

## DISCARICHE DI CAVA E INSTABILITÀ DEI VERSANTI: VALUTAZIONE PRELIMINARE DI ALCUNI FATTORI SIGNIFICATIVI NEL BACINO MARMIFERO DI CARRARA (ITALIA)

### QUARRY WASTE AND SLOPE INSTABILITY: PRELIMINARY ASSESSMENT OF SOME CONTROLLING FACTORS IN THE CARRARA MARBLE BASIN (ITALY)

PAOLO FRANCESCO CORTOPASSI(\*), MARCO DADDI(\*), GIACOMO D'AMATO AVANZI(\*\*), ROBERTO GIANNECCHINI(\*\*), GIANLUCA LATTANZI(\*\*), ANTONIO MERLINI(\*\*) & PIERA FANNY MILANO(\*)

(\*) Regione Toscana - Ufficio Regionale Tutela del Territorio di Massa-Carrara - Viale Democrazia, 17 - Massa (Italy)

(\*\*) Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pisa - Via S. Maria, 53 - Pisa (Italy) - Tel. (+39) 050 2215724 - Fax (+39) 050 2215800  
E-mail: damato@dst.unipi.it

#### RIASSUNTO

L'intensa attività estrattiva del bacino marmifero di Carrara (Alpi Apuane) ha prodotto estesi accumuli di materiale di scarto ("ravaneti"), che giacciono su pendii acclivi e invadono i fondovalle. In quest'area, gli eventi piovosi intensi causano spesso alluvioni, frane, *debris flow* e vittime, come si è verificato il 23 settembre 2003.

Questa ricerca è finalizzata a determinare le condizioni d'innescio dei fenomeni d'instabilità che coinvolgono i ravaneti. Inizialmente, è stato analizzato l'evento del settembre 2003, per caratterizzarne aspetti pluviometrici ed effetti. In seguito, sono stati individuati e studiati tre ravaneti nel bacino a monte di Carrara. È stata ricostruita l'evoluzione spaziale e sono state individuate aree con differenti caratteristiche (attività di cava, fenomeni d'instabilità, aree soggette a *debris flow*, uso del suolo, ecc.). Quindi, sono state eseguite varie analisi granulometriche. Infine, allo scopo di valutare il comportamento idrogeologico del ravaneto, è stata esaminata la portata di una sorgente al piede del ravaneto, confrontandola con i dati pluviometrici.

La ricerca è ancora in corso, ma questi risultati possono rappresentare un passo importante per individuare i fattori d'innescio significativi dei *debris flow* nei ravaneti delle cave di marmo.

**TERMINI CHIAVE:** marmo, discarica di cava, stabilità dei versanti, *debris flow*, Italy

#### INTRODUZIONE

Le Alpi Apuane, in Toscana settentrionale, sono molto note, sia per gli aspetti paesaggistici e turistici, sia per la presenza di marmi pregiati. Estrazione e lavorazione dei marmi sono fonte di reddito ed accrescono il richiamo turistico e il fascino di queste montagne, che hanno ispirato scrittori e poeti (D'AMATO AVANZI & VERANI, 1998): CASELLA (1963) riunisce cave e ravaneti "in un giuoco suggestivo e infinito come di fonti e di cascate marmoree"; D'ANNUNZIO (1963) tratteggia le Apuane come "le montagne color di ferro, color di piombo, color palombino, su cui splende meravigliosamente il ravaneto"; per CICOGNANI (1965) "irte, laceranti il cielo, le Alpi Apuane ostentano i fianchi squarciati, le enormi plaghe bianche, qualcuna sanguigna, e i ravaneti colanti da quelle".

In questa zona si ha infatti una delle maggiori concentrazioni di

#### ABSTRACT

The intense quarrying activities in the Carrara marble district (Apuan Alps, Italy) has led to the formation of widespread and thick quarry waste accumulations, which lie on steep slopes and invade many valley bottoms. In this area, rainstorms often cause floods, landslides, debris flows and deaths (e.g. on September 23, 2003).

This research is aimed at determining the triggering conditions of the instability involving quarry waste. Firstly, the 23 September 2003 event was analysed in order to characterize its pluviometric features and effects. Then, three quarry dumps were selected upstream of Carrara and their evolution was studied. Subsequently, geomorphologic surveying distinguished areas with different characteristics (quarry activity, landslide areas, debris flow prone areas, land use, etc.). Furthermore, several grain size analyses were performed. Finally, in order to evaluate the hydrological behaviour of the quarry waste, the discharge of a spring at the toe of a quarry dump was examined and compared with the trend of a rainfall event.

The research is still in progress, but these results may represent a first important step to identifying the main triggering factors of debris flows in quarry dumps.

**KEY WORDS:** marble, quarry waste, slope instability, debris flow, Italy

#### INTRODUCTION

The Apuan Alps, in north-western Tuscany, are well known for both the spectacular landscape and their valuable marble. In fact, quarrying activity is very intense and quarry waste, also termed *ravaneto*, is very abundant and often dominates the Apuan landscape. On the other hand, marble quarrying and working are important sources of income, which increase tourism and add to the charm of these very typical mountains that have inspired writers and poets (D'AMATO AVANZI & VERANI, 1998): CASELLA (1963) combines quarries and quarry waste in a suggestive and infinite play of marble fountains and falls; D'ANNUNZIO (1963) describes the Apuan Alps as iron and lead coloured mountains, where the quarry waste wonderfully shines; CICOGNANI (1965) sees the Apuan Alps as rugged and piercing the sky, showing their injured flanks, their tremendous white

cave a livello mondiale (nel solo Comune di Carrara ci sono in media almeno 7 cave per km<sup>2</sup>; la media apuana si attesta intorno a 0,33 cave per km<sup>2</sup>, mentre quella nazionale a 0,03 cave per km<sup>2</sup>).

E' chiaro anche che un'attività estrattiva molto sviluppata nei secoli, con decine di cave tuttora attive, possa essere fonte di problemi, di impatto ambientale come di rischio idrogeologico. Ad esempio, i materiali di scarto vengono scaricati dai piazzali di cava nei versanti sottostanti, senza alcun criterio di stabilizzazione, e in genere raggiungono e invadono i fondovalle e i ripidi impluvi che scendono dalle vette delle Alpi Apuane. In questo contesto, è inevitabile che tali discariche siano spesso coinvolte in fenomeni di instabilità (es. *debris flows*, BARONI *et alii*, 2000, 2003; D'AMATO AVANZI & GIANNECCHINI, 2003; D'AMATO AVANZI *et alii*, 2004b; CORTOPASSI *et alii*, 2005): il 23 settembre 2003 piogge molto intense hanno causato fenomeni alluvionali e frane, una vittima e gravi danni a centri abitati, viabilità e attività estrattive, tra cui la stessa città di Carrara. L'evento del 2003 è soltanto l'ultimo, per quanto assai più intenso, di una serie di eventi che ha colpito il bacino marmifero di Carrara negli ultimi anni, causando danni e disagi anche alla stessa attività estrattiva.

Che i ravaneti possano essere oggetto di grandi mobilitazioni di materiale detritico per effetto di piogge particolarmente intense è dimostrato anche da un altro evento alluvionale, assai noto nella storia dell'area apuo-versiliense: nella notte tra 25 e 26 settembre 1885, numerosi ravaneti si destabilizzarono a seguito di copiose piogge ed invasero il Torrente Serra e quindi il Fiume Versilia, provocando ingentissimi danni agli abitati di fondovalle, la sospensione per mesi delle attività di cava e sovralluvionamenti dell'ordine di una decina di metri di spessore nel Torrente Serra (D'AMATO AVANZI & GIANNECCHINI, 2003).

Esistono quindi relazioni dirette fra gli accumuli dei materiali di scarto delle cave di marmo e la pericolosità di frana.

L'obiettivo di questo lavoro è stato l'acquisizione di dati utili alla comprensione dei fenomeni franosi che si verificano nelle discariche di materiale lapideo, connesse alla coltivazione delle cave di marmo delle Alpi Apuane e localmente note come ravaneti. Lo studio si è concentrato nel comprensorio marmifero di Carrara, tra i più noti nel mondo, ed in particolare in quello di Torano, in cui si sono verificati ripetutamente movimenti franosi significativi in concomitanza con eventi piovosi intensi.

Le indagini sono state indirizzate ad una valutazione preliminare delle caratteristiche fondamentali dei ravaneti e dei fattori principali di innesco e controllo delle frane, allo scopo di individuare ed analizzare le modalità di attivazione ed evoluzione dei dissesti. Lo studio si è articolato in varie fasi:

- analisi dell'evento piovoso del 23 settembre 2003 e degli effetti prodotti sui ravaneti;
- indagini geomorfologiche e geotecniche su un ravaneto-tipo;
- analisi dell'evento piovoso del 14 giugno 2005, finalizzate allo studio dei rapporti pioggia-risposta idraulica del ravaneto.

or sometimes bloody wounds, with the quarry waste cascading down.

In this area, the quarry density is among the greatest in the world: in only the territory of Carrara, there are at least 7 quarries/km<sup>2</sup>, while the Apuan mean is 0.33 quarries/km<sup>2</sup> and the Italian average is 0.03 quarries/km<sup>2</sup>. A quarry activity that has developed over the centuries with hundreds of quarries is clearly a source of many problems, both in terms of environmental impact and of hydrogeological hazard. In fact, the waste materials are usually discharged from the quarry floors down onto the slopes, without any stabilizing criterion. Therefore, they often reach and invade the valley bottoms.

In such a context the waste materials are often involved in landslides, among which debris flows are frequent (BARONI *et alii*, 2000, 2003; D'AMATO AVANZI & GIANNECCHINI, 2003; D'AMATO AVANZI *et alii*, 2004b; CORTOPASSI *et alii*, 2005). On September 23, 2003 a very intense rainfall caused floods, landslides, death and severe damage to roads, villages, quarries and factories. What is more the 2003 flood is only the latest of a sequence of hydrogeological events, which have struck the Carrara marble basins and caused many problems in recent times.

Another historical event shows very well that great mass movements may involve quarry waste when very intense rainfall occurs: on September 25-26, 1885, during the night very heavy rainfall destabilized the quarry dumps in the upper Versilia River basin. The quarry waste invaded and aggraded the Serra and Versilia riverbeds, causing floods and very severe damage: as a result, quarrying and related activities were stopped for months (D'AMATO AVANZI & GIANNECCHINI, 2003).

Consequently, direct relations link marble quarry waste and landslide hazard in the Apuan Alps. Therefore, this research was mainly aimed at gathering helpful data to understand the landslides involving quarry waste. It was concentrated in the Carrara marble district, among the most famous in the world, and particularly focused on the Torano basin, where intense rainfall has triggered significant landslides many times. So investigations were aimed at evaluating the fundamental characteristics of the quarry dumps and the main factors triggering and/or controlling landslides and their evolution. The research consisted of some main stages, as follows:

- analysis of the September 23, 2003 event and of its effects on the quarry dumps;
- geomorphological and geotechnical investigations on a sample quarry dump;
- evaluation of the hydrogeological response of the quarry dump to an intense rainfall event.

### INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Le Alpi Apuane costituiscono un massiccio montuoso con forma grossolanamente ellittica e confini geografici ben individuabili: il Fiume Serchio a nord-est e sud-est; il Fiume Aulella a nord; il Fiume Magra a nord-ovest e la pianura costiera tra le foci del Magra e del Serchio a sud-ovest (Fig. 1).

Non è necessario illustrare in dettaglio la complessa situazione geologica delle Alpi Apuane, già descritta in molti studi (fra cui si ricordano ZACCAGNA, 1932; CARMIGNANI & GIGLIA, 1984; CARMIGNANI, 1985, Ed.; COLI & PANDELLI, 1992; CARMIGNANI *et alii*, 2000 e relativa bibliografia). Questa regione rappresenta, infatti, un'area chiave nel quadro geologico dell'Appennino Settentrionale, dove affiorano molte delle unità tettoniche e sedimentarie: le Unità Metamorfiche Apuane, la Falda Toscana, le Unità Liguri e le successioni neogeniche. Il nucleo centrale, è caratterizzato da meta-

### GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL SETTING

The Apuan Alps are a mountain range with a roughly elliptic shape. Their geographical boundaries are clearly recognizable as follows: the Serchio River to the NE and SE; the Aulella River to the north; the Magra River to the NO; the Versilia coastal plain between the Magra and Serchio rivers to the SW (Fig. 1).

Many Authors have clearly described the complex geological structure of the Apuan Alps (ZACCAGNA, 1932; CARMIGNANI *et alii*, 1994, 2000; CARMIGNANI & GIGLIA, 1984; CONTI *et alii*, 2004; and bibliography therein), which represent a key area in the geological frame of the Northern Apennines. In fact, the Tuscan metamorphic units, the Tuscan Nappe, the Ligurian and Subligurian units and Neogene sequences crop out in this area. The main structure of the chain includes two chief tectonic units: the Massa Unit and the "Autochthon *Auctt.*" Unit. A pre-Mesozoic basement and a thick

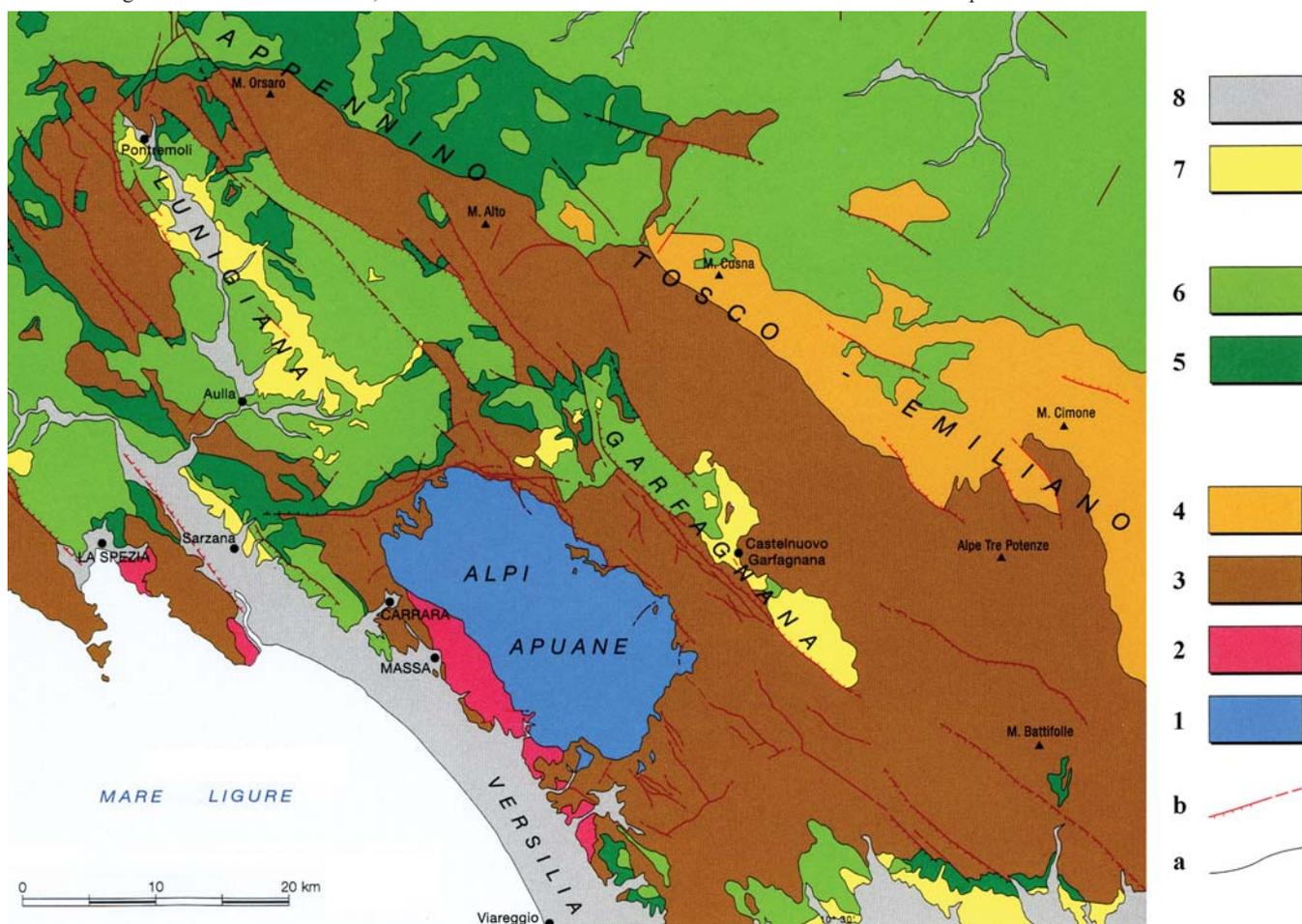


Fig. 1 - Inquadramento geologico. E' evidenziata l'area di studio (a: Contatto tettonico; b: Faglia; 1: "Autoctono" *Auctt.*; 2: Unità di Massa; 3: Falda Toscana; 4: Unità Cervarola; 5: Unità Subliguri; 6: Unità Liguri; 7: Depositi fluvio-lacustri; 8: Depositi recenti e attuali) (da CARMIGNANI *et alii*, 2000, modificato)  
 - Geological sketch. The study area is highlighted (a: Tectonic boundary; b: Fault; 1: "Autochthon" *Auctt.*; 2: Massa Unit; 3: Tuscan Nappe; 4: Cervarola Unit; 5: Subligurian Units; 6: Ligurian Units; 7: Fluvial-lacustrine deposits; 8: Recent and present deposits) (after CARMIGNANI *et alii*, 2000, modified)

morfismo di basso grado sin-tettonico polifasico alpino ed è diviso in due unità tettoniche principali: Unità di Massa e Nucleo Metamorfico Apuano. La prima affiora lungo il bordo occidentale delle Apuane. Il Nucleo Metamorfico Apuano ("Autoctono" *Auctt.*) rappresenta in modo tipico il massiccio montuoso, con una successione di rocce prevalentemente sedimentarie metamorfiche di età compresa tra il Paleozoico e l'Oligocene. La porzione paleozoica comprende rocce filladico-scistose e metavulcaniti, sovrastate da una formazione dolomitica di scogliera del Trias superiore (Grezzoni). Seguono i marmi più tipici, del Giurassico, con associate breccie policrome. Si ha quindi una successione di mare più profondo, con calcari (marmi selciferi), radiolariti, marmi "cipollini", micascisti e infine una potente successione detritica metarenacea (nota come Pseudomacigno).

I marmi sono certamente le rocce più note e tipiche del nucleo apuano, ma non sono le uniche rocce sfruttate a fini ornamentali; vengono coltivati anche orizzonti di breccie metamorfiche e i livelli più arenacei dello Pseudomacigno (Pietra del Cardoso).

La morfologia delle Alpi Apuane presenta un aspetto "alpino", con cime elevate, creste aguzze e valli profondamente incise, aspetto esaltato dal contrasto morfologico con la pianura costiera della Versilia e la valle del Fiume Serchio. La notevole diffusione di rocce carbonatiche favorisce la genesi di forme di dissoluzione carsica, sia epigee che ipogee, come doline, *karren*, molteplici cavità carsiche (particolarmente noto è l'Antro del Corchia). Infine, vi sono anche numerose testimonianze delle glaciazioni quaternarie (circhi, depositi morenici, rocce montonate, massi erratici).

Le condizioni climatiche delle Apuane derivano dall'interazione fra i fattori geografici e geomorfologici e le caratteristiche della circolazione atmosferica generale e locale. Morfologia, altitudine ed esposizione delle Apuane interagiscono con le perturbazioni di origine atlantica e mediterranea, producendo la risalita forzata delle masse umide e favorendone il raffreddamento adiabatico. Pertanto, si registrano valori molto alti di piogge, superiori a 3000 mm/anno sulle cime più alte. Il regime pluviometrico è riferibile al tipo Appenninico-Mediterraneo, con transizione al Subcostiero, caratterizzato da estati asciutte e inverni freddi, con un picco principale di pioggia in autunno e due secondari in inverno e primavera. Le piogge intense e concentrate sono frequenti soprattutto in autunno e causano spesso inondazioni repentine, frane, vittime e danni (D'AMATO AVANZI & GIANNECCHINI, 2003; GIANNECCHINI, 2005, 2006). Come si vedrà più in dettaglio in seguito, durante l'evento alluvionale del 23 settembre 2003, che investì i bacini marmiferi, le precipitazioni raggiunsero valori di oltre 150 mm in sole due ore, mentre il 19 giugno 1996 (alluvione della Versilia), nella zona di Cardoso e Fornovolasco, poco a sud dell'area di studio, si superarono i 150 mm/ora, con totali di quasi 500 mm in 12 ore, che provocarono centinaia di frane, esondazioni e numerose vittime (CAREDIO *et alii*, 1996; D'AMATO AVANZI *et alii*, 2000, 2004a).

Middle to Upper Triassic cover characterize the former, exposed in the south-west part of the Apuan Alps. The latter is made up of a Palaeozoic basement, unconformably overlain by the Upper Triassic-Oligocene metasedimentary sequence.

Among the Apuan rocks, marble is certainly the best-known and most typical and Carrara marble is famous worldwide. However, other rock types (breccia, metasandstone) may also have ornamental or various uses.

The Apuan Alps have a very typical alpine appearance due to their high peaks, narrow ridges and deep-cut valleys. This alpine appearance is further emphasized by the morphological contrast with the Versilia plain and the River Serchio valley. The climatic features mainly derive from the interaction between these geographical/morphological features and the general and local atmospheric path. Shape, altitude and location of the chain intercept the western and local perturbations of Atlantic or Mediterranean origin and produce the forced lifting of humid air masses, so favouring their rapid adiabatic cooling. Consequently, very heavy yearly meteoric affluxes are registered, with a mean annual rainfall of over 3000 mm close to the watershed. The pluviometric regime is substantially referable to the Apennine-Mediterranean type with transition to the subcoastal type, characterised by dry summers and cold winters, with a primary peak of rainfall in autumn and two secondary maximums, in winter and spring. In the Apuan Alps, intense rainstorms are particularly frequent in autumn and often cause many landslides and flash floods (D'AMATO AVANZI & GIANNECCHINI, 2003; GIANNECCHINI, 2005, 2006). As explained later, during the September 23, 2003 disaster, rainfall exceeded 150 mm within 2 hours. A few kilometres south of the study area, in the Cardoso and Fornovolasco zone, on June 19, 1996 rainfall exceeded 150 mm/hr and almost 500 mm/12 hr, causing hundreds of landslides, flooding and many deaths (CAREDIO *et alii*, 1996; D'AMATO AVANZI *et alii*, 2000, 2004a).

**ATTIVITÀ ESTRATTIVA**

Le prime indagini per la valutazione dei fattori critici hanno riguardato il comprensorio marmifero carrarese, il più importante dell'area apuana. Esso risulta suddiviso in vari bacini estrattivi, che sostanzialmente corrispondono a quattro valli che dal Monte Maggiore (1389 m s.l.m.) e dal Monte Sagro (1749 m s.l.m.) scendono verso la città di Carrara. Da est verso ovest tali aree vengono convenzionalmente denominate bacini di Colonnata, Miseglia, Torano e Pescina-Boccanaglia.

L'evoluzione delle tecniche di estrazione ha consentito una sempre più razionale coltivazione dei giacimenti, limitando l'entità del materiale di scarto. D'altra parte, le esigenze economiche hanno aumentato considerevolmente la richiesta di materiale lapideo e ciò giustifica l'andamento illustrato in Fig. 2, in cui si nota come, oltre ad un incremento del materiale estratto, siano aumentati anche i volumi destinati a ravaneto. I bassi valori attribuiti al periodo 1931-1951 sono verosimilmente giustificabili con la concomitanza della seconda guerra mondiale. I picchi del periodo 1830-1930 sono invece da mettere in relazione con l'introduzione, nell'escavazione del marmo, delle tecniche con esplosivo, introdotte nei primi del '900 (COLI & GRANDINI, 1994), che hanno incrementato considerevolmente sia i volumi di materiale scavato, sia quelli destinati a discarica.

Attualmente, nei quattro bacini estrattivi sono presenti 167 cave, di cui 90 sono tuttora attive (Tab. 1). Di esse, 12 risultano coltivate parzialmente o totalmente in sotterraneo, mentre 78 sono coltivate a cielo aperto.

Al 2000, la produzione annua totale di materiale ornamentale nei bacini marmiferi di Carrara si aggirava intorno a 1.200.000-1.400.000 tonnellate, mentre il materiale scavato si aggirava intorno a 4.500.000 tonnellate. Considerando che la resa in materiale commerciale, rispetto ai volumi scavati, risulta pari al 30-35%, il mate-

**QUARRYING ACTIVITY**

Quarrying activity is particularly extensive in the Apuan Alps, where the Carrara district is the most important area. This district is subdivided into several quarrying basins substantially corresponding to four valleys coming down from Mt. Maggiore (1389 m a.s.l.) and Mt. Sagro (1749 m a.s.l.) to the city of Carrara. From east to west these basins are conventionally named the Colonnata, Miseglia, Torano and Pescina-Boccanaglia basins.

In time, the improvement of quarrying technology has allowed a more rational exploitation of the marble, so reducing waste production and accumulation. Nevertheless, the increased demand for stone material has led to an increased overall production of waste material, as Fig. 2 clearly shows. World War II could explain the low values of the 1931-1951 period. The introduction of blasting techniques in quarrying (early 20th century, COLI & GRANDINI, 1994) greatly increased both the quarried and the wasted amounts and could explain the 1830-1930 peaks.

At present, in the four basins of the Carrara district there are 167 quarries. Among them, 90 are still active (Tab. 1): 12 of them are partially or fully quarried underground, while the other 78 are quarried in the open air.

Bacino estrattivo <i>Quarrying basin</i>	Cave attive <i>Active quarries</i>
Colonnata	31
Miseglia	30
Torano	22
Pescina-Boccanaglia	7
<i>Totale (total)</i>	<i>90</i>

Tab. 1 - Bacini estrattivi e numero di cave attive nel comprensorio marmifero di Carrara  
- *Quarrying basins and active quarries in the Carrara marble district*

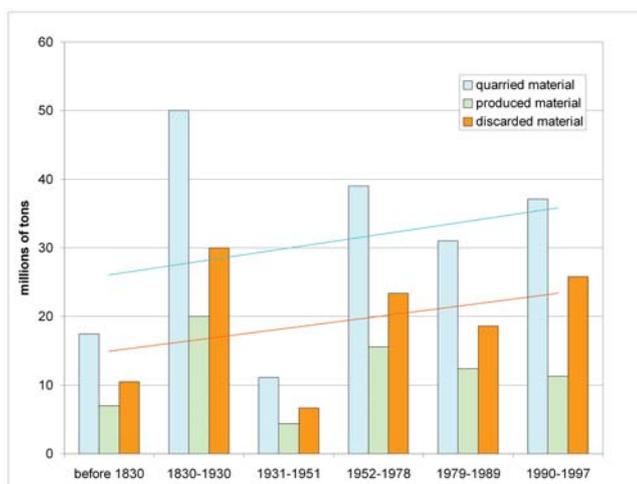


Fig. 2 - Trend del materiale lapideo scavato, prodotto e scartato negli ultimi secoli (da COLI & GRANDINI, 1994, mod.)  
- *Trend of quarried, produced and discarded material during the last centuries (after COLI & GRANDINI, 1994, modified)*

riale detritico residuo delle lavorazioni supera i 3.000.000 di tonnellate annue. Complessivamente, il quantitativo di materiale di scarto presente nei bacini marmiferi ammonta a circa 80.000.000 di tonnellate (COLI *et alii*, 2000a, 2000b; COLI & APPELIUS, 2001).

### CARATTERISTICHE DEI RAVANETI

I ravaneti si formano per l'accumulo continuo del materiale lapideo di scarto, scaricato dai piazzali di cava. Inizialmente questo materiale si dispone lungo il pendio, con un angolo di riposo che può superare i 40° gradi, in relazione a forma e dimensione dei clasti; la granulometria è variabile: in prevalenza, gli accumuli sono costituiti da clasti da decimetrici a metrici, mentre la frazione fine è subordinata, dipendente dall'età del ravaneto e quindi dalla metodologia utilizzata per l'estrazione dei blocchi di marmo.

Dimensioni e forma di un ravaneto attivo, alimentato dall'attività estrattiva, sono soggette a continui mutamenti, mentre i detriti sono via via sepolti da nuovi apporti di materiale. Questo porta frequentemente a superare l'angolo di riposo del materiale, cui seguono frane e assestamenti lungo il pendio, verso un assetto più stabile e angoli di riposo minori. Ciò anche in ragione del fatto che, da alcuni anni, i ravaneti stessi sono diventati oggetto di commercio (DINO & FORNARO, 2005), dai quali vengono prelevati materiali per produrre inerti e carbonato di calcio.

Per quanto riguarda la distribuzione granulometrica, come nelle falde e nei coni detritici, massi e blocchi tendono ad accumularsi generalmente al piede, mentre i clasti più piccoli tendono a fermarsi nelle porzioni medio-alte dell'accumulo. La matrice può invece essere presa in carico dalle acque di ruscellamento ed infiltrarsi, ridistribuendosi nell'intero corpo detritico.

Cessata l'alimentazione, il ravaneto diviene inattivo e può raggiungere una certa stabilità sia per effetto della cementazione della matrice fine (limo-argillosa), sia per l'impiantarsi, dopo un certo numero di anni e soprattutto nei ravaneti con maggiore matrice fine, di vegetazione, seppur rada, che limita l'erosione e trattiene il detrito più fine. Infine, il progressivo invecchiamento del ravaneto porta negli anni a una colorazione grigia più o meno scura dei clasti nella porzione più superficiale, per effetto dei fenomeni di alterazione.

L'evoluzione dei metodi di escavazione, come accennato nei paragrafi precedenti, ha anche portato nei secoli a variazioni granulometriche dei ravaneti, dove si riconoscono porzioni formate da blocchi metrici, pezzame (decimetrico o pluridecimetrico) e detrito più fine (da centimetrico a minore di 1 cm). In alcune aree, una pezzatura può prevalere (in genere, nei ravaneti più vecchi), mentre in altre si ha un maggiore assortimento granulometrico. Sono riconoscibili anche livelli clasto-sostenuti e matrice-sostenuti. Osservazioni lungo sezioni stratigrafiche in vari ravaneti evidenziano il succedersi di livelli detritici differenziati per granulometria e struttura, determinati dall'evoluzione delle tecniche estrattive nel

At year 2000, the situation in the Carrara district might be summarized in this way: gross quarried material about 4,500,000 tons/year; net production of ornamental stone about 1,200,000-1,400,000 tons/year; quarry waste more than 3,000,000 tons/year; total amount of quarry waste in the district at least 80,000,000 tons (COLI *et alii*, 2000a, 2000b; COLI & APPELIUS, 2001).

### QUARRY DUMPS

Quarry waste is usually dumped or discharged downslope from quarry floors, forming extensive quarry dumps. The material piles up with a slope angle of about 40° and more, depending on clast shape and grain size. Shape is normally rough. Grain size also depends on age and the quarrying techniques originally forming the quarry waste; it mainly ranges from a few centimetres to several metres, while the finest material (sand, silt and clay) is usually very subordinate.

Size and shape of an active quarry dump repeatedly change, as waste material is buried again and again by new supplies. This frequently leads to exceeding the friction angle of the material and to landsliding, towards a more stable arrangement. Drawing of material for calcium carbonate, filling or inert purposes (DINO & FORNARO, 2005) is another destabilizing factor. Quarry dumps are substantially like talus cones or slopes, where boulders and coarse material accumulate at the toe while small clasts stop in the mid-upper portion of the accumulation. The finest material as matrix may be eroded and transported by running water and then redistributed throughout the accumulation.

Once feeding stops, a quarry dump becomes inactive and can reach a certain stability, due to matrix, cementation and/or vegetation, which reduce erosion. Finally, the ageing gives a less or more intense lead-grey colour to the quarry dumps.

In time, as cited above, the evolution of quarrying techniques have led to grain size and compositional modifications. Thus, boulders, blocks, centimetric clasts and finer material (less than 1 cm) are visible in quarry waste. In places a particular grain size may prevail, while in other cases the deposit is more sorted. Clast- and matrix-supported levels are also recognizable.

Detailed observation of stratigraphic sections of the oldest quarry dumps frequently shows textural variations in time, referable to the changing quarry techniques. Thus, different deposits may be distinguished and referred to different ages, as follows:

- pre-roman/roman age: grain size from decimetric to metric, remains of working tools and blocks and columns;
- middle age - first half of the XIX century: significant introduction of blasting techniques, leading to very coarse grained deposits with many big boulders; semifinished, likely medieval blocks;
- end of the XIX century - first half of the XX century: introduction of the helicoidal wire in cutting, with great development of production for ornamental purposes, leading to homogeneous deposits, formed of selected blocks of decimetric size with

tempo. In una sezione ideale attraverso la storia estrattiva del marmo di Carrara si possono differenziare, dal basso verso l'alto, depositi riferibili a intervalli temporali diversi:

- età romana e talora pre-romana: granulometria da decimetrica a metrica, con resti di utensili di lavorazione e blocchi e colonne sbazzati; la dimensione dei frammenti aumenta nel tempo;
- medioevo - seconda metà del '800: significativo l'avvento degli esplosivi, che porta alla formazione di depositi a grossi blocchi; presenza di semilavorati verosimilmente medioevali;
- fine '800 - prima metà '900: l'uso del filo elicoidale porta al grande sviluppo della produzione a scopo ornamentale; ravaneti abbastanza omogenei, costituiti da pezzame selezionato con sabbie silicee, residuo della segagione a filo elicoidale;
- fine anni '80 - oggi: si afferma l'uso del filo diamantato e delle seghe a catena, con forte incremento della produzione lapidea ma anche della matrice fine negli accumuli.

E' evidente quindi la grande complessità granulometrico-tessitura dei ravaneti, che certamente ne controlla il comportamento idrogeologico e meccanico e che è molto onerosa da caratterizzare e descrivere in dettaglio, come evidenziato da PANEI *et alii* (2000). E' evidente anche come i ravaneti più antichi possano assumere un valore storico e culturale rilevante (D'AMATO AVANZI & VERANI, 1998, 2000): sono ancora visibili le antiche "vie di lizza" (erti scivoli su cui i cavatori facevano scendere a valle i blocchi di marmo, prima dell'avvento dei mezzi meccanici), i muri di contenimento realizzati a mano e le vecchie strade di arroccamento alle cave.

Un altro aspetto significativo è certamente legato alla ripresa di coltivazione dei ravaneti, in particolar modo delle frazioni più grossolane. Ciò sta provocando un aumento della percentuale relativa di materiale più fine, peggiorando sensibilmente le proprietà geomeccaniche degli ammassi detritici. Inoltre, negli ultimi decenni, l'utilizzo del filo diamantato e delle seghe a catena ha prodotto grandi quantità di residui di segagione, costituiti da una fanghiglia di polvere di marmo a granulometria fine, che spesso viene scaricata nei ravaneti. Questa miscela di acqua e particelle di marmo, nota come "marmettola", ha caratteristiche geotecniche molto scadenti e, infiltrandosi nei ravaneti, ne peggiora sensibilmente le condizioni di stabilità.

In generale, pertanto, i ravaneti vecchi e antichi, in cui è cessato da tempo l'accumulo di materiale e contengono quantità limitate o nulle di matrice, presentano spesso una colorazione più scura per alterazione e talora hanno una copertura vegetale spontanea. I ravaneti più recenti hanno variazioni granulometrico-tessitura marcate e difficilmente ricostruibili, che influenzano sia la circolazione idrica sotterranea, sia i parametri fisico-meccanici del materiale, portando spesso a condizioni più sfavorevoli per la stabilità.

Ciò suggerisce pertanto come i ravaneti più vecchi siano sostanzialmente stabili, come si è potuto verificare con l'evento del 2003, mentre quelli più recenti sono maggiormente soggetti a fenomeni di dissesto.

siliceous sand as sawdust;

- end of the '80s - today: diamond wire and chain saw dominate, so favouring a large increase in both production and fine matrix in the quarry waste.

The great textural complexity of quarry dumps is also evident. It strongly controls their hydrogeological and mechanical behaviour (PANEI *et alii*, 2000), but its complete characterization is particularly time and money consuming. Moreover, especially the most ancient quarry dumps may evidently assume a cultural and historical relevance (D'AMATO AVANZI & VERANI, 1998, 2000): in some cases, the "vie di lizza" (old steep paths which allowed the hauling down of the marble), the man-made walls, built to contain the quarry wastes, and the old quarry roads are still visible.

Another significant aspect concerns quarry waste exploitation, particularly of its coarsest portion. This is causing an increase in the relative percentage of finest material, so worsening the mechanical properties of the dumps. Moreover, the use of diamond wire and chain saw in quarrying produces a fine and clay-rich dust, which is also discharged onto the quarry dumps. This mixture of water and marble particles, the so-called "marmettola", has poor geotechnical properties and penetrates into the quarry dumps, so worsening their conditions of stability.

Therefore, old and ancient, inactive quarry dumps generally contain little or no matrix and often have a dark colour and vegetation cover. Recent and present quarry dumps show marked textural variations, influencing both underground water circulation and physical-mechanical properties, leading often to worse stability conditions. This suggests that the oldest quarry dumps are substantially stable, as the 2003 event testified, while the recent ones show high landslide susceptibility.

## L'ALLUVIONE DI CARRARA DEL 23 SETTEMBRE 2003

Come accennato in precedenza, la pericolosità dei ravaneti sotto l'effetto di piogge particolarmente intense si è evidenziata il 23 settembre 2003, in cui un evento pluviometrico di eccezionale entità ha investito il bacino marmifero di Carrara. Le forti piogge hanno attivato molteplici frane nelle coltri detritico-colluviali dei versanti naturali e, soprattutto, hanno mobilitato grandi quantitativi di materiale sciolto accumulato in prossimità delle cave di marmo.

Complessivamente, sono stati censiti circa 500 fenomeni di dissesto, la maggior parte dei quali all'interno dei bacini marmiferi. Tra questi, come si vedrà meglio in seguito, quello più esteso e che ha mobilitato il maggiore quantitativo di materiale detritico ha coinvolto il ravaneto del Fosso Borrone (Fig. 4), oggetto di questo studio.

Le conseguenze dell'evento pluviometrico sono state quindi molteplici, sia per l'attività di cava, sia per la città di Carrara. L'attività estrattiva si è fermata per diversi giorni, al fine di eliminare le condizioni di rischio residuo presente nei ravaneti mobilitati e di ripristinare la viabilità di accesso alle cave, molto spesso interessata da fenomeni franosi.

Relativamente all'abitato di Carrara, si è verificata l'esondazione del principale collettore idrico dei bacini marmiferi, il Torrente Carrione, dovuta essenzialmente all'ingente sovralluvionamento causato dall'immissione in alveo di abbondanti quantità di materiale detritico proveniente sia dalle frane superficiali, sia e soprattutto dalla mobilitazione dei ravaneti. L'esondazione del Torrente Carrione ha provocato molteplici conseguenze: numerose abitazioni ed aziende lavorative sono state allagate, mentre una persona ha perso la vita.

Cause, distribuzione ed entità dei danni dell'evento alluvionale del 23 settembre sono strettamente connessi, oltre che con l'entità dell'evento, con la particolare conformazione morfologica del comprensorio comunale di Carrara, situato nel bacino idrografico del Torrente Carrione. Il nucleo storico della città è localizzato sul fondovalle, allo sbocco del torrente nella pianura apuana. All'ingresso del centro storico, si ha inoltre la confluenza nel Carrione di un importante affluente, il Fosso Torano. Carrione e Torano convogliano a valle le acque provenienti dagli estesi bacini marmiferi posti a ridosso della città. La morfologia del bacino è particolarmente aspra, con dislivelli notevoli (oltre 1500 m) e pendenze elevate.

La ricostruzione dell'evento meteorologico del 23 settembre 2003 è stata fatta utilizzando i dati dei pluviometri di Campocecina, Carrara e Verghetto (Tab. 2), situati nelle immediate vicinanze dell'area di studio.

I valori di pioggia più intensi sono stati registrati dalla stazione pluviografica di Carrara, il cui andamento è illustrato in Fig. 3. Come si nota, la pioggia è iniziata a cadere sin dalle prime ore del mattino, con intensità modeste. Verso le ore 19.00, allorché inizia la fase parossistica dell'evento piovoso, erano piovuti circa 90

## THE SEPTEMBER 23, 2003 RAINSTORM

As cited above, on September 23, 2003, a heavy intense rainstorm hit the Carrara marble basin, highlighting the landslide hazard of quarry waste. In fact, the rainfall triggered many mass movements in the superficial colluvium materials, but particularly mobilized a large quantity of the quarry dumps.

On the whole, about 500 instability phenomena were identified, mostly in the marble basins. Among them, the main landslide really involved the Fosso Borrone quarry dump (Fig. 4), which is also the object of this study.

There were several consequences of the pluviometric event, for both the quarrying activity and the city of Carrara. Quarrying activity stopped for several days, in order to eliminate the residual risk conditions of the mobilized quarry waste and to restore the quarry roads, generally involved in instability phenomena. As regards Carrara, the most important consequence was the overflowing of the Carrione Torrent, the main drainage axis of the area. This overflow was produced by the aggradation of the riverbed, due to the inflow of large amounts of material into the hydraulic network, resulting from landslide and quarry waste mobilization. The overflowing of the Carrione Torrent caused significant damage, many houses and factories were flooded and one person died.

Causes, distribution and importance of damage are strictly linked to both the rainfall intensity and the particular morphological configuration of the Carrara area. In fact, the city is located on the valley floor of the Carrione Torrent, which flows into the Apuan plain. Moreover, in the old town of Carrara, the Torano Torrent joins the Carrione. These torrents drain the waters of wide marble basins close to the city. The basin morphology is particularly steep, with great difference in height (more than 1,500 metres) and high slope gradient.

The reconstruction of the September 23, 2003 event was based on the Campocecina, Carrara and Verghetto rain gauges (Tab. 2), close to the study area. The most intense rainfall was recorded at the Carrara rain gauge (Fig. 3). The rainfall began very early in the morning, with low intensity periods and breaks. At about 7.00 p.m., before the start of the downpour, the rainfall amount was about 90 mm within 17 hours, while from 7.00 to 9.00 p.m. almost 170 mm were recorded, with a maximum intensity of more than 100 mm/hour. Some unpublished event reports estimated the recurrence time at 30-50 years.

In the study area, the pluviometric event caused a large mass movement that involved a lot of the material accumulated in the Fosso Borrone quarry dump (Fig. 4). Referring to the CRUDEN & VARNES (1996) landslide classification, this movement may be considered as a complex, translational debris slide-debris flow. According to eye-witnesses, it was characterized by a very rapid to extremely rapid rate of movement. The debris flow was about 570 m long; the area involved was estimated at about 45,000 m<sup>2</sup> and the volume mobilized at about 45,000 m<sup>3</sup>. Its accumulation invaded and blocked the municipal road located in the valley floor. The landslide

Pluviometro <i>Rain gauge</i>	Inizio pioggia <i>Rainfall start</i>	Fine pioggia <i>Rainfall end</i>	Ora di max intensità <i>Max intensity time</i>	Max intensità (mm) <i>Max intensity (mm)</i>				
				15'	30'	1h	1h 30'	2h
Campocecina	18.00	20.30	18.30	36.2	54.0	91.4	116.0	132.6
Verghetto	18.45	20.15	19.30	37.0	63.2	95.8	128.2	139.6
Carrara	18.30	20.15	20.00	44.6	69.0	107.2	143.2	166.6

Tab. 2 - Caratteristiche della pioggia del 23 settembre nelle stazioni pluviometriche situate in prossimità dell'area di studio  
 - *Characteristics of the rainfall recorded on September 23, 2003 at the rain gauges close to the study area*

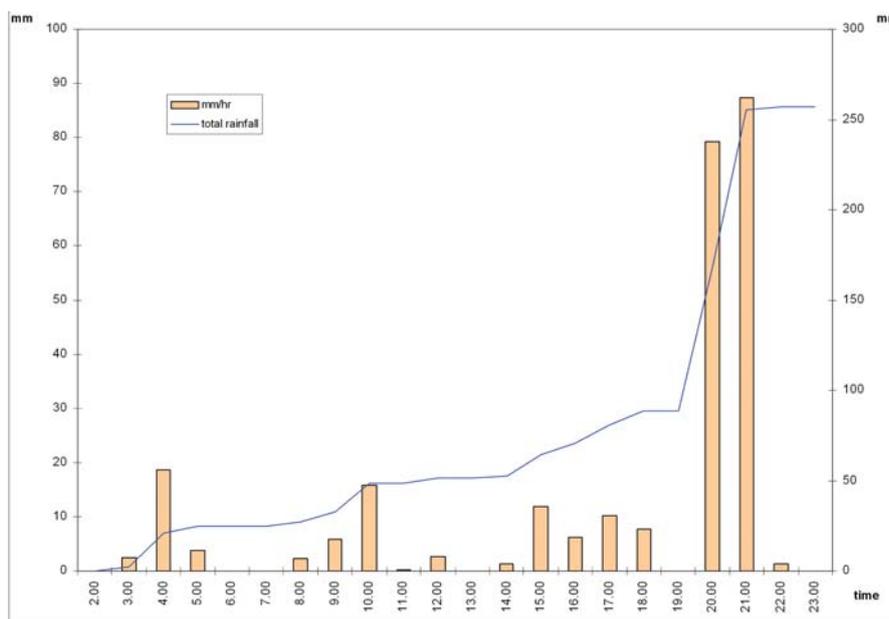


Fig. 3 - Pioggia del 23 settembre 2003 alla stazione pluviografica di Carrara  
 - *Rainfall recorded on September 23, 2003 at the Carrara rain gauge*

mm in 17 ore. Da poco prima delle 19.00 sino alle 21.00 circa, sono caduti quasi 170 mm, con un'intensità massima di oltre 100 mm/ora. Alcuni rapporti di evento hanno attribuito ad esso un tempo di ritorno da 30 a 50 anni.

Nell'area di studio, l'evento pluviometrico ha provocato un grosso movimento franoso che ha coinvolto gran parte dell'accumulo di materiale del ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli (Fig. 4).

Si è trattato di uno scorrimento traslativo di detrito, rapidamente evoluto in colata (CRUDEN & VARNES, 1996), con velocità da molto rapida a estremamente rapida, come hanno confermato le testimonianze raccolte. Il fenomeno ha interessato un'area di circa 45.000 m<sup>2</sup>, con una lunghezza di 570 m; il volume di materiale mobilizzato è stato valutato in circa 45.000 m<sup>3</sup>, mentre lo spessore massimo del deposito è stato di circa 10 m nella zona di piede. La colata detritica ha invaso ed ostruito un'area estrattiva e la viabilità di fondovalle, distruggendo alcuni macchinari e invadendo la sede di un'unità di primo soccorso per le cave. Ciò ha messo in evidenza il grande rischio che è associato a questi fenomeni.

destroyed some equipment of a quarry factory and also invaded the infirmary building of the marble basin. The thickness of the deposit which flowed into the valley floor was estimated at about 10 m.



Fig. 4 - Colata detritica nel ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli del 23/9/2003: a) area di innesco e canale di transito; b) area di accumulo  
- The September 23, 2003 debris flow involving the Fosso Borrone-Monte Bettogli quarry waste: a) source area and track; b) accumulation area (fan)

### IL RAVANETO DI FOSSO BORRONE-MONTE BETTOGLI

Come precedentemente accennato, questo studio si è concentrato sul bacino di Torano, in sinistra idrografica del canale omonimo, dove sono attive 22 cave.

Le indagini sono state avviate sul ravaneto denominato Fosso Borrone-Monte Bettogli (Fig. 5), particolarmente colpito dagli effetti dell'evento meteorologico del 23 settembre 2003, che ha innescato molteplici dissesti. Le indagini sono consistite in rilievi geomorfologici e geotecnici, analisi degli effetti dell'evento suddetto e valutazione della risposta idrogeologica del ravaneto alla pioggia intensa, consentendo di individuare forme, processi e depositi principali, connessi con la gravità, le acque ruscellanti e l'azione antropica e di definire alcune caratteristiche granulometriche e idrogeologiche significative.

Il ravaneto in oggetto comprende tre diversi accumuli di detrito di cava, con differenze significative dal punto di vista geometrico e granulometrico, connesse con la loro storia evolutiva.

#### *Aspetti geomorfologici ed evoluzione storica*

Il rilievo geomorfologico di campagna ha consentito di analizzare i limiti dei ravaneti esistenti, nonché le principali forme presenti nel

### THE FOSSO BORRONE-MONTE BETTOGLI QUARRY WASTE

As previously mentioned, this research concentrated on the Torano basin, on the left side of the Torano Torrent, where 22 quarries are at work.

In detail, the research started on the Fosso Borrone-Monte Bettogli quarry dump (Fig. 5), which was severely struck by the September 2003 storm and related effects, triggering many landslides. This research included geomorphological and geotechnical investigations, analysis of the effects of the 2003 event and evaluation of the hydrogeological response of the quarry dump to the intense rainfall. They allowed identification of the main gravitational, torrential and anthropogenic landforms, processes and deposits.

The dump considered is formed of three different waste accumulations, which show significant geometric and granulometric differences resulting from their evolutionary history.

#### *Geomorphological features and historical evolution*

Geomorphological surveying allowed the analysis of the quarry waste and its main landforms, and to identify different portions based



Fig. 5 - I tre accumuli che costituiscono il ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli  
 - *The three accumulations forming the Fosso Borrone-Monte Bettogli quarry waste*

ravaneto e di distinguere varie zone in base a età, stato di attività e granulometria. In particolare, sono state evidenziate le aree a diverse caratteristiche di stabilità, le forme di erosione in atto, forme, processi e depositi di natura antropica e lo stato della copertura vegetale, che fornisce utili indicazioni sullo stato di attività degli accumuli detritici. Sulla base dei dati storici e di quelli acquisiti nei rilievi sul terreno, sono state differenziate, all'interno dell'area studiata, tre diverse discariche, che, seppur contigue, presentano alcune differenze significative, sia dal punto di vista geometrico, che granulometrico. I rilievi effettuati hanno permesso di confermare come tali caratteristiche siano strettamente connesse con la storia evolutiva del ravaneto stesso.

Successivamente, è stata ricostruita, mediante la consultazione delle carte topografiche disponibili e la fotointerpretazione, l'estensione planimetrica del ravaneto nel corso del tempo ed in particolare negli anni 1890, 1978-1980 e 2000 (Fig. 6).

on age, activity and grain size. In particular, areas with differing degrees of stability were identified; furthermore, erosion landforms, anthropogenic landforms, processes and deposits and vegetation characteristics (providing useful information on activity) were analyzed. On the basis of historical data and information acquired on site, three different quarry dumps were identified within the greater, studied quarry dump. Even if contiguous, they present some significant differences in geometry and grain size sorting. The on site survey led to confirmation that these characteristics are strictly linked to the evolutionary history of the deposit.

Subsequently, the surface covered by the quarry dump was reconstructed by means of topographic maps and aerial photographs. In particular, this study considered the years 1890, 1978-1980 and 2000 (Fig. 6). Overlapping the slope cross-sections carried out for the three maps, the variation of the deposit thickness

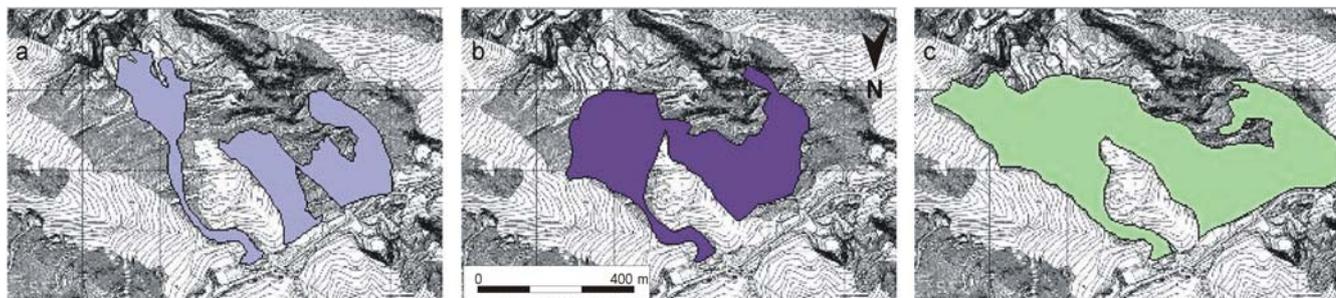


Fig. 6 - Estensione del ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli negli anni 1890 (a), 1978-1980 (b) e 2000 (c)  
- Quarry waste extent in 1890 (a), 1978-1980 (b) and 2000 (c)

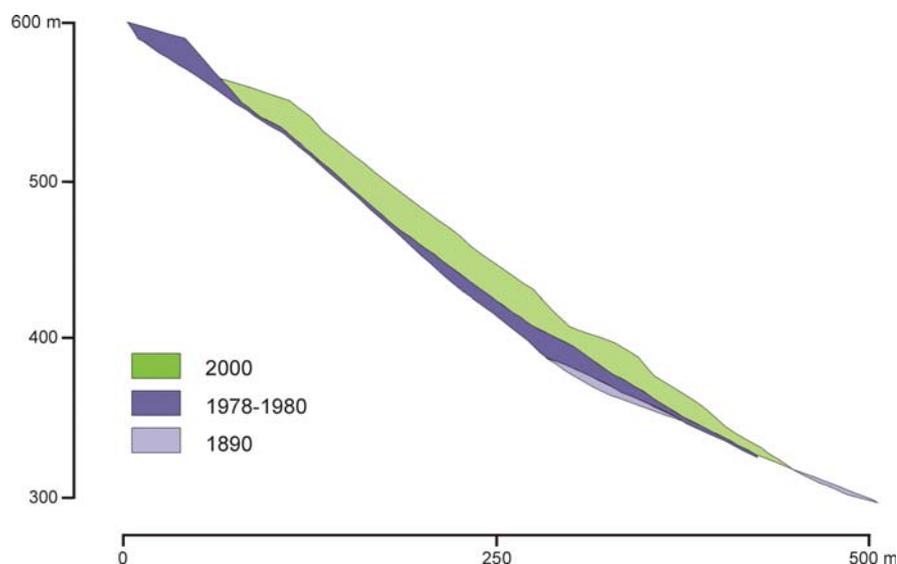


Fig. 7 - Spessore del ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli negli anni 1890, 1978-1980 e 2000  
- Quarry waste thickness in 1890, 1978-1980 and 2000

Mediante confronto tra le mappe redatte per i tre periodi considerati, è stata ricostruita la variazione di spessore nel tempo (Fig. 7). Come si può notare, estensione e spessore del ravaneto hanno subito uno spiccato incremento soprattutto negli ultimi 20 anni. Ciò è direttamente riconducibile all'introduzione delle nuove tecniche di taglio a partire dal 1982 (filo diamantato e tagliatrici a catena) che hanno ridotto i tempi di segazione e aumentato la produzione e, quindi, gli scarti. Nel 1890 l'accumulo del detrito, nella sezione esaminata, aveva uno spessore di pochi metri (massimo 8-10 m); nel 1978 lo spessore massimo era di circa 20 metri, mentre nel 2000 era di circa 30-35 metri. Dal 1978 al 2000, il ravaneto, oltre ad essersi sviluppato arealmente, ha quasi raddoppiato lo spessore precedente al 1978.

#### Granulometria

La valutazione delle caratteristiche granulometriche è stata effettuata mediante analisi di 9 campioni, rappresentativi delle porzioni più superficiali del deposito. L'analisi è stata eseguita in laboratorio (vagliatura e sedimentazione) per la matrice, mentre per la frazione

was reconstructed (Fig. 7). As we can note in the figures, both extent and thickness of the quarry waste has greatly increased, mainly in the last 20 years. Actually, as cited above, this is directly linked to the introduction, since 1982, of modern quarrying technologies (chain saw, diamond wire saw), which have drastically reduced the marble extraction time, increasing production and, consequently, also the material discarded. In 1980 the detrital accumulation, in the examined cross section, had a thickness of a few metres (maximum 8-10 m); in 1978 it was about 20 metres thick and in 2000 it was about 30-35 m thick. Thus, from 1978 to 2000, the quarry dump had a significant development and almost doubled its thickness prior to 1978.

#### Grain size distribution

The grain size was obtained analysing 9 samples collected in the most superficial portions of the deposit. The matrix was analysed in a geotechnical laboratory (sieving and hydrometry); image analysis of some photographs taken on site identified the coarse fraction. In

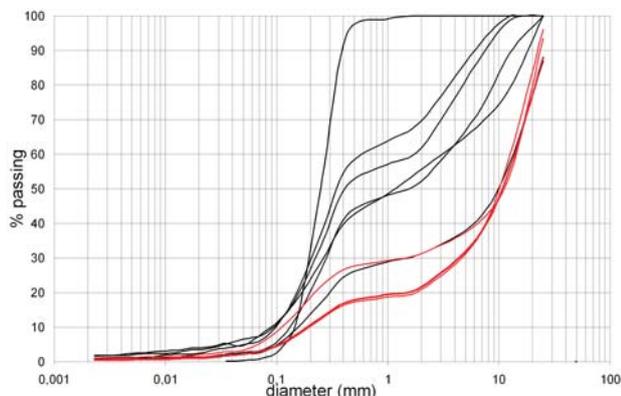


Fig. 8 - Curve granulometriche relative alla matrice di 9 campioni (in nero, i 6 campioni raccolti in ravaneti recenti; in rosso, i 3 campioni raccolti in ravaneti antichi)  
 - Grain size distribution of the matrix of 9 samples (in black the 6 samples collected in recent quarry dumps; in red the 3 samples collected in old quarry dumps)

grossolana è stata utilizzata l'analisi d'immagine di fotografie rappresentative del deposito, riprese in sito. In particolare, nei luoghi in cui sono stati prelevati i campioni di matrice, sono state effettuate anche 6 fotografie (areale coperto circa 3 m × 3 m), successivamente analizzate con opportuni software di elaborazione di immagine.

Le analisi granulometriche hanno permesso di riconoscere differenze significative tra i ravaneti vecchi e quelli più recenti, dove si riscontra una maggiore percentuale di materiale fine (Figg. 8 e 9). Ciò è riconducibile sia alla presenza di "marmettola", materiale finissimo, residuo di lavorazione con le nuove tecniche di taglio, sia al fatto che negli ultimi anni il recupero dei materiali di scarto per la produzione di carbonato di calcio ha comportato la vagliatura in cava dei detriti, scaricando nel ravaneto la parte più fine (BRUSCHI *et alii* 2003).

#### Dissesti

Il ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli mostra uno stato di dissesto avanzato, più marcato nelle zone di recente espansione ed interessate dalle infrastrutture viarie. I fenomeni di instabilità consistono prevalentemente in erosione prodotta da intenso ruscellamento diffuso (Fig. 10a) e concentrato e, localmente, in vere e proprie frane che danno luogo a colate detritiche (*debris flows*) di materiale grossolano in matrice più fine (Fig. 10b). Se le condizioni morfologiche al contorno lo consentono, tali colate si incanalano rapidamente, potendo raggiungere anche il fondovalle (come si è verificato nel settembre 2003). In altri casi, possono arrestarsi lungo il versante stesso, spesso in corrispondenza delle rotture di pendenza determinate dal tracciato stradale nelle zone sottostanti l'area di innesco.

Le aree a franosità diffusa sono concentrate nella parte centrale del ravaneto attivo del Fosso Borrone, caratterizzato da un maggiore assortimento granulometrico, con abbondante materiale fine. Il continuo scarico di materiale dall'alto e il prelievo al piede fanno sì che si verifichino frane relativamente frequenti, ma in genere di volume modesto.

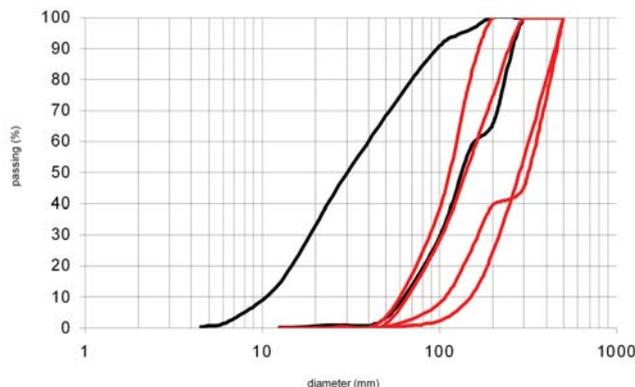


Fig. 9 - Curve granulometriche relative alla frazione grossolana di 6 campioni (in nero, i 2 campioni raccolti in ravaneti recenti; in rosso, i 4 campioni raccolti in ravaneti antichi)  
 - Grain size distribution of the coarse fraction of 6 samples (in black the 2 samples collected in recent quarry dumps; in red the 4 samples collected in old quarry dumps)

particular, in the same sites of the sampled matrix, 6 photos (about 3 m × 3 m of covered area) were taken and subsequently analysed by means of image processing software.

This allowed us to identify significant differences between old and recent quarry dumps; in fact, in the latter case the fine material is usually more abundant (Figs. 8 and 9). This fact is probably due to the presence, within the deposit, of the "marmettola", representing a very fine material, residual of the working with the new cutting techniques. Furthermore, in recent years the exploitation of the coarsest portion for the production of calcium carbonate has implied an increase in the finest fraction in the quarry waste (BRUSCHI *et alii* 2003).

#### Instability phenomena

The Fosso Borrone-Monte Bettogli quarry waste shows several instability phenomena, in particular in the areas of recent expansion and in those where there are quarry roads. Such instability phenomena are mainly represented by sheet and rill erosion (Fig. 10a) and, locally, by landslides originating debris flows (Fig. 10b). In particular morphological conditions, such debris flows rapidly canalize downslope and reach the valley bottom (e.g. during the September 2003 event). In other cases, they stop along the slope, often where the slope gradient decreases, for example in the presence of a quarry road.

The instability phenomena are concentrated in the central portion of the active Fosso Borrone quarry dump, characterized by a well-sorted grain size, rich in fine material. In fact, the continuous unloading of material from the quarrying area and the removal by undermining at the toe of the deposit frequently trigger landslides, generally involving a small volume of material. The erosional phenomena mainly correspond to the scarps of the quarry roads (Fig.



Fig. 10 - Ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli. a: erosione per ruscellamento diffuso. b: canale inciso da un debris flow  
- *Fosso Borrone-Monte Bettogli quarry dump. a: sheet erosion; b: track of a debris flow*

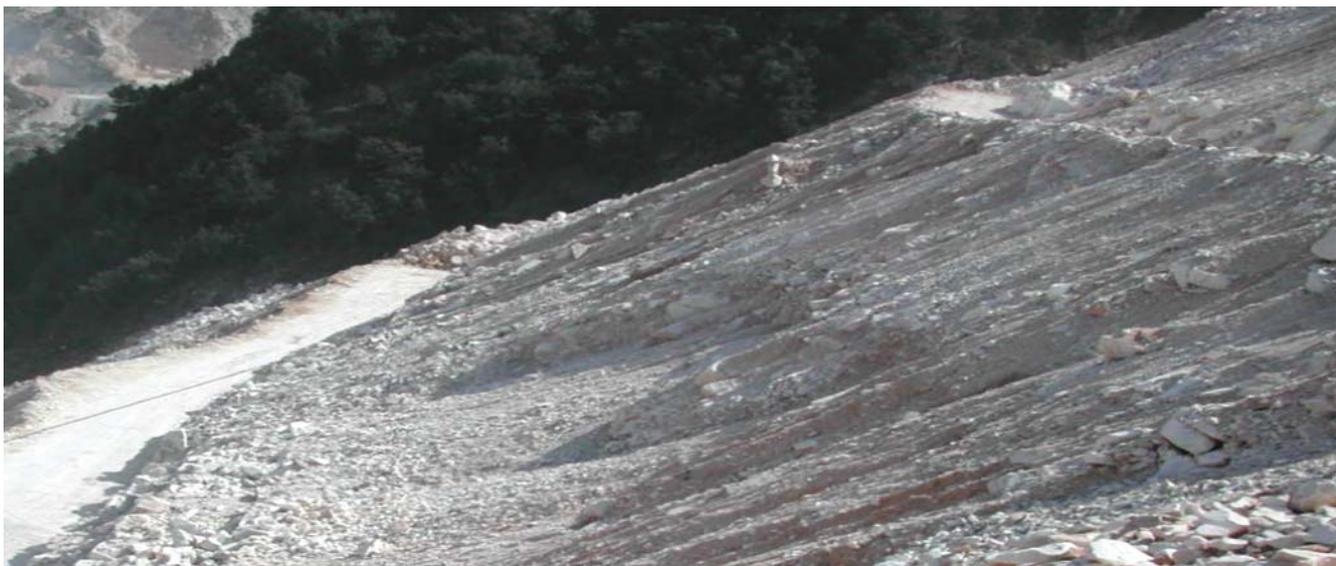


Fig. 11 - Ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli: zone di dissesto in prossimità della strada di arroccamento della cava  
- *Fosso Borrone-Monte Bettogli quarry dump: instability areas close to the quarry roads*

Lungo le scarpate delle piste di arroccamento si manifesta un'evidente erosione per ruscellamento, soprattutto dal lato di valle della pista (Fig. 11), dove si riversano le acque incanalate lungo la carreggiata. In particolare, il fenomeno sembra ancor più intenso in prossimità dei tornanti, dove la strada riversa una maggiore quantità d'acqua.

### RISPOSTA IDRAULICA DEI RAVANETI

Un aspetto particolarmente importante collegato alla presenza in grandi quantità dei ravaneti nei bacini marmiferi apuani è verosimilmente connesso al loro ruolo nell'attenuazione dei tempi di corrivazione delle acque di ruscellamento, come già sottolineato da D'AMATO AVANZI & VERANI (1998, 2000). I versanti della catena apuana sono infatti piuttosto acclivi e su di essi le acque di pioggia scorrono via molto rapidamente, determinando ridotti tempi di corrivazione. A titolo di esempio, GIANNECCHINI (1997) ha stimato il tempo di corrivazione per un bacino apuano con caratteristiche tipiche, quale quello del Torrente del Cardoso in Alta Versilia, di estensione pari a circa 13 km<sup>2</sup> e dislivelli fino a 1800 m, ottenendo valori intorno a un'ora, sottolineando quindi le problematiche connesse con il rischio idrogeologico dell'ambiente apuano. Questo comporta, pertanto, ridotti tempi di allertamento e di eventuale evacuazione per il verificarsi di piene torrentizie e colate detritiche. I ravaneti sono invece normalmente meno acclivi del substrato e, data la granulometria in prevalenza grossolana, specialmente per i depositi più antichi originati a seguito dell'utilizzo di tecniche estrattive più invasive (esplosivi), sono anche dotati di elevata permeabilità. Sulla base di tali aspetti, si intuisce come le discariche delle cave di marmo possano costituire dei serbatoi artificiali, in grado di assorbire significativi quantitativi di pioggia, rilasciandoli poi con gradualità e laminando quindi le piene torrentizie, mitigando, in ultima analisi, il rischio idrogeologico per gli abitati posti a valle (es. i piccoli paesi di fondovalle, ma anche le città di Carrara e Massa, per rimanere nell'area di studio).

Pertanto, se da un lato in particolari condizioni (ad es. in presenza di matrice fine nei ravaneti più recenti) i ravaneti hanno certamente seri problemi di stabilità, come dimostrato più volte in occasione di eventi piovosi particolarmente intensi, non ultimo quello del 23 settembre 2003, dall'altra, specialmente per gli accumuli più antichi e costituiti da materiale con pezzatura più grossolana, possono fornire un contributo non trascurabile nella laminazione degli eventi di piena. A ciò, si deve aggiungere che, da alcuni anni, anche i ravaneti sono diventati economicamente appetibili e ne è stata avviata la coltivazione, sia di quelli più antichi, la cui pezzatura grossolana permette un recupero importante ed utilizzabile in edilizia, sia di quelli a granulometria minore, impiegati per inerti o per la produzione di carbonato di calcio. Ciò va a scontrarsi inevitabilmente con la funzione che potrebbero esercitare durante gli eventi alluvionali.

Per cercare una conferma alle asserzioni sopra esposte, durante le fasi di indagine di questo lavoro si è verificato un evento piovoso, non particolarmente intenso, ma comunque utile allo scopo, che ha permesso di verificare quanto ipotizzato. E' stata infatti individuata

11). In particular, the most vulnerable areas seem to be close to the hairpin bend of the quarry roads. In fact, in such zones a large amount of water is intercepted by the roads and flows downslope.

### HYDRAULIC RESPONSE OF QUARRY WASTE

An important aspect linked to the presence of the quarry wastes in the Apuan marble basins is probably connected to their possible role in the slow down of the concentration time of the basin, as D'AMATO AVANZI & VERANI (1998, 2000) have already highlighted. In fact, the slopes of the Apuan Alps are particularly steep and the runoff of the superficial waters is very rapid, determining a low concentration time. For example, GIANNECCHINI (1997) estimated a concentration time of about 1 hour for an Apuan basin (Cardoso Torrent, Upper Versilia) with typical characteristics (extension of 13 km<sup>2</sup> and difference of level up to 1800 m. This fact underlines the problems associated with the hydrogeological risk of the Apuan Alps. As a consequence, during flash floods and debris flows, the alert and eventual evacuation of the population requires very little time in these conditions. On the contrary, the quarry dumps are usually less steep than the slopes on which they lie. Furthermore, they are characterized by coarse material, in particular the older deposits, originated from quarrying based on explosives; this implies a high permeability of this type of material. On the basis of such characteristics, the quarry dumps could operate as artificial reservoirs. With this function, they adsorb a large amount of water, discharging gradually and mitigating the floods and the hydrogeological risk for the valley floor villages and cities (Carrara and Massa in the study area).

Therefore, if the quarry dumps, in particular conditions (e.g. presence of fine material in the recent deposits) have serious stability problems, as demonstrated many times during particularly intense rainfall (for example the September 23, 2003 meteorological event), on the other hand the older quarry wastes, characterized by coarse material, may have a significant role in the mitigation of the floods. Furthermore, due to the ever increasing economic difficulties in marble quarrying, the material of the quarry wastes (old and recent) is nowadays recovered, in order to obtain material for the building market and for the production of calcium carbonate. This obviously goes against their function in the mitigation of floods.

In order to obtain a confirmation of the observations above, during the surveys carried out for this research, a rainfall event, not particularly intense but useful for the purpose, allowed verification of the behaviour of the quarry waste. A small spring was identified at the toe of the Fosso Borrone deposit; this deposit is about 100,000 m<sup>2</sup> wide and lies on a calcareous bedrock (Calcare selcifero Fm.). Due to fracturing, this type of rock is characterized by a high permeability, but is certainly less permeable than the quarry waste. On the basis of observations and information collected on site, the spring seems to be intermittent, susceptible to rainfall.

DISCARICHE DI CAVA E INSTABILITÀ DEI VERSANTI: VALUTAZIONE PRELIMINARE DI ALCUNI FATTORI SIGNIFICATIVI  
NEL BACINO MARMIFERO DI CARRARA (ITALIA)

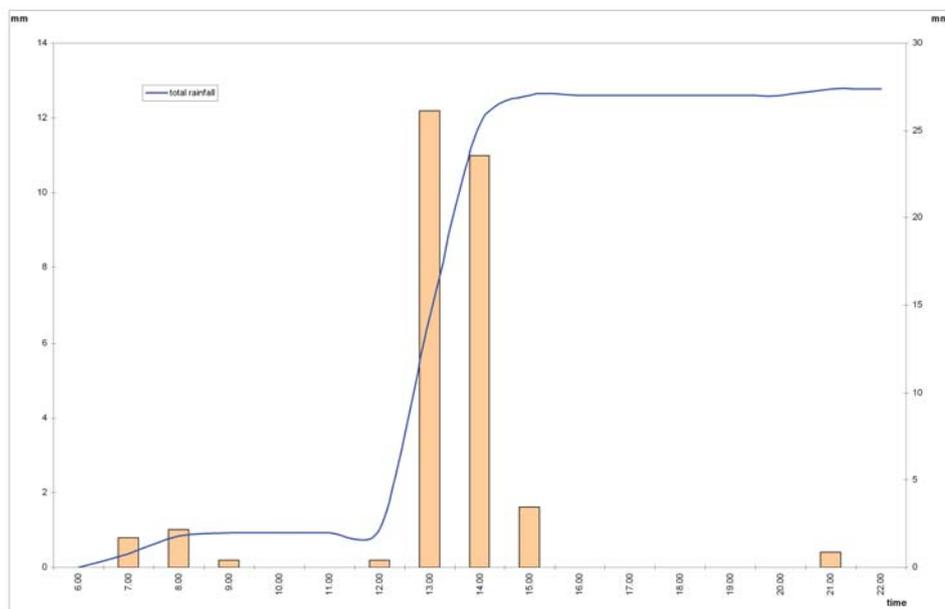


Fig. 12 - Distribuzione oraria e cumulata della pioggia del 14 giugno 2005  
- Hourly and total distribution of the June 14, 2005 rainfall

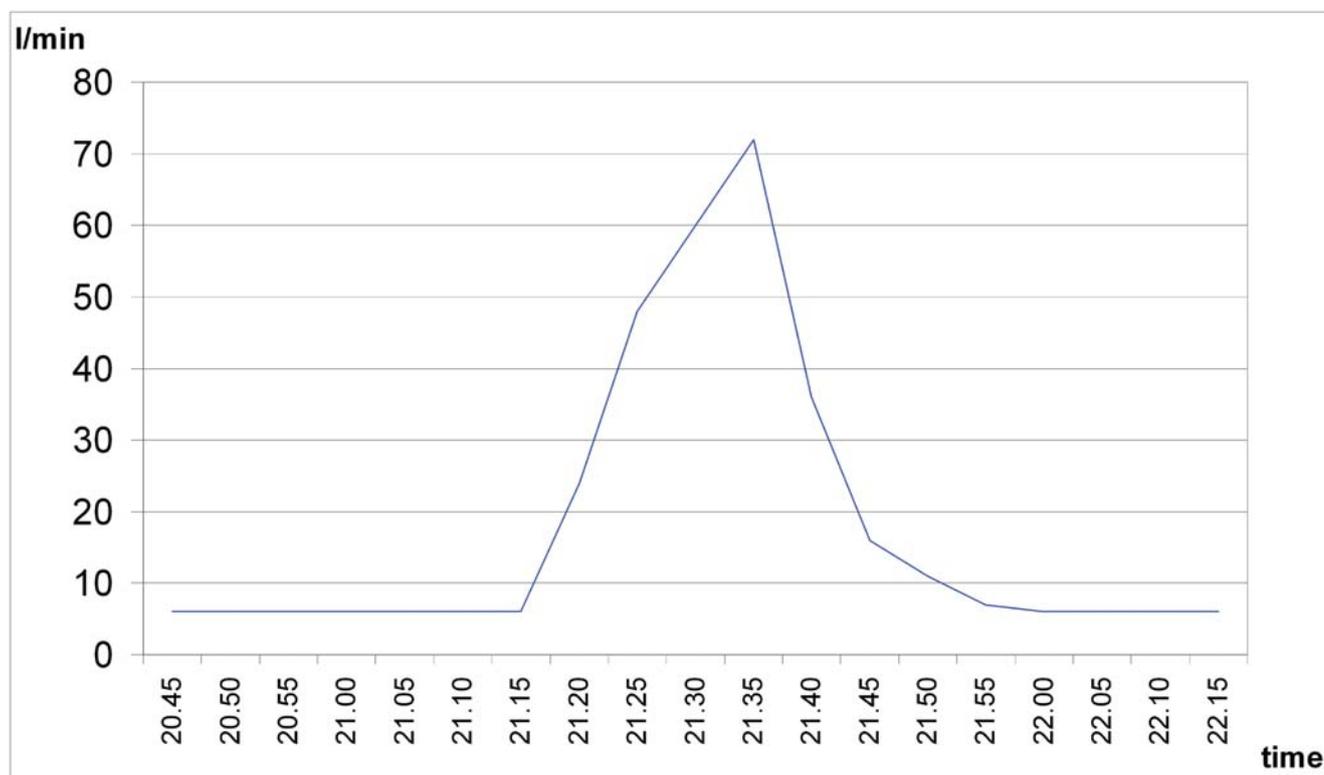


Fig. 13 - Portata della sorgente del Fosso Borrone dopo l'evento piovoso del 14 giugno 2005.  
- Discharge of the Fosso Borrone spring after the June 14, 2005 rainfall

una piccola sorgente, situata alla base del ravaneto del Fosso Borrone; tale ravaneto ha un'estensione pari a circa 100.000 m<sup>2</sup> e poggia su un substrato costituito da calcari selciferi, roccia che, per quanto dotata di un'alta permeabilità per fessurazione, ha certamente una permeabilità inferiore a quella del deposito. Da osservazioni e informazioni raccolte in sito, sembra che tale sorgente abbia caratteristiche di intermittenza, ma piuttosto suscettibile agli eventi piovosi.

Il 14 giugno 2005, durante i rilievi di campagna, una pioggia abbastanza intensa, per quanto breve, si è abbattuta sull'area poco dopo le 12.00 (Fig. 12); pensando che tale pioggia avrebbe potuto in qualche modo influenzare il regime della sorgente ai piedi del ravaneto, è stato predisposto molto rapidamente un monitoraggio della sorgente stessa. A tal fine, è stato realizzato uno stramazzo artificiale, mediante un modesto scavo del terreno e l'alloggiamento di pannelli in lamiera per regolarizzare il più possibile il piccolo canale di misura. Appena predisposta la sezione di misura, è stato avviato il monitoraggio, protrattosi fino alle 22 circa.

Il picco di pioggia principale si è verificato tra le 13 e le 14, con massimi orari di circa 12 mm ed un totale di circa 27 mm in 9 ore. Dopo 8 ore circa dall'inizio della pioggia, la sorgente ha iniziato ad incrementare la propria portata, passando piuttosto rapidamente da 6 l/min a oltre 70 l/min. In meno di un'ora, la sorgente è poi tornata sui valori di portata iniziali (Fig. 13).

Premesso che i dati a disposizione dovrebbero essere certamente sostenuti da ulteriori misure e con il monitoraggio di altre sorgenti poste alla base dei ravaneti, essi comunque suggeriscono che tali accumuli di materiale sembrano svolgere una funzione della laminazione degli eventi di piena.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le indagini svolte durante le varie fasi di questa ricerca hanno permesso di individuare alcuni dei fattori principali che partecipano all'innescio dei fenomeni franosi (in particolare *debris flows*) nelle discariche di cava delle Alpi Apuane, localmente denominati ravaneti.

Se attualmente non è semplice stimare le caratteristiche geomeccaniche di un ravaneto, a causa della estrema variabilità del materiale presente, del grado di addensamento e delle proprietà strutturali e tessiturali, certamente uno degli aspetti critici sembra essere riferibile all'assortimento granulometrico dei ravaneti. Come è noto, infatti, le innovazioni tecnologiche che hanno interessato le metodologie di estrazione hanno determinato, nel tempo, differenziazioni nelle caratteristiche granulometriche degli accumuli detritici, con aumento della frazione fine e sviluppo di livelli granulometrici contrastanti. Ciò ha portato ad incrementare la matrice in materiali originariamente clasto-sostenuti, dotati di buone caratteristiche geomeccaniche, di permeabilità e, complessivamente, di buona stabilità. L'aumento di frazione fine in molti ravaneti ha determinato drastici cambiamenti nell'assetto strutturale e tessiturale dei depositi, originando livelli di debolezza degli ammassi.

On June 14, 2005, during the on site surveys, quite intense but short rainfall hit the study area after 12.00 a.m. (Fig. 12). Imagining that such rainfall could vary the spring regime, a simple monitoring system was rapidly set up by means of the construction of an artificial weir. This weir was made by excavating and arrangement of some sheet iron. As soon as the measuring section was set up, the monitoring activity started and was stopped at about 10.00 p.m.

The main rainfall peak occurred between 1.00 and 2.00 p.m., with maximum intensity of 12 mm/hour and a total amount of about 27 mm within 9 hours. After 8 hours from the start of rainfall, the spring discharge rose from 6 l/min to 70 l/min. The flow returned to a normal discharge in less than 1 hour (Fig. 13).

These data should obviously be supported by further measurements and the monitoring of other springs at the toe of the quarry dumps. However, they suggest that the marble deposits might exert both a control and a mitigating effect in terms of flooding activity.

## CONCLUSIVE REMARKS

The survey carried out during the present research identifies some of the main factors that contribute to the triggering of landslides (in particular debris flows) in the quarry wastes of the Apuan Alps, locally known as *ravaneti*.

If at present the estimation of the geomechanical characteristics of a quarry dump is particularly difficult, due to the huge variability of the material, degree of thickening, structural and textural properties, one of the most important and critical features seems to be referable to the grain size sorting of the deposit. In fact, it is well-known that the new quarrying technologies have caused, in time, differences in the grain size characteristics of the quarry dumps, determining an increase in the finer material and the development of levels with contrasting granulometric characteristics. This fact has brought about an increase in the matrix in generally clast-supported materials, characterized by good geomechanical features, permeability and stability. This has originated changes in the structural and textural features of the material, producing weakness levels in the quarry dumps.

These features emerged in particular during the September 23, 2003 event, in which, after heavy intense rainfall, several recent quarry dumps collapsed, originating landslides and debris flows.

Queste considerazioni sono emerse in tutta la loro gravità in occasione dell'evento alluvionale del 23 settembre 2003, in cui, in seguito a piogge intense e di breve durata, numerosi dei ravaneti più recenti sono stati coinvolti in fenomeni di dissesto e *debris flows*, mentre ravaneti più antichi, ben riconoscibili anche dalla loro tipica colorazione grigiastra e talora parzialmente vegetati, sono rimasti generalmente stabili.

Attualmente, può pertanto manifestarsi un interrogativo, spesso fatto proprio da enti locali, associazioni ambientali e cittadini: è opportuno smantellare i ravaneti, prima che un evento ancora più intenso (paragonabile ad esempio a quello che il 19 giugno 1996 provocò l'alluvione della Versilia - D'AMATO AVANZI *et alii*, 2004a) determini un disastro di proporzioni devastanti?

In realtà, la risposta potrebbe essere negativa, per alcune considerazioni. Innanzi tutto, i ravaneti sono entrati a far parte del paesaggio tipico delle Alpi Apuane, diventando un vero e proprio geosito, motivo di attrazione inserito da tempo negli itinerari turistici toscani. Il secondo motivo, palesemente più importante, è che, date le loro caratteristiche di permeabilità, in particolare dei ravaneti più vecchi, tali accumuli possono costituire dei serbatoi temporanei, con funzione di laminazione delle piene dei torrenti apuani, che giungono nella pianura apuo-versiliese con pendenze elevatissime e forti capacità erosive e di trasporto di materiale solido. Ciò è stato preliminarmente osservato anche in questa ricerca con il monitoraggio di una piccola sorgente alla base del ravaneto di Fosso Borrone-Monte Bettogli.

Peraltro, affinché i ravaneti possano svolgere un ruolo efficace nella diminuzione del rischio idraulico, deve essere cambiato anche l'approccio nel riversamento di materiale a discarica, nella realizzazione dei tracciati di arroccamento e, soprattutto, devono essere poste in opera efficaci misure di messa in sicurezza degli accumuli, in particolare di quelli più recenti.

Purtroppo, ad oggi, niente di tutto questo sembra essere stato fatto. Il materiale scartato continua ad essere riversato in maniera incontrollata nei ripidi versanti; i ravaneti invadono nella grande maggioranza dei casi gli alvei dei torrenti; le strade di arroccamento vengono realizzate mirando più agli aspetti logistici dell'attività estrattiva, che a quelli della stabilità dei versanti; infine, la ricoltivazione degli stessi ravaneti comporta spesso un'asportazione del materiale dal basso (Fig. 14), con destabilizzazione degli ammassi detritici.

Al fine di validare ipotesi e considerazioni proposte in questo lavoro, ulteriori indagini dovrebbero comunque essere realizzate per caratterizzare meglio l'assetto geomeccanico dei ravaneti in relazione alle loro caratteristiche di stabilità. In tal senso, sarebbe di aiuto un'attività di monitoraggio di versanti a rischio, anche per cercare di comprendere i rapporti tra pioggia, infiltrazione e risposta idraulica dei ravaneti stessi.



Fig. 14 - Estrazione del materiale al piede del ravaneto  
- *Quarrying of the toe of a quarry dump*

Indeed the older deposits, recognizable by their typical grey colour and, sometimes, by sporadic vegetation, remained stable.

At present, local administrations, environmental associations and local communities often ask a question: would it not be opportune to dismantle the quarry dumps, before a more intense rainstorm (for example similar to the June 19, 1996 catastrophe of the nearby Versilia - D'AMATO AVANZI *et alii*, 2004a) causes a huge disaster?

Actually, the answer could be negative, due to some considerations. Firstly, nowadays the quarry dumps represent one of the typical landforms of the Apuan Alps landscape and have become a geosite, belonging to many Tuscan tourist itineraries. The second and most important aspect is represented by the reservoir function that the quarry dumps, especially the older deposits, could perform in the mitigation of floods, due to their permeability. In fact, the Apuan torrents are characterized by high gradient and erosive capability. This was also observed during this research by monitoring a small spring at the toe of the Fosso Borrone-Monte Bettogli quarry waste.

Nevertheless, in order to perform this important function in the mitigation of hydrogeological risk of the area, many aspects should be changed: the approach to material discharge in the quarry dumps and to quarry road construction; furthermore, efficient safety measures should be implemented both for the old and recent quarry dumps.

Unfortunately, there are no useful changes being made at the moment. The material is still discharged by uncontrolled methods downslope; the quarry dumps continue to invade the valley bottom of the torrents; the quarry roads are constructed on the basis of quarrying logistic approaches rather than slope stability; finally, the extraction of the quarry dump material at their toe (Fig. 14) tends to further destabilize the deposits.

In order to validate hypothesis and considerations related in this research, more studies should be carried out to better characterize the geomechanical conditions of the quarry dumps related to slope stability. Furthermore, the monitoring activity should be improved and aimed at understanding the rainfall-infiltration-hydraulic response relationship of the quarry wastes.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare i due revisori anonimi, i cui suggerimenti hanno migliorato il manoscritto. Il lavoro è stato eseguito con fondi MIUR (PRIN 2005 - Caratterizzazione geologica e geotecnica di pendii e analisi di stabilità in aree sismiche dell'Appennino Settentrionale, Italia).

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by MIUR - Italian Ministry for Education, University and Research funds (PRIN 2005 - Geological and geotechnical characterization of slopes and slope stability analysis in seismic areas of the Northern Apennines, Italy). The authors wish to thank two anonymous referees, whose comments improved the manuscript.

## OPERE CITATE / REFERENCES

- BARONI C., BRUSCHI G., CRISCUOLO A. & RIBOLINI A. (2000) - *Human-induced hazardous debris flows in Carrara marble basins (Tuscany, Italy)*. Earth Surf. Process. Landforms, **25**: 93-103.
- BARONI C., BRUSCHI G., CRISCUOLO A., MANDRONE A. & RIBOLINI A. (2003) - *Complete grain-size analyses on debris-flow source area in the Carrara marble basin, Apuane Alps, Italy*. Proc. "Debris-Flow hazard mitigation, Prediction and Assessment", Davos, CH. Millpress, Rotterdam, **2**: 809-820.
- CASELLA L. (1963) - *I cavaatori delle Alpi Apuane*. La Nuova Europa Ed., Carrara, 175 pp.
- CAREDDIO F., D'AMATO AVANZI G., PUCCINELLI A., TRIVELLINI, VENUTELLI M. & VERANI M. (1996) - *La catastrofe idrogeologica del 19/6/1996 in Versilia e Garfagnana (Toscana, Italia): aspetti geomorfologici e valutazioni idrauliche*. Atti Conv. "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica". Alba (CN), 5-7/11/1996, **2**: 75-88.
- CARMIGNANI L. (1985, Ed.) - *Carta geologico-strutturale del complesso metamorfico delle Alpi Apuane (scala 1:25.000)*. Foglio Nord. Tip. L.A.C., Firenze.
- CARMIGNANI L. & GIGLIA G. (1984) - "Autoctono Apuano" e Falda Toscana: sintesi dei dati e interpretazioni più recenti. In: "Cent'anni di Geologia Italiana", Vol. Giub. I Cent. Soc. Geol. It., 199-219.
- CARMIGNANI L., CONTI P., DISPERATI L., FANTOZZI P.L., GIGLIA G. & MECCHERI M. (2000) - *Carta Geologica del Parco delle Alpi Apuane (scala 1:50.000)*. Parco Apuane, Tip. S.El.Ca, 2000, Firenze.
- CARMIGNANI L., DECANDIA F.A., FANTOZZI P.L., LAZZAROTTO A., LIOTTA D. & MECCHERI M. (1994) - *Tertiary extensional tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy)*. Tectonophysics, **238**: 295-315.
- CICOGNANI (1965) - *Le prose*. Vallecchi Ed., Firenze, 270 pp.
- COLI M. & APPELIUS V. (2001). *Studi sui ravaneti dei bacini marmiferi industriali del Comune di Carrara - II: Fattori di pericolosità intrinseca*. GEAM, Atti del Convegno: "Controllo ambientale della attività di cava per lapidei ornamentali in importanti bacini estrattivi", Trani, 19-21/9/01: 59-74.
- COLI M., APPELIUS V. & PINI G. (2000a). *Studi sui ravaneti dei Bacini Marmiferi Industriali del Comune di Carrara - I: ubicazione, tipologia e consistenza*. GEAM, Atti del Convegno "Le cave di pietre ornamentali", Torino, 28-29/11/2000, 59-63.
- COLI M., APPELIUS V., PINI G. & DONELLI O. (2000b). *I ravaneti dei bacini marmiferi industriali del Comune di Carrara quale risorsa ecosostenibile di lapideo scioltoso suscettibile di ulteriore utilizzazione economica*. GEAM, Atti del Convegno "Problemi ambientali legati all'attività estrattiva: i residui di lavorazione". Torino, 23/10/2000, sintesi delle relazioni.
- COLI M. & GRANDINI G. (1994) - *Evoluzione e compatibilità ambientale dell'attività estrattiva del marmo di Carrara*. GEAM-Geoingegneria Ambientale e Mineraria, **83**: 111-116.
- COLI M. & PANDELI E. (1992) - *La geologia delle Alpi Apuane: l'Unità di Massa, il Nucleo Metamorfico, le Breccie poligeniche neogeniche*. In: "Guida alla traversata dell'Appennino Settentrionale", 76° Riunione Estiva Soc. Geol. It., Firenze, 16-20/9/1992: 79-103.
- CONTI P., CARMIGNANI L., GIGLIA G., MECCHERI M. & FANTOZZI P.L. (2004) - *Evolution of geological interpretations in the Alpi Apuane metamorphic complex, and their relevance for geology of the Northern Apennines*. In: Morini D. & Bruni P., "The 'Regione Toscana' project of geological mapping". Spec. Vol. for the 32<sup>nd</sup> IGC, Florence: 241-262.
- CORTOPASSI P.F., D'AMATO AVANZI G., GIANNACCHINI R., LATTANZI G., MERLINI A. & MILANO P. (2005) - *Landslide hazard and quarry waste: evaluation of controlling factors in the Carrara marble basin (Italy)*. 14<sup>th</sup> MAEGS, Torino, 19-23/9/2005, Abstracts Volume, pag. 79.
- CRUDEN D.M. & VARNES D.J. (1994) - *Landslides types and processes*. In Turner A.K & Schuster R.L. (eds.), "Landslides. Investigation and mitigation", Transp. Research Board, Special Rept. 247, Nat. Acad. Press, 1996: 36-75.
- D'AMATO AVANZI G. & GIANNACCHINI 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., GIANNACCHINI 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*. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Symposium on Landslides, Cardiff, 26-30 giugno 2000, **1**: 381-386.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCHINI R. & PUCCINELLI A. (2004a) - *The influence of the geological and geomorphological settings on the shallow landslides. A typical example in a temperate climate environment: the June 19<sup>th</sup>, 1996 catastrophe in the north-western Tuscany (Italy)*. Engineering Geology, **73** (3-4): 215-228.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCHINI R., PUCCINELLI A., VENUTELLI M., ZOLLINI M. (2004b) - *A present stability problem: the hazard conditions of the quarry dumps*.

**DISCARICHE DI CAVA E INSTABILITÀ DEI VERSANTI: VALUTAZIONE PRELIMINARE DI ALCUNI FATTORI SIGNIFICATIVI  
NEL BACINO MARMIFERO DI CARRARA (ITALIA)**

- The case of the Apuan Alps in Italy.* 32° International Geological Congress, Firenze, 20-28 agosto 2004. Abstract n. 103-30.
- D'AMATO AVANZI G. & VERANI M. (1998) - *Le valenze ambientali ed economiche dei ravaneti delle Alpi Apuane (Toscana, Italia).* Mem. Soc. Geol. It., **53**: 489-501.
- D'AMATO AVANZI G. & VERANI M. (2000) - *Quarrying activities and geosites of the Apuan Alps (north-western Tuscany, Italy): coexistence possibilities and protection criteria.* Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **54**: 121-128.
- DINO G.A. & FORNARO M. (2005) - *L'utilizzo integrale delle risorse lapidee negli aspetti estrattivi, di lavorazione e di recupero ambientale dei siti.* Giornale di Geologia Applicata, **2**: 320-327.
- GIANNECCHINI R. (1997) - *L'evento meteorologico estremo del 19 giugno 1996 nel bacino del Torrente del Cardoso (LU): censimento e studio degli effetti derivati sui versanti e negli alvei.* Tesi di Laurea inedita, Università di Pisa.
- GIANNECCHINI R. (2005) - *Rainfall triggering soil slips in the southern Apuan Alps (Tuscany, Italy).* 6<sup>th</sup> Plinius Conference on Mediterranean Storms (European Geosciences Union), Mediterranean Sea, 17-24 October 2004. Advances in Geosciences, **2**: 21-24.
- GIANNECCHINI R. (2006) - *Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy).* Nat. Hazards Earth Syst. Sci., **6**: 357-364.
- PANEI G., FORLANI E. & TARDI A. (2000) - *Sulla stabilità delle discariche di materiali lapidei.* Quarry and Construction, dicembre 2000, 25-31.
- ZACCAGNA D. (1932) - *Descrizione geologica delle Alpi Apuane.* Mem. Descr. Carta Geol. D'It., **25**, 440 pp.

*Received May 2006 - Accepted January 2008*