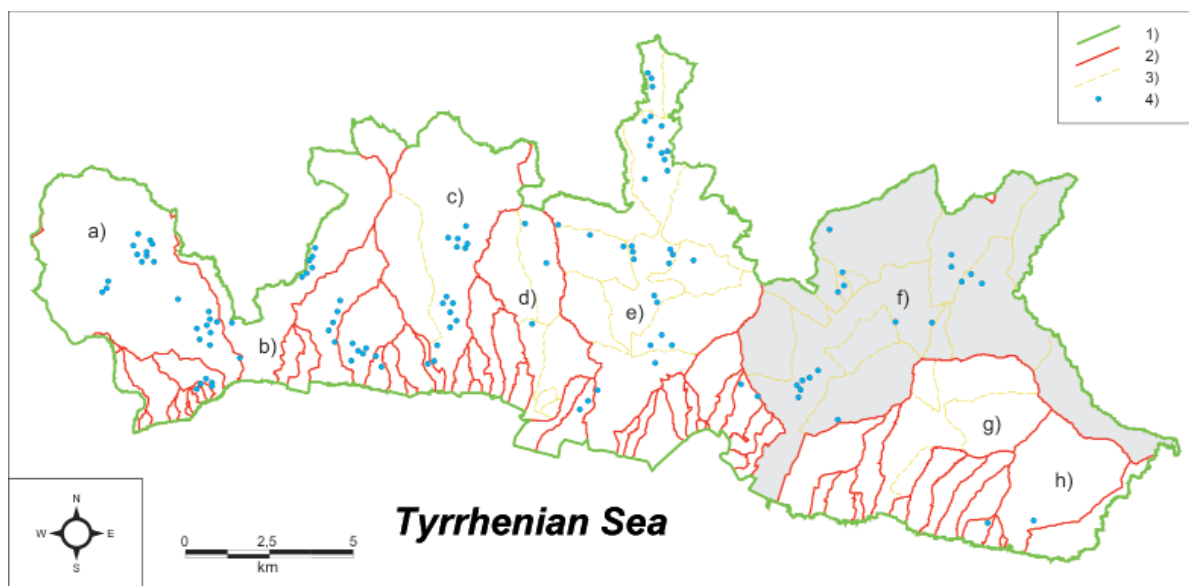


Fig. 3 - Fig. 3 - Mappa delle frane superficiali indotte da precipitazioni sul territorio comunale genovese nel periodo 1991-2002 delle quali è pervenuta segnalazione agli Uffici di Protezione Civile Comunali. I limiti dei bacini e dei sottobacini sono tratti da Comune di Genova, 1996. LEGENDA: 1) Comune di Genova; 2) bacini; 3) sottobacini; 4) frane superficiali indotte da precipitazioni; a) Val Cerusa; b) Valle del T. Leiro; c) Val Varenna; d) Val Chiaravagna; e) Val Polcevera; f) Val Bisagno; g) Valle del T. Sturla; h) Valle del T. Nervi  
 - Map of rainfall induced shallow landslides reported to the Genoa Municipal Offices between 1991 and 2002. Limits of basins and sub-basins by Comune di Genova, 1996. LEGEND: 1) Genoa Municipality area; 2) basins; 3) sub-basins; 4) Cerusa Valley; b) Leiro Valley; c) Varenna Valley; d) Chiaravagna Valley; e) Polcevera Valley; f) Bisagno Valley; g) Sturla Valley; h) Nervi Valley

ritenuto opportuno, in questa fase, orientare l'indagine su un ambito notevolmente ristretto rispetto all'intero territorio comunale; esso coincide con la porzione ricadente in Val Bisagno (Fig. 3) che, per quanto riguarda la parte urbana, è stato dichiarato "ad altissima vulnerabilità nei confronti di eventi alluvionali" dall'Agenzia di Protezione Civile (AA.VV., 2001) e, nell'ambito del complesso assetto geologico-geomorfologico genovese, è dotato di caratteristiche di relativa omogeneità.

### QUADRO GEOLOGICO E MORFOLOGICO VAL BISAGNO

Il torrente Bisagno è il corso d'acqua che scorre nella porzione centro orientale della città di Genova, interessandone la porzione più densamente urbanizzata. La lunghezza dell'asta principale è di circa 25 km e la superficie del bacino è pari a circa 93 km<sup>2</sup>. Circa 53 km<sup>2</sup> del bacino insistono sul territorio comunale di Genova per una lunghezza dell'asta principale pari a circa 15 km. Dagli oltre 800 m s.l.m. delle sorgenti, si scende bruscamente a meno di 100 m s.l.m. per poi proseguire con pendenza modestissima la seconda metà del percorso (proprio in corrispondenza dell'ingresso nel territorio comunale genovese) secondo la classica caratteristica di un torrente montano (Fig. 4). Completano il quadro morfologico la forte acclività dei versanti, la breve distanza fra lo spartiacque e la linea di riva, nonché la presenza di una stretta piana costiera, intensamente urbanizzata ed esposta al rischio di esondazione (AA.VV., 1996).

Lungo i versanti sono stati cartografati fenomeni franosi talora inattivi o quiescenti ed attivi e coltri detritiche di diversa natura e

neous features with respect to the geological and geomorphological territorial structure.

This area corresponds to the basin of the Bisagno torrent (Fig. 3) which in its terminal part flows in the most urbanized area of Genoa, and has therefore been described as "highly vulnerable area with reference to flooding events" by the National Agency of Civil Protection (AA.VV., 2001).

### GEOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL FRAMEWORK

The Bisagno torrent flows into the middle-eastern side of Genoa, affecting the most densely urbanized portion of the city. Its length is about 25 km and the surface of the basin is about 93 km<sup>2</sup>. Approximately 53 km<sup>2</sup> of the basin stand in the municipality of Genoa for a length of about 15 km. The main stream falls sharply from 800 m a.s.l., to less than 100 m in its first half, while the second half runs quite flat (just entering the genoese territory, Fig. 4). The slopes of the Bisagno basin are generally steep, the watersheds are close to the shore line and the final portion of the torrent flows through a narrow coastal plain, intensely urbanized and exposed to the risk of flooding (AA.VV., 1996).

Several landslides have been mapped along its slopes, as well as detrital sheets of various kinds and thickness (Fig. 5). The valley is characterized by the presence of coarse alluvial deposits. The typical terraces (called "fasce") characterize the slopes: most of them are



Fig. 4 - Schema della Val Bisagno. LEGENDA:  
1): bacino del Torrente Bisagno; 2): limiti Comune di Genova; 3): limiti Comune di Genova (non visibili nello schema)  
- Schematic representation of the Bisagno Valley. Legend: 1): Bisagno Valley; 2): Genoa Municipality limits; 3): Genoa Municipality limits (not visible)

spessore (Fig. 5). Forme e processi fluviali predominano nel fondovalle, caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali grossolani. Lungo i ripidi versanti si riscontrano invece i tipici terrazzamenti antropici (vulg. “fasce”) oggi soggetti a massicci fenomeni di dissesto (BRANDOLINI & RAMELLA, 1998) a causa dell’abbandono delle campagne e della espansione urbanistica.

L’ossatura geologica dell’area è costituita essenzialmente dai terreni dell’Unità dell’Antola (MARINI, 1981). Tettonicamente sovrapposta ai Flysch di Busalla (MARINI, 1989), questa unità alloctona si estende su una vastissima area, occupando senza soluzione di continuità il settore di catena appenninica grossomodo compreso fra la Val Polcevera / Valle Scrivia ad ovest ed il bacino del Trebbia ad est, estendendosi lungo la costa ligure dal centro di Genova sino a Chiavari.

L’Unità in oggetto è costituita esclusivamente da una potente successione flyschoida a dominante componente calcareo-marnosa (Calcari di Monte Antola, Campaniano-Paleocene) poggiante su un esiguo livello argillitico che ne funge da “complesso di base” (Argilliti di Montoggio, Campaniano inf.).

Interessata da scarso o nullo metamorfismo, le formazioni dell’Unità dell’Antola si mostrano però quasi ovunque soggette ad almeno tre fasi deformative: in ragione di tale intensa tettonizzazione, le argilliti del “complesso di base” affiorano, oltre che al contatto inferiore dell’Unità, anche in più punti all’interno del flysch, con ogni probabilità coinvolte a nucleo di importanti pieghe a geometria subsoclinale. Sempre a causa di tali eventi plicativi, gli spessori com-

at present running into massive disruption (BRANDOLINI & RAMELLA, 1998) as a consequence of the abandoning of the countryside.

The geological backbone of the area is represented by the “Unità dell’Antola” terrains (MARINI, 1981). Tectonically superimposed over the “Flysch di Busalla” terrains (MARINI, 1989), this autochthonous unit covers a vast area of the Ligurian Apennine, extending along the Ligurian coast from the town of Genoa to Chiavari.

The “Unità dell’Antola” consists mainly of a thick flyschoid sequence on marly-limestone basis (Calcari di Monte Antola, Campanian-Paleocene) lying on a thin argillitic level which acts as a “base complex” (Argilliti di Montoggio, Campanian inf.).

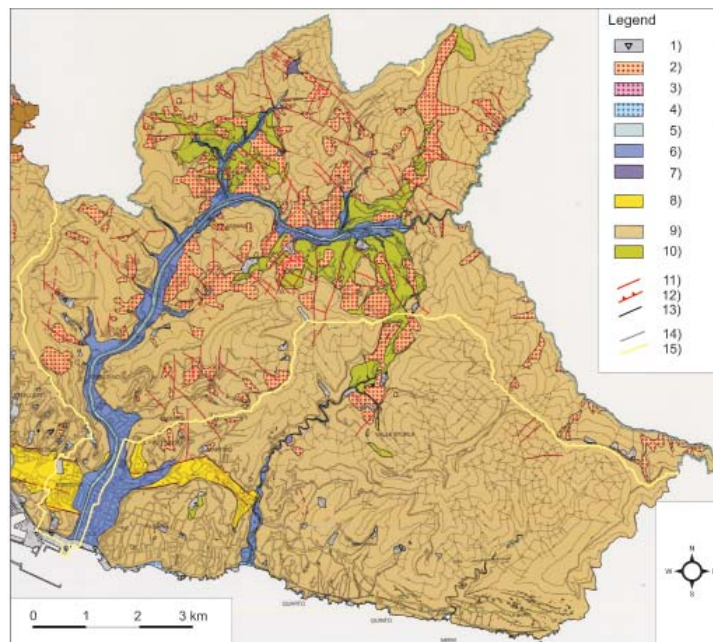
Affected by little or no metamorphism, the “Unità dell’Antola” formations show nevertheless at least three deformational phases: as a result, the argillites of the “base complex” outcrop not only at the lower contact of the Unità dell’Antola, but also in several other places, most likely involved in the core of major folds. As a consequence of these folding events, the total thickness of the “Unità dell’Antola” terrains looks multiplied, resulting in apparent stacks of thousands of meters.

Besides the Cretaceous-Paleocenic formations described above, the bedrock of the Bisagno basin contains a much younger geological formation. In the last part of the torrent stream, close to the mouth, outcrop in fact the weakly-marly clays of the “Argille di Ortovero” formation (Pliocene inf.) Deposited “in situ” above the terrains of the “Unità dell’Antola” after their tectonization, these clays stand today only into some neogenic graben, partially preserved from erosion. (BONI *et alii*, 1971).



Fig. 5 - Carta geolitologica della porzione orientale del Comune di Genova (da AA.VV., 1996, integrato). LEGENDA: 1) riporti artificiali e discariche, depositi vari rimaneggiati; 2) coltri detritico-colluviali di spessore > 2 m; 3) ammassi detritici; 4) spiagge; 5) alluvioni attuali; 6) alluvioni antiche e recenti; 7) alluvioni lacustri antiche; 8) Argille di Ortovero; 9) Calcari di M. Antola; 10) Argilliti di Montoggio; 11) faglie certe e presunte; 12) sovrascorimenti; 13) limiti formazionali; 14) limiti Comune di Genova; 15) limiti bacino Bisagno

- Lithological map of the Eastern side of the Genoa Municipality area (from V.A., 1996, integrated): LEGEND: 1) filling materials and landfills, various deposits; 2) detrital sheets (thickness > 2 m); 3) detrital masses; 4) beaches; 5) current alluvial deposits; 6) ancient and recent alluvial deposits; 7) ancient lacustrine alluvial deposits; 8) Argille di Ortovero; 9) M. Antola Flysch; 10) Argilliti di Montoggio; 11) certain and uncertain faults; 12) thrust faults; 13) formation limits; 14) Genoa Municipality limits; 15) Bisagno basin limits



plessivi dell'Unità dell'Antola risultano moltiplicati, raggiungendo così potenze apparenti dell'ordine delle migliaia di metri.

Oltre ai terreni appartenenti all'Unità alloctona cretaceo-paleocenica sopra descritta, il substrato roccioso del bacino in esame conta anche una formazione di età geologica decisamente più recente. Nella porzione del bacino prossima alla foce compaiono infatti argille debolmente marnose (Argille di Ortovero, Pliocene inf.), depositatesi in situ al di sopra dei terreni dell'Unità dell'Antola posteriormente alla loro tettonizzazione, ed oggi affioranti solo all'interno di fosse tettoniche recenti che le hanno parzialmente preservate dall'erosione (BONI *et alii*, 1971).

Oggi i Calcari di Monte Antola costituiscono la quasi totalità del substrato roccioso dell'area in esame, le Argilliti di Montoggio affiorano principalmente nel tratto centrale del bacino oltre a numerosi quanto minuti affioramenti sparsi, mentre le Argille di Ortovero occupano esclusivamente una piccola fascia nel pieno dell'area urbanizzata di Genova, in prossimità della foce del torrente.

## SOGLIE DI INNESCO DI FRANE SUPERFICIALI IN VAL BISAGNO

Fra i diversi metodi di previsione delle frane superficiali noti in letteratura (WIECZOREK & GLADE, 2005; GUZZETTI *et alii*, 2007), nel caso in oggetto sono stati utilizzati, per semplicità ed in considerazione del numero, non esteso, di eventi di riferimento, due differenti modelli empirico - pluviometrici basati sul confronto fra alcune caratteristiche degli eventi che hanno causato l'innescio di frane superficiali e le stesse caratteristiche relative ad eventi ritenuti comunque significativi, per i quali non sono note segnalazioni di instabilità. Il primo modello utilizzato è basato sulla correlazione tra le precipitazioni cumulate (precipitazioni relative agli eventi pluviometrici; somma delle precipitazioni relative agli eventi pluviometrici e delle precipitazioni verificatesi nel periodo di 15 giorni antecedenti) e le massime precipitazioni giornaliere. Tale approccio, che è stato recentemente applicato in diversi contesti significativi dell'arco alpino occidentale (BERTOLO & BOTTINO, 2006), permette di stimare le soglie di innescio anche su base stagionale e di ottenere indicazioni in merito all'importanza delle piogge cumulate nel periodo antecedente gli eventi. In considerazione

The "Calcari di Monte Antola" formation constitutes almost all of the bedrock of the studied area, the "Argilliti di Montoggio" stand primarily in the central part of the basin as well as numerous small scattered outcrops, while the "Argille di Ortovero" lie only along a small band right in the middle of the most urbanized area of the city, near the mouth of the torrent.

## RAINFALL THRESHOLDS FOR TRIGGERING SHALLOW LANDSLIDES IN BISAGNO VALLEY

Among the various methods, known in the literature, for predicting shallow landslides (WIECZOREK & GLADE, 2005; GUZZETTI *et alii*, 2007) in this case we used, for simplicity and in view of the few reference events, two different empirical - pluviometric models based on the comparison between some characteristics of events that triggered shallow landslides and the same characteristics relating to significant events for which no reports of instability are known. The first model is based on the correlation between the cumulative rainfalls (cumulated event rainfall; sum of cumulated event rainfall and cumulated rainfall in the 15 days preceding the event) and the maximum daily rainfall. This approach, which recently has been applied in different significant contexts of the Western Alps (BERTOLO & BOTTINO, 2006), makes it possible to estimate the pluviometric threshold on a seasonal base and to obtain information on the importance of cumulative rainfall fell in the period before the main events. Considering the analyzed parameters, this method is able to provide reliable results in case of long duration rainfall or, however, of pluviometric events

delle grandezze analizzate questo metodo è in grado di fornire risultati attendibili nel caso di eventi di lunga durata o comunque di durata superiore a 24 ore. Il secondo modello, è basato, invece, sull'analisi delle relazioni "intensità media - durata" degli eventi pluviometrici (WIECZOREK & GLADE, 2005; GUZZETTI *et alii*, 2007) e, in considerazione delle grandezze prese in considerazione, sembra adattarsi meglio del precedente ad eventi di breve durata e forte intensità, quali sono quelli che caratterizzano l'area in oggetto (si veda par. "Il regime pluviometrico di Genova"). Una recente applicazione di tale modello riguarda l'area delle Alpi Apuane (GIANNECCHINI, 2006), che presenta lineamenti climatici confrontabili con quelli del genovesato.

Il metodo di lavoro seguito, in entrambi i casi, può essere così schematizzato:

- reperimento di dati inerenti il verificarsi di fenomeni franosi superficiali;
- ricerca dei dati pluviometrici ricollegabili ai dissesti;
- ricerca di dati pluviometrici relativi ad eventi significativi per i quali non sono state effettuate segnalazioni di dissesti;
- individuazione delle soglie di innesco dei dissesti attraverso il confronto fra i valori precedentemente ricavati.

I dati riferiti ai fenomeni franosi superficiali provengono, come detto, da segnalazioni pervenute al Comune di Genova - Settore Protezione Civile e Pubblica Incolumità nel periodo compreso fra il 1991 e il 2002.

Per quanto riguarda i dati pluviometrici, al fine di superare le difficoltà nel reperimento di informazioni che permettessero di valutare l'evoluzione dettagliata degli eventi meteorici (sugli Annali Idrologici non sono riportati, ad esempio, i dati di piovosità relativi alle frazioni orarie), sono stati utilizzati i dati della stazione Villa Cambiaso per la quale sono disponibili, a partire dal 1990, registrazioni effettuate ogni 30 minuti. Come si può osservare in Fig. 6 tale stazione, pur non rientrando all'interno dei limiti idrografici del bacino del Torrente Bisagno, si trova a breve distanza dalla stazione Ponte Carrega, situata all'interno del bacino stesso. In ogni caso, il confronto dei dati di piovosità giornalieri relativi agli ultimi anni registrati nelle due stazioni in corrispondenza degli eventi principali ha evidenziato, nel complesso, una certa similitudine sia in termini di durata, sia di intensità degli stessi.

lasting more than 24 hours. Instead the second model is based on the analysis of the relations "average intensity - duration" of the pluviometric events (WIECZOREK & GLADE, 2005; GUZZETTI *et alii*, 2007) and, given the parameters taken into account, seems to fit better than the previous to short duration and high intensity events, such as those characterizing the study area (see par. The rainfall regime of Genoa). Recently this model has been applied to the area of the Apuan Alps (GIANNECCHINI, 2006), where the climate features are comparable with those of the Genoese area.

The followed method of work, in both cases, can be synthesized as:

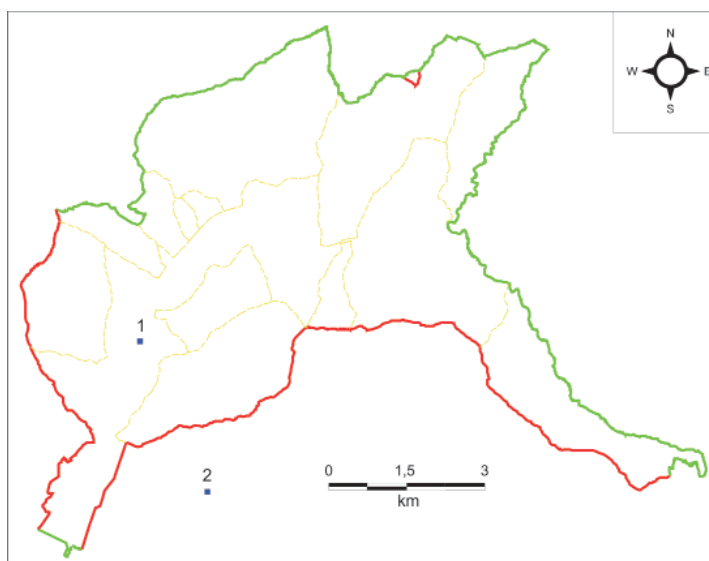
- retrieval of data concerning the occurrence of shallow landslides;
- research of pluviometric data linked to the occurrence of shallow landslides;
- research of pluviometric data on significant events for which there were no signalings of shallow landslides;
- identification of the pluviometric thresholds through the comparison between the values obtained previously.

The data concerning the occurrence of shallow landslides arise, as mentioned, by reports received from the Municipality of Genoa - Civil Protection Sector in the period between 1991 and 2002.

Regarding the pluviometric data, in order to overcome the difficulties in obtaining information about the detailed evolution of the rainfall events (Hydrological Annals do not give the hourly rainfall data), we used the data of Villa Cambiaso rain gauge, for which they are available, starting in 1990, recorded every 30 minutes. As can be seen in Fig. 6 this station, not falling within the limits of the Bisagno river basin, is not far from the Ponte Carrega rain gauge, located in the same basin. In any case, the comparison of the daily rainfall data registered by the two stations at the main events over the past years has shown, overall, a certain similarity in terms of rainfall duration and intensity.

Fig. 6 - Area di studio (porzione di Val Bisagno inserita nel territorio comunale genovese) e ubicazione delle stazioni pluviometriche di riferimento. LEGENDA: 1) stazione pluviometrica Ponte Carrega; 2) stazione pluviometrica Villa Cambiaso; le altre simbologie sono analoghe a quelle riportate in Fig. 3

- Study area (portion of the Bisagno Valley included in the Genoa Municipality area) and location of the reference rainfall stations. LEGEND: 1) Ponte Carrega rainfall station; 2) Villa Cambiaso rainfall station; the other symbols are the same as those shown in Fig. 3



**SOGLIE DI INNESCO BASATE SULLA CORRELAZIONE “PRECIPITAZIONE CUMULATA - MASSIMA PRECIPITAZIONE GIORNALIERA”**

Nell’arco temporale di riferimento, per l’area in esame, sono note 20 segnalazioni di dissesti riconducibili a 12 eventi pluviometrici (eventi “innescanti”) mentre sono stati selezionati 38 eventi pluviometrici, con caratteristiche assai varie in termini di precipitazioni cumulate sia nel corso degli eventi che durante il periodo precedente gli stessi, per i quali non sono note segnalazioni di dissesti (eventi “non innescanti”). E’ necessario evidenziare, tuttavia, che le frane superficiali occorse potrebbero essere, in realtà, assai più numerose di quelle segnalate e pertanto essersi verificate anche durante gli eventi “non innescanti”, coinvolgendo porzioni di versante non antropizzate.

Per quanto riguarda la definizione di “evento pluviometrico”, in questo caso si è considerato l’inizio dell’evento in corrispondenza del primo giorno (precedente alla segnalazione) in cui si sono verificate precipitazioni e la fine dell’evento in corrispondenza dell’ultimo giorno in cui sono state registrate delle precipitazioni. Le caratteristiche degli eventi pluviometrici presi in esame sono le seguenti:  $P_{tot}$  = precipitazione totale registrata durante l’evento pluviometrico;  $P_{max}$  = precipitazione massima giornaliera;  $P_{15dd}$  = precipitazione cumulata nei 15 giorni antecedenti l’evento pluviometrico;  $P_{tot+15dd} = P_{tot} + P_{15dd}$

Nelle figure 7 e 8 sono rappresentate le relazioni fra le precipitazioni cumulate e le precipitazioni massime giornaliere. Nei diagrammi sono indicati con simbologia differente i dati, suddivisi su base stagionale, relativi agli eventi “innescanti” e “non innescanti”. Il diagramma riportato

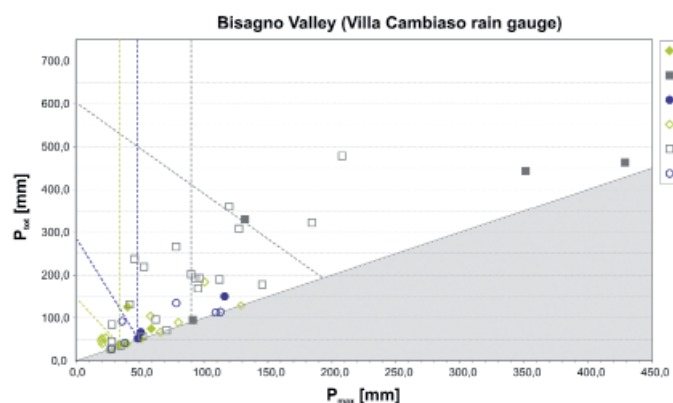


Fig. 7 - Soglie pluviometriche stagionali per l’innescamento di frane superficiali in Val Bisagno (piano  $P_{tot} - P_{max}$ ). L’area grigia indica l’impossibilità di evento pluviometrico. Spiegazione nel testo. LEGENDA: 1) eventi “innescanti” primaverili; 2) eventi “innescanti” autunnali; 3) eventi “innescanti” invernali; 4) eventi “non innescanti” primaverili; 5) eventi “non innescanti” autunnali; 6) eventi “non innescanti” invernali

- Seasonal thresholds for triggering shallow landslides in the Bisagno Valley ( $P_{tot}$  vs.  $P_{max}$ ). The grey area indicates impossibility of rainfall event. See text for explanation. LEGEND: 1) spring “triggering” events; 2) autumn “triggering” events; 3) winter “triggering” events; 4) spring “not triggering” events; 5) autumn “not triggering” events; 6) winter “not triggering” events

**PLUVIOMETRIC THRESHOLDS BASED ON THE CORRELATION “CUMULATED PRECIPITATION - MAXIMUM DAILY PRECIPITATION”**

There were 20 shallow landslides reports due to 12 significant rainy events (“triggering” events) and we selected 38 significant rainy events, with various characteristics in terms of cumulated precipitation both during the events and in the previous period, for which no shallow landslides reports were known (“not triggering” events). It is necessary to highlight, however, that the number of shallow landslides that really occurred could be far more than those reported, and therefore also in the “non-event” cases landslides could have been triggered, involving non urbanized portions of the slopes.

Regarding the definition of “pluviometric event” in this case it was considered the beginning of the event at the earliest day (the previous report) that rain occurred and ends at the last day on which were recorded precipitation values. The characteristics of the considered pluviometric events were:  $P_{tot}$  = cumulated event rainfall;  $P_{max}$  = maximum daily precipitation;  $P_{15dd}$  = cumulated rainfall in the 15 days preceding the event;  $P_{tot+15dd} = P_{tot} + P_{15dd}$

Figures 7 and 8 show the relationships between the cumulative rainfall and the maximum daily rainfall. In the diagrams the pluviometric data, broken down on a seasonal basis, related to the “triggering” events and “not triggering” events are marked with different symbols. On the diagram in Fig. 7, which shows the relationship between the cumulative precipitation recorded during the event

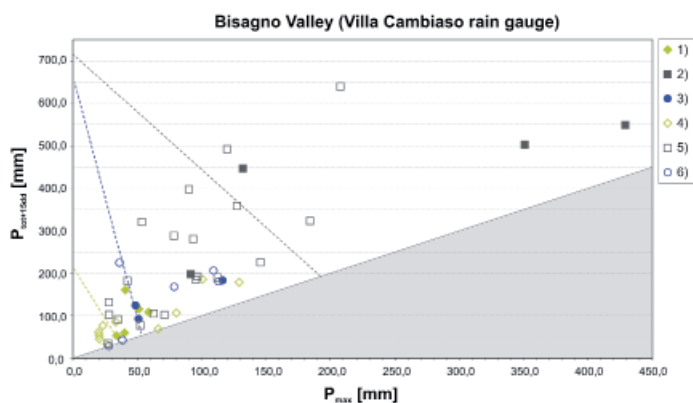


Fig. 8 - Soglie pluviometriche stagionali per l’innescamento di frane superficiali in Val Bisagno (piano  $P_{tot+15dd} - P_{max}$ ). L’area grigia indica l’impossibilità di evento pluviometrico. Spiegazione nel testo. LEGENDA: 1) eventi “innescanti” primaverili; 2) eventi “innescanti” autunnali; 3) eventi “innescanti” invernali; 4) eventi “non innescanti” primaverili; 5) eventi “non innescanti” autunnali; 6) eventi “non innescanti” invernali

- Seasonal thresholds for triggering shallow landslides in the Bisagno Valley ( $P_{tot+15dd}$  vs.  $P_{max}$ ). The grey area indicates impossibility of rainfall event. See text for explanation. LEGEND: 1) spring “triggering” events; 2) autumn “triggering” events; 3) winter “triggering” events; 4) spring “not triggering” events; 5) autumn “not triggering” events; 6) winter “not triggering” events

in Fig. 7, che riporta le relazioni fra la precipitazione totale cumulata nel corso dell'evento ( $P_{tot}$ ) e la precipitazione massima giornaliera ( $P_{max}$ ) permette di apprezzare la precipitazione minima, al disotto della quale non si scatenano eventi franosi (pari a 34 mm), mentre le linee tratteggiate verticali indicano, per ogni stagione, il valore minimo della precipitazione massima giornaliera necessario per l'insorgere di instabilità (33 mm per eventi primaverili, 48 mm per eventi invernali, 91 mm per eventi autunnali); le rette oblique, tracciate con diverso colore in base alla stagionalità e delle quali sono riportate le equazioni in Tab. 1, separano campi all'interno dei quali si sono riscontrate condizioni differenti: in particolare, i campi situati a sinistra di ogni retta di soglia individuano le condizioni pluviometriche per le quali non si hanno segnalazioni di frane superficiali mentre i campi situati a destra delle stesse rette individuano le condizioni pluviometriche per le quali, nel 50% dei casi analizzati, si sono verificati dissesti. Nei casi nei quali non è stato possibile individuare univocamente una retta di separazione (soglia autunnale in Fig. 7 e 8), si è tracciata la retta con inclinazione intermedia fra quelle possibili. Si osserva, in tutti i casi, che le soglie autunnali risultano decisamente più elevate rispetto alle soglie primaverili ed invernali. Ciò indica che in seguito alla stagione estiva, che corrisponde alla stagione meno piovosa, occorrono quantitativi di precipitazione piuttosto elevati per giungere alla saturazione delle coltri superficiali. Ciò non accade, ad esempio, nelle stagioni invernale e primaverile, precedute entrambe da stagioni più piovose rispetto a quella estiva. Analoghi risultati, in termini di significato, sono stati ottenuti dall'analisi delle relazioni fra la precipitazione totale registrata durante l'evento, cui è stata sommata la precipitazione cumulata dei 15 giorni precedenti ( $P_{tot+15dd}$ ) e la precipitazione massima giornaliera ( $P_{max}$ ), riportate in Fig. 8. Anche in questo caso le equazioni relative alle rette di soglia sono riportate in Tab. 1.

### SOGLIE DI INNESCO BASATE SULLA CORRELAZIONE "INTENSITA' MEDIA - DURATA"

Considerando che, nella maggior parte dei casi, gli eventi "innescanti" frane superficiali sul territorio genovese sono caratterizzati da elevata intensità e breve durata (< 24 ore), sono state analizzate le relazioni "intensità media - durata" dei fenomeni selezionando i dati relativi a 33 eventi (9 eventi "innescanti"; 24 eventi "non innescanti") con durata  $D < 24$  ore e con la caratteristica comune di essere stati preceduti da quantitativi di precipitazione cumulata, nei 15 giorni precedenti, non particolarmente rilevanti ( $P_{15dd} < 100$  mm). In questo caso il termine "evento" si riferisce all'evento di maggiore intensità fra quelli minori in cui possa eventualmente suddividersi ogni "evento pluviometrico" (come definito al paragrafo precedente), separati da intervalli di almeno 1 ora di assenza di precipitazioni non considerando, per quanto riguarda l'inizio ed il termine di ognuno di essi, le precipitazioni con intensità  $\leq 1$  mm/30 min.

Seasons	$P_{tot}$ [mm]	$P_{max}$ [mm]	Threshold equations ( $P_{tot}$ vs. $P_{max}$ )	$P_{tot+15dd}$ [mm]	Threshold equations ( $P_{tot+15dd}$ vs. $P_{max}$ )
Spring	34	33	$P_{tot} = - 3.26 P_{max} + 138$	53	$P_{tot+15dd} = - 4.85 P_{max} + 208$
Winter	52	48	$P_{tot} = - 4.85 P_{max} + 278$	92	$P_{tot+15dd} = - 11.39 P_{max} + 650$
Autumn	95	91	$P_{tot} = - 2.13 P_{max} + 600$	198	$P_{tot+15dd} = - 2.70 P_{max} + 712$

( $P_{tot}$ ) and the maximum daily precipitation ( $P_{max}$ ) it is possible to appreciate the precipitation minimum value, below which no trigger landslides occur (equal to 34 mm), while the dashed vertical lines indicate, for each season, the minimum value of the maximum daily precipitation necessary for the onset of instabilities (33 mm for spring events, 48 mm for winter events, 91 mm for autumn events); dashed oblique lines, plotted with different colour depending on the season (their equations are shown in Tab. 1), separate areas in which different conditions have been recognized: in particular, the fields located on the left of each pluviometric threshold line identify the conditions for which there were no signalings of shallow landslides while the fields located to the right of the same lines identify conditions for which shallow landslides occurred in 50% of the analyzed cases. In the cases for which it was not possible to clearly identify a line of separation (autumn thresholds in Fig. 7 and 8), the line with an intermediate inclination among those possible was drawn. It is possible to state in all cases that the autumn rainfall thresholds are higher than in spring and winter. This indicates that after the summer season, which is the less rainy season, the saturation of the detrital sheets needs high levels of precipitation. This is not the case, for example, in winter and spring seasons, both preceded by longer rainy seasons than in summer. Similar results, in terms of significance, were obtained from the analysis of the relationships between the precipitation recorded during the event, which was added to the cumulated precipitation of the previous 15 days ( $P_{tot+15dd}$ ) and the maximum daily precipitation ( $P_{max}$ ), shown in Fig. 8. In this case the threshold equations are shown in Tab. 1.

### PLUVIOMETRIC THRESHOLDS BASED ON THE CORRELATION "AVERAGE INTENSITY - DURATION"

As the Genoese "triggering" events are frequently characterized by high intensity and short duration (< 24 hours), we analyzed the "average intensity - duration" relations by selecting data relating to 33 events (9 "triggering" events and 24 "not triggering" events) with duration  $D < 24$  hours and with the common characteristic of having been preceded by cumulative amount of precipitation, in the previous 15 days, not particularly relevant ( $P_{15dd} < 100$  mm). In this case the term "event" is referred to the heavier intensity event among those in which any "pluviometric event" (as defined in the preceding paragraph) could be divided, separated by intervals at least 1 hour in absence of rain and not considering, concerning the beginning and end of each one of them, precipitation with intensity  $\leq 1$  mm/30 min.

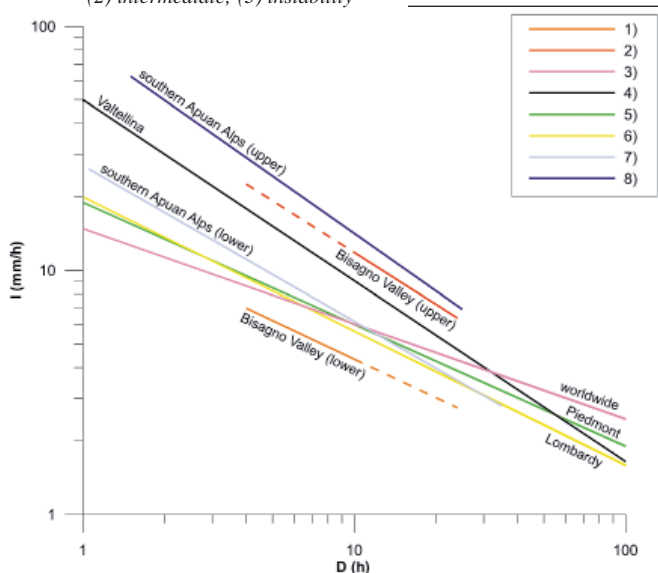
Tab. 1 - Dati caratteristici delle soglie pluviometriche stagionali individuate per la Val Bisagno  
- Data and equations related to the seasonal thresholds for the Bisagno Valley

EVALUATION OF RAINFALL THRESHOLDS FOR TRIGGERING SHALLOW LANDSLIDES ON THE GENOA MUNICIPALITY AREA (ITALY): THE CASE STUDY OF THE BISAGNO VALLEY

I dati sono stati riportati sul piano bilogaritmico “intensità - durata” con differente simbologia in funzione delle stagioni e della capacità di innescare o meno fenomeni di instabilità (Fig. 9). E’ stato possibile individuare due rette di soglia che separano 3 campi: il primo campo, cui corrispondono condizioni di stabilità; il secondo, cui corrispondono condizioni intermedie ed il terzo, cui corrispondono le condizioni pluviometriche per le quali si è verificato in tutti i casi l’innescamento di fenomeni d’instabilità. La retta inferiore, di equazione  $I = 14.5 D^{-0.525}$  risulta ben definita per eventi con durata compresa fra 4 e 10 ore mentre la retta superiore, di equazione  $I = 59.98 D^{-0.705}$  risulta ben definita per eventi di durata compresa fra 10 e 24 ore. Si può osservare che sul territorio indagato eventi caratterizzati da durata < 4 ore, indipendentemente dalla loro intensità, non sembrano in grado di generare instabilità.

Il confronto fra le rette di soglia ottenute sul piano intensità - durata per la Val Bisagno e quelle individuate da altri autori analizzando contesti differenti (Fig. 10) evidenziano, per l’area in oggetto, valori della retta soglia inferiore tendenzialmente inferiori rispetto a questi ultimi, confermando l’elevato grado di suscettività al dissesto dell’area indagata allo sviluppo di frane superficiali.

Fig. 9 - Relazioni “intensità media - durata” per 33 eventi significativi ( $P_{15dd} < 100 \text{ mm}$ ;  $D < 24 \text{ ore}$ ) verificatisi nell’area di studio fra il 1991 e il 2002. LEGENDA: 1) eventi “innescanti” primaverili; 2) eventi “innescanti” autunnali; 3) eventi “innescanti” invernali; 4) eventi “non innescanti” primaverili; 5) eventi “non innescanti” autunnali; 6) eventi “non innescanti” invernali; 7) eventi “non innescanti” estivi; 8) soglia inferiore Val Bisagno; 9) soglia superiore Val Bisagno. Campi: (1) stabilità; (2) intermedio; (3) instabilità



The data are shown on the bilogarithmic diagram “average intensity - duration” (Fig. 9) with different symbols according to the seasons and the capability to trigger or not shallow landslides. Two threshold curves, separating stability (1), intermediate (2) and instability (3) fields are recognizable. The lower threshold curve ( $I = 14.5 D^{-0.525}$ ) is well defined for events with  $4h < D < 10h$ ; the upper threshold curve ( $I = 59.98 D^{-0.705}$ ) for events with  $10h < D < 24h$ . It may be noted, that rainfalls characterized by duration < 4h, independently by their intensity, don’t seem able to trigger debris flows or soil slips in the study area.

The comparison between the obtained “intensity - duration” threshold and those identified by other authors analyzing different contexts (Fig. 10) shows lower values for the Bisagno Valley minimum threshold so confirming the high susceptibility of the study area to shallow landslides.

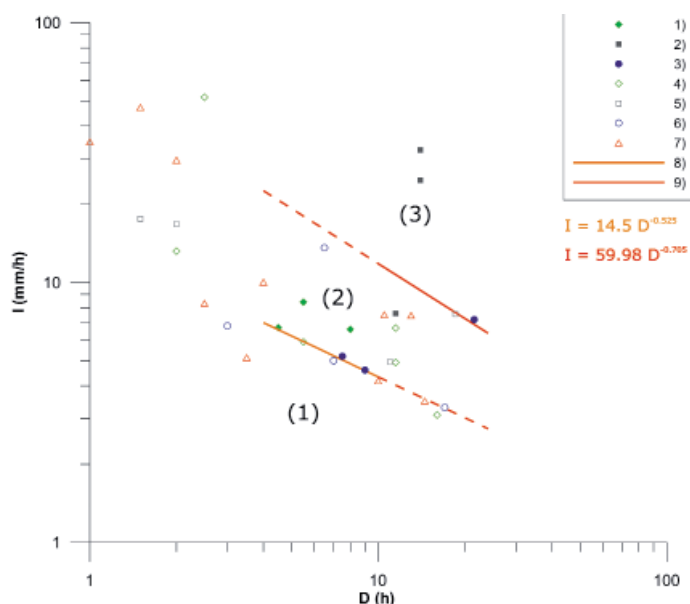


Fig. 10 - Confronto fra le curve intensità - durata ottenute per la Val Bisagno e quelle individuate da alcuni autori su altre aree. Legenda: 1) Val Bisagno (soglia inferiore); 2) Val Bisagno (soglia superiore); 3) CAINE (1980); 4) CANCELLI & NOVA (1985); 5) ALEOTTI et alii (2002); 6) CERIANI et alii (1994); 7) GIANNACCCHINI (2006); 8) GIANNACCCHINI (2006)

- Comparison between the “intensity - duration” thresholds obtained for the Bisagno Valley and the thresholds identified by some authors in other areas. Legend: 1) Bisagno Valley (lower threshold); 2) Bisagno Valley (upper threshold); 3) CAINE (1980); 4) CANCELLI & NOVA (1985); 5) ALEOTTI et alii (2002); 6) CERIANI et alii (1994); 7) GIANNACCCHINI (2006); 8) GIANNACCCHINI (2006)

## CONCLUSIONI

In considerazione delle condizioni climatiche locali, che favoriscono il verificarsi di precipitazioni di forte intensità, e della peculiare conformazione geomorfologica, caratterizzata da versanti ad acclività elevata a breve distanza dalla linea di costa, il territorio comunale genovese presenta un elevato grado di suscettività allo sviluppo di dissesti indotti da precipitazioni. Le condizioni di intensa urbanizzazione dei fondovalle e nella fascia pedemontana determinano, su tali aree, condizioni di rischio non trascurabili. In tale contesto assume notevole importanza conoscere i valori soglia delle precipitazioni, superati i quali è possibile il verificarsi di fenomeni di dissesto. Diversi problemi, fra i quali la disomogeneità areale delle precipitazioni, l'eterogeneità sotto il profilo litologico, strutturale e geomorfologico del territorio genovese non consentono, tuttavia, di elaborare una soglia da ritenersi univocamente valida sull'intero territorio comunale. Per tale motivo lo studio si è rivolto ad un ambito notevolmente ristretto, dotato di caratteristiche di relativa omogeneità, che coincide con la porzione del territorio comunale ricadente in Val Bisagno.

Partendo dai risultati di un censimento delle frane superficiali indotte da precipitazioni nel periodo 1991-2002, utilizzando i dati di una stazione pluviometrica situata in posizione limitrofa all'area di interesse, è stata effettuata un'analisi dei dati pluviometrici relativi agli eventi principali nel periodo di riferimento al fine di individuare le soglie per l'innescamento di frane superficiali. I dissesti si verificano con maggiore frequenza durante le stagioni autunnale e primaverile, che risultano anche le stagioni maggiormente piovose. L'applicazione di due differenti modelli empirico-pluviometrici che hanno preso in considerazione differenti caratteristiche degli eventi "innescanti" e "non innescanti" ha consentito di definire le soglie di innescamento locali. È necessario tenere in considerazione, tuttavia, che i risultati ottenibili dai modelli empirici, pur assai utili per valutare in termini generali la risposta dei bacini alle precipitazioni, devono essere considerati con estrema cautela nel caso in cui questi ultimi vengano applicati in sede previsionale a procedure in materia di protezione civile, soprattutto al fine di evitare il verificarsi di "falsi allarmi".

L'analisi dei rapporti precipitazione cumulata - precipitazione massima giornaliera ha messo in evidenza che i valori soglia autunnali sono notevolmente superiori rispetto a quelli invernali e primaverili. L'analisi delle relazioni intensità media - durata degli eventi ha consentito di individuare due rette di soglia che separano i campi di stabilità, intermedio e di instabilità. Il confronto fra questi risultati e quelli ottenuti da altri autori analizzando contesti differenti ha confermato l'elevata suscettività dell'area allo sviluppo di frane superficiali. I trend delle rette di soglia risentono, tuttavia, a prescindere dai limiti metodologici, di incertezze legate sia al numero, non elevato, di dati a disposizione in merito a segnalazioni di eventi franosi sia al fatto che la mancanza di segnalazioni di dissesti non è indice certo dell'assenza del loro verificarsi. L'analisi effettuata evidenzia la necessità di disporre, su scala comunale, sia di dati pluviometrici di grande dettaglio e provenienti da stazioni distribuite capillarmente sul territorio sia di data base dei fenomeni franosi costantemente aggiornati. L'elaborazione dei dati plu-

## CONCLUSIONS

Because of local climate conditions, favouring the occurrence of heavy intensity rainfall, and its peculiar geomorphological features, characterized by steep slopes very close to the coast, the Genoese municipality area has a high susceptibility to shallow landslides. The intensive urbanization of the valley and foothills produces not negligible conditions of risk. In this context the knowledge of the precipitation threshold values for triggering shallow landslides is very important. Various problems, including the uneven distribution of rainfall and its heterogeneity in terms of lithological, structural and geomorphologic conditions, don't allow us to determine a threshold representative all over the area. For this reason the study area was restricted to the portion of the municipality area located in the Bisagno Valley, which presents relatively homogeneous characteristics.

Starting from the results of a census of the rainfall induced shallow landslides in the Genoa Municipality area during the period 1991-2002, using the pluviometric data provided from a rainfall station situated very close to the area of interest, an analysis of pluviometric data referred to the main events has been carried out with the aim to identify the rainfall thresholds for triggering shallow landslides. We observed that there are more shallow landslides during the autumn and spring seasons, which are also the most rainy seasons. The application of two different empirical - pluviometric models, which took into account the different characteristics of "triggering" and "not triggering" events allow us to define the seasonal local thresholds. However, it's necessary to remind that the results obtained by using empirical models, although very useful to assess in general terms the response of the basins to precipitation, must be treated with extreme caution when they are applied to Civil Protection procedures, especially in order to avoid the occurrence of "false alarm". The analysis of the relationships between cumulated precipitation and maximum daily precipitation has shown that the threshold values are significantly higher in autumn than in winter and spring. The analysis of the relationships between average intensity and duration of the events allow us to identify two threshold curves that separate the stability, intermediate and instability fields. The comparison between these results and those obtained by other authors, analyzing different contexts, confirmed the high susceptibility to shallow landslides of the study area.

However we underline that the threshold trending has been affected, besides the limitations of the adopted methodology, by uncertainties relating to the small number of the available data about the occurrence of landslides and to other limitations, as the absence of reports does not indicate the absence of their occurrence. The analysis highlights both the need for more detailed pluviometric data provided from stations widely distributed in the territory and the great importance of updating landslide's data-base.

The processing of the rainfall measurements referred to one recent "triggering" event (February 2009) allowed a first validation

viometrici relativi ad un evento recente che ha determinato l'innescò di una frana superficiale in Val Bisagno (febbraio 2009) ha permesso di ottenere una prima validazione dei risultati ottenuti attraverso il primo modello ricadendo esattamente, il punto rappresentativo dell'evento stesso, all'interno del campo di probabilità proprio degli eventi "innescanti" invernali su entrambi i grafici "precipitazione cumulata - massima precipitazione giornaliera". D'altra parte, il verificarsi di un evento pluviometrico significativo "non innescante" (settembre 2009) - con durata 5,5 ore ed intensità media 8,58 mm/h - ricadente nel campo "intermedio" del grafico "intensità media - durata", ha permesso di validare, parzialmente, anche i risultati ottenuti dal secondo modello. La completa analisi dei dati successivi al 2002 ed il supporto di dati relativi al verificarsi di nuovi eventi significativi potrà consentire una migliore definizione delle rette di soglia individuate.

## RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento al Prof. Charles Watkins (Università di Nottingham) per la revisione del testo in inglese. Si ringrazia, inoltre, la Dott. Gloriana Francioli (Protezione Civile del Comune di Genova) per la collaborazione nella ricerca di dati relativi all'anno 2009.

## OPERE CITATE / REFERENCES

- AA.VV. (1996) - *Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova*. Cartografia geologica, geomorfologica e idrogeologica in scala 1:10.000. Comune di Genova - Amga.
- AA.VV. (2001) - *Piano degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idrogeologico in aree urbane ad altissima vulnerabilità (I° stralcio)*. Relazione generale. Agenzia di Protezione Civile.
- ALEOTTI P. (2004) - *A warning system for rainfall-induced shallow failures*. Engineering Geology, **73**: 247-265.
- ALEOTTI P., BALDELLI P., MENSIO L., QUARANTA N., TRESSO F. & ZANI A. (2002) - *Definizione delle soglie pluviometriche di innescò per le frane superficiali in Piemonte*. GEAM, **2-3**: 51-60.
- BERTOLO P. & BOTTINO G. (2006) - *Individuazione delle soglie pluviometriche di innescò di fenomeni franosi superficiali in funzione delle condizioni idrologiche locali - Analisi di alcune situazioni rappresentative nell'arco alpino occidentale*. GEAM, **1-2**: 45-57.
- BONI A., CERRO A., GIANOTTI R. & VANOSI M. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:100.000, Foglio (92-93) «Albenga-Savona»*. Serv. Geol. It., Roma, 142 pp.
- BOSSOLASCO M. (1948) - *Il ciclone di Genova nel quadro del tempo in grande*. Geofisica Pura ed Applicata, **11** (3): 3-7.
- BOSSOLASCO M., DAGNINO I. & FLOCCHINI G. (1969) - *Il contrasto terra-mare nella genesi dei temporali*. Geofisica e Meteorologia, **68**, **3/4**: 45-50.
- BOSSOLASCO M., CICONI G., DAGNINO I. & FLOCCHINI G. (1971) - *Le cause meteorologiche dell'alluvione su Genova del 7-8 ottobre 1970*. Geofisica e Meteorologia, **20**, **3/4**: 122-132.
- BRANDOLINI P. & RAMELLA A. (1994) - *Eventi alluvionali e dissesti idrogeologici: il caso della Val Varena (Liguria)*. In F. CITARELLA (a cura di), Studi geografici in onore di DOMENICO RUOCCO, Loffredo Ed., Napoli, 1994, 57-72.
- BRANDOLINI P. & RAMELLA A. (1998) - *Processi erosivi e fenomeni di dissesto su versanti terrazzati nelle valli genovesi*. In M.G. GRILLOTTI DI GIACOMO (a cura di), *I valori dell'agricoltura nel tempo e nello spazio*. Atti del Convegno geografico internazionale (Rieti, 1995), Genova, Brigati, 1998, 839-854.
- CAINE N. (1980) - *The rainfall intensity duration control of shallow landslides and debris flow*. Geografiska Annaler, **62**, **1-2**: 659-675.
- CAMPBELL R.H. (1974) - *Debris flow originating from soil slip during rainstorms in southern California*. Q. J. Eng. Geol., **7**: 339-349.
- CAMPBELL R.H. (1975) - *Soil slip, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity*. Southern California. U.S. Geological Survey Professional Paper **851**: 51 pp.
- CANCELLI A. & NOVA R. (1985) - *Landslides in soil debris cover triggered by rainstorm in Valtellina (Central Alps, Italy)*. Proc. 4th Int. Conf. on Landslides, Tokyo, 267-272.
- CANNON S.H. & ELLEN S.D. (1985) - *Rainfall conditions for abundant debris avalanches, San Francisco Bay Region, California*. California Geology, **38** (12): 267-272.
- CATI L. (1970) - *L'evento alluvionale del 7-8 ottobre 1970 sui bacini dei torrenti Leiro, Polcevera e Bisagno*. Estratto dagli Annali Idrologici, 1970 - Parte **II**: 74 pp.
- CERIANI M., LAUZI S. & PADOVAN N. (1994) - *Rainfall thresholds triggering debris flows in the alpine area of Lombardia Region, central Alps - Italy*. Proc. "Man and Mountain 94", I Conv. Int. per la Protezione e lo Sviluppo dell'ambiente montano, Ponte di Legno (BS), 123-139.

of the results obtained through the first model as the representative point of this event just falls within the "probability" field of the winter "triggering" events on both the diagrams "cumulated precipitation - maximum daily precipitation". On the other hand, the occurrence of a significant rainfall "not triggering" event in September 2009 - with duration 5.5 hours and average intensity 8.58 mm/h - whose representative point falls into the intermediate field of the diagram "average intensity - duration" allowed to validate, in part, the results obtained through the second model. The complete analysis of the data after 2002 and the support of new data will allow to improve the threshold curves trend.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Professor Charles Watkins (University of Nottingham) for his help with the translation and Dr. Gloriana Francioli (Civil Protection Office - Municipality of Genova) for her assistance in the research of reports of shallow landslide occurred in 2009.

- CEVASCO A., SACCHINI A., RICCIO L., ROBBIANO A. & VINCENZI E. (2008) - *Relationships between rainfall and shallow landslides in the Municipality of Genoa*. Geophysical Research Abstracts, **10**: EGU2008-A-05429, 2008.
- CHLEBORAD A.F. (2003) - *Preliminary evaluation of a precipitation threshold for anticipating the occurrence of landslides in the Seattle, Washington, Area*. US Geological Survey Open-File Report **03-463**.
- CLARIZIA M., GULLÀ G., SORBINO G. (1996) - *Sui meccanismi di innesco dei soil slip*. International conference Prevention of hydrogeological hazards: the role of scientific research, **1**: 585-597.
- COMUNE DI GENOVA (1996) - *Piano regolatore generale – Stato dei corsi d'acqua*. Cartografia a scala 1:5.000. Gruppo per lo studio dei Rivi del Comune di Genova - AMGA.
- COROMINAS J. & MOYA J. (1999) - *Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat river basin, Eastern Pyrenees, Spain*. Geomorphology, **30**: 79-93.
- CROSTA G. (1998) - *Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation*. Environmental Geology, **35** (2-3): 131-145.
- CROSTA G. & FRATTINI P. (2001) - *Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow*. In: MUGNAI A., GUZZETTI F., ROTH G. (eds.) *Mediterranean storms*. Proceedings of the 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms, Siena, Italy, 463-487.
- DAGNINO I., FLOCCHINI G. & PALAU C. (1978) - *Le precipitazioni del 6-10 ottobre 1977 sulla Liguria Centrale*. Atti XV I.T.A.M., 267-270.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1970) - n. **5** (Sept.- Oct.).
- DE VITA P. & REICHENBACH P. (1998) - *Rainfall-triggered landslides: a reference list*. Environmental Geology, **35** (2-3): 219-233.
- FEDERICI P.R., CAPITANI M., CHELLI A., DEL SEPPIA N. & SERANI A. (2004) - *Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria, II*. Provincia di Genova. C.N.R. G.N.D.C.I., Regione Liguria, Università degli Studi di Pisa, 243 pp.
- FLOCCHINI G., PALAU C., REPETTO I. & ROGANTIN M.P. (1981) - *Il regime pluviometrico di Genova*. CNR, AQ5/31 PF "Promozione Qualità Ambiente", 1-40.
- GIANNACCINI R. (2006) - *Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy)*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., **6**: 357-364.
- GLADE T. (1998) - *Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand*. Environmental Geology, **35** (2-3): 160-174.
- GLADE T., CROZIER M.J. & SMITH P. (2000) - *Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical "Antecedent Daily Rainfall Model"*. Pure and Applied Geophysics, **157** (6/8): 1059-1079.
- GUZZETTI F., PERUCCACCI S., ROSSI M. & STARK C.P. (2007) - *Rainfall thresholds for the initiation of landslides in Central and Southern Europe*. Meteorology and Atmospheric Physics, **98**: 239-267.
- GUZZETTI F., PERUCCACCI S., ROSSI M. & STARK C.P. (2008) - *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update*. Landslides, **5**: 3-17.
- INNES J.L. (1983) - *Debris flows*. Progress in Physical Geography, **7**: 469-501.
- LARSEN M.C. & SIMON A. (1993) - *A rainfall-intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico*. Geografiska Annaler, **75A** (1-2): 13-23.
- MARCHI L., ARATTANO M. & DEGANUTTI A. (2002) - *Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps)*. Geomorphology, **46**: 1-17.
- MARINI M. (1981) - *Analisi geologico-strutturale ed interpretazione paleogeografica e tettonica dei Calcari di M. Antola (Appennino Ligure)*. Ofioliti, **6** (1): 119-150.
- MARINI M. (1989) - *Litostratigrafia e assetto strutturale della Valpolcevera (Appennino ligure): revisione, nuovi dati e nuove prospettive*. Giornale di Geologia, Ser. III, **51/1**, Bologna.
- MINISTERO LL.PP. SERVIZIO IDROGRAFICO (1957) - *Precipitazioni medie mensili ed annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921-1950, bacini con foce al litorale tirrenico dal Roja al Magra*. Sez. Idrografica di Genova, Pubbl. n. **24**: Fasc. IV. Ist. Poligr. Stato, Roma.
- MONTGOMERY D.R. & DIETRICH W.E. (1994) - *A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding*. Water Resources Research, **30**: 1153-1171.
- NOSENGO S. (in stampa) - *Idrogeologia*. In: *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000*. Tav. 213 Genova.
- PASQUALE V., RUSSO G., SACCHINI A. & VERDOYA M. (1994) - *Precipitation rate as a signal of recent climatic variations*. Annalen der meteorologie, **30**: 278-281.
- PASUTO A. & SILVANO S. (1998) - *Rainfall as a trigger of shallow mass movements. A case study in the Dolomites, Italy*. Environmental Geology, **35** (2-3): 184-189.
- REICHENBACH P., CARDINALI M., DE VITA P. & GUZZETTI F. (1998) - *Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (Central Italy)*. Environmental Geology, **35** (2-3): 146-159.
- TERLIEN M.T.J. (1997) - *Hydrological landslide triggering in ash-covered slopes of Manizales (Colombia)*. Geomorphology, **20**: 165-175.
- TERLIEN M.T.J. (1998) - *The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds*. Environmental Geology, **35** (2-3): 124-130.
- WIECZOREK G.F. (1987) - *Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California*. In: COSTA J.E., WIECZOREK G.F. (eds.), *Debris flow/avalanches: process, recognition and mitigation*. Reviews in Engineering Geology, **7**: 93-104.
- WIECZOREK G.F. & SARMIENTO J. (1988) - *Rainfall, piezometric level and debris flows near La Honda, California, in storms between 1975 and 1983*. In: ELLEN S.D., WIECZOREK G.F. (eds.), *Landslides, Floods, and Marine Effects of the Storm of January 3-5, 1982, in the S. Francisco Bay Region, California*. US Geological Survey Professional Paper, 1434: 43-62.
- WIECZOREK G.F. & GLADE T. (2005) - *Climatic factors influencing occurrence of debris flows*. In: JAKOB M. & HUNGR O. (eds.), *Debris flow hazards and related phenomena*. Berlin, Springer, 325-362.
- WILSON R. C. & WIECZOREK G. F. (1995) - *Rainfall thresholds for the initiation of debris flows at La Honda, California*. Environmental and Engineering Geoscience, **1** (1): 11-27, 1995.

Received March 2009 - Accepted October 2009