

**L'EVENTO ALLUVIONALE DEL NOVEMBRE 2000
NELL'AREA DI PESCIA (ITALIA - TOSCANA SETTENTRIONALE):
CARATTERISTICHE DEL FENOMENO PLUVIOMETRICO ED EFFETTI INDOTTI**

**THE NOVEMBER 2000 INTENSE RAINFALL IN THE PESCIA AREA (NORTH TUSCANY,
ITALY): CHARACTERISTICS AND EFFECTS OF THE PLUVIOMETRIC EVENT**

ROBERTO GIANNECCHINI & MARIO VERANI(*)

(*) Università degli Studi di Pisa - Dipartimento di Scienze della Terra - Via S.Maria, 53 - 56126 Pisa, Italia

RIASSUNTO

Nell'autunno 2000, la provincia di Pistoia, e più in generale la Toscana nord-occidentale, insieme a gran parte dell'Italia settentrionale, è stata interessata da piogge abbondanti e pressoché continue, che hanno raggiunto la massima intensità il 20 novembre. L'evento piovoso di tale giorno ha provocato molteplici effetti soprattutto nel comune di Pescia, dove si sono innescati diversi movimenti franosi di prima generazione, generalmente riconducibili a fenomeni di scorrimento evoluti rapidamente a colata. La causa principale dell'innescio di tali movimenti franosi è da ricercare nella combinazione di un evento piovoso, non particolarmente eccezionale per pioggia cumulata e intensità, con un periodo di abbondanti piogge antecedenti l'evento stesso, che hanno determinato condizioni di equilibrio limite in molteplici versanti della zona, successivamente collassati durante l'evento del 20 novembre stesso. In effetti, alcune indagini in merito alla piovosità del mese di novembre 2000 hanno permesso di constatare come esso si sia rivelato tra i più piovosi degli ultimi anni, con valori di pioggia che hanno superato in varie zone il 40% della media annua.

Le frane del 20 novembre 2000 sono state quelle tipiche di eventi meteorici piuttosto intensi, ovvero frane superficiali rapide (tipo soil slip-debris flow) che hanno coinvolto prevalentemente i materiali della copertura superficiale. Esse si sono innescate in ambienti geologici e geomorfologici piuttosto caratteristici per tali tipi di movimento (materiali di copertura poco spessi, substrato roccioso semi-permeabile o impermeabile, piccoli impluvi, elevata acclività dei versanti). Tali frane hanno inoltre la caratteristica di coinvolgere volumi di materiale relativamente modesti, ma di innescarsi pressoché contemporaneamente e con elevata mobilità, convogliando notevoli quantità di detrito nella rete idrografica, sovente non in grado di smaltire i volumi in transito. Peraltro, a causa del prolungato periodo di precipitazioni, in diversi casi si sono attivati movimenti franosi di dimensioni più grandi e a cinematica assai più lenta. La ricerca effettuata ha mostrato come l'area di Pescia sia particolarmente vulnerabile a fenomeni di instabilità, richiedendo quindi ulteriori indagini finalizzate all'individuazione della pericolosità di frana del comprensorio pesciatino. In questa nota vengono descritte la successione, le caratteristiche degli eventi pluviometrici e la tipologia degli effetti prodotti, con riferimento prevalentemente alla dinamica dei versanti.

TERMINI CHIAVE: *evento alluvionale, frana, Toscana, Italia*

ABSTRACT

In Autumn 2000, the Province of Pistoia, and in general the north-western Tuscany and the northern Italy, was hit by heavy and nearly uninterrupted rainfall, which reached the maximum intensity on November 20th. The rainstorm of November 20th caused many effects, in particular in the municipal district of Pescia, where numerous landslides, mostly of first generation, were triggered. The most frequent type of movement of the landslides was the sliding rapidly developed in flow. The main cause of the triggering of the landslides was attributed to a combination between a rainfall event, characterized by not particularly exceptional values of total rainfall and rainfall intensity, and a long period with abundant rainfall foregoing the event of November 20th.

Considering the morphological and kinematical aspect, the landslides were typical of intense pluviometric events: rapid, shallow landslides (e.g. soil slip-debris flow) that involved almost exclusively the cover materials. They involved slopes characterized by rather typical geological and geomorphological environment for such phenomena (cover materials with small thickness, impermeable or semi-permeable bedrock, hollows, high gradient slope). Nevertheless, due to the long rainfall period, large and slow landslides were also activated.

KEY WORDS: *flood, landslide, Tuscany, Italy*

INTRODUZIONE

La Toscana, così come numerose altre regioni d'Italia, specialmente del settore nord-occidentale, nell'autunno 2000 è stata interessata dal transito di numerose perturbazioni di origine atlantica che, sin dal mese di ottobre, hanno apportato notevoli quantità di pioggia distribuite su numerosi giorni. In particolare, il mese di novembre è stato in effetti riconosciuto come uno dei più piovosi degli ultimi anni, con precipitazioni che, per quanto riguarda la Toscana nord-occidentale, hanno frequentemente superato il 40% della media annua (D'AMATO AVANZI *et alii*, 2002).

Molteplici sono state le conseguenze dell'intenso periodo piovoso: il 3 e il 6 novembre venivano coinvolte soprattutto la Versilia e la porzione più settentrionale della Media Valle del Serchio, con improvvisi eventi di piena di fiumi e torrenti e molteplici frane. Il Fiume Serchio faceva registrare portate tra le maggiori degli ultimi anni (2000 m³/s presso Monte S. Quirico, nei pressi di Lucca), esondando in diverse aree. Il 20 novembre si verificava un nuovo picco d'intensità delle piogge che interessava in maniera abbastanza generalizzata tutta la Toscana settentrionale ed in particolare le zone della Media Valle del Serchio e della Piana di Lucca; anche in questo caso numerosi sono stati i movimenti franosi innescatisi sui versanti, mentre ancora una volta nei torrenti si sono verificati intensi fenomeni di ruscellamento concentrato e trasporto in massa, con gravi danni alle infrastrutture delle aree coinvolte. Durante il nubifragio del 20 novembre, nella zona di Vinchiana (nei pressi di Lucca), una delle aree maggiormente colpite, una frana ha travolto due abitazioni, provocando la morte di cinque persone e lo sbarramento di un piccolo alveo torrentizio (D'AMATO AVANZI *et alii*, 2002).

Con riferimento all'area oggetto di studio (Figura 1), situata nella Valdinievole (provincia di Pistoia, Toscana settentrionale), le precipitazioni sono state pressoché continue per tutto il mese di novembre, raggiungendo l'apice d'intensità il giorno 20, in corrispondenza degli eventi che hanno coinvolto la Lucchesia, provocando anche in questo caso numerosi fenomeni di dissesto sui versanti ed allagamenti nei fondovalle e in alcune aree di pianura. Diversi paesi sono rimasti isolati, con numerose famiglie evacuate, sia nelle aree collinari, sia in quelle di fondovalle, interessate da fenomeni di allagamento e ristagno. Particolarmente colpiti dai fenomeni franosi sono risultati i comuni di Pescia e Massa e Cozzile (dove sono state censite complessivamente circa 150 frane) e quello di Uzzano. Per quanto riguarda le aree di pianura, i problemi maggiori sono stati causati dal Torrente Pescia, principale collettore idrico dell'area, che è esondato in vari punti, e da molti fossi e canali di minore importanza. A Ponte Buggianese, pur rimanendo negli argini, l'onda di piena del T. Pescia è giunta verso le 14.30, facendo registrare un livello idrometrico massimo di 5.75 m.

In questo lavoro vengono sintetizzate le caratteristiche dell'evento pluviometrico che si è abbattuto nei dintorni di Pescia (PT) e gli effetti principali provocati, con particolare riferimento alle conseguenze che hanno coinvolto i versanti.

INTRODUCTION

In the autumn of 2000, Tuscany, like many other Italian regions especially in the north west, was affected by the passage of a number of low pressure weather fronts originating from the Atlantic, which, from the month of October, brought notable amounts of rainfall spread over many days. In fact, the month of November in particular has been recognised as one of the rainiest months in recent years, with rainfall levels which, as regards north-west Tuscany, were often greater than 40% of the yearly average (D'AMATO AVANZI *et alii*, 2002).

The consequences of the period of intense rainfall were many and varied: on 3rd and 6th November the areas involved were mainly Versilia and the most northern part of the mid-upper Serchio valley, with sudden flood of rivers and streams and many landslides. The Serchio River recorded a discharge amongst the highest in recent years (2000 m³/s at Monte S. Quirico, near Lucca), overflowing its banks in a number of places. On November 20th a new peak of intensity in the rainfall occurred and affected the whole of northern Tuscany and particularly the areas of the mid-upper Serchio valley and the plain of Lucca. This rainstorm also triggered many landslides, while yet again the torrents were interested by intense phenomena of hyperconcentrated stream flow, with serious damage to the infrastructures of the areas involved. During the rainstorm of November 20th, in the area of Vinchiana (near Lucca), one of the most affected areas, a landslide swept away two houses, causing the deaths of five people and blocking the riverbed of a small stream (D'AMATO AVANZI *et alii*, 2002).

With reference to the area under study (Figure 1), situated in the Valdinievole (Province of Pistoia, North Tuscany), the rainfall was almost continuous for the whole month of November, reaching the peak of its intensity on the 20th, in correspondence with the events that affected the Lucca area. Also in this area the heavy precipitation gave rise to many cases of instability on the slopes and flooding in the valley floors and in some parts of the plain. Several villages were isolated, and many families evacuated, both in the hills and in the valley floors, which were affected by flooding and stagnation. The districts particularly affected by landslides were Pescia, Massa e Cozzile (where a total of 150 landslides were recorded) and Uzzano. As for the plain, the main problems were caused by the Pescia Torrent, the main catchment channel of the area, which overflowed its banks in a number of places, and by many streams and water courses of minor importance. At Ponte Buggianese, although staying within its banks, the flood wave of the Pescia Torrent was reached at about 2.30 pm, so recording a maximum hydrometric level of 5.75 m.

This paper summarises the characteristics of the pluviometric event which hit the area of Pescia (PT) and its main effects, with particular reference to the consequences on the slopes.

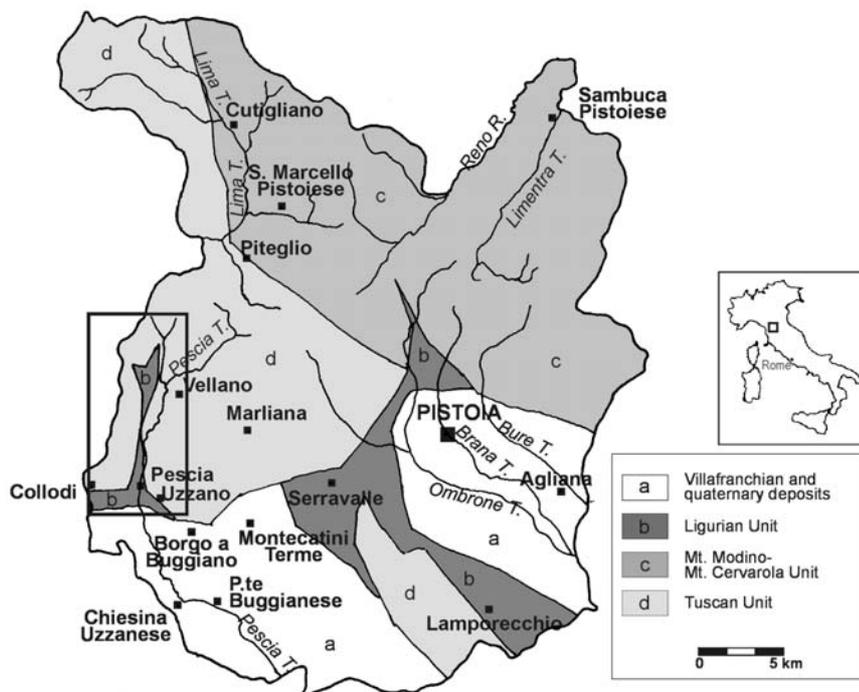


Fig. 1. - Schema tettonico della Provincia di Pistoia (da NARDI *et alii*, 1981); è evidenziata l'area di studio
 - Tectonic sketch map of the Province of Pistoia (after NARDI *et alii*, 1981); the area under study is highlighted

ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il comune di Pescia è ubicato nella Toscana centro-settentrionale, a ridosso dell'Appennino Tosco-Emiliano (Figura 1 e 2). Il suo comprensorio comunale si estende per 79.14 km² ed è caratterizzato da un territorio prevalentemente collinare, con una modesta superficie oltre i 1000 m (1.64%), nel settore settentrionale, e una porzione di pianura, pari a circa il 19%, situata nella parte meridionale del territorio comunale. La maggior parte dell'area (93.18%, pari a 73.74 km²) si colloca nelle fasce altimetriche comprese tra 30 e 1000 m, e di questi il 75.74% rientra tra le fasce comprese tra 30 e 700 m.

L'Appennino settentrionale è una catena a falde di ricoprimento derivata da una complessa storia evolutiva polifasata, che schematicamente può essere riferita a due periodi principali, in cui nel primo (Cretaceo-Miocene sup.) è prevalso uno stile eminentemente compressivo, responsabile dell'impilamento e della messa in posto delle unità tettoniche, mentre nel secondo (Miocene sup.-Pliocene inf.) si è instaurato uno stile tettonico estensionale, che ha determinato la formazione di depressioni tettoniche (Val di Serchio, Val di Magra, Valdarno Inferiore, ecc.), in cui si sono deposte potenti successioni di sedimenti lacustri e fluviali. Queste depressioni sono limitate da sistemi di faglie dirette, che generalmente hanno direzione "appenninica" (NO-SE) e sono talora interrotte da dislocazioni trasversali, "antiappenniniche". Successivamente si sono verificati ulteriori movimenti differenziali di sollevamento e abbassamento, più significativi a partire dal Pleistocene medio; alcune caratteristiche morfo-neotettoniche (riattivazione dell'erosione fluvio-torrentizia, fasi di terrazzamento, sollevamento di depositi recenti, attività sismica)

GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL SETTING

The municipal district of Pescia is located in central-north Tuscany, close to the Tuscan-Emilian Apennine mountain range (Figure 1 and 2). The whole district has an area of 79.14 km² and is characterised by prevalently hilly territory, with a modest area over 1000 m (1.64%, in the north), and an area of plain (about 19%), in the south of the district. Most of the area (93.18%, equal to 73.74 km²) is located at a height of between 30 and 1000 m, and 75.74% of this is at a height of between 30 and 700 m.

The northern Apennine is a fold and thrust chain derived from a complex, multiphased, evolutionary history, which schematically can be referred to two main periods. In the first one (Cretaceous-Upper Miocene) an eminently compressive style prevailed, responsible for the piling up and the positioning of the tectonic units. In the second (Upper Miocene-Lower Pliocene) an extensional tectonic regime was established, which determined the formation of tectonic depressions (the Serchio Valley, the Magra Valley, the Lower Valdarno, etc.), in which thick successions of lacustrine and fluvial sediments were deposited. These depressions are limited by systems of direct faults, which are generally oriented in an "apenninic" direction (NW-SE), and are locally interrupted by "anti-apenninic" transversal displacements. Subsequently, further differential lifting and lowering movements occurred, the most significant dating from the Middle Pleistocene period; some morfo-neotectonic features (reactivation of the fluvial-torrential erosion, periods of terracing, elevation of recent deposits, seismic activity) indicate that these movements are

fanno ritenere che questi movimenti perdurino tuttora.

Con riferimento alla Carta Geologica e Geomorfologica della provincia di Pistoia, a scala 1:25000 (NARDI *et alii*, 1981) e ad altri studi esistenti e in corso, nell'area di indagine sono distinguibili, dal basso verso l'alto, due unità tettoniche:

- Successione Toscana non metamorfica;
- Successioni Liguri *s.l.*

La prima è rappresentata prevalentemente dalla formazione del Macigno (Oligocene sup.-Miocene inf.), che si trova alla sommità della Successione Toscana stessa; essa è costituita essenzialmente da turbiditi arenacee ed arenaceo-pelittiche a composizione quarzoso-feldspatico-micacea: localmente, nella parte alta della formazione, la frazione siltitica può prevalere rispetto a quella arenacea e talora si intercalano argilliti grigio-scure o nere, con blocchi e livelli di calcari silicei o marnosi (olistostromi). Le arenarie sono frequentemente alterate e ossidate, dando luogo ad una sorta di sabbione rossastro più o meno coerente (spessore da alcuni decimetri a diversi metri), contenente clasti arenacei in quantità variabile, e determinando la formazione di estese coltri detritiche, in cui preferenzialmente si sono verificati i movimenti franosi del novembre 2000.

Le Successioni Liguri *s.l.* sono rappresentate esclusivamente dalle Breccie di S. Maria *Auctt.* (Campaniano inf.), in cui il litotipo dominante è costituito da argilliti grigio-scure o nerastre, manifestamente fissili e intensamente deformate. Sono riconoscibili in affioramento pieghe isoclinali e vari sistemi di scistosità. Lo spessore delle Breccie di S. Maria non è valutabile, a causa delle intense deformazioni subite; comunque, si può ragionevolmente stimare che sia di alcune decine di metri.

Sulle formazioni delle unità tettoniche precedentemente descritte, che costituiscono il substrato roccioso, poggiano i depositi recenti, riferibili ai processi morfogenetici quaternari. Essi rivestono vaste porzioni del territorio indagato, che solo localmente presenta affioramenti rocciosi. In particolare, si rinvengono depositi di versante (corpi di frana e detritici), depositi alluvionali e depositi di origine antropica. La struttura geologica, le caratteristiche litologiche delle formazioni e in parte anche la loro evoluzione tettonica esercitano un forte condizionamento sulla configurazione orografica e idrografica della zona studiata e quindi sulle sue caratteristiche geomorfologiche.

Il corso d'acqua più significativo è il Torrente Pescia, che scorre in direzione N-S; gli affluenti maggiori, sia che attraversino rocce argillitiche che rocce arenacee, mostrano in genere un reticolo idrografico scarsamente gerarchizzato, con un'asta principale relativamente sviluppata in lunghezza e poche valli affluenti, di I o II ordine, di lunghezza più limitata e pendenza maggiore. Vi sono inoltre numerose aste torrentizie di I ordine, che dai versanti in destra e in sinistra confluiscono direttamente nel fondovalle del T. Pescia.

Le forme del rilievo, soprattutto l'acclività dei versanti, sono direttamente legate alle caratteristiche dei litotipi affioranti: alle rocce prevalentemente argillitiche (Breccie di S. Maria) sono associate forme più dolci, impluvi e displuvi piuttosto ampi e arrotondati e versanti meno

still continuing.

With reference to the Geological and Geomorphologic map of the Province of Pistoia, on a 1:25,000 scale (NARDI *et alii*, 1981) and to other existent and ongoing studies, in the study area two tectonic units can be identified from bottom to top:

- Non-metamorphic Tuscan Succession;
- Ligurian Successions.

The first is represented prevalently by the Macigno Formation (Upper Oligocene-Lower Miocene), which is to be found at the summit of the Tuscan Succession itself; it is essentially made up of arenaceous and arenaceous pelitic, turbiditic, sediments with a quartzzy-feldspathic-micaceous composition: locally, in the highest part of the formation, there is more silt than sand and at times dark grey or black clays with blocks or levels of siliceous or marly limestones (olistostrome) alternate with sandstones. The sandstones are often deformed and oxidised, giving rise to a more or less consistent kind of reddish sandy soil (thickness from a few decimetres to several metres), containing arenaceous clasts in variable quantities, and causing the formation of extensive detrital soil covers, in which most of the landslides of November 2000 occurred.

The Ligurian Successions consist exclusively of the Breccias of S. Maria *Auctt.* (Lower Campanian), in which the dominant lithotypes are dark grey or blackish clays, manifestly fissile and intensely deformed. There are recognisable isoclinal folds and various schistosity systems. The thickness of the Breccias of S. Maria cannot be assessed, due to the intense deformation suffered; however, it can reasonably be estimated at a few tens of metres.

On top of the previously described tectonic units, which make up the bedrock, lie recent deposits, referred to Quaternary morphogenetic processes. These cover large parts of the area under study, which only locally present outcrops of the bedrock. In particular, slope deposits (landslide or detritus), alluvial deposits and deposits of anthropic origin can be found.

The geological structure, the lithologic features of the formations and, in part, also their tectonic evolution, exercise a strong influence on the orographic and hydrographic configuration of the area and, therefore, on its geomorphologic features.

The most important river channel is the Pescia Torrent, which flows in a N-S direction. Its main tributaries, whether they cross clay or sandstone rocks, generally show a hydrographical network which is not very hierarchical.

The morphology of the mountainous area, especially the slope of the hillsides, is directly associated with the features of the lithotypes: to the prevalently clay-like rocks (Breccias of S. Maria) are associated softer forms, rather wide and rounded valleys, and less steep hillside slopes. On the other hand, to the more resistant rocks (Macigno Fm.), correspond harsher forms and steeper hillside slopes.

In direct relation to the neotectonic evolution, to the diffusion of intensely deformed and fractured rock formations with poor

acclivi; alle rocce lapidee, più competenti (arenaria Macigno), corrispondono invece forme più aspre e versanti maggiormente acclivi.

In ragione dell'evoluzione neotettonica, della diffusione di formazioni rocciose intensamente deformate e fratturate, con scadenti caratteristiche meccaniche, della piovosità piuttosto elevata e localmente dell'attività erosiva fluvio-torrentizia, il territorio risulta ampiamente interessato dai fenomeni legati alla morfogenesi gravitativa, che determina diffuse manifestazioni d'instabilità. Tali manifestazioni sono più evidenti dove i processi di dinamica fluvio-torrentizia sono più attivi.

Molti caratteri geologici e morfologici naturali sono stati inoltre alterati e mascherati dall'attività antropica (sbancamenti, accumuli di materiali, ecc.); questo si verifica soprattutto nella parte medio-bassa dei due versanti (est ed ovest della valle del T. Pescia), intensamente urbanizzati e soggetti nel tempo a varie modificazioni nell'uso del suolo e nell'assetto idraulico.

In merito alle caratteristiche idrogeologiche dell'area, in corrispondenza del contatto Macigno-Brecce di S. Maria possono verificarsi, soprattutto al termine del periodo di maggiore piovosità, venute a giorno delle falde idriche sotterranee presenti all'interno della formazione arenacea, dotata di permeabilità secondaria per le numerose fratture causate dall'intensa tettonizzazione, mentre le Brecce di S. Maria, prevalentemente argillitiche, presentano permeabilità scarsa o nulla. Le poche sorgenti osservate hanno portata limitata (qualche litro al secondo nei periodi di morbida), che si esaurisce nella maggior parte dei casi nella stagione secca. Talvolta, si hanno emergenze diffuse con dispersione delle acque nelle coperture detritiche; questo fatto produce un doppio effetto: saturando i detriti, fa aumentare le pressioni interstizia-

mechanical features, to the quite high rainfall and locally to the erosive fluvial-torrential activity, the territory is widely affected by phenomena related to gravitational morphogenesis. This gives rise to widespread manifestations of slope instability. Such phenomena are more evident where the dynamic fluvial-torrential processes are more active. Many natural geological and geomorphological features have even been deformed and disguised by anthropic activity (excavations, accumulation of material, etc.).

Regarding the hydrogeological characteristics of the area, little springs can reveal the contact between Macigno and Breccias of S. Maria, especially after a rainy period. This is because the sandstone has secondary permeability due to the numerous fractures caused by the intense tectonic processes, whereas the Breccias of S. Maria, prevalently argillitic, are not permeable. The few springs studied have a limited flow (a few litres per second in the moderate flow periods), which in most cases dries out in the dry season. Sometimes there are widespread emergencies with dispersion of waters over the detrital soil cover. This produces a two-fold effect: saturating the detritus, it raises the pore-pressures and, swelling the underlying clays, can lead to instability due to the degradation of their physico-mechanical properties.

Furthermore, the presence of meteoric water in the surface sandy detrital soil, which covers the Macigno Formation, is of great importance. In fact, as it will be discussed later, most of the landslides were localised in these materials.

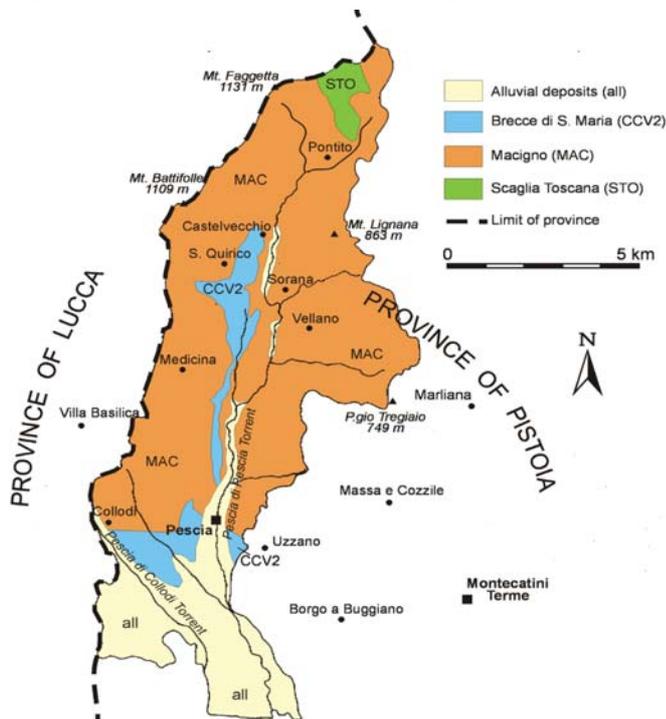


Fig. 2 - Schema geologico semplificato del Comune di Pescia (da NARDI et alii, 1981)
 - Geological sketch map of the municipal district of Pescia (after NARDI et alii, 1981)

**L'EVENTO ALLUVIONALE DEL NOVEMBRE 2000 NELL'AREA DI PESCIA (TOSCANA SETTENTRIONALE):
CARATTERISTICHE DEL FENOMENO PLUVIOMETRICO ED EFFETTI INDOTTI**

li e, facendo rigonfiare le argilliti sottostanti, predispone all'instabilità per il decadimento delle loro proprietà fisico-meccaniche.

Grande importanza assume inoltre la presenza di acqua meteorica nelle coltri detritiche superficiali a componente sabbiosa che ricoprono la formazione del Macigno. E' in questi materiali, infatti, che, come si vedrà in seguito, la maggior parte delle frane si è localizzata.

Tab. 1 - Pioggia cumulata nel novembre 2000 in alcune delle stazioni pluviometriche ubicate nelle aree maggiormente colpite dagli eventi pluviometrici (da D'AMATO AVANZI *et alii*, 2002, modificato)
- Rainfall values for November 2000 at some of the rain gauges located in the areas most affected by the pluviometric events (after D'AMATO AVANZI *et alii*, 2002, modified)

Pluviometric station	Altitude (m)	Area	Novembre 2000			Yearly average (mm)	Period	%
			Rain amount (mm)	Rainy days	Average rainy days (mm)			
Fornovolasco	470	Garfagnana	925,4	22	42,1	2455,2	1965-85	37,7
Marliana	380	Pistoiese	587,7	24	24,5	1299,3	1965-95	45,2
Pescia	62	Pistoiese	522,7	23	22,7	1219,6	1965-95	42,9
Palagnana	710	Media Valle del Serchio	843,2	22	38,3	2393,1	1965-95	35,2
Piaggione	56	Media Valle del Serchio	587,4	23	25,5	1309,8	1965-95	44,8
Mutigliano	36	Piana di Lucca	548,8	23	23,9	1286,1	1965-95	42,7
Lucca	16	Piana di Lucca	514,0	22	23,4	1190,6	1965-95	43,2
Retignano	325	Alta Versilia	767,8	23	33,4	1788,0	1965-95	42,9
Pietrasanta	22	Versilia	457,2	21	21,8	1096,3	1965-95	41,7
Camaiore	47	Piana camaiorese	429,2	20	21,4	1412,2	1965-95	30,4

L'EVENTO PLUVIOMETRICO DEL NOVEMBRE 2000 NELL'AREA DI PESCIA

CONDIZIONI ANTECEDENTI AL 20 NOVEMBRE

Il mese di novembre 2000 è stato caratterizzato da precipitazioni relativamente intense, ma piuttosto prolungate, che hanno manifestato due picchi principali d'intensità nei giorni 6 e 20 e che hanno interessato tutta la Toscana e gran parte dell'Italia centro-settentrionale. In Tab. 1 sono riportati i valori mensili registrati in alcune stazioni della Toscana nord-occidentale.

La ricostruzione dell'evento piovoso per la zona di Pescia è stata eseguita mediante l'utilizzazione dei dati pluviometrici forniti dalle stazioni di Pescia e Marliana, gestite dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa e situate in prossimità dell'area maggiormente colpita dai dissesti. Per la stazione pluviometrica di Vellano, anch'essa situata nelle immediate vicinanze della zona in oggetto, non è stato possibile utilizzare i dati, a causa del cattivo funzionamento della strumentazione.

Nell'area oggetto di studio le precipitazioni hanno raggiunto l'apice d'intensità il giorno 20, allorché furono registrati, presso le stazioni pluviometriche di Pescia (62 m s.l.m.) e Marliana (380 m s.l.m.), rispettivamente 110.8 e 125.4 mm nell'arco delle 24 ore.

Il periodo prolungato di piogge era tuttavia iniziato già a partire dal mese di ottobre, anche se di modesta entità. La stazione pluviometrica di Pescia aveva infatti registrato, nel mese di ottobre, 143.7 mm distribuiti in 12 giorni piovosi (giorni in cui si registra almeno 1 mm di pioggia secondo la definizione del Servizio Idrografico), mentre quella di Marliana ne aveva segnalati 181.3 nello stesso numero di giorni piovosi. Nel mese di novembre, le piogge sono diventate pressoché continue, registrando, solo nei primi 11 giorni consecutivi, 221.4 mm presso la stazione di Pescia (con una media giornaliera di 20.1 mm) e 257.6 mm alla stazione di Marliana (media giornaliera di 23.4 mm). In realtà, un primo evento di una certa intensità si era verificato già tra il 2 e il 3 novembre,

THE PLUVIOMETRIC EVENT OF NOVEMBER 2000 IN THE AREA OF PESCIA

CONDITIONS PRIOR TO 20th NOVEMBER

The month of November 2000 was characterised by relatively intense, but quite prolonged, precipitations, which had two main peaks of intensity on the days of the 6th and the 20th. These affected the whole of Tuscany and a large part of north-central Italy. Table 1 shows the monthly values recorded at some of the stations in north-west Tuscany.

The reconstruction of the rainstorm for the Pescia area was achieved through the use of the rainfall data supplied by the pluviometric stations of Pescia and Marliana, managed by the Hydrographic and Mareographic Office of Pisa and situated close to the area most affected by the slope instabilities. Due to malfunction of the instruments, it was not possible to use the data from the rain gauge of Vellano, also situated in the immediate vicinity of the area in question.

In the study area the precipitation reached the maximum intensity on the 20th, when at the rain gauge of Pescia (62 m a.s.l.) and Marliana (380 m a.s.l.) 110.8 and 125.4 mm were recorded respectively in the course of 24 hours.

However, the prolonged period of rainfall already began in the month of October, even though of a modest extent. In fact, in the month of October, the rain gauge of Pescia recorded 143.7 mm over 12 rainy days (days in which at least 1 mm of rainfall is recorded as defined by the Italian Hydrographic Service), whereas the Marliana rain gauge recorded 181.3 mm in the same number of rainy days. In the month of November, the rainfall became almost continuous, recording, in the first consecutive 11 days alone, 221.4 mm at the pluviometric station of Pescia (daily average of 20.1 mm) and 257.6 mm at the station of Marliana (daily average of 23.4 mm). Actually, there had already been a prior event of a certain intensity between November 2nd and 3rd, not with

con piogge non particolarmente intense (90.2 mm/32h e 111.4 mm/32h a Pescia e Marliana rispettivamente), ma che avevano interessato terreni già assai imbevuti d'acqua, provocando quindi qualche allagamento e localmente alcuni dissesti di modeste dimensioni. Durante questo evento, il T. Pescia aveva fatto registrare un livello idrometrico massimo di 4.75 m verso le ore 20.00 del 2 novembre presso Ponte Buggianese. Un picco secondario, di debole intensità (42.0 e 54.4 mm/12h alle medesime stazioni) si era verificato anche il 6 novembre, allorché venivano assai più intensamente coinvolte la zona versiliese e la Media Valle del Serchio, con numerose frane e straripamenti di fiumi e torrenti. Nell'area di Pescia, invece, le piogge del 6 novembre non hanno provocato effetti particolarmente significativi. In figura 3 è riportata una parziale sequenza delle immagini da satellite del 5-6 novembre 2000, in cui si nota la consistente area ciclonica con centro sulla Francia nord-occidentale.

particularly intense rainfall (90.2 mm/32hr and 111.4 mm/32hr at Pescia and Marliana respectively), but which affected already very saturated soil. This provoked some flooding and locally some instability phenomena of modest dimensions. During this event the Pescia Torrent recorded a maximum hydrometric level of 4.75 m at about 20.00 on November 2nd near Ponte Buggianese. A second peak, of weak intensity (42.0 and 54.4 mm/12hr at the same pluviometric stations) also occurred on November 6th, when the Versilia area and the mid-upper Serchio valley were much more intensely affected, with numerous landslides (prevalently soil slip-debris flows) and the overflowing of rivers and torrents. Instead, in the Pescia area, the rainfall of November 6th did not provoke any particularly significant effects. Figure 3 shows a partial sequence of the satellite images for November 5th-6th 2000, in which can be seen the important cyclonic area with its centre over north-west France.

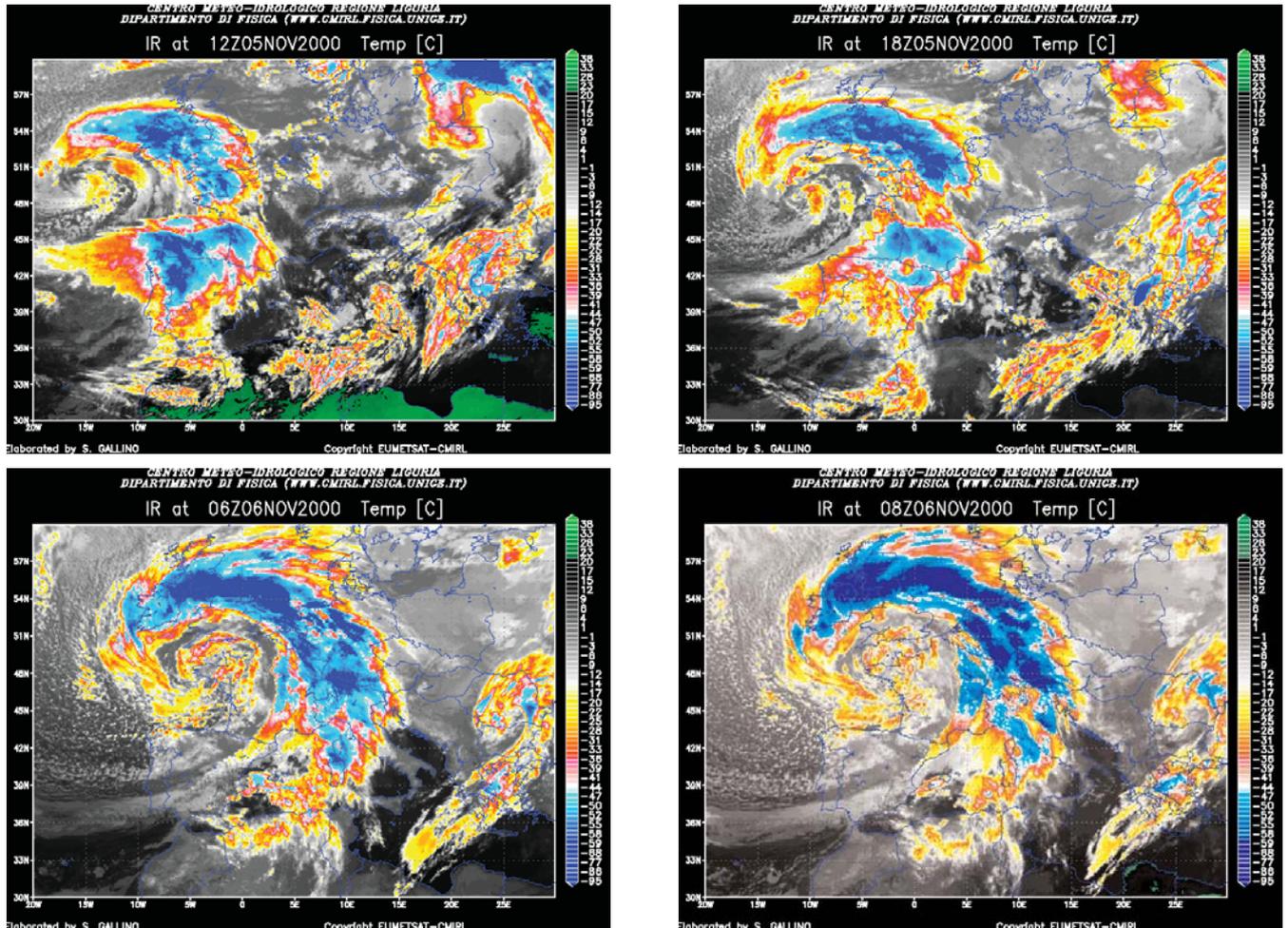


Fig. 3 - Sequenza di immagini all'infrarosso (riprese dal satellite EUMETSAT) della vasta area ciclonica in rapido transito sull'Europa nei giorni 5-6 novembre 2000 (immagini fornite da ARPAL - Centro Meteo-Idrologico Regione Liguria)
 - Sequence of infrared images (taken by the EUMETSAT satellite) of the vast cyclonic area in rapid transit over Europe on the days November 5th-6th 2000 (images supplied by ARPAL - Meteo-Hydrological Centre for the Liguria Region)

L'EVENTO ALLUVIONALE DEL NOVEMBRE 2000 NELL'AREA DI PESCIA (TOSCANA SETTENTRIONALE):
CARATTERISTICHE DEL FENOMENO PLUVIOMETRICO ED EFFETTI INDOTTI

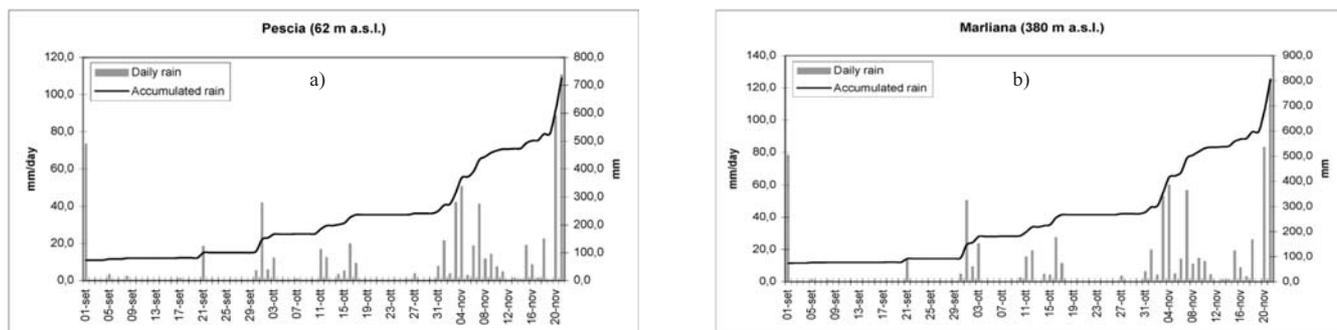


Fig. 4 - Pioggia giornaliera e cumulata per il periodo 1° settembre - 21 novembre 2000 alle stazioni di Pesca (a) e Marliana (b) (dati forniti dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa)
- Daily and total rainfall for the period September 1st - November 21st 2000 at the rain gauges of Pesca (a) and Marliana (b) (data supplied by Hydrographic and Mareographic Office of Pisa)

Complessivamente, dal 1° settembre al 21 novembre (compresi quindi i quantitativi registrati durante l'evento) sono caduti 725.4 mm di pioggia alla stazione di Pesca e 805.6 mm a quella di Marliana (Figura 4), distribuiti in 37 e 36 giorni piovosi, rispettivamente.

L'EVENTO DEL 20 NOVEMBRE 2000

L'evento del 20 novembre, frutto ancora di una vasta area di instabilità che interessa praticamente tutta l'Europa (Figura 5) e che sostanzialmente non è mai venuta meno sin dal mese di ottobre, si abbatte quindi su una zona in cui i terreni sono estremamente imbevuti d'acqua, probabilmente al limite della saturazione.

Dal 1° ottobre, la pioggia cumulata caduta fino alle ore 22.00 circa del 19 novembre, momento in cui inizia la precipitazione che porterà all'innescare dei fenomeni franosi, è quantificabile in 419.5 mm alla stazione di Pesca e in 500.2 mm alla stazione di Marliana, con una media giornaliera di 8.4 e 10.0 mm, rispettivamente (la media distribuita solo

In total, from September 1st to November 21st (therefore including the amounts recorded during the event) 725.4 mm of rain fell at the station of Pesca and 805.6 mm at the station of Marliana (Figure 4), spread over 37 and 36 days of rain, respectively.

THE EVENT OF NOVEMBER 20th 2000

The event of November 20th, also born out of a vast area of meteorological instability which affected practically all of Europe (Figure 5) and which substantially never weakened from the month of October, therefore hit an area where the soil was already extremely water-logged, probably to saturation point.

From October 1st, until about 22.00 on November 19th, the starting point for the precipitation which would lead to the triggering of the landslides, the total rainfall was 419.5 mm at the Pesca station and 500.2 mm at the Marliana station, with a daily average of 8.4 and 10.0 mm, respectively (instead, the average for the rainy days alone

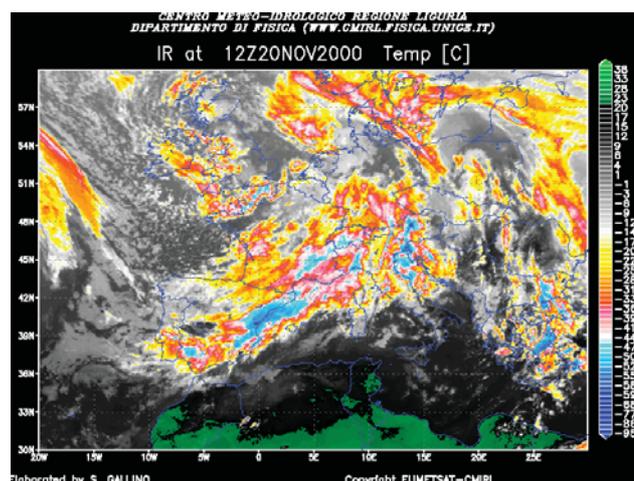
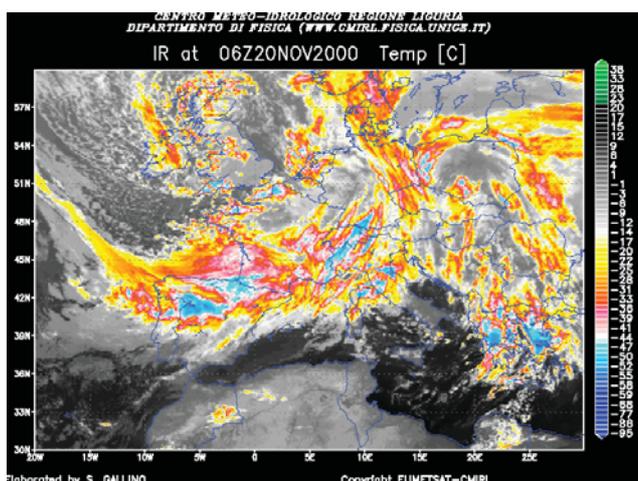


Fig. 5 - Immagini all'infrarosso riprese dal satellite EUMETSAT alle ore 6.00 e 12.00 della nuova perturbazione che interessa quasi tutta l'Europa il 20 novembre 2000 e che per diverse ore staziona anche sull'Italia centro-settentrionale (immagini fornite da ARPAL - Centro Meteo-Idrologico Regione Liguria)
- Infrared images taken by the EUMETSAT satellite at 6.00 and 12.00 of the new system of low pressure which affects almost all of Europe on November 20th 2000 and which for several hours also stops over north-central Italy (images supplied by ARPAL - Meteo-Hydrological Centre for the Liguria Region)

sui giorni piovosi risulta invece di 14.5 e 17.2 mm alle due stazioni).

Dopo una breve pausa con assenza di pioggia, durata poco meno di 48 ore, intorno alle 22.00 del 19 novembre inizia nuovamente a piovere, con un'intensità non particolarmente elevata, ma pressoché costante sino a circa le ore 19.00 del 20 novembre (Figura 6): la media oraria è risultata di 7.3 mm/h alla stazione di Pescia e 7.2 mm/h a quella di Marliana. In realtà, tra le 22.00 del 19 e le 19.00 del 20 novembre, le piogge sono state caratterizzate da due picchi principali, verificatisi tra le 23.00 e le 7.00 e tra le 11.00-12.00 e le 18.00, intervallati da una pausa di qualche ora in cui le precipitazioni sono diminuite considerevolmente, talora cessando. Durante il primo picco, il pluviometro di Pescia ha registrato 79.0 mm in 7 ore, con una media di 11.3 mm/h e un'intensità massima di 17 mm/h; il pluviometro di Marliana ha invece registrato 82.2 mm in 8 ore, con una media di 10.3 mm/h e una punta massima di 16 mm/h. Nel secondo picco piovoso, la stazione di Pescia ha registrato 54.4 mm in 6 ore (media di 8.4 mm/h e punta massima di 11.4 mm/h) mentre quella di Marliana ha registrato 54.8 mm in 6 ore (media di 9.1 mm/h e valore massimo di 17 mm/h).

Stando alle informazioni reperite presso residenti e tecnici del comune, la maggior parte delle frane si sarebbe innescata tra la mezzanotte del 19 e l'alba del 20 novembre, ovvero quando la stazione pluviometrica di Pescia aveva registrato tra i 12.6 mm/3h e i 57.6 mm/6h, mentre quella di Marliana, posta a quota superiore, ne aveva registrati tra i 15.2 mm/3h e i 52.2 mm/6h. Tali precipitazioni sono caratterizzate da un'intensità relativamente modesta e da un tempo di ritorno verosimilmente piccolo. E' evidente quindi che la straordinarietà dell'evento va ricercata non tanto nella singola precipitazione innescante, quanto nell'associazione di questa con un periodo precedente caratterizzato da piogge abbondanti e distribuite, che hanno evidentemente determinato nei terreni di copertura un elevato grado di saturazione. Peraltro, come viene evidenziato anche in figura 6, le frane si sarebbero attivate in corrispondenza dei picchi più elevati d'intensità dell'evento, mentre non sembra si siano attivati movimenti significativi dopo l'alba del 20, sempre stando alle informazioni reperite, allorché l'intensità della pioggia è stata in genere più modesta.

is 14.5 and 17.2 mm at the two stations).

After a brief pause with no rainfall, lasting a little less than 48 hours, at about 22.00 on November 19th it started to rain again, not particularly intensely, but almost constantly until about 19.00 on 20th November (Figure 6): the hourly average turned out to be 7.3 mm/hr at the Pescia station and 7.2 mm/hr at the Marliana station. Actually, between 22.00 on 19th and 19.00 on 20th November, the rainfall was characterised by two main peaks, which occurred between 23.00 and 7.00 and between 11.00-12.00 and 18.00, separated by a pause of a few hours in which the precipitation considerably decreased, at times stopping. During the first peak, the rain gauge at Pescia recorded 79.0 mm in 7 hours, with an average of 11.3 mm/hr and a maximum intensity of 17 mm/hr; instead, the gauge at Marliana recorded 82.2 mm in 8 hours, with an average of 10.3 mm/hr and a maximum of 16 mm/hr. In the second peak of rainfall, the Pescia station recorded 54.4 mm in 6 hours (average of 8.4 mm/hr and maximum of 11.4 mm/hr) while the Marliana station recorded 54.8 mm in 6 hours (average of 9.1 mm/hr and maximum of 17 mm/hr).

According to the information obtained from residents and technicians of the municipal district, most of the landslides seem to have been triggered between midnight on 19th and dawn on 20th November, namely when the Pescia rain gauge had recorded between 12.6 mm/3hrs and 57.6 mm/6hrs, while the Marliana station, at a greater elevation, had recorded between 15.2 mm/3hrs and 52.2 mm/6hrs. Such precipitation events are characterised by a relatively modest intensity and probably by a small return time. Obviously, therefore, the extraordinary nature of the event must be sought not so much in the single triggering precipitation, as in its association with an antecedent period characterised by abundant, widespread rainfall, which obviously caused a high degree of saturation in the soil. On the other hand, as highlighted in figure 6, the landslides seem to have been triggered at the time of the highest peaks of intensity of the event, whereas, still according to the information obtained, no significant movements seem to have been triggered after dawn on 20th, when the intensity of rainfall was generally more modest.

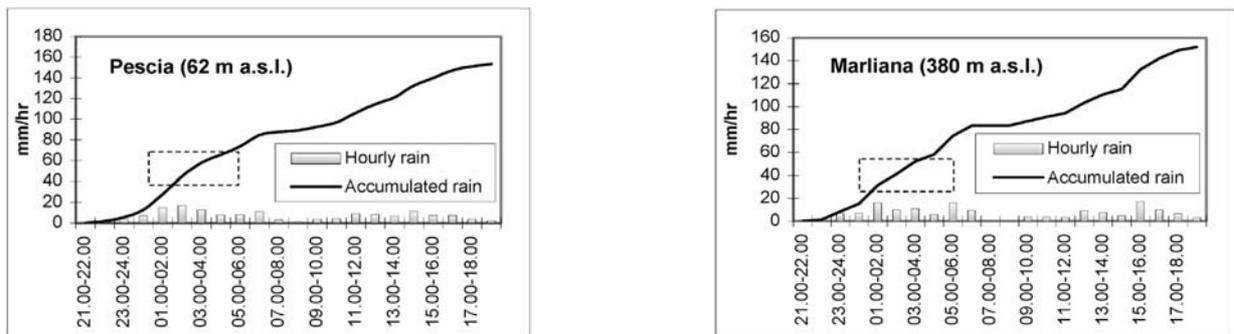


Fig. 6 - Pioggia oraria e cumulata dell'evento del 20 novembre 2000 alle stazioni di Pescia e Marliana (dati forniti dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa). Nel riquadro è rappresentato il periodo in cui si sarebbe innescata la maggior parte delle frane
 - Hourly and total rainfall for the event of November 20th 2000 at the Pescia and Marliana raingauges (data supplied by the Hydrographic and Mareographic Office of Pisa). The period in which most of the landslides were triggered is shown in the square

EFFETTI PRODOTTI DALLE PIOGGE NELL'AREA DI PESCIA

Gli effetti indotti dall'evento pluviometrico hanno riguardato sia le aree di fondovalle che i versanti del comprensorio comunale di Pescia. Per quanto riguarda i primi, numerosi sono stati gli episodi di tracimazione dei torrenti della zona (tra cui i torrenti Pescia di Collodi e Pescia di Pescia) e dei vari piccoli corsi d'acqua che convergono nel Torrente Pescia, con allagamento di diverse aree che, in molti casi, hanno costretto gli abitanti all'evacuazione delle proprie abitazioni.

I versanti sono stati interessati dall'insorgere di numerosi fenomeni franosi, solitamente di piccole dimensioni (Figura 7), con scarsi volumi di materiale detritico mobilizzato, e non hanno causato fortunatamente vittime tra la popolazione.



EFFECTS PRODUCED BY THE RAINFALL IN THE AREA OF PESCIA

The effects produced by the rainfall event concerned both the low-lying areas and the slopes in the district of Pescia. As for the former, there were many cases of overflowing torrents in the area (among which the Pescia di Collodi and Pescia di Pescia torrents) and of the various small torrents which converge in the Pescia Torrent, causing flooding in several areas. In many cases inhabitants were forced to evacuate their homes. The slopes were affected by the triggering of numerous, usually small, landslides (Figure 7), with limited volumes of mobilised debris. Fortunately, they did not cause victims among the population.

Fig. 7 - Una tipica frana di scorrimento-colata di modeste dimensioni innescatasi in Val di Torbola
- A typical slide-flow landslide of small size triggered in Torbola Valley

Tuttavia, in molteplici casi le frane hanno minacciato abitazioni che sono state cautelativamente evacuate. In numerose altre situazioni, esse hanno interessato prevalentemente le strade, causando interruzioni e isolamento di paesi collinari e montani. Complessivamente, nel solo comune di Pescia si sono attivate almeno settanta frane, riconducibili prevalentemente a movimenti superficiali rapidi di tipo scorrimento-colata di detrito e terra (complex, translational debris/earth slide-flow - CRUDEN & VARNES, 1996), definiti anche soil slip-debris flows, ovvero quelli tipici di eventi piovosi particolarmente intensi (CAMPBELL, 1975; GOVI & SORZANA, 1980; WIECZOREK, 1987; ELLEN & FLEMING, 1987; CROSTA *et alii*, 1990; COROMINAS *et alii*, 1996; CROSTA, 1998) (Figura 8a e 8b).

In rari casi si sono verificate anche altre tipologie di movimento, riferibili in particolare allo scorrimento traslativo e allo scorrimento roto-traslativo. Le frane, quasi tutte di prima generazione, hanno coinvolto pressoché esclusivamente le coperture colluviali dei versanti e, in qualche caso, anche la porzione maggiormente alterata e fratturata del substrato.

However, in many cases the landslides threatened homes that were evacuated as a cautionary measure. In numerous other situations, they predominantly affected the roads, causing interruptions and the isolation of hill and mountain villages. Collectively, at least seventy landslides triggered in the council district of Pescia alone, mainly attributable to rapid shallow movements (complex, translational debris/earth slide-flow - CRUDEN & VARNES, 1996), also defined as soil slip-debris flows. Such landslides are typical of particularly intense rainfall (CAMPBELL, 1975; GOVI & SORZANA, 1980; WIECZOREK, 1987; ELLEN & FLEMING, 1987; CROSTA *et alii*, 1990; COROMINAS *et alii*, 1996; CROSTA, 1998) (Figure 8a e 8b).

In rare cases, other types of movements also occurred, particularly attributable to translational slide and to rotational-translational slide. The landslides, almost all first generational, involved almost exclusively the colluvial material of the slopes and, in some cases, also the most deformed and fractured portion of the bedrock. The landslides mainly located where there was a bedrock composed of sandstone (Macigno Fm.) and, only subordinately, of the Breccias of

Le frane si sono impostate prevalentemente laddove era presente un substrato costituito dalla formazione del Macigno e, solo in subordine, dalle Breccie di S. Maria; d'altra parte, esse rappresentano le principali formazioni presenti nella zona, con una diffusione del Macigno assai superiore a quella delle Breccie di S. Maria. Peraltro, non è secondario sottolineare come l'associazione Macigno-frane superficiali sia già stata evidenziata da D'AMATO AVANZI *et alii* (2002) in Lucchesia, mentre D'AMATO AVANZI *et alii* (2000, 2003, 2004) hanno riscontrato una forte relazione tra questo tipo di frane e lo Pseudomacigno, corrispondente metamorfico del Macigno, in diverse aree del comprensorio apuano.

Alcune stime, effettuate sulla base dei rilievi sulle frane, hanno consentito di ricavare la superficie totale coinvolta nei movimenti franosi e il volume di materiale solido mobilizzato, quantificati rispettivamente in circa 25000 m² (corrispondente allo 0.03% della superficie dell'intero comprensorio comunale di Pescia e allo 0.04% se si esclude l'area pianeggiante) e in circa 35000 m³. Nonostante i ridotti volumi coinvolti generalmente dai singoli fenomeni, la loro pericolosità risiede nel fatto che queste frane, una volta superata la soglia pluviometrica critica, si diffondono rapidamente e pressoché simultaneamente, spesso incanalandosi nella rete idrografica secondaria e creando le condizioni per irruenti fenomeni di trasporto in massa nei fondovalle, con evidenti rischi per abitati ed infrastrutture.

Un aspetto piuttosto importante emerso durante i rilievi riguarda la collocazione delle frane, che, come frequentemente accade durante questi fenomeni, si innescano spesso immediatamente al di sotto

S. Maria. Then again, these are the main formations present in the area, with Macigno being much more widespread than the Breccias of S. Maria. Besides, it is important to underline how the Macigno-shallow landslide connection has already been highlighted by D'AMATO AVANZI *et alii* (2002) in the Lucca area, while D'AMATO AVANZI *et alii* (2000, 2003, 2004) found a strong connection between this type of landslide and the Pseudomacigno Fm. (metamorphic correspondent of Macigno), in various areas of the Apuan area.

Some estimates, based on the landslide surveys, enabled the calculation of the total surface area involved in the mass movements and the volume of material mobilised, quantified respectively at about 25,000 m² (corresponding to 0.03% of the surface within the district of Pescia and to 0.04% if the low-lying land is excluded) and at about 35,000 m³. Despite the reduced volumes generally involved in each single shallow landslide, these mass movements are very dangerous; in fact, once surpassed the critical rainfall threshold, they spread rapidly and almost simultaneously and are often conveyed into the secondary hydrographic network, creating the conditions for violent phenomena of transport *en masse* in the valley floors, with obvious risks to the inhabitants and infrastructures.

One quite important aspect which emerged during the surveys regards the location of the landslides, which, as frequently occurs during these phenomena, often triggered immediately below roadways; this fact again raising the connection between landslides and poor, or lack of, water drainage in proximity to roadways. In general, when events occur at the limit of the rainfall threshold, as can be



Fig. 8 - Soil slip-debris flows innescatisi sui colli per Uzzano (a) e nei pressi di Pescia (b). In realtà, nella prima, oltre alle due colate rapide si è messo in movimento anche tutto il settore compreso tra le stesse, con caratteristiche cinematiche più lente
 - Soil slip-debris flows triggered on the hills towards Uzzano (a) and near Pescia (b). Actually, in the first, in addition to the two rapid flows, the whole sector between them also moved, although more slowly

della sede stradale, riproponendo il rapporto tra frane e carenza o mancanza di smaltimento delle acque in prossimità della viabilità. In generale, quando si verificano eventi al limite della soglia pluviometrica, come può essere considerato quello in esame, data la scarsa densità di frana sulla superficie collinare-montana del comune di Pescia (pari a circa 1.09 frane/km²), le zone più pericolose, ovvero quelle in cui aumenta maggiormente la probabilità d'innescare di fenomeni franosi, risultano proprio le aree in concomitanza di sedi stradali prive o carenti di adeguati sistemi di smaltimento delle acque superficiali; infatti, in questi casi, considerevoli quantitativi d'acqua possono essere convogliati nei versanti sottostanti la viabilità, consentendo in taluni casi di raggiungere tenori delle pressioni neutre nella coltre detritica in grado di provocare l'innescare di frane superficiali.

In qualche caso, oltre ai fenomeni superficiali rapidi si sono attivate anche frane relativamente più profonde e a cinematica più lenta, che hanno coinvolto quindi spessori più importanti della coltre detritica e la porzione più alterata del substrato (Figura 8a). Tali frane hanno avuto un'attività che, al contrario di quelle superficiali rapide, esauritesi in breve tempo, è perdurata per qualche giorno. Questo fenomeno è stato tra l'altro osservato anche da D'AMATO AVANZI *et alii* (2002) in alcune aree della Lucchesia e da GIANNECCHINI (2000, ricerche non pubblicate) nell'entroterra di Camaiore, sempre a seguito al medesimo evento. In effetti, l'evento pluviometrico del 20 novembre 2000, pur copioso, non è stato di per sé eccezionale, per niente paragonabile, ad esempio, all'evento che colpì la Versilia e una porzione della Garfagnana il 19 giugno 1996 (RAPETTI & RAPETTI, 1997; CAREDIO *et alii*, 1998; ROSSO & SERVA eds, 1998; MARTELLO *et alii*, 2000; D'AMATO AVANZI *et alii*, 2000, 2003, 2004), allorché si raggiunsero quasi 500 mm in 12 ore. L'eccezionalità dell'evento del 20 novembre ricade quindi, come accennato nel paragrafo precedente, nella combinazione di un evento certamente significativo, ma non straordinario, con una situazione di piogge antecedenti abbondanti, che hanno portato al limite della saturazione i terreni.

Al fine di verificare la straordinarietà della pioggia cumulata precedente all'evento, è stata condotta un'indagine sulle piogge del mese precedente al 20 novembre per il trentennio relativo agli anni 1970-1999, limitando, quindi, l'indagine solo al periodo coincidente con quello in esame, che rientra nella stagione dell'anno maggiormente piovosa per l'area pistoiese. Dai dati raccolti (PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, 1970-2000) è emerso come nei trenta giorni antecedenti al 20 novembre 2000 la quantità di pioggia caduta (462.7 mm) sia stata in effetti del tutto anomala (Figura 9), risultando superiore alla media (pari a 144.3 mm) di circa il 220%.

Un periodo di piogge rilevante era stato registrato anche nel 1999, allorché caddero 356.6 mm di pioggia in 30 giorni; tuttavia, a tale periodo non aveva fatto seguito alcun evento meteorico concentrato e non si verificarono effetti di particolare rilievo. Ulteriori ricerche sono tuttora in corso, al fine di quantificare i rapporti tra piogge antecedenti e pioggia cumulata nell'evento in grado di innescare movimenti franosi superficiali rapidi.

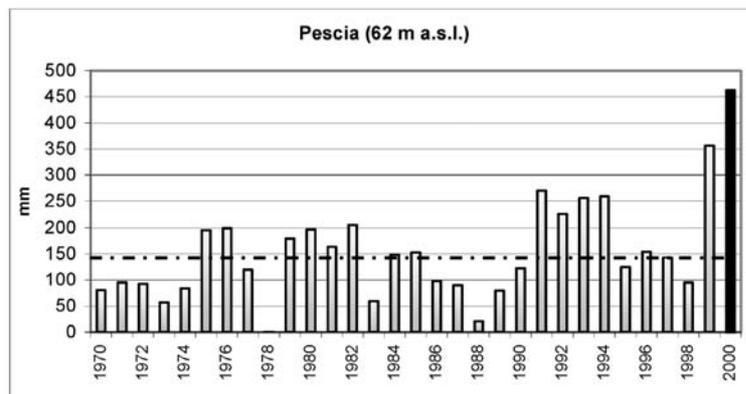
considered the case under study, given the scarce landslide density on the hill-mountain area in the municipal district of Pescia (about 1.09 landslides/ km²), the most hazardous areas, in which there is an increased probability triggering landslides, are close to roadways without, or with poorly adequate, surface water drainage systems. In fact, in these cases considerable amounts of water can be collected in the slopes under the roadways, allowing in certain cases pore-pressure levels to be reached in the debris cover that can trigger shallow landslides.

In some cases, in addition to the rapid shallow movements, relatively deeper and slower moving landslides were triggered. These affected, therefore, greater thickness of debris cover and the most deformed portions of the bedrock (Fig. 8a). These landslides, in contrast to the rapid landslides, which ran out in a short time, continued for several days. This aspect was also observed by D'AMATO AVANZI *et alii* (2002) in some parts of the Lucca area and by GIANNECCHINI (2000, unpublished research) in the hinterland of Camaiore, still subsequent to the same event. In fact, the rainfall event of November 20th 2000, although abundant, was not in itself exceptional. For example, it was not comparable to the event which struck Versilia and part of the Garfagnana area on June 19th 1996 (RAPETTI & RAPETTI, 1997; CAREDIO *et alii*, 1998; ROSSO & SERVA eds, 1998; MARTELLO *et alii*, 2000; D'AMATO AVANZI *et alii*, 2000, 2003, 2004), when almost 500 mm in 12 hours was reached. Therefore, as mentioned in the previous paragraph, the exceptional nature of the event of November 20th can be attributed to the combination of a certainly significant, though not extraordinary, rainstorm with a situation of preceding abundant rainfall. These factors together created a situation of saturation in the ground.

In order to assess the extraordinary nature of the total rainfall preceding the event, the rainfall for the month prior to November 20th was analysed for the thirty year period of 1970-1999, limiting, therefore, the research only to the period coinciding with that under study, which is in the rainiest season of the year for the Pistoia area. From the data collected (PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, 1970-2000) it emerged that in the thirty days prior to November 20th 2000 the amount of rainfall (462.7 mm) was, in fact, totally anomalous (Figure 9), resulting higher than the average (144.3 mm) by about 220%.

A period of considerable rainfall was also recorded in 1999, when 356.6 mm of rain fell in 30 days; however, no concentrated meteoric event followed this period and no particularly remarkable effects occurred. Further research is still underway in order to assess the connection between preceding rainfall and total rainfall in the event capable of triggering rapid shallow landslides.

Fig. 9 - Piogge registrate nei trenta giorni precedenti al 20 novembre nel periodo 1970-2000 alla stazione di Pescia (PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, 1970-2000). E' evidenziato con linea tratteggiata il valore medio, pari a 144.3 mm
 - Recorded rainfall in the thirty days prior to November 20th for the period 1970-2000 at the station of Pescia (PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, 1970-2000). The dotted line highlights the average amount, 144.3 mm



CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI COINVOLTI

Come già riferito in precedenza, nella maggior parte dei casi le frane hanno coinvolto prevalentemente la porzione detritico-colluviale indifferenziata sovrastante il substrato costituito dalle arenarie del Macigno; il substrato roccioso non è mai stato interessato in maniera diretta e significativa, salvo in alcuni casi, allorché ne è stata coinvolta la parte maggiormente alterata e fratturata, che le ricostruzioni del sottosuolo effettuate con prospezioni geognostiche hanno sempre mantenuta distinta dal bedrock integro, individuando una sorta di "passaggio geotecnico graduale" tra il comportamento decisamente "litico" del substrato e quello decisamente "delle terre" della porzione di copertura.

In particolare, al fine di individuare le condizioni generalizzate d'innescio dei fenomeni di dissesto, sono state analizzate più in dettaglio alcune frane nelle zone di Vellano, Collodi, Collecchio e Pescia, oltre che riesaminati alcuni fenomeni franosi verificatisi nel comprensorio pesciatino negli anni '90.

Le analisi di laboratorio effettuate su campioni prelevati in alcune aree interessate dalle frane hanno rilevato una buona eterogeneità granulometrica dei terreni coinvolti, in cui prevale la frazione sabbioso-ghiaiosa, che, generalmente, si attesta tra il 50% e il 75% nei campioni elaborati, più o meno omogeneamente distribuita nelle due componenti. L'argilla è comunque sempre presente in quantità variabili, solitamente comprese tra il 10% e il 20%. Il limite di liquidità si attesta in genere tra il 30% e il 40%, mentre l'indice di plasticità è comunemente inferiore al 15%, indicando un campo di plasticità piuttosto basso, come del resto è lecito attendersi da campioni prevalentemente sabbioso-ghiaiosi. Prove di taglio diretto e prove in sito hanno permesso inoltre di caratterizzare i terreni anche dal punto di vista della resistenza al taglio: l'angolo di attrito si attesta solitamente tra 20° e 32°, mentre la componente coesiva è risultata oscillante tra 5 e 18 kN/m², valori che effettivamente concordano con quelle che sono le caratteristiche tipiche di tali materiali nella zona indagata.

Attualmente, tali dati risultano troppo variabili per potervi trarre informazioni utili ad una individuazione delle aree a maggiore pericolosità, anche se dalle informazioni ottenute in vari luoghi median-

GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE MATERIALS INVOLVED

As previously mentioned, in the majority of cases the landslides prevalently involved the undifferentiated debris-colluvial portion overlying the bedrock of the Macigno Fm. The bedrock was never directly and significantly affected by landsliding, except in a few cases involving the most deformed and most fractured part, which the reconstructions of underground conducted with geognostic prospecting have always maintained as distinct from the integral bedrock, identifying a sort of "gradual geotechnical passage" between the decidedly "lithoid" behaviour of the bedrock and the "earthy" behaviour of the soil.

In particular, in order to identify the generalised conditions which trigger phenomena of instability, more detailed analysis were made of some landslides in the areas of Vellano, Collodi, Collecchio and Pescia, in addition to re-examination of some landslides which occurred in the Pescia district in the nineties.

The laboratory analyses conducted on samples taken in some areas affected by landslides found quite high granulometric heterogeneity in the affected areas, in which the sand-gravel portion prevails. This is generally between 50% and 75% in the samples examined, more or less homogeneously distributed between the two components. Clay is, however, always present in variable amounts, usually between 10% and 20%. The liquidity limit is usually between 30% and 40%, while the plasticity index is commonly less than 15%, indicating quite a low field of plasticity, as is, however, to be expected from prevalently sand-gravel samples. Furthermore, direct cut tests and on-site tests enabled the characterization of the soils also from the point of view of the shear strength. The friction angle is usually between 20° and 32°, whereas the cohesion fluctuated between 5 and 18 kN/m², values that in reality conform with the typical characteristics of such materials in the study area.

At present, these data are too variable to provide any information useful for the identification of hazardous areas. However, from the information obtained in various places through research with seismic analyses (refraction), a substantial homogeneity

te indagini con microsismica a rifrazione è emersa una sostanziale omogeneità nelle velocità dello strato di copertura superficiale in cui si sono innescate le frane e che varia tra i 400 e i 600 m/s. E' necessario quindi approfondire il livello di indagine, cercando di capire ad esempio se esiste un livello specifico, o comunque una particolare situazione stratigrafica nelle coperture, che favorisce il distacco.

CONCLUSIONI

La provincia di Pistoia, così come tutta la Toscana nord-occidentale e gran parte dell'Italia settentrionale, è stata interessata, nell'autunno 2000, da piogge abbondanti e pressoché continue, che hanno raggiunto la massima intensità il 20 novembre. L'evento piovoso del 20 novembre ha provocato molteplici effetti soprattutto nelle aree del comune di Pescia, dove si sono innescate molteplici frane, generalmente riconducibili a fenomeni di scorrimento evoluti rapidamente a colata. La causa principale dell'insacco di tali movimenti franosi è da ricercare nella combinazione di un evento piovoso, non particolarmente eccezionale per pioggia cumulata e intensità, con un lungo periodo di piogge antecedenti all'evento stesso, che hanno verosimilmente determinato condizioni di equilibrio limite in molteplici versanti della zona, successivamente collassati a causa dell'evento del 20 novembre stesso. In effetti, un'indagine preliminare sull'entità delle piogge antecedenti al 20 novembre, eseguita sul trentennio precedente, ha messo in evidenza come nel 2000 si sia registrata una quantità di pioggia nei trenta giorni anteriori al 20 novembre mai registrata prima, almeno nel trentennio 1970-1999, con una precipitazione pari al 220% della media del periodo.

L'evento del 20 novembre si pone inoltre a conferma di come il periodo autunnale sia particolarmente a rischio per l'area di studio e, in generale, per tutta la Toscana nord-occidentale. Ciò trova dimostrazione anche in alcune ricerche effettuate nelle aree limitrofe: CAREDIO (1995) ha individuato nel periodo autunnale quello in cui si verificano maggiormente eventi alluvionali nella Lucchesia, mentre D'AMATO AVANZI & GIANNACCHINI (2003) hanno riscontrato come il trimestre settembre-novembre sia particolarmente a rischio per l'area apuo-versiliese. A conferma di queste osservazioni, l'8 novembre 2003 un evento piovoso particolarmente intenso ha interessato le aree del pistoiese, provocando allagamenti e qualche frana di modesta entità.

Le frane innescatesi in occasione dell'evento del 20 novembre 2000 sono state quelle tipiche di eventi meteorici piuttosto intensi, ovvero frane superficiali rapide (tipo soil slip-debris flow) che hanno coinvolto prevalentemente i materiali della copertura superficiale, anche se, in non pochi casi, si sono attivati movimenti franosi di dimensioni più grandi e a cinematica assai più lenta. Le frane superficiali si sono innescate in ambienti geologici e geomorfologici peculiari (coltri detritico-colluviali poco potenti, substrato roccioso semi-permeabile o impermeabile, piccoli impluvi), anche se, in alcune zone con tali caratteristiche, non si sono verificate frane; ciò potrebbe essere imputato a vari fattori, fra cui l'eterogeneità della pioggia o delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali, oppure ad altri fattori di origine antropica,

emerged in the velocity of the surface soil in which the landslides triggered, varying between 400 and 600 m/s. Therefore, more thorough research is necessary to determine for example the existence of a specific level, or else a particular stratigraphic situation in the cover materials, which facilitates the movements of soil.

CONCLUSIONS

In the autumn of 2000, the Province of Pistoia, like all of north-west Tuscany and a large part of northern Italy was affected by abundant, and almost continuous, rainfall which reached maximum intensity on November 20th. The rainstorm of November 20th produced numerous effects especially in the area of the municipal district of Pescia, where many landslides were triggered, generally attributable to slide phenomena rapidly evolving into flows. The main cause of the triggering of such landslides can be sought in the combination of a rainstorm, although not particularly exceptional for total rainfall and intensity, with a long period of rainfall preceding the event itself. This probably determined limit equilibrium conditions in numerous slopes in the area, which subsequently collapsed as a result of the rainstorm of the November 20th. In fact, preliminary research into the amount of rainfall preceding November 20th, conducted on the previous thirty year period, highlighted in the year 2000 an amount of rainfall never before recorded for the thirty days prior to November 20th, at least in the thirty years 1970-1999, with a precipitation of 220% of the average for the period.

In addition, the event of November 20th confirms that the autumn period is particularly risky for the study area and, in general, for the whole of north-west Tuscany with refer to meteorological events. This also finds confirmation in some research conducted in the surrounding areas: CAREDIO (1995) identified the autumn period as that in which most flooding occurs in the area of Lucca, whereas D'AMATO AVANZI & GIANNACCHINI (2003) found that in the three month period of September-November the probability of an intense meteorological event for the apuan-versilian area is rather high. As confirmation of these observations, on November 8th 2003 a particularly intense rainstorm affected the Pistoia area, causing flooding and some landslides of modest proportions.

The landslides triggered during the November 20th 2000 event were typical of quite intense meteoric events, or else rapid shallow landslides (for example soil slip-debris flows) which mainly involved the surface soil materials, even if, in a few cases, larger and much slower mass movements triggered. The shallow landslides were triggered in geologically and geomorphologically typical environments (soil cover, semi-permeable or impermeable bedrock, hollow, high gradient). However, in some areas with these characteristics there were no landslides. This could be due to various factors, among which the heterogeneity of the rainfall or the physico-mechanical characteristics of the materials, or else to other factors of anthropic origin, such as the absence of roadways. In fact, in some cases it was

quale l'assenza di viabilità. In effetti, è stato verificato che, in qualche caso, se non esistono efficaci sistemi di smaltimento delle acque superficiali o se questi sono obsoleti e inadeguati, possono verificarsi importanti fenomeni di dissesto lungo la viabilità, in quei punti dove vanno a convogliarsi le acque di ruscellamento. Pertanto, in occasione di eventi al limite della soglia pluviometrica critica, come può essere ragionevolmente considerato quello in oggetto, tra le zone più vulnerabili possono ricadere le aree in prossimità della viabilità collinare o montana.

Attualmente, ulteriori studi sono necessari per giungere, nell'area in esame, ad una zonazione della pericolosità da frana superficiale rapida. I parametri da considerare riguardano l'acclività del pendio, il sistema della regimazione delle acque superficiali, lo spessore dei materiali di copertura, oltre alle sue caratteristiche geotecniche locali, il grado di saturazione e soprattutto la sottospinta che può derivare dalla presenza di una falda in pressione. Quest'ultimo aspetto potrebbe essere in qualche modo quantificato monitorando alcuni versanti mediante l'installazione di pluviometri, piezometri e tensiometri per cercare di capire il comportamento della falda, o comunque delle pressioni neutre, in risposta agli eventi meteorici; ciò costituirebbe anche un passo importante nell'individuazione delle soglie pluviometriche critiche delle aree collinari e montane. La conoscenza delle soglie critiche e delle aree di propensione al dissesto renderebbero possibile anche una migliore pianificazione territoriale di aree come quelle del comprensorio pesciatino.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il comune di Pescia, nelle persone del Geom. Luciano Bianchi e di Pierangelo Salani, l'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa (sezione pluviometria), e l'ARPAL - Centro Meteo-Idrologico Regione Liguria. Ringraziano inoltre il Prof. Alberto Puccinelli per la revisione critica.

OPERE CITATE / REFERENCES

- CAMPBELL R.H. (1975) - *Soil slips, debris flows and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, Southern California*. U.S. Geological Survey Professional Paper 851, 51 pp.
- CAREDDIO F. (1995) - *La frequenza degli eventi alluvionali nella Piana di Lucca dal 1946 ad oggi*. Mem. Accad. Lunig. Scienze "G. Cappellini", **64-65**: 79-94.
- CAREDDIO F., D'AMATO AVANZI G., PUCCINELLI A., TRIVELLINI M., VENUTELLI M. & VERANI M. (1996) - *La catastrofe idrogeologica del 19/6/96 in Versilia e Garfagnana (Toscana, Italia): aspetti geomorfologici e valutazioni idrauliche*. CNR-GNDICI, pubblicazione n° 1589. Atti Convegno "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica". Alba, 5-7 novembre 1996, vol. 2, 75-88.
- COROMINAS J., REMONDO R., FARIAS P., ESTEVAO M., ZEZEZE J., DIAZ DE TERN J., DIKOU R., SCHROTT L., MOYA J. & GONZALES A. (1996) - *Debris flow*. In: Dikou R., Brundsen D., Schrott L. & Ibsen M.-L. (eds) "Landslide recognition. Identification, Movement and Causes". Wiley, 161-180.
- CROSTA G. (1998) - *Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation*. Environmental Geology, **35** (2-3): 131-145.
- CROSTA G., GUZZETTI F., MARCHETTI M. & REICHENBACH P. (1990) - *Morphological classification of debris-flow processes in South-central Alps (Italy)*. Proc. 6th IAEG Congr. Balkema, Rotterdam, 1565-1572.
- CRUDEN D.M. & VARNES D. J. (1996) - *Landslide type and processes*. In: "Landslide: investigation and mitigation", Spec. Rep. 247, Transp. Res. Board, Nat. Acad. of Sciences, Washington, 76-90.
- D'AMATO AVANZI G. & GIANNACCINI R. (2003) - *Eventi alluvionali e fenomeni franosi nelle Alpi Apuane (Toscana): primi risultati di un'indagine retrospettiva nel bacino del Fiume Versilia*. Rivista Geografica Italiana, **110**: 527-559.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCINI R. & PUCCINELLI A. (2000) - *Geologic and geomorphic factors of the landslides triggered in the Cardoso T. Basin (Tuscany, Italy) by the June 19, 1996 intense rainstorm*. Atti 8th International Symposium on Landslides, Cardiff (Galles), 381-386.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCINI R. & PUCCINELLI A. (2002) - *I movimenti franosi del novembre 2000 nella provincia di Lucca: osservazioni preliminari*. Atti del

verified that the absence of efficient systems for the drainage of surface water, or if they are obsolete and inadequate, causes serious instability along the roadways, especially in those places where stream water collects. Therefore, when events occur on the verge of the critical rainfall threshold, as may reasonably be the case of the event under study, the areas in proximity to the hill and mountain roadways can be included amongst those most vulnerable.

At present, further research is necessary in order to reach a zonation of the shallow landslide hazard in the study area. The parameters to be considered regard the slope gradient, the system governing the surface water regime, the thickness of the soil materials, the local geotechnical characteristics, the degree of saturation and especially the underthrust which can derive from the presence of a water table in pressure. This latter aspect could be assessed by monitoring some slopes by installing rain gauges, piezometers and tensiometers trying to understand the behaviour of the piezometric level or, however, of the pore pressures, in response to meteoric events. This would also constitute an important step in the identification of the critical pluviometric thresholds of the hill and mountainous areas. Knowledge of the critical rainfall thresholds and of the areas susceptible to instability would also allow better territorial planning of areas like that of the district of Pescia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Luciano Bianchi and Pierangelo Salani of the Municipality of Pescia, the Hydrographic and Mareographic Office of Pisa (pluviometry section) and ARPAL - Meteo-Hydrological Centre for the Liguria Region. In addition thanks to Prof. Alberto Puccinelli for critical revision of the text.

**L'EVENTO ALLUVIONALE DEL NOVEMBRE 2000 NELL'AREA DI PESCIA (TOSCANA SETTENTRIONALE):
CARATTERISTICHE DEL FENOMENO PLUVIOMETRICO ED EFFETTI INDOTTI**

- Convegno "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive", Accademia Nazionale dei Lincei, n° 181, 365-377.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCCHINI R. & PUCCINELLI A. (2003) - *A contribution to an evaluation of the landslide susceptibility in the Apuan Alps (Italy): geologic and geomorphic factors of 1996 soil slips-debris flows*. Proc. International Conference on fast slope movements-prediction and prevention for risk mitigation (IC-FSM 2003), Napoli, 11-13 maggio 2003: 125-130.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCCHINI R. & PUCCINELLI A. (2004) - *The influence of the geological and geomorphological settings on the shallow landslides. A typical example in a temperate climate environment: the June 19th, 1996 catastrophe in the North-Western Tuscany (Italy)*. Engineering Geology, in stampa, 14 pp.
- ELLEN S.D. & FLEMING R.W. (1987) - *Mobilization of debris flows from soil slips, San Francisco Bay Region, California*. In: J.E. Costa & G.F. Wieczorek eds. "Debris flows/avalanches: process, recognition, and mitigation". Geol. Soc. Am. Rev. Eng. Geol., 7: 31-40.
- GOVI M. & SORZANA P.F. (1980) - *Landslide susceptibility as function of critical rainfall amount in Piedmont basin (North-Western Italy)*. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, Krakow, 14: 43-60.
- MARTELLO S., CATANI F. & CASAGLI N. (2000) - *The role of geomorphological settings and triggering factors in debris flow initiation during the 19 June 1996 meteorological eventi in Versilia and Garfagnana (Tuscany, Italy)*. Proc. 8th Int. Symposium on Landslides. Cardiff, 26-30 giugno 2000, vol. 1.
- NARDI R., PUCCINELLI A. & VERANI M. (1981) - *Carta geologica e geomorfologica con indicazioni di stabilità della Provincia di Pistoia*. S.El.Ca., Firenze.
- PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI (1970-2000) - *Annali idrologici. Parte prima*. Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa.
- ROSSO R. & SERVA L. eds. (1998) - *19 giugno 1996: alluvione in Versilia e Garfagnana. Un caso di studio*. ANPA-ARPAT. Grafiche "Il Fiorino" (Firenze), 315 pp.
- RAPETTI C. & RAPETTI F. (1997) - *L'evento pluviometrico eccezionale del 19 giugno 1996 in Alta Versilia (Toscana) nel quadro delle precipitazioni delle Alpi Apuane*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., serie A, 103: 143-159.
- WIECZOREK G.F. (1987) - *Effect of rainfall intensity and duration of debris flows in central Santa Cruz Mountains, California*. In: Costa J.E. & Wieczorek G.F. (eds) "Debris flows/avalanches: process, recognition and mitigation". Geol. Soc. Am. Rev. Eng. Geol., 7: 93-104.

Received July 2004 - Accepted October 2005