

UNIVERSITÀ DI PISA

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

Corso di Laurea in Scienze Geologiche



TESI DI LAUREA DI PRIMO LIVELLO

**VALUTAZIONE DELLE SOGLIE
PLUVIOMETRICHE CRITICHE PER L'INNESCO DI
FRANE RAPIDE NELLE DISCARICHE DELLE
CAVE DI MARMO DI CARRARA (MS)**

Relatori:

Candidato:

Prof. Giacomo D'Amato Avanzi

Stefano Piccioli

Dott. Roberto Giannecchini

ANNO ACCADEMICO 2005-2006

INTRODUZIONE	III
1. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA DI STUDIO	1
1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	1
1.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO.....	2
1.2.1 <i>REGIME PLUVIOMETRICO DELL'AREA DI STUDIO</i>	4
1.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO.....	5
1.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	6
1.5 GEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO.....	11
1.6 UNITÀ TETTONICO-STRATIGRAFICHE.....	14
2. MISURA DELLE PIOGGE	17
2.1 GRANDEZZE PLUVIOMETRICHE.....	17
2.2 PLUVIOMETRI.....	18
3. RELAZIONI PIOGGIA-FRANE	23
3.1 INTRODUZIONE.....	23
3.2 METODO DI ANALISI DELLA SOGLIA DURATA-INTENSITÀ DELLA PIOGGIA.....	25
4. LE CAVE DI MARMO DI CARRARA	30
4.1 INTRODUZIONE.....	30
4.2 TIPOLOGIA DI CAVE PRESENTI.....	31
4.3 RAVANETI.....	35
4.3.1 <i>CLASSIFICAZIONE DEI RAVANETI</i>	37
4.3.2 <i>VALUTAZIONI AMBIENTALI</i>	40
4.3.3 <i>STABILITÀ DEI RAVANETI</i>	42
5. L'EVENTO DEL 23 SETTEMBRE 2003 NELLA ZONA DI CARRARA	46
5.1 INTRODUZIONE.....	46
5.2 RICOSTRUZIONE DELL'EVENTO METEREOLOGICO.....	47
5.3 EFFETTI DELL'EVENTO DEL 23 SETTEMBRE 2003.....	49
6. DETERMINAZIONE DELLE SOGLIE PLUVIOMETRICHE CRITICHE PER L'AREA STUDIATA	51
6.1 INTRODUZIONE.....	51
6.2 FASE DI RACCOLTA DATI.....	52
6.3 FASE DI ELABORAZIONE DATI.....	54
6.4 STAZIONE PLUVIOMETRICA DI CARRARA.....	55
6.5 STAZIONE PLUVIOMETRICA DI FOSSACAVALA.....	59
6.6 STAZIONE PLUVIOMETRICA RIFUGIO BELVEDERE.....	62
6.7 NORMALIZZAZIONI.....	66
6.7.1 <i>STAZIONE PLUVIOMETRICA DI CARRARA</i>	67
6.7.2 <i>STAZIONE PLUVIOMETRICA DI FOSSACAVALA</i>	68
6.7.3 <i>STAZIONE PLUVIOMETRICA RIFUGIO BELVEDERE</i>	69
6.8 <i>CONFRONTO TRA LE CURVE-SOGLIA OTTENUTE CON LE TRE STAZIONI</i>	71
6.9 CONFRONTO CON I RISULTATI DI PRECEDENTI STUDI IN ZONE LIMITROFE.....	73
7. CRONISTORIA DEGLI EVENTI PLUVIOMETRICI	79
8. CONCLUSIONI	89
BIBLIOGRAFIA	92
RINGRAZIAMENTI	95

INTRODUZIONE

Lo studio realizzato nell'ambito di questa tesi nasce dalla necessità di individuare le relazioni tra eventi piovosi e fenomeni franosi nei bacini marmiferi carrarese.

In relazione all'evento avvenuto nel settembre del 2003 in quest'area, si è ritenuto opportuno sviluppare questo studio in particolare riguardo a fenomeni franosi tipo *debris flow*, innescati all'interno del bacino sopraccitato (D'Amato Avanzi et al., in stampa).

L'area in esame per lo svolgimento di questo studio è ubicata a Nord-Est dell'abitato di Carrara ed è individuato nello spartiacque morfologico del torrente Carrione. Nello specifico, si è cercato di individuare le relazioni che legano eventi piovosi e l'innescamento di *debris flow* nei "ravaneti" delle cave del bacino marmifero di Carrara.

Per il raggiungimento di tale scopo, è stato utilizzato l'approccio delle curve pluviometriche critiche, ampiamente descritte in letteratura.

Il lavoro è stato realizzato in due fasi:

1. Fase di raccolta dati;
2. Fase di elaborazione dati.

La fase di raccolta dati consiste nell'identificare, dalle stazioni pluviometriche installate nell'area di studio, gli eventi pluviometrici più significativi, dei quali sono state identificate la durata (ore) e l'intensità (mm); dopo di che si è passati a controllare gli eventuali effetti innescati dagli eventi selezionati, questo passo è stato fatto attraverso un'accurata ricerca, mediante la consultazione di cronache di giornali locali, nello specifico Il Tirreno e La Nazione, nonché dalla consultazione di

documentazione proveniente dal Settore-Marmo del Comune di Carrara, presso la Protezione Civile e il Comando dei Vigili del Fuoco della provincia di Massa-Carrara.

Durante la fase di elaborazione dati, gli eventi che hanno innescato frane superficiali sono stati indicati come eventi A, mentre gli eventi che non hanno innescato frane superficiali o delle quali non si ha avuto notizia, sono stati indicati come eventi B; dopo aver fatto ciò, i dati sono stati posizionati su grafici durata/intensità oraria (sia in scala logaritmica che in scala normale), grazie ai quali è stato possibile l'individuazione delle curve-soglia; inoltre, sono stati posizionati su grafici durata/NSR%, in scala normale, e intensità/NSR%.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con precedenti studi, Giannecchini (2005, 2006) e Governi (2005), per aree limitrofe a quella di studio, in modo tale da cercare di individuare le possibili relazioni.

1. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA DI STUDIO

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio è rappresentata dai bacini marmiferi apuani ed è situata nelle Alpi Apuane, le quali sono localizzate nella Toscana Nord-Occidentale (figura 1.1) e costituiscono un gruppo montuoso dalle forme aspre e scoscese, caratterizzato da creste aguzze con versanti ripidi. La catena apuana si allunga a Sud-Est parallelamente alla costa per circa 50 Km.

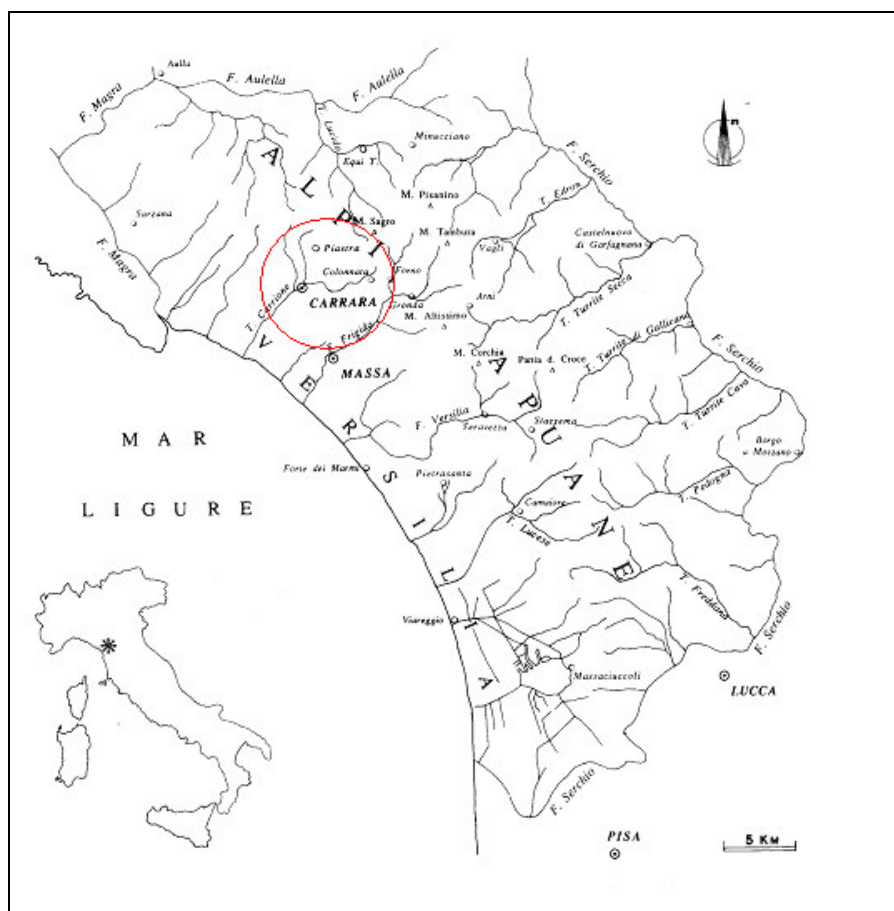


Figura 1.1 - Rappresentazione schematica delle Alpi Apuane (da D'Amato Avanzi & Verani, 1998; modificato); in rosso è evidenziata l'area di studio.

Lo spartiacque principale della catena corre ad una quota media di circa 1700 m, di poco inferiore a quello principale appenninico. Lo spartiacque si snoda da Nord-Ovest lungo le creste principali che collegano Pizzo d'Uccello (1782 m s.l.m), Monte Grondilice (1809 m s.l.m), Monte Cavallo (1882 m s.l.m), Monte Tambura (1890 m s.l.m), Monte Altissimo (1589 m s.l.m), Monte Corchia (1680 m s.l.m) e Pania della Croce (1848 m s.l.m).

Le creste secondarie trasversali alla dorsale principale, sviluppate verso Sud-Ovest sul versante marittimo e verso Nord-Est su quello della Garfagnana, individuano vari bacini idrografici che sfociano nella pianura costiera Apuo-Versiliese o nella valle del F.Serchio.

Le Alpi Apuane, a causa della alternanza di rocce eminentemente carbonatiche con altre scistoso-arenacee, dovuta alla complessa struttura a pieghe isoclinali sovrapposte, mostrano forti contrasti morfologici tra le creste affilate, solcate da valli strette e profondamente incise, tipiche di terreni carbonatici, e le morfologie più dolci ed arrotondate, coperte di vegetazione, tipiche di terreni scistoso-arenacei.

Molte delle caratteristiche morfologiche attuale delle Alpi Apuane sono dovute al modellamento operato dal carsismo quaternario e dal glacialismo rissiano e soprattutto wurmiano (Piccini, 1994).

1.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO

La posizione geografica, le variazioni altimetriche e la circolazione atmosferica, sia a scala generale che locale, sono i principali fattori che influenzano il regime e la distribuzione delle precipitazioni nell'area apuana.

Infatti, morfologia e localizzazione delle Apuane determinano sulle precipitazioni un marcato effetto orografico: esse costituiscono infatti una catena montuosa allungata per circa 30 Km in direzione NW-SE, parallelamente e in prossimità della linea di costa, formando un ostacolo rilevante alle masse d'aria umida provenienti dai quadranti occidentali. A ciò si aggiungono l'altitudine (prossima ai 2000 m) e l'acclività dei pendii, soprattutto dei versanti marittimi: si creano così le condizioni per un forte sollevamento forzato dei bassi strati atmosferici (Rapetti & Rapetti, 1996), che favorisce la formazione di cumulonembi temporaleschi.

Nel bacino mediterraneo, la circolazione atmosferica generale è dominata dai cicloni delle medie latitudini, che generano flussi d'aria di provenienza occidentale. Ad essi va associato il movimento del fronte polare, che interessa la Toscana con due passaggi non regolari: uno in autunno, quando il fronte polare si porta verso le basse latitudini e l'altro in primavera, quando si ritira verso le alte latitudini.

Questa complessa situazione può essere modificata anche da situazioni regionali, quali le depressioni sottovento delle Alpi Occidentali, che, soprattutto nei mesi autunnali, possono generare vaste aree di bassa pressione sul Golfo di Genova, influenzando così anche la Toscana Settentrionale (Rapetti & Rapetti, 1996). Se infine, si aggiunge la grande umidità delle masse d'aria che raggiungono queste aree dopo aver attraversato l'Oceano Atlantico e il Mar Mediterraneo, si possono verificare violente precipitazioni con effetti talora rovinosi; da ricordare l'evento eccezionale del 19 giugno 1996 (Rapetti & Rapetti, 1996), che colpì, con effetti drammatici l'alta Versilia e l'evento eccezionale del 23 settembre

2003 (cfr. cap. 6), che colpì, anch'esso con effetti drammatici, l'area di studio.

1.2.1 REGIME PLUVIOMETRICO DELL'AREA DI STUDIO

In Toscana, il passaggio poco regolare del fronte polare, fa sì che il regime pluviometrico possa essere di due tipi, a seconda della posizione del massimo principale:

- massimo principale in autunno (regime submediterraneo AIPE¹);
- massimo principale in inverno (regime mediterraneo IAPE).

In entrambi i regimi, il minimo coincide con la stagione estiva.

Nella figura 1.2, è rappresentato l'andamento delle precipitazioni medie mensili dell'area di studio.

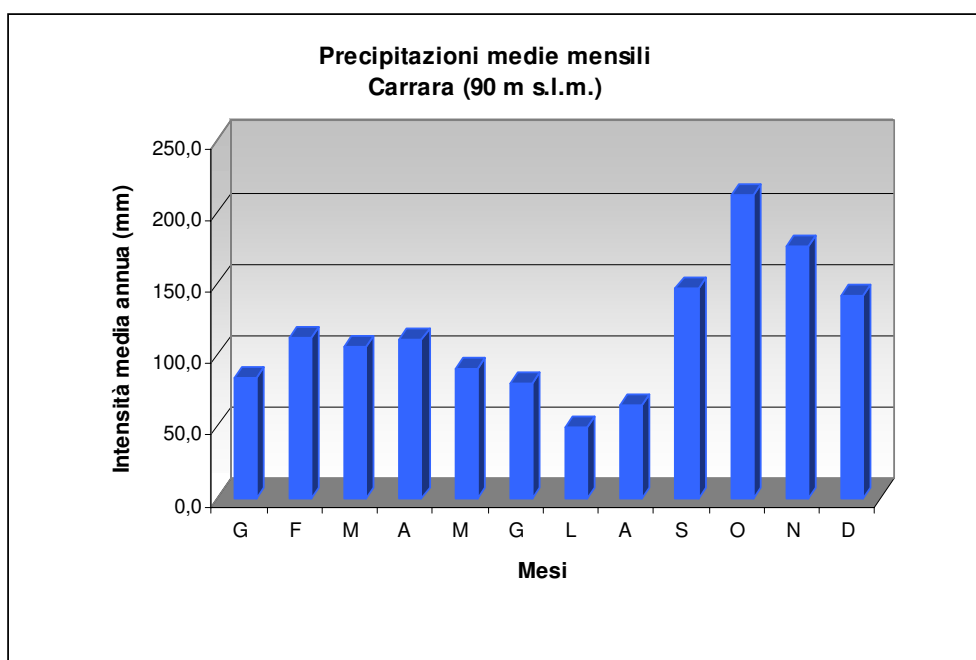


Figura 1.2 - Stazione di Carrara (90 m s.l.m.): andamento delle precipitazioni medie mensili calcolato su un intervallo di anni dal 1950 al 2005.

¹ Le sigle AIPE e IAPE derivano dalla classificazione dei regimi pluviometrici di Mori (1969), e rappresentano le iniziali delle stagioni in ordine decrescente in funzione del loro apporto di pioggia.

Come si può osservare in figura, il regime pluviometrico dell'area di studio è di tipo submediterraneo; infatti, si ha il massimo principale in concomitanza della stagione autunnale, mentre il massimo secondario coincide con la stagione invernale.

1.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

Morfologicamente la catena delle Alpi Apuane è formata da una serie di dorsali a linea di displuvio con concavità più accentuata verso la costa; questa catena, che costituisce l'unica eccezione in Italia per i rilievi situati al di fuori dell'arco alpino, è stata attribuita la denominazione di Alpi grazie all'aspetto aspro che la caratterizza e la differenzia notevolmente dal resto dell'Appennino Settentrionale. Il versante marittimo della catena è stato profondamente scavato dagli agenti meteorici e si presenta come un'erta muraglia che sale bruscamente rispetto ai fondovalle.

Dato che la morfologia di un territorio e le sue forme sono direttamente correlate alla litologia e alla struttura (Bartolini & Peccerillo, 1992), è essenziale distinguere all'interno di questo studio quattro sottozone: tre caratterizzate dall'affioramento di litotipi carbonatici, metamorfici e non, distinti tra dolomitici (grezzoni e calcare cavernoso), marmorei (marmo s.s., marmo dolomitico e marmo a crinoidi) e con componente silicea (calcari selciferi); una dall'affioramento di litotipi scistoso-quarzosi riferibili alle filladi dell' Unità di Massa e agli scisti varicolori.

Tali differenze si ripercuotono in modo evidente nella morfologia dei rilievi, infatti la natura carbonatica delle cime montuose e la presenza di

fasce pervasive di fatturazione ha conferito loro la presenza di creste affilate, pareti verticali, profondi valloni incassati.

Se da un lato l'elevata acclività favorisce il ruscellamento delle acque, l'elevata permeabilità delle rocce affioranti, legata alla fatturazione e ai fenomeni carsici, di fatto, relega l'azione erosiva delle acque correnti a situazioni eccezionali, che si hanno solo in occasione di precipitazioni particolarmente abbondanti e persistenti.

In corrispondenza dei giacimenti di marmiferi, l'originaria morfologia è stata poi notevolmente modificata dalla millenaria attività d'escavazione che ha rimodellato artificialmente i versanti montani con la creazione di gradoni e pareti verticali ("tecchie", in dialetto carrarino) e ha riempito i fondovalle con estesi depositi detritici costituiti dai materiali di risulta dell'escavazione (ravaneti²).

1.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'Appennino Settentrionale (figura 1.3) è una catena strutturalmente complessa, formatasi a partire dal Cretaceo superiore in seguito al riavvicinamento tra la placca Europea (Sardo-Corso) e quella Africana (Adria) (Elter, 1960). La prima fase del processo di convergenza (Fase Ligure) è caratterizzata dalla chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese e in seguito dalla collisione delle due placche. La fase successiva, definita Fase Toscana (Carmignani, Giglia & Kligfield, 1980), è contraddistinta da due fasi deformative principali definite D1 e D2:

² Cfr. Cap. 5 par. 5.3

- **D1:** deformazione compressiva a partire dall'Oligocene (Kligfield, 1979), di subduzione ensialica; è responsabile della strutturazione principale ed è collegata alla collisione continentale del basamento Sardo-Corso con la placca Adria; è contemporanea all'accavallamento della Falda Toscana sul complesso metamorfico apuano ed è legata al metamorfismo di più alto grado delle stesse Apuane. Oltre a questo, la deformazione di tipo duttile genera pieghe isoclinali coricate non cilindriche di ogni dimensione, con vergenza NE, una scistosità di piano assiale S1 generalmente parallela alla stratificazione e una lineazione di estensione parallela agli assi, diretta NE-SW. Secondo Kligfield et al. (1986) l'inizio di tale fase è da collocarsi a circa 27 Ma e la sua durata dall' Oligocene al Miocene inferiore.
- **D2:** fase estensionale, a partire dal Miocene, che deforma tutte le unità tettonicamente appena impilate, realizzando un duomo di scistosità allungato in direzione appenninica, caratterizzato da strutture di scarico a direzione opposta sui due versanti del duomo. Queste deformazioni, che risultano meno marcate rispetto alle precedenti, generano pieghe a tutte le scale, sviluppando un clivaggio privo di blastesi metamorfica, dove la nuova scistosità S2, sovrapponendosi alle precedenti strutture, piega la prima scistosità S1.

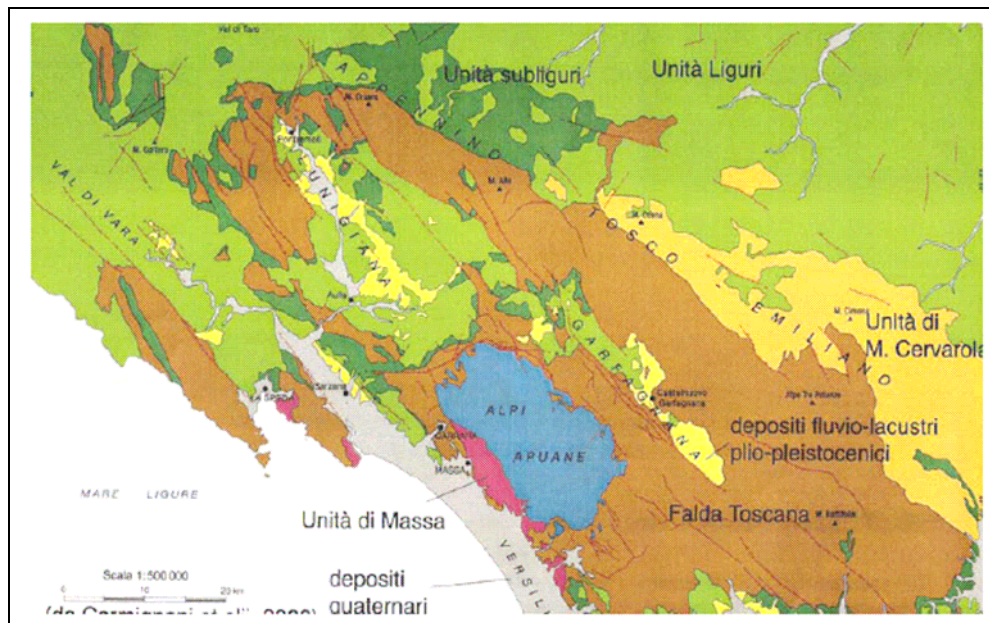


Figura 1.3 - Schema strutturale dell'Appennino Settentrionale (da Carmignani et al. 2000).

- Unità Liguri
- Unità Subliguri
- Falda Toscana
- Complesso Metamorfico
- Unità di Cervarola
- Unità di Massa
- Depositi Quaternari
- Depositi fluvio-lacustri plio-pleistocenici

Quanto sopra esposto fa riferimento al modello di Platt (1986), secondo cui un cuneo orogenico, dopo le prime fasi tangenziali compressive (caratterizzate da accavallamenti e ispessimenti del cuneo stesso), subisce una fase distensiva in modo tale da riacquisire una configurazione stabile. Tale distensione, responsabile della riesumazione dei settori interni al prisma, si realizzerebbe mediante faglie listriche collocabili nella fascia di transizione fragile-duttile, al di sopra della quale si formerebbero invece delle pieghe. Sempre in accordo con il modello di Platt (1986), Carmignani & Kligfield (1990) propongono un modello a quattro stadi per descrivere

l'evoluzione tettonica del complesso metamorfico delle Alpi Apuane e quindi dell'Appennino Settentrionale (figura 1.4):

1. Il primo stadio è caratterizzato da un complesso subduzione-prisma di accrezione formatosi dal Cretaceo all'Eocene, contraddistinto da deformazione compressiva di ofioliti e rocce sedimentarie di acque profonde.
2. Lo stadio successivo, datato all'Oligocene (27Ma), è caratterizzato dalla collisione dei due margini, che causa un forte ispessimento del prisma per *underplating* e le deformazioni compressive del margine adriatico (strutturazione unità toscane).
3. Al Miocene medio e superiore cambia il regime di deformazione della catena (12 Ma, Giglia & Radicati di Brozolo, 1970); infatti, si instaurano processi di estensione a livello della crosta media e superiore, attribuiti alle variazioni della dinamica all'interno del prisma orogenico. Questo, in seguito a forte ispessimento, è soggetto a distensione mediante collassi gravitazionali, per ristabilire l'equilibrio isostatico.
4. Infine, nel quarto stadio (Tortoniano) proseguono i processi di estensione che coinvolgono il settore interno della catena e sono attribuiti dagli autori all'instaurarsi del processo di *rifting* e all'apertura del Mar Tirreno.

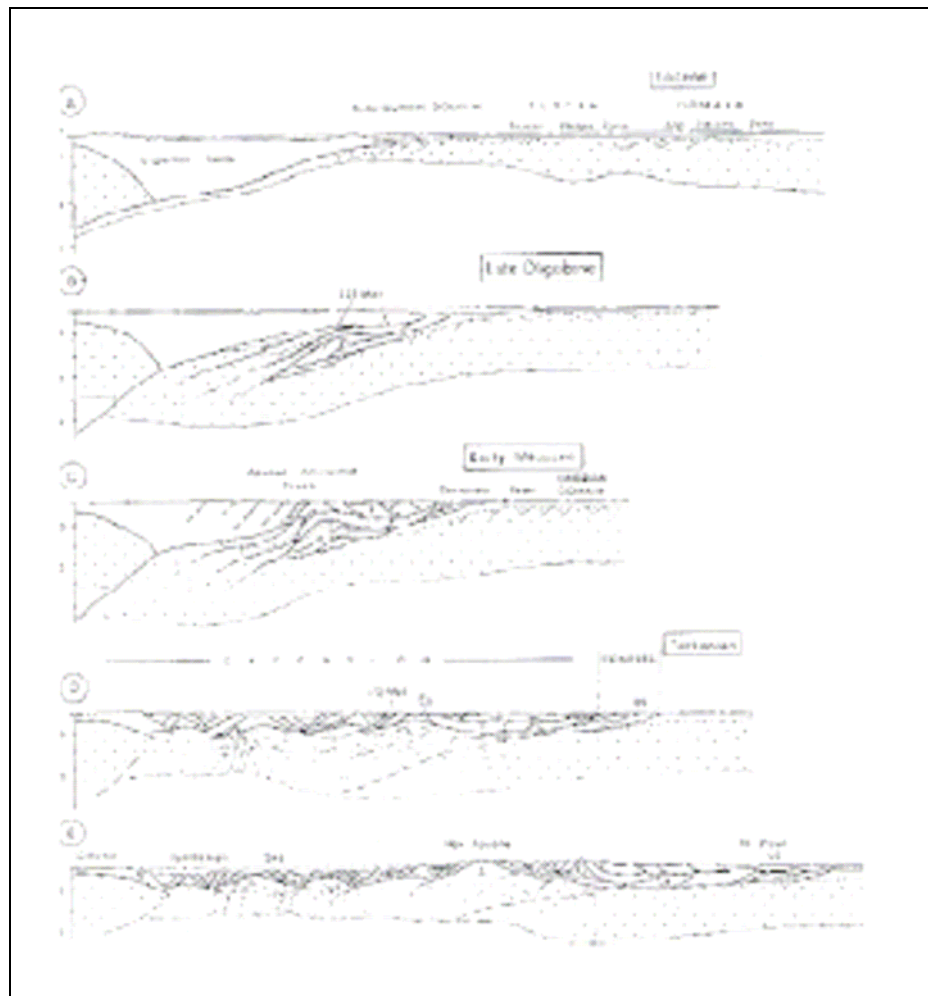


Figura 1.4 - Schema evolutivo dell'Appennino Settentrionale.

A: subduzione di crosta oceanica al di sotto del blocco sardocorso e conseguente deformazione delle liguridi. B: collisione continentale, conseguente underplating che causa l'ispessimento del prisma. C: collasso gravitativi del prisma ispessito, con estensione nella parte superiore della crosta. D: conseguente uplift ed erosione del complesso metamorfico apuano. E: proseguimento della fase distensiva che coinvolge tutto il settore interno della catena, legata allo sviluppo del rift che porterà all'apertura del mar Tirreno. A: core complex aprano. F: Falda Toscana. C: flysch del Cervarola. Cg: breccie sedimentarie. U1 e U2: deformazione del dominio umbro al Tortoniano e Messiniano, rispettivamente (da Carmignani & Kligfield, 1990).

Oltre a ciò, i due autori descrivono le falde al di sopra delle Alpi Apuane (Unità Liguri e Falda Toscana), che risultano caratterizzate da faglie dirette ad alto angolo che tagliano faglie a basso angolo più antiche (figura 1.5).

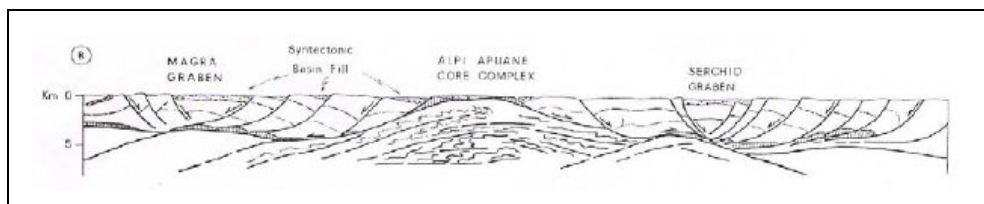


Figura 1.5 - Esposizione delle metamorfiti del *core complex* per denudazione e sollevamento (da Carmignani & Kligfield 1990).

Queste faglie, che bordano il *Graben* del Serchio come quello del Magra, terminano nella formazione del Calcare cavernoso, che ha rappresentato l'orizzonte di scivolamento preferenziale della Falda Toscana durante le fasi deformative D1 e D2.

1.5 GEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO

Il bacino marmifero di Carrara comprende tutta l'area del bacino imbrifero del T. Carrione a monte della città. La zona è caratterizzata dalla presenza di rocce carbonatiche appartenenti alla Successione toscana metamorfica (Complesso Metamorfico delle Alpi Apuane) e, in parte minore, alla Successione toscana non metamorfica (Falda Toscana) e all'Unità di Massa (figure 1.6, 1.7, 1.8).

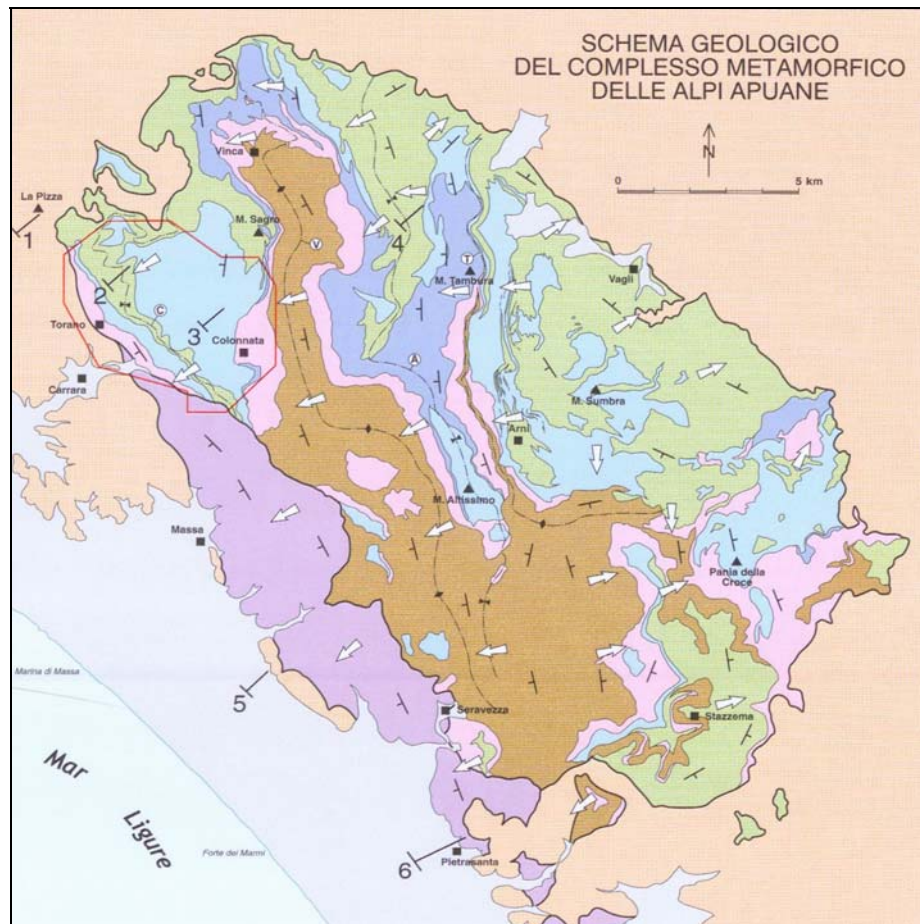


Figura 1.6 – Schema geologico del complesso metamorfico delle Alpi Apuane (Carmignani et al., 2001).

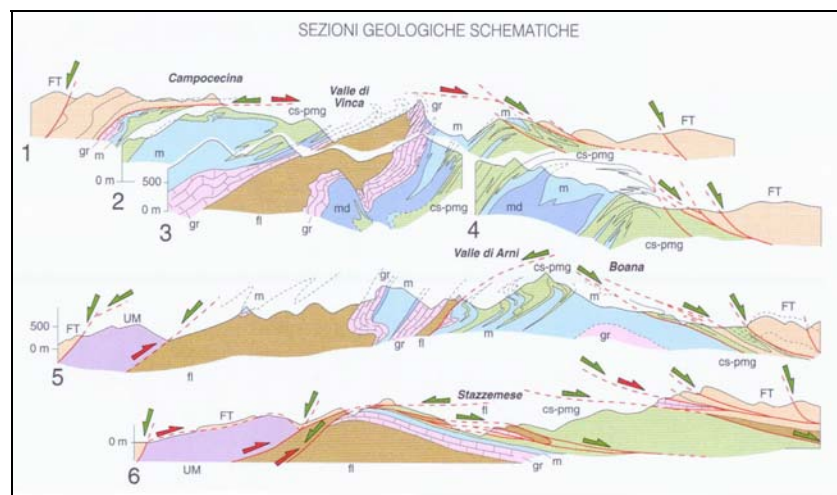


Figura 1.7 – Sezioni schematiche del complesso metamorfico delle Alpi Apuane (Carmignani et al., 2001)

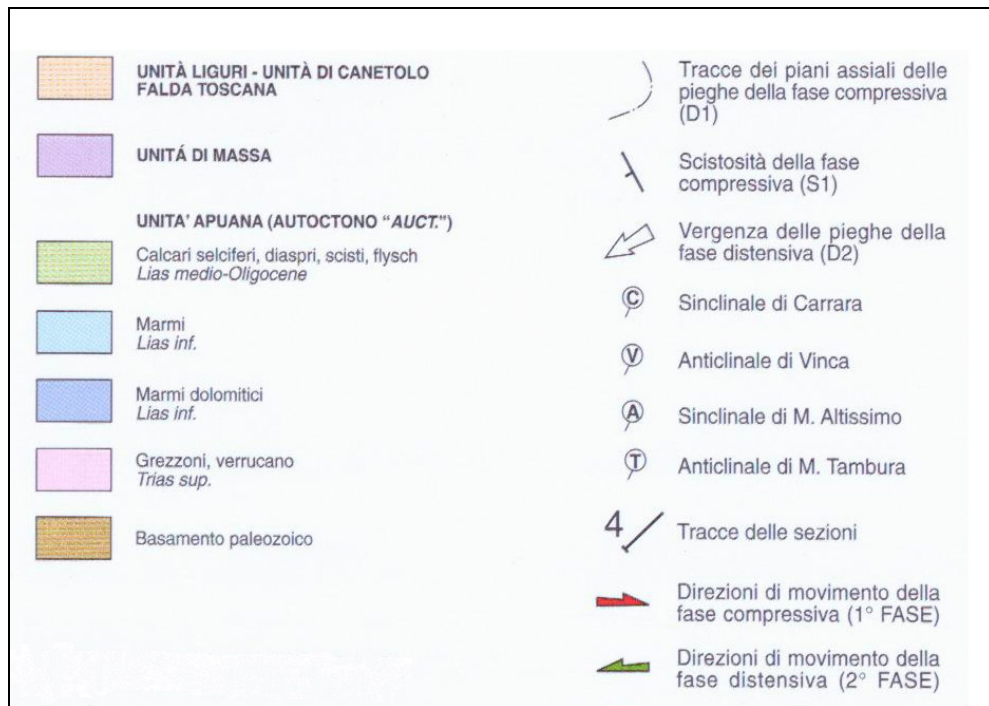


Figura 1.8 – Legenda dello schema geologico del complesso metamorfico delle Alpi Apuane (Carmignani et al., 2001).

Partendo dalla città di Carrara e risalendo in direzione NE verso la testata del bacino, si incontrano, in successione, le formazioni calcaree del Calcarea Massiccio e dei Calcari e marne a Rhaetavicula contorta, seguite dalle Breccie Poligeniche (Calcarea cavernoso), appartenenti alla Falda Toscana; queste lasciano il posto ai Grezzoni ad ai Marmi del nucleo metamorfico, in giacitura rovesciata (Carmignani & Giglia, 1977).

Grezzoni e Marmi rappresentano il fianco rovescio di una grande sinclinale (sinclinale di Carrara) con asse orientato circa NW-SE e con al nucleo Calcari selciferi. Spostandosi ancora verso NE, dopo aver attraversato il nucleo della sinclinale, si ritrovano i Marmi del suo fianco diritto, interessato da altre strutture plicative minori, quali la Sinclinale di Lorano, di Canalgrande e dei Vallini (Carmignani & Giglia, 1975). I Calcari

selciferi ricompaiono al nucleo di alcune di queste sinclinali di ordine inferiore a costituire la parte sommatatale del M. Sagro e del M. Borla (Carmignani & Giglia, 1975).

Da un punto di vista strutturale buona parte dell'area può essere ricondotta ad una megasinclinale con vergenza Nord-Orientale, con al nucleo i Calcari selciferi metamorfici (Carmignani & Giglia, 1977). Tale struttura è sormontata, per contatto tettonico con vergenza pressoché analoga a quella della piega del nucleo metamorfico, dalla Unità di Massa, a SE, ed entrambe dalla Falda Toscana.

1.6 UNITÀ TETTONICO-STRATIGRAFICHE

Di seguito viene riportata una descrizione generale delle varie unità tettonico-stratigrafiche affioranti nell'area di studio.

Complesso Metamorfico Apuano:

Partendo stratigraficamente dal basso verso l'alto si possono distinguere le seguenti formazioni:

Grezzoni: complesso di dolomie, grigie o grigio-scure, e calcari dolomitici e dolomie calcaree, grigio chiari o rosei. I livelli a stratificazione ben distinta, generalmente presenti nella parte più alta, sono spesso sostituiti, nel basso della formazione, da zone più massicce. Frequenti i livelli brecciati, costituiti da elementi angolosi, raramente arrotondati, di dimensioni variabili (Carmignani et al., 2001). Età della formazione: Norico

Marmi dolomitici: marmi grigi, con dolomie chiari in livelli e strati da centimetraci a metrici; localmente sono presenti masse compatte di dolomia

chiara a grana grossolana (dolomia cristallina saccharoide). Sono presenti resti di alghe, gasteropodi, brachiopodi e lamellibranchi (Carmignani et al., 2001). Età della formazione: Hettangiano inferiore.

Marmi: marmi di colore variabile dal bianco al grigio, con rari e sottili livelli di dolomie e marmi dolomitici giallastri. Breccie monogeniche metamorfiche ad elementi marmorei da centimetraci a metrici. Breccie poligeniche metamorfiche a prevalenti elementi marmorei e subordinati elementi di dolomie e di selci grigio chiare e rosse, talvolta con matrice filladica rossastra o violacea (Carmignani et al., 2001). Età della formazione: Hettangiano.

Calcari selciferi con Ammoniti: metacalcari grigio scuri in strati decimetrici con selce in letti e fiamme. Relitti di filladi grigio giallastre con pirite e noduli limonitici; frequenti ammoniti limonitizzate (Carmignani et al., 2001). Età della formazione: Lias superiore.

Diaspri e scisti diasprini: metaradiolariti rosse, viola e verdi, in strati centimetrici; filladi quarzitiche e metacalcari silicei (Carmignani et al., 2001). Età della formazione Malm.

Scisti sericitici varicolori: filladi sericitiche e sericitico-cloritico verdastre, rosso-vinaccia o grigie; livelli di metacalcari grigio verdi e di metacalcareniti brune in strati da decimetrici a metrici (Carmignani et al., 2001). Età della formazione Cretaceo inferiore-Oligocene.

Unità di Massa:

Presente solo sul lato occidentale del complesso metamorfico apuano (Elter et al., 1966). Filladi più o meno quarzitiche e metavulcaniti acide (basamento pre-alpino). Metaruditi, filladi e quarziti, marmi a crinoidi e breccie marmoree, ortoprasiniti, anageniti e filladi cloriticomuscovitiche (copertura alpina) (Carmignani et al., 2001).

Falda Toscana:

Affiora solo la base della Falda Toscana:

Calcare cavernoso: calcari dolomitici con struttura “a cellette” e dolomie “cariate” (Carmignani et al., 2001). Età della formazione: Norico-Retico.

Breccie poligeniche: breccie poligeniche con prevalenti elementi di dolomie e calcari dolomitici triassici e subordinati elementi di formazioni più recenti della Falda Toscana e raramente delle successioni delle Unità Liguri. In prossimità del contatto tettonico con “l'Autoctono” Auct., elementi di rocce metamorfiche provenienti da questa unità possono diventare prevalenti (Carmignani et al., 2001).

2. MISURA DELLE PIOGGE

Per fornire maggiore chiarezza e completezza allo studio delle relazioni fra piogge e frane, è opportuno fare un accenno alle definizioni delle grandezze pluviometriche e, soprattutto, descrivere la strumentazione necessaria ad ottenere il dato pluviometrico che rappresenta la base della ricerca delle relazioni fra piogge e frane.

2.1 GRANDEZZE PLUVIOMETRICHE

Quando si valuta il quantitativo d'acqua che raggiunge il suolo in seguito ad un evento pluviometrico si parla, in genere, in termini di millimetri di acqua piovana caduti e non di litri (1mm di acqua corrisponde ad un litro per metro quadro). L'abitudine ad esprimere la quantità di pioggia in millimetri deriva dall'uso dello strumento impiegato per misurarla (cfr. par. 2.2).

La quantità di acqua caduta può riferirsi a diversi intervalli di tempo: un'ora, un giorno, un mese, una stagione o un anno. I millimetri in questione indicano semplicemente l'altezza raggiunta dall'acqua piovana su un suolo pianeggiante, nell'ipotesi che non vi siano perdite dovute all'evapotraspirazione o al deflusso superficiale.

Un evento di pioggia può aver fatto registrare un certo quantitativo di acqua seguendo diverse modalità. Una pioggia debole ma continua potrebbe essere equivalente, come quantitativo di acqua caduta, ad uno scroscio breve ma intenso; diverso, però, sarà l'effetto dell'acqua sul suolo. È noto, infatti, che le piogge intense e di breve durata scorrono rapidamente sul terreno provocando fenomeni di erosione e gonfiamento di fiumi o corsi d'acqua, con il rischio di piene improvvise, mentre le piogge più diluite nel

tempo sono assorbite meglio dal terreno e dalle piante e arricchiscono in misura maggiore le falde sotterranee.

Sulla base dell'intensità della pioggia, stabilita in funzione della quantità di acqua caduta nell'unità di tempo, in genere espressa in millimetri all'ora (mm/h), la pioggia può essere suddivisa in: pioggia debole fino a 1-2 mm/h; pioggia moderata tra i 2 e i 6 mm/h; pioggia forte oltre i 6 mm/h (Izzo, 2003).

2.2 PLUVIOMETRI

Gli strumenti impiegati per misurare la quantità di pioggia che cade al suolo, in un determinato lasso di tempo, prendono il nome di pluviometri. In base alle loro caratteristiche tecniche i pluviometri vengono classificati come:

- Pluviometri semplici;
- Pluviometri registratori (meccanici ed elettronici).

Il pluviometro semplice (figura 3.1) è costituito da un serbatoio cilindrico, fornito di un raccoglitore a forma di imbuto, con anello superiore a spigolo; tale imbuto ha lo scopo di raccogliere le acque di pioggia, evitandone l'evaporazione. Sul fondo dello strumento è collocato un rubinetto di scarico per la misura dell'acqua.

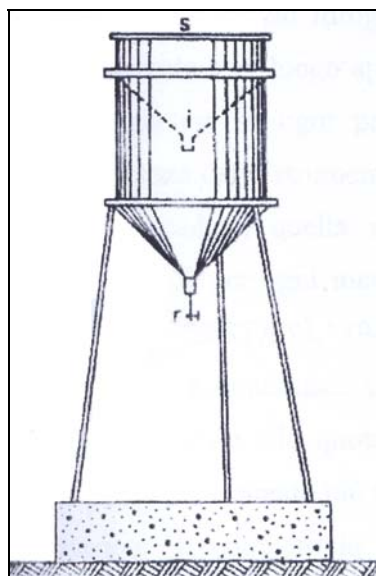


Figura 3.1 - Pluviometro semplice, costituito da: coperchio a forma di imbuto (i); anello superiore a spigolo (s); rubinetto di scarico(r).

Con il pluviometro registratore la misura della pioggia viene eseguita automaticamente tramite un opportuno meccanismo a scatto. Registrando il numero di scatti, ciascuno dei quali corrisponde a un quantitativo minimo di acqua prefissato, si risale alla quantità totale di pioggia caduta.

Il tipo più comune di pluviometro registratore è quello a vaschetta oscillante. La precipitazione viene convogliata verso una bilancia costituita da due vaschette, di capienza nota, montate su un sistema a bascula. Alternativamente, una delle due vaschette accumula l'acqua in arrivo dal raccoglitore, fino al raggiungimento del peso prefissato. Il peso dell'acqua provoca l'attivazione del meccanismo basculante che attua lo svuotamento della vaschetta e il contemporaneo posizionamento della vaschetta gemella vuota sotto lo scarico del raccoglitore.

La bascula può essere equipaggiata sia di sensori meccanici (pluviografo meccanico; figura 3.2), sia di sensori elettronici (pluviometro elettronico; figura 3.3).

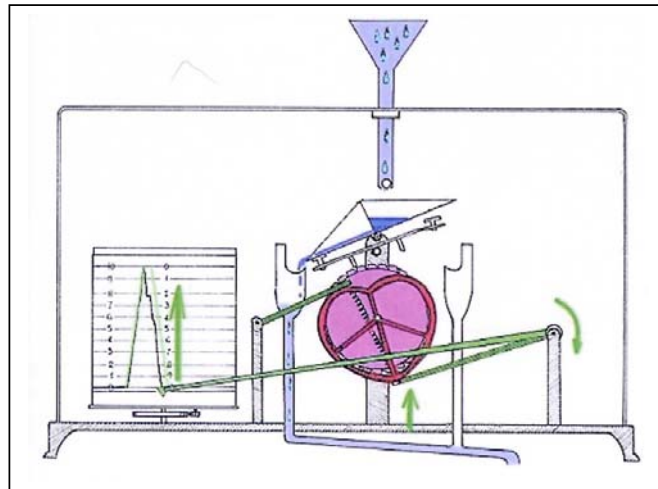


Figura 3.2 - Rappresentazione schematica di un pluviografo a vaschetta oscillante.



Figura 3.3 - Pluviometro elettronico.

Con il pluviografo viene tracciato in maniera continua nel tempo l'andamento della pioggia. Ad ogni svuotamento della vaschetta, il sensore meccanico trasmette uno scatto a un pennino che registra il quantitativo di pioggia caduta su un rotolo di carta diagrammata, montato su un tamburo ruotante controllato da un orologio (figura 3.4).

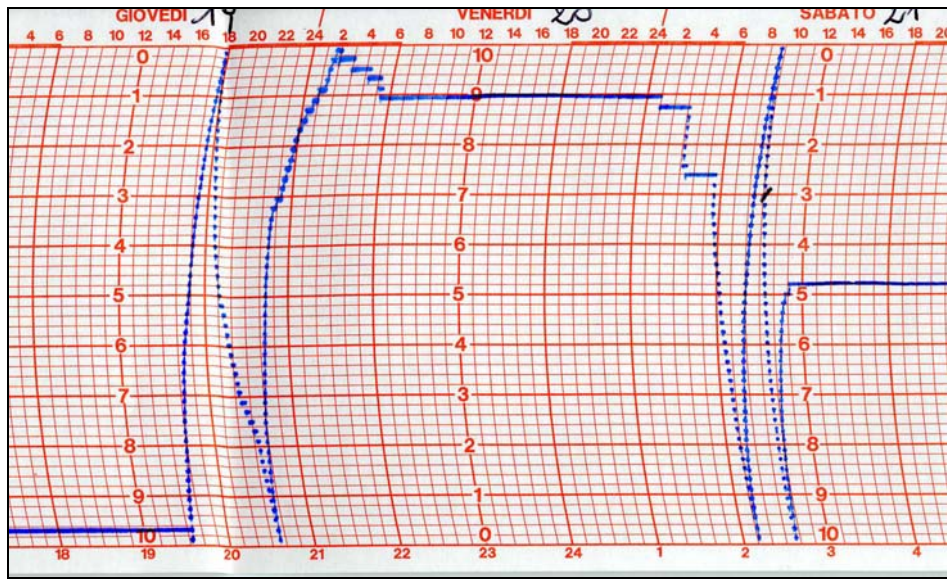


Figura 3.4 - Parte di un pluviogramma registrato, nella stazione di Carrara (fornito dal Servizio Idrografico).

Il funzionamento del pluviometro elettronico è simile al precedente, con l'eccezione che la registrazione delle precipitazioni viene fatta direttamente su supporto informatico; inoltre, il dato non viene più fornito su pluviogrammi, come nel caso precedente, ma su tabulati elettronici come quello illustrato in figura 3.5.

E25522		€		A	B	C	D	E	F	G	H	I
25509	23/09/2003	16.30	2.4									
25510	23/09/2003	16.45	4.2									
25511	23/09/2003	17.00	0									
25512	23/09/2003	17.15	0									
25513	23/09/2003	17.30	0									
25514	23/09/2003	17.45	0									
25515	23/09/2003	18.00	0									
25516	23/09/2003	18.15	0									
25517	23/09/2003	18.30	9.6									
25518	23/09/2003	18.45	13.8									
25519	23/09/2003	19.00	18.6									
25520	23/09/2003	19.15	19.8									
25521	23/09/2003	19.30	18.4									
25522	23/09/2003	19.45	24.4									
25523	23/09/2003	20.00	44.6									
25524	23/09/2003	20.15	17.4									
25525	23/09/2003	20.30	0.2									
25526	23/09/2003	20.45	0									
25527	23/09/2003	21.00	0									
25528	23/09/2003	21.15	0									
25529	23/09/2003	21.30	0									
25530	23/09/2003	21.45	0									
25531	23/09/2003	22.00	0									
25532	23/09/2003	22.15	0									
25533	23/09/2003	22.30	0									
25534	23/09/2003	22.45	0									
25535	23/09/2003	23.00	0									
25536	23/09/2003	23.15	0									
25537	23/09/2003	23.30	0									
25538	23/09/2003	23.45	0									
25539	24/09/2003	0.00	0									
25540	24/09/2003	0.15	0									
25541	24/09/2003	0.30	0									
25542	24/09/2003	0.45	0									

Figura 3.5 - Parte di un tabulato elettronico, registrato dalla stazione automatica di Carrara (ARSIA³), in concomitanza dell'evento eccezionale del 23 settembre 2003. In questo caso, l'intensità di pioggia è fornita ogni 15 minuti.

Nelle stazioni pluviometriche gestite dall' Ufficio Idrografico e da ARSIA le misurazioni vengono effettuate ogni giorno alle ore 9:00.

³ Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo forestale.

3. RELAZIONI PIOGGIA-FRANE

3.1 INTRODUZIONE

Quando si vuole studiare un qualsiasi fenomeno naturale, è importante avere a disposizione un'adeguata quantità di dati utili all'indagine. Nella prospettiva di conoscere le relazioni che intercorrono fra piogge e frane, si rivelano di fondamentale importanza la misurazione delle precipitazioni relative all'area colpita dal dissesto e le informazioni inerenti l'attivazione di fenomeni franosi. Molto importante è conoscere anche il quantitativo di acqua meteorica che si infiltra nel suolo, nonché conoscere lo stato iniziale di imbibizione del terreno, i livelli pluviometrici e le caratteristiche geotecniche.

Questi parametri, non tutti facilmente determinabili, sono legati da relazioni molto complesse; infatti, se è chiaro che le precipitazioni intense e/o prolungate possono essere una causa importante di innesco e/o riattivazione dei fenomeni franosi, quello che risulta poco chiaro sono la durata e l'intensità che deve avere un evento per provocare una frana.

Ai fini dell'attività previsionale, una volta acquisito il dato pluviometrico è necessario allora avere a disposizione un modello che permetta di elaborarlo. Con i modelli si cerca di ricostruire un fenomeno, un processo o un effetto nella maniera più conforme alla realtà, adottando approcci semplificati. La scelta di un modello deve basarsi innanzi tutto sull'obiettivo che si vuole perseguire e sulla disponibilità dei dati necessari al suo funzionamento. In letteratura, sono noti diversi tipi di approcci per la valutazione della stabilità dei versanti in relazione alle piogge. Tali modelli

differiscono per complessità, numero di parametri utilizzati ed ambito territoriale di validità. Per ambito territoriale di validità si intende la risoluzione spaziale del risultato che si vuole ottenere con il modello stesso, e quindi la risoluzione delle previsioni dell'evento franoso. Una risoluzione puntuale si riferisce alla capacità di previsione di localizzare singoli fenomeni franosi, mentre una risoluzione areale si riferisce invece alla proprietà del modello di localizzare, più genericamente, le aree soggette ad instabilità, ciascuna caratterizzata da un contesto omogeneo, senza tuttavia riuscire ad individuare, all'interno di esse, singoli siti di innesco (Bosco et al., 2005).

In prima approssimazione, sulla base dei modelli utilizzati, è possibile distinguere otto gruppi di metodi per l'analisi delle relazioni fra pioggia e frane (Polemio & Petrucci, 2001):

1. metodo di analisi della soglia durata-intensità della pioggia;
2. metodo delle piogge cumulate e piogge antecedenti;
3. metodo basato sulle piogge cumulate per lunghi periodi;
4. metodo delle piogge efficaci;
5. metodo idrogeologico semplificato o basato sul bilancio idrologico del suolo;
6. metodo pioggia-stabilità;
7. metodo basati sul modello completo dei versanti;
8. metodo basati sull'uso di un GIS (*Geographical Information System*).

Se da una parte, partendo dal primo gruppo e arrivando al settimo i metodi diventano sempre meno empirici, qualitativi e statistici e diventano più fisici, idrologici, idrogeologici e geotecnici, dall'altra la loro risoluzione

passa da areale a puntuale, in quanto la quantità di dati, necessaria al loro uso, diventa via via maggiore.

Il metodo basato sull'uso del GIS è di recente applicazione e si basa su approcci idrologico-statistici o su modellazioni estremamente semplici del tipo pioggia-stabilità (Polemio & Petrucci, 2001).

Nel corso del capitolo è stato ritenuto opportuno soffermarsi sul primo metodo, cioè sulla soglia durata-intensità della pioggia, in quanto è quello usato per la determinazione delle soglie pluviometriche.

3.2 METODO DI ANALISI DELLA SOGLIA DURATA-INTENSITÀ DELLA PIOGGIA

Per quanto riguarda questo metodo, la relazione empirica tra intensità della pioggia e instabilità è stata accuratamente descritta; infatti, le ricerche finalizzate alla stima delle soglie pluviometriche, ovvero dei valori di pioggia di eventi meteorici oltre i quali si innescano e/o riattivano fenomeni franosi, sono numerose (Caine, 1980; Cancelli & Nova, 1985; Clark, 1987; Keefer et al., 1987; Neary & Swift, 1987; Wieczorek, 1987; Wieczorek & Sarmiento, 1988; Jibson, 1989; Giannecchini, 2005, 2006).

Il metodo consiste in un approccio empirico volto all'individuazione di una correlazione tra la pioggia e l'innescamento del fenomeno franoso, a prescindere dalla conoscenza dei meccanismi di instabilità dei versanti.

Il metodo empirico pluviometrico solitamente associa la probabilità $P[L_t]$ che un fenomeno franoso L_t si inneschi all'istante t ad una funzione $Y(t)$ dipendente dalle precipitazioni che hanno preceduto l'istante t :

$$P[L_t] = f[Y(t)]$$

Per i *debris flow*, la funzione $Y(t)$ viene frequentemente identificata con l'intensità oraria media I , mentre il tempo t con la durata D delle precipitazioni, ed è espressa con la seguente formula:

$$Y(t): I = a \cdot D^b$$

dove a e b vengono determinati attraverso il grafico durata verso intensità media e sono in stretta correlazione con le caratteristiche degli eventi pluviometrici studiati (Bosco et al., 2005).

Uno studio precursore in questo senso è stato quello di Caine (1980) che, basandosi sull'analisi di 73 eventi avvenuti in diversi contesti geologici e climatici, propone una soglia universale valida per eventi pluviometrici di durata da 10 minuti a 10 giorni. In termini di intensità di pioggia (I , mm/h) e durata (D , h) la relazione di Caine (1980) può essere scritta come:

$$I = 14,82 D^{-0,39}$$

Per Caine, questa soglia doveva essere universale, ma, come si potrà vedere nel corso di questo studio, tale relazione risulta notevolmente più bassa di quelle ottenute nel presente studio; infatti, una critica a tale relazione (Jibson, 1989) è che quest'ultima non tiene conto della capacità dei pendii di adattarsi alle condizioni climatiche locali; infatti, in una regione ad elevata Piovosità Media Annuale (PAM), i versanti saranno più disposti a tollerare precipitazioni di elevata intensità, rispetto ai versanti che si trovano invece in regioni più aride.

Guidici & Iwasa (1977), analizzando il dissesto idrogeologico in nove aree del Brasile, hanno proposto di correlare i movimenti franosi ai massimi di precipitazione registrati in nove stazioni pluviometriche ricadenti nelle aree in esame. I due autori calcolano il valore delle precipitazioni per più

giorni consecutivi verificatesi nei dodici mesi precedenti l'evento, la somma cumulata di essi e tre coefficienti: C_c , C_e , C_f .

Dove:

- C_c rappresenta il rapporto fra la somma cumulata delle piogge registrate fino al momento dell'evento meteorico e la precipitazione media annua;
- C_e rappresenta il rapporto fra i millimetri di pioggia registrati durante l'evento meteorico e la precipitazione media annua;
- C_f è dato dalla somma di C_c con C_e .

Attraverso la costruzione di grafici (figura 3.1) che pongono in relazione la data degli eventi meteorici, collegati o meno ai fenomeni franosi, con i coefficienti precedentemente descritti, gli autori arrivano alla costruzione di carte della pericolosità potenziale da frana per ciascuna delle nove aree studiate.

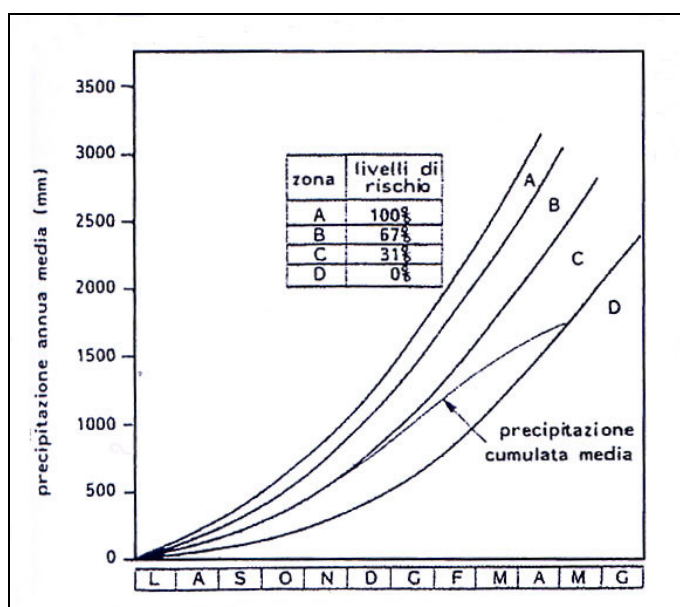


Figura 3.1 - Relazione tra piogge e frane nella Serra di Caragatatuba, Brasile (Guidici & Iwasa, 1977). Attraverso questi diagrammi in funzione del mese, dell'anno e della cumulata può essere letta la probabilità che si verifichino movimenti franosi.

Govi et al. (1985), in uno studio sulle frane del Piemonte, hanno messo in relazione l'intensità oraria degli eventi con le precipitazioni cumulate come percentuale della P.M.A., suggerendo il grafico di figura 3.2.

Il coefficiente C_e , noto anche come *Normalized Storm Rainfall* (NSR), è stato utilizzato da altri autori (Govi et al., 1985; Pierson et al., 1991; Giannecchini, 2005; Giannecchini, 2006) per ottenere migliori generalizzazioni nella determinazione delle curve-soglia.

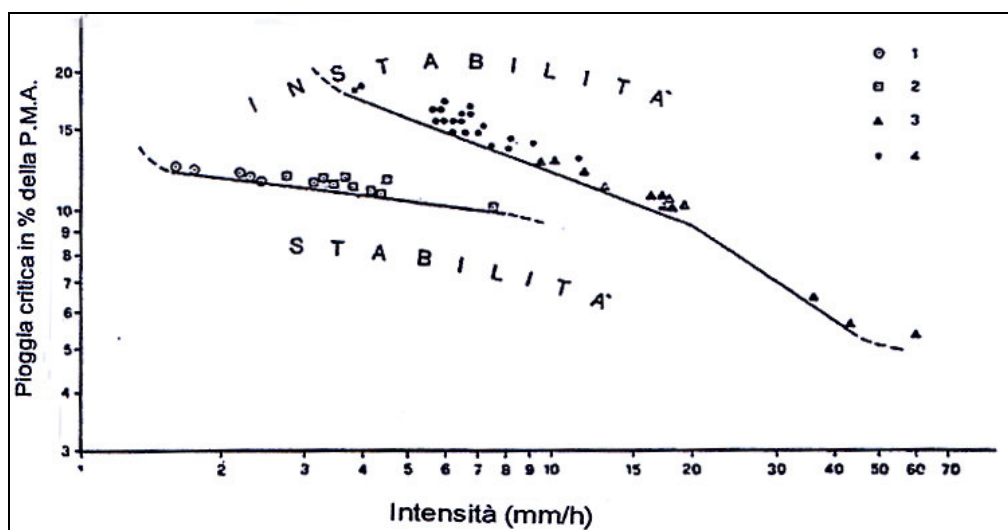


Figura 3.2 - Relazione tra fase iniziale della franosità in terreni superficiali e parametri idrologici: intensità oraria e precipitazione cumulata dell'evento in percentuale della P.M.A. (1-eventi invernali; 2-eventi primaverili; 3-eventi estivi; 4-eventi autunnali) Le linee definiscono i valori di soglia di precipitazione al di sopra dei quali, nelle varie stagioni, nel Bacino Padano occidentale, si innescano le prime frane (da Govi et al., 1985).

La definizione delle soglie pluviometriche è particolarmente agevolata nel caso di frane superficiali di prima generazione, in terreni con permeabilità medio o medio-alta. Tali terreni sono caratterizzati infatti da una rapida risposta delle pressioni interstiziali e quindi i fenomeni franosi vengono attivati, in genere, in seguito a piogge brevi ed intense (Bosco et al., 2005)

Per frane di scivolamento più profonde che interessano coltri detritiche, colluviali o rocce molto fratturate, le relazioni fra intensità e durata si rivelano spesso inadeguate, in quanto entra in gioco l'influenza delle precipitazioni antecedenti valutate su un periodo più o meno lungo (Bosco et al., 2005).

4. LE CAVE DI MARMO DI CARRARA

4.1 INTRODUZIONE

Il giacimento marmifero di Carrara è diviso morfologicamente in bacini estrattivi (figura 4.1), che corrispondono a quattro valloni del versante tirrenico del Monte Borla (1496 m s.l.m.) e del Monte Sagro (1749 m s.l.m.). Da Est verso Ovest, questi bacini vengono convenzionalmente denominati Bacino di Colonnata, Miseglia, Torano e Pulcinacchia.

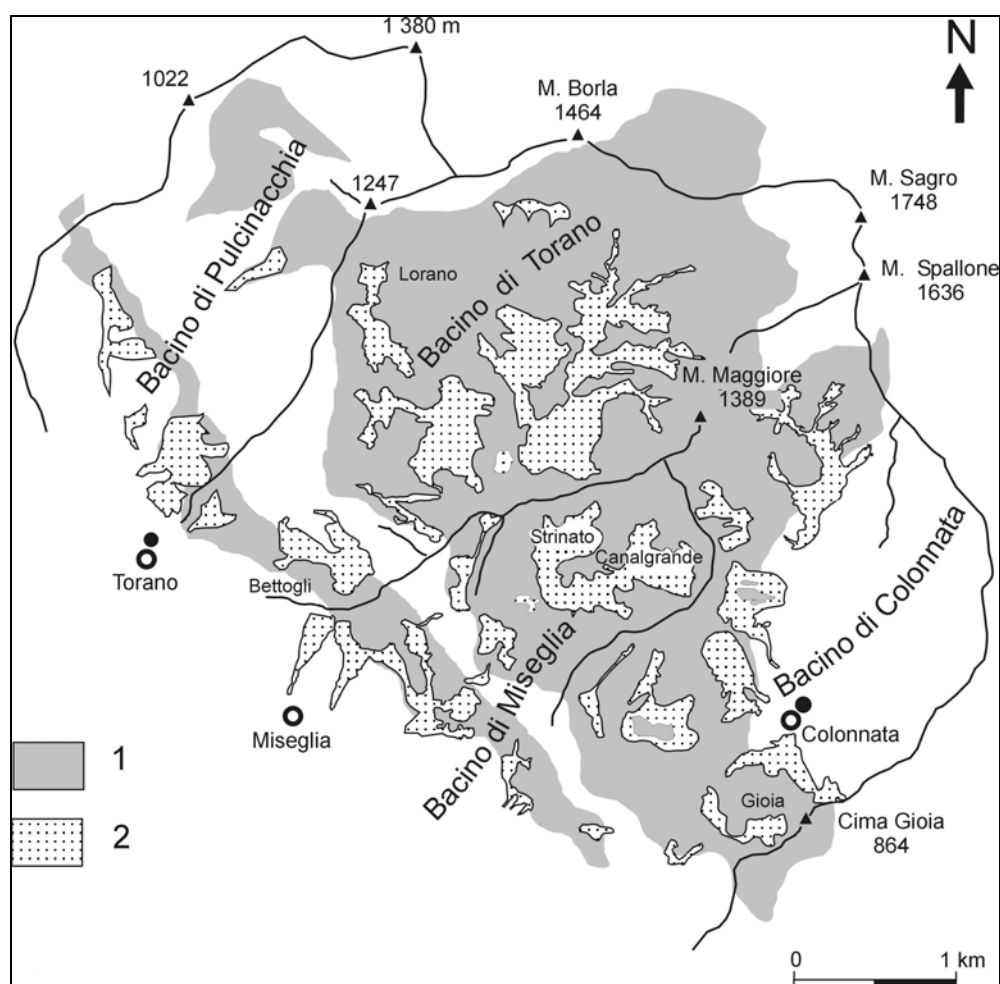


Figura 4.1 - Inquadramento geografico e geologico dei bacini marmiferi Apuani. 1) Affioramento marmifero; 2) Principali ravaneti (Baroni et al., 2001).

4.2 TIPOLOGIA DI CAVE PRESENTI

Allo stato attuale risultano attive 90 cave, ripartite nei quattro bacini come riportato in tabella 4.1 (Comune di Carrara – Settore Marmo):

Cave per Bacino Estrattivo	
Bacino Estrattivo	N. Cave
Pulcinacchia	7
Torano	22
Miseglia	30
Colonnata	31
Totale	90

Tabella 4.1 - Quadro riassuntivo della distribuzione delle cave attive per bacino estrattivo (Fonte Comune di Carrara – Settore Marmo).

Da un'indagine svolta dal Comune di Carrara (Settore Marmo) nel 1997, risulta che il 73,3% è coltivata⁴ a cielo aperto (84,5% considerando anche quelle a coltivazione mista), principalmente lungo i versanti, ma anche in fossa e sui crinali che separano i bacini marmiferi. La coltivazione in sotterraneo si registra nel 26,7% delle cave, ma solo nel 5,6% dei casi questa è la modalità esclusiva, mentre nel 21,1% le cave presentano fronti attivi sia a cielo aperto che in sotterraneo.

La coltivazione dei bacini marmiferi di Carrara ha seguito tipologie differenti che si adattano alle caratteristiche morfologiche e geologiche dei vari giacimenti. Si sono così sviluppati numerosi tipi di cava che hanno spesso subito un'evoluzione in funzione della convenienza o meno di seguire un determinato corpo marmoreo, o più semplicemente per sopperire alla mancanza di spazio sufficiente alla coltivazione stessa.

⁴ Per coltivazione s'intendono i metodi e le tecniche d'escavazione di una cava.

In linea generale, si possono riassumere i tipi di cava presenti nei bacini di Carrara come segue (Bradley,1991):

- Cave di versante e culminali;
- Cave a fossa e a pozzo;
- Cave in sotterraneo.

Le cave di versante (figura 4.2) rappresentano il tipo più comune. Sono così chiamate perché si sviluppano lungo i versanti della montagna dove, in genere, disegnano una geometria a gradini ognuno dei quali può costituire uno o più fronti di escavazione. La coltivazione avviene per arretramento dei gradini fino al limite dell'area sfruttabile, partendo dal più alto e procedendo verso il basso. L'altezza dei gradini coincide con quella delle bancate da abbattere.



Figura 4.2 - Cava di versante (www.comunedicarrara.it).

Si possono ascrivere a questo gruppo anche le cave aperte lungo i crinali della montagna, propriamente dette cave culminali (figura 4.3) che, a differenza delle prime, non avendo nessun lato limitato da pareti rocciose, beneficiano di condizioni morfologiche particolarmente favorevoli.



Figura 4.3 - Cava culminale (www.comunedicarrara.it).

Meno frequenti nei bacini carraresi sono invece le cave a fossa. Come suggerisce il nome, il loro sviluppo è essenzialmente verticale e spesso è determinato, più che dalle caratteristiche giacimentologiche, dalla mancanza dello spazio necessario ad estendere lateralmente la coltivazione. La coltivazione avviene per escavazione del piano di cava lungo livelli morfologicamente sempre più bassi, che porta ad un graduale approfondimento del fronte di scavo. L'accesso alla cava è consentito da una ripida strada che si snoda lungo le pareti verticali al limite dell'area di coltivazione. Spesso, tuttavia la mancanza di spazio è tale da rendere impossibile perfino la costruzione di una strada, per cui al personale addetto per accedere al piano di cava non resta che utilizzare scale e speciali ascensori fissati alle pareti rocciose laterali. Quest'ultimo tipo di cave, denominate cave a pozzo (figura 4.4) presenta lo svantaggio di doversi servire di gru poste sul bordo della fossa sia per portare in cava tutti i

macchinari necessari all'escavazione, sia per estrarre i blocchi riquadrati e per rimuovere il materiale di scarto.



Figura 4.4 - Cava a pozzo (Bradley, 1991).

In particolari condizioni giacimentologiche, la coltivazione nei due tipi di cava sopra citati può subire un'evoluzione che origina cave in sotterraneo (figura 4.5). In rari casi, infatti, una cava si è direttamente sviluppata in sotterraneo, ed in genere tale condizione deriva dalla necessità di seguire l'andamento di un corpo marmoreo particolarmente pregiato. Il cambiamento avviene per gradi: la coltivazione si fa inizialmente sotto la tettoia, cioè incide parzialmente una parete rocciosa verticale (teggia in dialetto carrarino) determinando una sorta di grossa nicchia che rappresenta il futuro imbocco della galleria. Quindi se le condizioni giacimentologiche lo rendono vantaggioso, si procede all'approfondimento del fronte di scavo fino a formare una vera e propria galleria.

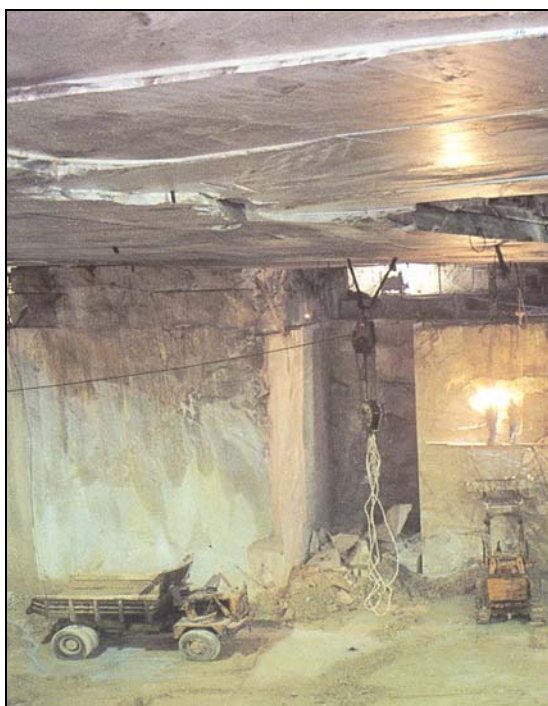


Figura 4.5 - Cava in galleria (Bradley,1991).

4.3 RAVANETI

Con tale nome si intendono, prevalentemente in Toscana ed in particolare nelle Alpi Apuane, gli accumuli di materiale lapideo di scarto derivanti dall'estrazione e dalla lavorazione delle pietre da costruzione e ornamentali (D'Amato Avanzi & Verani, 1998).

Nelle Alpi Apuane, dove l'escavazione del marmo è molto sviluppata, i ravaneti assumono particolare importanza, sia per la superficie che occupano, sia per i volumi di materiali disponibili. Estensione e quantità sono in gran parte la conseguenza di tecniche ormai obsolete come la "grande varata", cioè una volata⁵ di mine di notevole potenza che produceva, oltre a blocchi idonei per la lavorazione, una grande quantità di

⁵ Per volata di mine si intende l'esplosione di più mine contemporaneamente oppure in sequenza.

frammenti inutilizzabili che poteva raggiungere l'85% del materiale estratto (Sansoni, 1991).

Le nuove tecnologie estrattive, che utilizzano il filo diamantato e la tagliatrice a catena, e l'escavazione in sotterraneo, sempre più diffuse e precise nell'estrazione dei blocchi, hanno drasticamente ridotto la produzione di materiali di scarto (anche se attualmente, comunque, la produzione di scarti non si è arrestata).

Durante la formazione di un ravaneto, i detriti si dispongono, inizialmente secondo l'angolo di attrito interno del materiale, in genere piuttosto elevato (fino a circa 40-45°), in dipendenza di vari fattori come scabrosità, irregolarità di forma, dimensione del materiale e del pendio originario (D'Amato Avanzi & Verani, 1998); il *range* granulometrico è molto variabile: infatti, si può passare da dimensioni metriche e decimetriche a dimensioni millimetriche e submillimetriche ("marmettola⁶"). La continua alimentazione dall'alto porta frequentemente a superare l'angolo di attrito interno e quindi alla parziale ridistribuzione gravitativa del materiale lungo il pendio, con la tendenza ad avere gli elementi più grossolani alla base, come avviene per le falde di detrito (D'Amato Avanzi & Verani, 1998).

Specie negli ultimi anni è andato via via intensificandosi il prelievo di materiale calcareo dai ravaneti per l'accresciuta domanda di inerti, di pietre da costruzione o massi da scogliera e di carbonato di calcio per le industrie (D'Amato Avanzi & Verani, 1998). Data la mancanza di una corretta pianificazione per la coltivazione dei ravaneti, il prelievo è continuato senza controllo, trasgredendo le più banali norme di sicurezza. Infatti la

⁶ Fango calcareo derivante dall'utilizzo delle moderne tecniche durante l'escavazione.

coltivazione dovrebbe avere inizio dall'alto e procedere verso il basso (non al piede come attualmente spesso si verifica, figura 4.6).



Figura 4.6 - Coltivazione di un ravaneto procedendo dal basso verso l'alto.

4.3.1 CLASSIFICAZIONE DEI RAVANETI

La classificazione di un ravaneto, può seguire più criteri, qui di seguito sono riportate le classificazioni prese dalla “Carta dell’attività dei bacini marmiferi del Carrarese” (Coli et al., 2001). Il primo criterio è basato sulla granulometria dei detriti:

- Ravaneti informi: clasti con dimensioni maggiori o uguali ad 1m^3 ; sono definiti “informi” quei clasti la cui forma irregolare non consente la riquadratura e quindi uno sfruttamento più vantaggioso.

- Ravaneti a pezzame: clasti di dimensione decimetrica; sono definiti “pezzame” quei clasti la cui dimensione permette il trasporto manuale.
- Ravaneti a sassi: clasti di dimensione centimetrica;
- Ravaneti fini: clasti di dimensioni minori ad 1cm.

Un secondo criterio è quello basato sulla posizione del ravaneto, cioè sulla presenza a monte del ravaneto di un polo estrattivo attivo o inattivo:

- Ravaneti attivi: se adiacenti ad un polo estrattivo in fase di coltivazione, dal quale vengono alimentati (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Ravaneto attivo; nella figura è possibile vedere il polo attivo posto alle spalle del ravaneto (www.comunedicarrara.it).

- Ravaneti inattivi: l'attività è cessata recentemente (figura 4.8).



Figura 4.8 - Ravaneto inattivo.

- Ravaneti vecchi: l'attività è cessata da molti anni; la loro età può essere dedotta dalla presenza della tipica patina d'alterazione grigio-nerastra, dovuta ai licheni, che richiede almeno una decina di anni (Figura 4.9).



Figura 4.9 - Ravaneto vecchio, si riconoscono la tipica patina nerastra e il parziale inerbimento.

- Ravaneti storici/artistici: presentano elementi di valore estetico, quali le vie di lizza⁷ e l'accatastamento manuale (Figura 4.10).

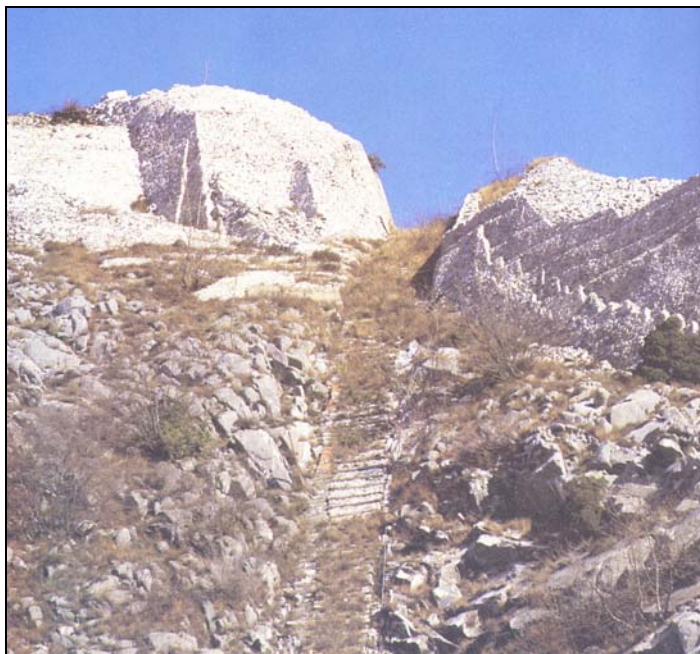


Figura 4.10 - Ravaneto antico, è possibile osservare una via di lizza e i tipici muri a secco (Bradley, 1991).

4.3.2 VALUTAZIONI AMBIENTALI

Fra i molteplici aspetti che i ravaneti presentano, sono da evidenziare il loro aspetto paesaggistico, i contenuti culturali e il loro contributo alla regimazione idraulica (D'Amato Avanzi & Verani, 1998).

Per quanto riguarda l'aspetto paesaggistico, i ravaneti sono tra i patrimoni più evidenti dell'attività di cava; sono ormai parte integrante del paesaggio apuano, visibili da notevole distanza, sia dal litorale spezzino che dalla riviera della Versilia.

⁷ Le vie di lizza erano delle massicciate appositamente costruite per la discesa di una slitta (lizza), costituita da tre grossi tronchi sagomati a forma di grossolani sci disposti l'uno accanto all'altro. La lizza era utilizzata per il trasporto a valle dei blocchi di marmo (Bradley, 1991).

I ravaneti contengono importanti contenuti culturali, poiché su di loro erano spesso tracciate le vie di lizza, delle quali è importante non perdere la memoria storica. In alcuni ravaneti, la discarica dei materiali di scarto veniva effettuata secondo criteri esteticamente apprezzabili, con sequenze di muri a secco o muraglioni di blocchi, che assumono la valenza di reperti di archeologia industriale (D'Amato Avanzi & Verani, 1998).

Un aspetto particolarmente importante collegato alla presenza dei ravaneti è legato al loro contributo nell'attenuazione dei tempi di corrivazione delle acque di ruscellamento (D'Amato Avanzi & Verani, 1998). I versanti della catena apuana sono infatti piuttosto acclivi e su di essi le acque di pioggia scorrono via molto rapidamente, determinano ridotti tempi di corrivazione.

I ravaneti sono invece normalmente meno acclivi del substrato e dotati di elevata permeabilità, grazie alla granulometria in prevalenza grossolana (specialmente per i depositi più antichi), tutto ciò fa intuire come possano costituire dei serbatoi artificiali in grado di assorbire significativi quantitativi di acqua piovana rilasciandola gradualmente nel tempo, riducendo quindi i rischi idrogeologici per gli abitati posti a valle (D'Amato Avanzi et al., in stampa). In sostanza, oltre ad avere effetti positivi sulle risorse idriche sotterranee, i ravaneti svolgono un'azione di moderatori di portata, immagazzinando le acque e contribuendo a limitare l'altezza delle onde di piena (D'Amato Avanzi & Verani, 1998).

Il riutilizzo dei ravaneti non può quindi avvenire indiscriminatamente, ma dovrebbe invece essere valutato in modo tale da salvaguardare gli aspetti paesaggistici, culturali e idrogeologici.

4.3.3 STABILITÀ DEI RAVANETI

I fattori predisponenti l'instabilità dei ravaneti derivano dal susseguirsi di differenti tecniche estrattive, che nel tempo hanno determinato la sovrapposizione di strati a differente composizione granulometrica e permeabilità (Baroni et al.,2001). Infatti, l'evoluzione metodologica di escavazione ha determinato nei secoli, oltre all'incremento del materiale lapideo scavato, la variazione granulometrica e composizionale dei ravaneti. In una sezione ideale attraverso la storia estrattiva si possono differenziare, dal basso verso l'alto, depositi riferibili a intervalli temporali diversi (D'Amato Avanzi et al., in stampa):

- età romana e talora pre-romana: granulometria da decimetrica a metrica, con resti di utensili di lavorazione e blocchi; la dimensione dei frammenti aumenta nel tempo;
- medioevo-seconda metà dell'800: è significativo l'avvento degli esplosivi, che porta alla formazione di depositi a grossi blocchi;
- 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 (indispensabili per applicare la tecnica di coltivazione del 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 nei ravaneti.

Un altro aspetto significativo è legato alla ripresa della coltivazione dei ravaneti stessi, ed in particolar modo della frazione più grossolana a scopo

industriale (produzione di CaCO_3). Ciò sta provocando, oltre all'instabilità per lo scalzamento al piede, come descritto nel paragrafo precedente, ad un aumento della percentuale relativa di materiale più fine, peggiorando sensibilmente le proprietà geomeccaniche dei ravaneti (D'Amato Avanzi et al., in stampa).

Le frazioni fini, prodotte con l'uso del filo diamantato e dalla tagliatrice a catena, raccolte sui piazzali, vengono scaricate nel ravaneto; tali polveri, prese in carico dalle acque d'infiltrazione, vanno a formare una densa miscela di acqua e particelle di marmo (nota come "marmettola"), che avendo caratteristiche geomeccaniche scadenti e andando ad occupare i vuoti intergranulari tra i clasti di dimensioni maggiori, peggiora sensibilmente la stabilità dei ravaneti (D'Amato Avanzi et al., in stampa).

In generale, i ravaneti vecchi e antichi (cfr. par. 4.3.1) contengono quantità limitate o nulle di matrice, mentre i ravaneti più recenti (cfr. par. 4.3.1) hanno una considerevole frazione di matrice che porta a variazioni granulometriche-tessiturali marcate e di difficile ricostruzione, portando spesso a condizioni più sfavorevoli per la stabilità (D'Amato Avanzi et al., in stampa).

Nel figura 4.12 sono illustrate le differenze tessiturali rilevate sulla superficie di ravaneti attivi e antichi (Baroni et al.,2001).

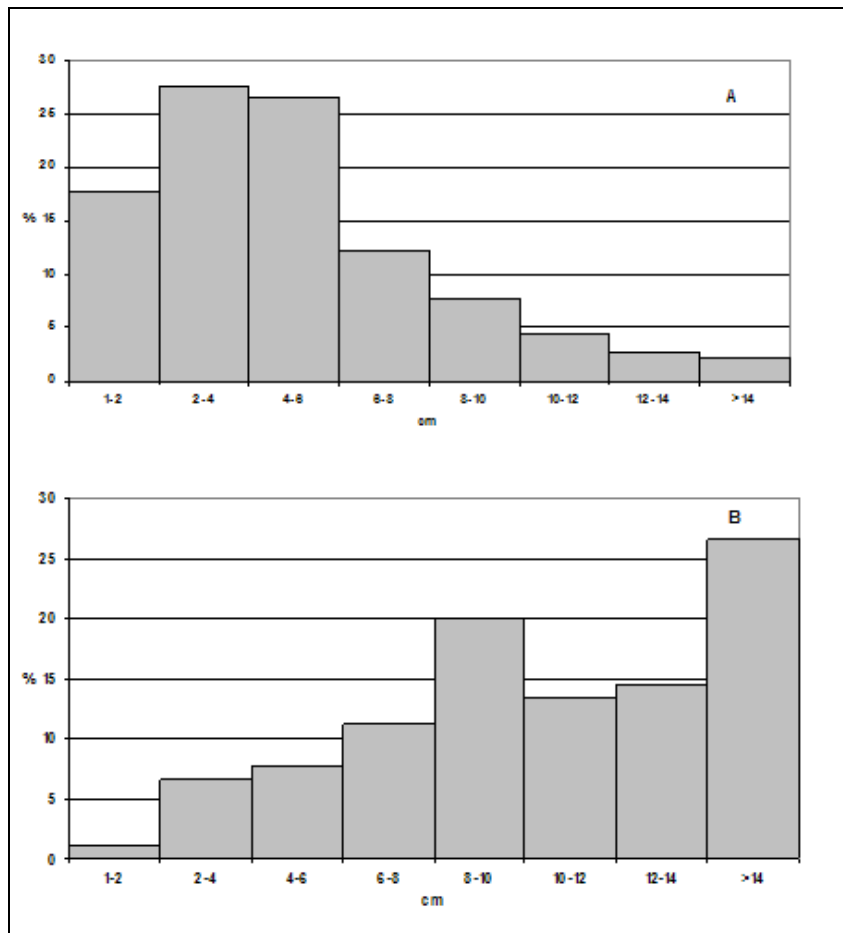


Figura 4.12 - Granulometria superficiale (> 1 cm) di un raveneto attivo (A) e di un raveneto antico (B) (Baroni et al., 2000).

I dati esposti mettono in evidenza come la granulometria superficiale⁸ dei raveneti antichi prevalgono classi granulometriche maggiori (8-10 cm, > 14 cm) rispetto a quanto misurato nei raveneti attivi (2-4 cm, 4-6 cm). Da osservazioni dirette sui raveneti (Baroni et al., 2000) è stato evidenziato come la matrice (con granulometria < 1 cm) sia relativamente abbondante nei raveneti attivi (dal 40% al 50%) mentre nei raveneti antichi sia presente una minore quantità (al massimo fino al 30%). In tabella 4.2 sono riportate

⁸ È stata determinata grazie all'utilizzo di software in grado di calcolare la granulometria a partire da una fotografia (figura 4.13).

le percentuali di sabbia e di limo presenti nelle matrici di ravaneti attivi e antichi:

Composizione della Matrice		
Tipo di ravaneto	Sabbia	Limo
Ravaneti Attivi	53%	47%
Ravaneti Antichi	68%	32%

Tabella 4.2 - Composizione della matrice per ravaneti attivi e antichi (Baroni et al., 2000).

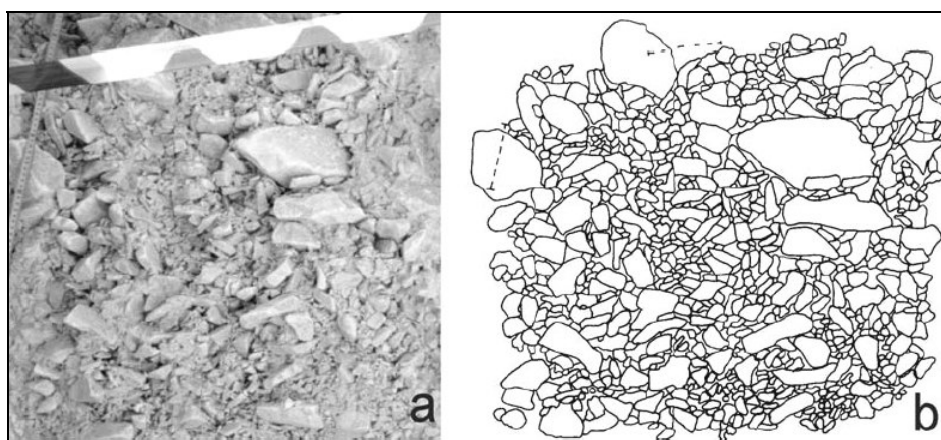


Figura 4.13 - Esempio di un'analisi della tessitura superficiale. a) Immagine da analizzare; b) identificazione dei clasti (Baroni et al., 2003).

Tutto ciò suggerisce come i ravaneti più vecchi siano sostanzialmente stabili mentre quelli più recenti sono maggiormente soggetti a fenomeni di dissesto, come si è potuto verificare con l'evento del 23 settembre 2003⁹, durante il quale i fenomeni di dissesto hanno colpito soprattutto ravaneti recenti (D'Amato Avanzi et al., in stampa).

⁹ Cfr. cap. 5.

5. L'EVENTO DEL 23 SETTEMBRE 2003 NELLA ZONA DI CARRARA

5.1 INTRODUZIONE

Questo studio prende spunto dall' evento pluviometrico eccezionale che investì la città di Carrara e i suoi bacini marmiferi nel settembre 2003. Le forti piogge hanno indotto l'innescò di molteplici frane nelle coltri detritico-colluviali superficiali 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 (D'Amato et al., in stampa).

Le conseguenze di quest'evento sono state molteplici, sia per l'attività di cava (interrottasi per diversi giorni), sia per la città di Carrara. Nell'abitato di Carrara, si è verificata l'esondazione del principale corso d'acqua (Torrente Carrione), dovuta all'ingente sovralluvionamento causato dall'immisione in alveo di abbondanti quantità di materiale detritico, proveniente sia dalle frane superficiali ma soprattutto dalla mobilitazione dei ravaneti (D'Amato Avanzi et al., in stampa).

Cause, distribuzione ed entità dei danni prodotti dall'evento sono strettamente collegati, oltre che all'entità di quest'ultimo, anche alla particolare conformazione morfologica del comprensorio comunale di Carrara, posto all'interno del bacino idrografico del T. Carrione. Il nucleo della città è infatti posto sul fondovalle, dove peraltro si ha la confluenza nel

Carrione di un affluente (Fosso Torano). Questi torrenti convogliano a valle le acque provenienti dagli estesi bacini marmiferi posti a ridosso della città.

5.2 RICOSTRUZIONE DELL'EVENTO METEOROLOGICO

Le stazioni pluviometriche utilizzate per lo studio di questo evento sono quelle di Carrara e Campocecina, dotate di sistema di trasmissione in tempo reale degli afflussi, con stazioni di ricezione presso l'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale (ARSIA).

Nei giorni precedenti l'evento, si erano verificate precipitazioni di modesta entità (figura 5.1).

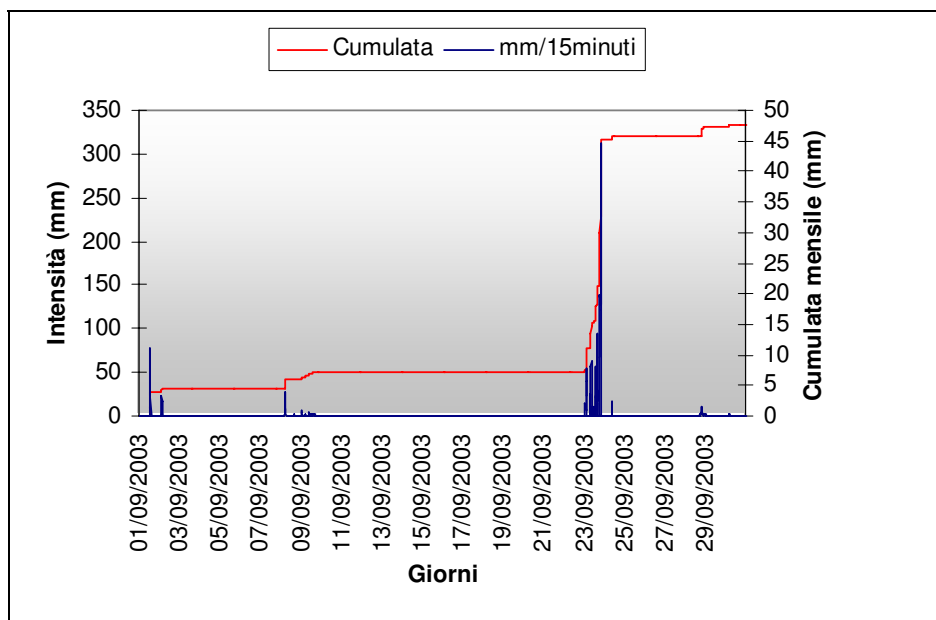


Figura 5.1 – Andamento delle piogge nel mese di settembre 2003. Sono rappresentati la cumulata mensile e i contributi di ciascun giorno (dati forniti da ARSIA).

Come si può vedere dalla figura 5.1, nei 22 giorni precedenti l'evento i millimetri di pioggia misurati dagli strumenti furono soltanto 50,6.

Quel giorno, la pioggia iniziò a cadere sin dalle prime ore del mattino, in principio con modesta entità (figura 5.2), poi, nel prosieguo della giornata le precipitazioni ebbero un forte incremento, fino ad arrivare al momento parossistico alle ore 18.30 (prima di quel momento la stazione di Carrara registrò circa 98,2 mm in 18 ore).

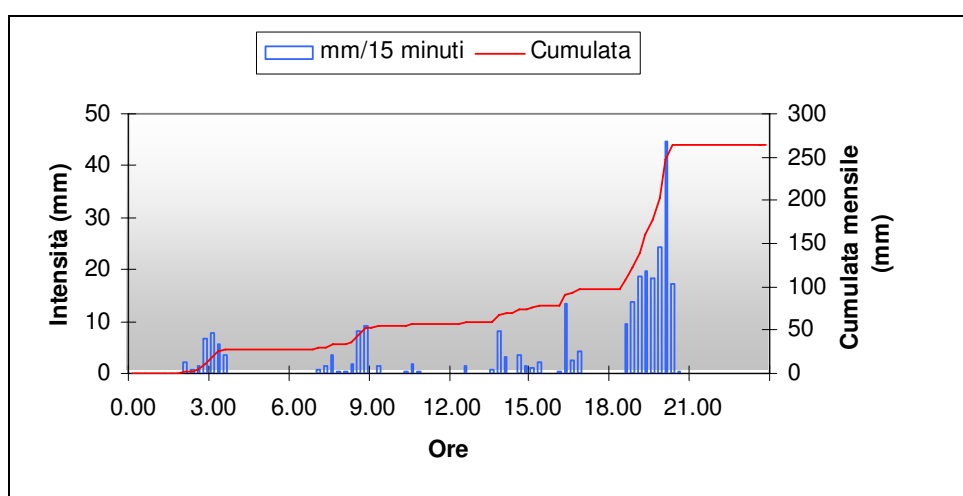


Figura 5.2 - Andamento della pioggia del 23 settembre 2003 alla stazione pluviometrica di Carrara.

Il massimo di intensità si registrò intorno alle 20, quando caddero 44,6 mm di pioggia in appena 15 minuti, successivamente, alle 21 circa le precipitazioni si interruppero.

Le probabili cause dell'evento potrebbero essere molteplici, ma senz'altro giocò un ruolo fondamentale l'effetto barriera del Massiccio Apuano (cfr. cap. 1 par. 1.2)

5.3 EFFETTI DELL'EVENTO DEL 23 SETTEMBRE 2003

Gli effetti prodotti dall'evento del 23 settembre 2003 sulla città e sui bacini marmiferi furono rilevanti; infatti, agli ingenti danni materiali (le stime parlarono di oltre 50 milioni di euro) si aggiunse anche la perdita di vite umane (1 vittima).

Come accennato in precedenza, i fenomeni di dissesto furono circa 500 (D'Amato Avanzi et al., in stampa), la maggior parte dei quali si verificarono all'interno dei bacini marmiferi.

La maggior parte di questi dissesti sono riconducibili a colate di detrito (*debris flow*) che mobilizzarono i ravaneti (figura 5.3).



Figura 5.3 – Colata detritica nel ravaneto Bettogli, bacino estrattivo di Torano (foto fornita dal Settore-Marmo).

Per *debris flow*, si intende un rapido movimento di una miscela di detrito, acqua e aria che si muove come un fluido viscoso.

A riguardo, è interessante lo studio fatto da D'Amato Avanzi et al. (in stampa) sui dissesti che avvennero sul ravaneto dei Bettogli, i quali

mobilizzarono un volume di materiale pari a 40000 m³, con una lunghezza di 570 m e una larghezza di 80 m (dati forniti dal Settore-Marmo).

Un altro ravaneto interessato da colate detritiche è stato quello della cava Calocara Est, nel bacino estrattivo di Miseglia (figura 5.4).

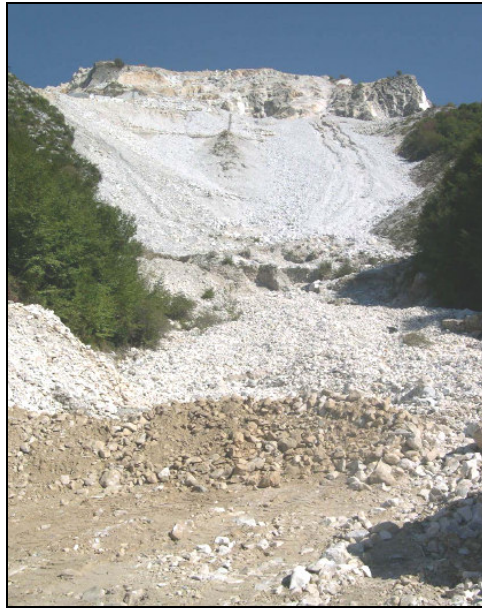


Figura 5.4 – Colata detritica che ha interessato il ravaneto Calocara Est (foto fornita dal Settore Marmo).

Tale dissesto mobilizzò un volume di materiale pari a 10500 m³ con una lunghezza di circa 180 m e una larghezza di 20 m (dati forniti dal Settore-Marmo).

6. DETERMINAZIONE DELLE SOGLIE PLUVIOMETRICHE CRITICHE PER L'AREA STUDIATA

6.1 INTRODUZIONE

Per effetto di violente piogge, nel bacino marmifero di Carrara si sono verificati, sia in passato sia negli ultimi anni, numerosi fenomeni di trasporto in massa di materiale detritico che nel caso particolare vengono identificati come colate di detrito o *debris flow*.

Alla grande diffusione dei fenomeni franosi hanno contribuito nel tempo e in maniera determinante molti fattori, quali: la morfologia prevalentemente collinare e montuosa, l'elevata pressione antropica (cfr. Cap. 4) e le caratteristiche meteo-climatiche dell'area (cfr. Cap. 1 par. 1.2).

Sulla base delle esperienze di Giannecchini (2005, 2006), condotte nell'area apuo-versiliese, l'approccio utilizzato per la determinazione delle soglie pluviometriche critiche è stato esclusivamente di tipo empirico, cioè prescindendo dalla conoscenza delle leggi fisiche che governano i meccanismi di instabilità dei versanti, poiché la scelta di un modello più complesso avrebbe richiesto la conoscenza di parametri di difficile determinazione.

La descrizione del metodo utilizzato può essere strutturata facendo un distinguo tra fase di raccolta e fase di elaborazione dei dati.

6.2 (FASE DI) RACCOLTA DATI

Il primo passo di questa fase è stato quello di individuare, nell'area di studio, tutti quei pluviometri in grado di fornire i dati pluviometrici per l'intero periodo di studio (dal 1950 al 2005).

Le stazioni pluviometriche utilizzate sono state quelle di Fossacava per il periodo che va dal 1950 al 1964, la stazione Rifugio Belvedere per il periodo che va dal 1967 al 1990 e la stazione di Carrara (per il periodo '90-'94 quella meccanica di proprietà dell'Ufficio Idrografico, mentre per i successivi anni fino al '05 si è fatto riferimento alla stazione automatica dell'ARSIA; ciò è dovuto al fatto che i dati della stazione del Servizio Idrografico per il periodo '95-'05 non erano disponibili).

Di seguito nella tabella 6.1 e in figura 6.1, sono riportate le caratteristiche delle singole stazioni e la loro posizione all'interno dell'area di studio:

Stazioni	Quota	Periodo di attività
Rifugio Belvedere	1261 m s.l.m.	Attiva dal 1967 al 1990
Fossacava	670 m s.l.m.	Attiva dal 1950 al 1964
Carrara	90 m s.l.m.	Attiva dal 1921 ad oggi

Tabella 6.1 - Caratteristiche delle stazioni pluviometriche utilizzate.

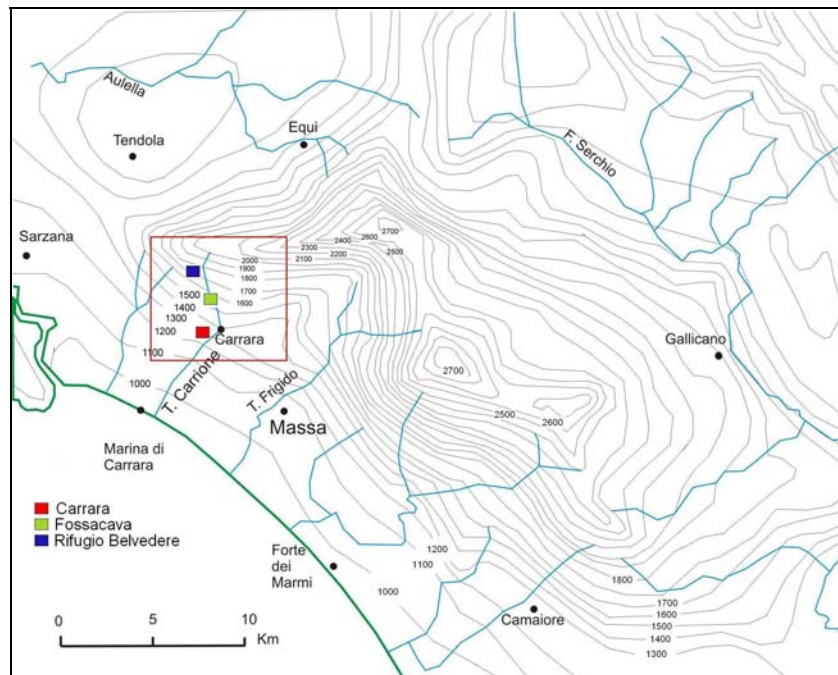


Figura 6.1 - Carta delle isoiete con indicazione dell'area di studio (riquadro rosso) e ubicazione delle tre stazioni pluviometriche (da Trevisan et al., 1971; modificato).

Mediante l'analisi specifica dei pluviogrammi e dei tabulati orari delle stazioni sopra menzionate, sono stati individuati gli eventi più significativi, dei quali è stata individuata sia la durata, misurata in ore, che l'intensità oraria, misurata in mm/h.

A questo punto, si è cercato di individuare gli eventuali effetti di questi eventi sull'area di studio. A tale scopo, è stata effettuata un'accurata ricerca storica, che in un primo momento ha fatto riferimento alle cronache locali (Il Tirreno e La Nazione), con tutti i limiti connessi; infatti, la sensibilità dell'opinione pubblica, e quindi quella dei giornali, nei confronti del dissesto idrogeologico è cresciuta solo negli ultimi anni e con essa è cresciuto il numero di notizie reperibili; inoltre, deve essere tenuta in considerazione l'enfasi che un giornalista può dare ad un evento rispetto ad un altro: per esempio se una frana di piccole entità è avvenuta nelle vicinanze di un

centro abitato, verrà enfatizzata maggiormente rispetto ad una frana di notevoli dimensioni avvenuta in una zona lontana da centri abitati;

Inoltre, in un secondo momento è stata fatta una ricerca presso l'amministrazione comunale, in particolar modo presso il Settore Marmo, la Protezione Civile, presso la Regione Toscana e il Comando dei Vigili del Fuoco. Dopo di che si è passati alla (fase di) elaborazione dati.

6.3 (FASE DI) ELABORAZIONE DATI

Una volta raccolti i dati pluviometrici, si è cercato di individuare delle curve-soglia, superate le quali, per l'area di studio, la probabilità che si verificano frane aumenta considerevolmente. Per far ciò, una volta fatta la distinzione tra eventi che hanno provocato effetti da quelli che non hanno provocato effetti, i dati pluviometrici sono stati posizionati su grafici durata/intensità oraria (sia in scala bi-logaritmica che in scala normale), grazie ai quali sono state ottenute le curve-soglia.

A questo punto, per ogni stazione è stato determinato l'NSR % per ogni evento, e anch'esso è stato posizionato su due tipi di grafico, uno durata/NSR% in scala normale e l'altro intensità oraria/NSR% in scala semilogaritmica.

Infine, si sono confrontate le curve soglia ottenute con questo studio con quelle ottenute da altri autori, Giannecchini (2005, 2006) e Governi (2005), in aree limitrofe.

6.4 STAZIONE PLUVIOMETRICA DI CARRARA

Da una prima lettura generale dei dati registrati dalla stazione pluviometrica di Carrara, quello che emerge è che rispetto all'intervallo di anni preso in considerazione, 1990-2005, il 1992 è stato l'anno più piovoso (2747,2 mm) con 100 giorni piovosi¹⁰ mentre il 1997 è stato quello più secco con 764,2 mm e 77 giorni piovosi.

Nel periodo esaminato, gli eventi pluviometrici significativi registrati dalla stazione di Carrara sono stati 68. Si tratta di eventi che generalmente presentano un'intensità media intorno ai 6 mm/h mentre nel caso dell'evento del 23 settembre 2003 si arriva a toccare i 22 mm/h. In tabella 6.2 è riportato l'elenco degli eventi registrati:

Data evento	Durata (h)	Cumulata d'evento (mm)	Intensità media (mm/h)	Effetti dell'evento
11/07/1992	10	33,0	3,3	Si
07/10/1992	120	160,4	1,3	Si
16/10/1992	34	95,2	2,8	No
03/10/1993	63	153,4	2,4	Si
06/10/1993	6	58,5	9,8	Si
07/11/1994	36	201,2	5,6	Si
21/09/1995	6	33,5	5,6	No
26/12/1995	15	57,0	3,8	Si
05/01/1996	50	70,0	1,4	No
20/02/1996	12	34,0	2,8	No
02/04/1996	14	80,5	5,8	No
01/05/1996	7	53,0	7,6	Si
19/06/1996	6	59,5	9,9	Si
23/06/1996	10	93,5	9,4	Si
17/10/1996	17	46,0	2,7	Si
13/12/1996	12	57,5	4,8	Si
06/11/1997	24	94,5	3,9	No
07/11/1997	13	82,5	6,4	Si
17/12/1997	28	62,5	2,2	No
19/04/1998	10	66,5	6,7	No
11/09/1998	16	45,0	2,8	No
06/10/1998	15	74,5	5,0	No
10/01/1999	25	52,5	2,1	No
09/02/1999	8	24,0	3,0	No

Tabella 6.2 - Dati relativi agli eventi pluviometrici significativi registrati dalla stazione di Carrara per il periodo compreso tra il 1990 e il 2005 (dati forniti dal Servizio Idrografico e da ARSIA).

¹⁰ Il Servizio Idrografico Italiano definisce giorno piovoso il giorno in cui è stata rilevata un'altezza d'acqua pari o superiore ad un millimetro d'acqua.

Data evento	Durata (h)	Cumulata d'evento (mm)	Intensità media (mm/h)	Effetti dell'evento
17/04/1999	14	38,0	2,7	No
27/04/1999	13	53,5	4,1	No
12/08/1999	4	50,5	12,6	No
29/08/1999	7	32,5	4,6	No
20/09/1999	17	68,5	4,0	Si
06/11/1999	7	41,0	5,9	No
15/12/1999	30	102,5	3,4	Si
24/04/2000	14	37,0	2,6	No
06/08/2000	3	23,0	7,7	No
01/09/2000	6	42,5	7,1	No
21/09/2000	7	64,0	9,1	No
30/09/2000	9	47,5	5,3	No
13/10/2000	19	60,5	3,2	Si
16/10/2000	12	54,5	4,5	No
30/10/2000	19	154,0	8,1	Si
07/11/2000	17	111,0	6,5	Si
20/11/2000	9	45,5	5,1	No
29/12/2000	107	112,0	1,1	Si
26/01/2001	10	42,5	4,3	Si
20/07/2001	8	47,5	5,9	No
24/09/2001	5	51,5	10,3	No
21/10/2001	11	54,4	5,0	No
23/10/2001	9	40,5	4,5	No
07/06/2002	8	48,0	6,0	No
04/09/2002	4	20,0	5,0	No
21/09/2002	7	110,5	15,8	Si
13/11/2002	8	72,4	9,1	Si
18/12/2002	14	95,0	6,8	Si
21/01/2003	8	53,5	6,7	No
02/03/2003	4	33,0	8,3	No
23/09/2003	8	176,0	22,0	No
24/11/2003	5	23,8	4,8	No
27/11/2003	10	56,2	5,6	Si
01/06/2004	6	50,5	8,4	Si
14/09/2004	4	48,0	12,0	Si
26/09/2004	14	66,0	4,7	No
29/11/2004	14	58,0	4,1	No
29/11/2004	15	58,0	3,9	Si
17/05/2005	8	45,5	5,7	No
23/10/2005	7	66,5	9,5	Si
02/12/2005	11	66,5	6,1	Si

Tabella 6.2 - Dati relativi agli eventi pluviometrici significativi registrati dalla stazione di Carrara per il periodo compreso tra il 1990 e il 2005 (dati forniti dal Servizio Idrografico e da ARSIA).

In base alla ricerca storica effettuata su questi 68 eventi, ne è risultato che 37 hanno provocato dissesti di varia entità.

Individuati gli effetti prodotti dagli eventi selezionati, si è cercato di elaborare l'insieme di dati a disposizione facendo riferimento al metodo già menzionato (cfr. cap. 3 par. 3.2).

Con lo scopo di individuare delle soglie pluviometriche, sono state poste in relazione le intensità degli eventi con la loro durata, costruendo dei grafici durata/intensità. Nei grafici di figura 6.2 - 6.3, sono stati distinti gli eventi durante i quali si sono verificati i dissesti (indicati nei grafici come eventi A) da quelli che apparentemente non avrebbero provocato conseguenze rilevanti (indicati nei grafici come eventi B).

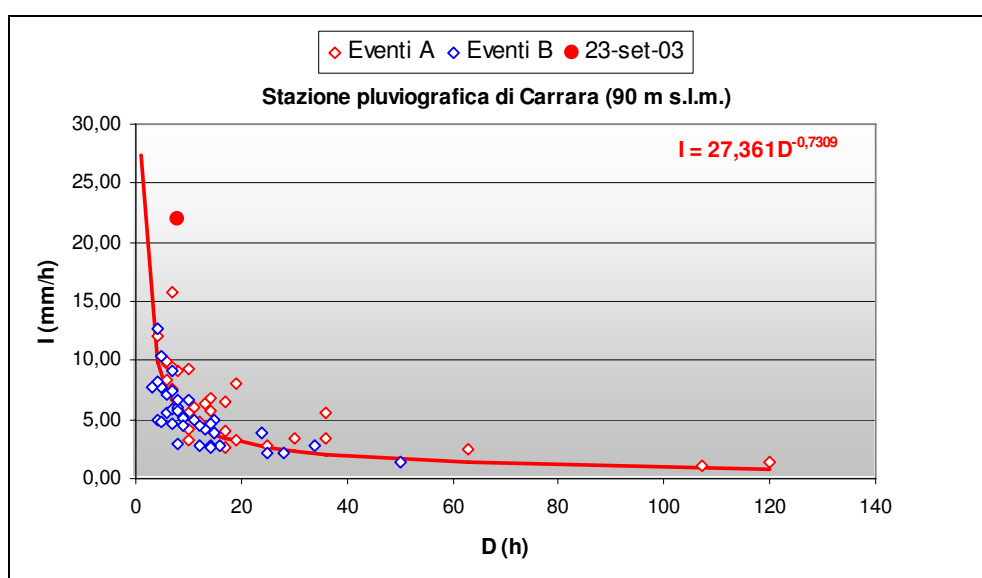


Figura 6.2 - Relazione durata/intensità per i 68 eventi analizzati. Gli eventi A sono quelli di cui si hanno notizie certe sull'innescio di frane; gli eventi B sono quelli che non avrebbero generato frane.

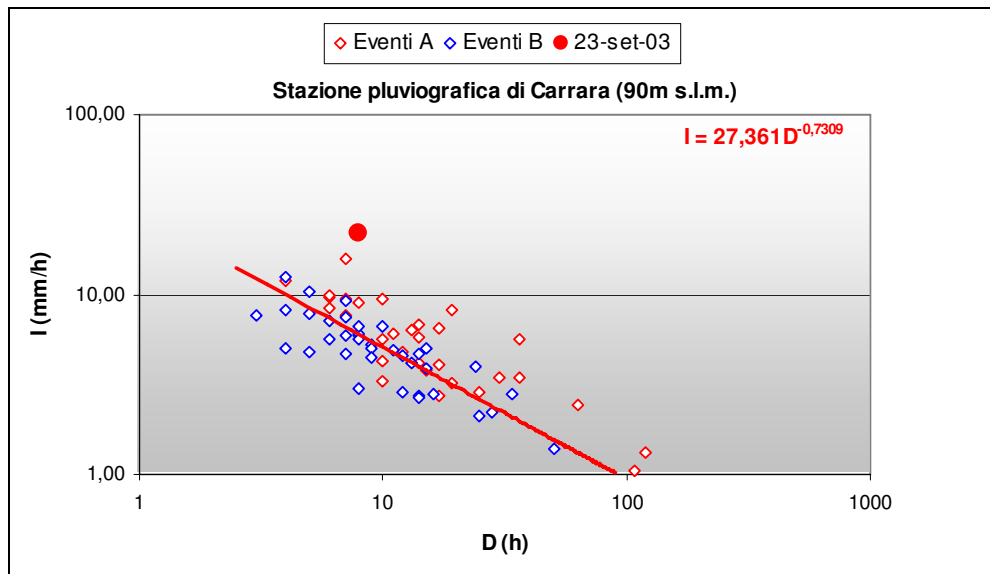


Figura 6.3 - Relazione durata/intensità dei 45 eventi selezionati proiettati su un grafico in scala bi-logaritmica.

In base ai grafici precedenti, si può osservare che i 68 episodi selezionati si dispongono su una linea di tendenza di tipo iperbolico, che delimita gli eventi A (cioè quelli che hanno provocato frane) dagli eventi B (cioè quelli che non hanno provocato frane o delle quali non si ha notizia), con equazione $I = 27,361D^{-0,7309}$.

Al di sotto della curva-soglia, l'evento meteorico non ha le caratteristiche di intensità e/o durata tali da innescare frane. In prossimità della curva-soglia, come evidenziato nelle figure 6.2 e 6.3, si collocano, in maniera anomala, anche alcuni eventi per i quali non sono state trovate notizie su effetti prodotti.

6.5 STAZIONE PLUVIOMETRICA DI FOSSACAVALA

I dati pluviometrici ricavati dalle registrazioni della stazione di Fossacava coprono un intervallo di anni che va dal 1951 al 1964.

Durante questo intervallo di tempo, il 1960 è stato l'anno più piovoso con 2148,9 mm e un totale di 130 giorni piovosi, mentre il 1964 è stato l'anno più secco con 947,6 mm di pioggia e un totale di 75 giorni piovosi.

Il numero di eventi di pioggia significativi registrati dalla stazione di Fossacava, nell'arco di tempo dal 1951 al 1964, è stato 45. Si tratta di eventi che generalmente presentano una intensità media di 6 mm/h con massimi di oltre 20 mm/h. In tabella 6.3 è riportato l'elenco degli eventi registrati:

Data evento	Durata (h)	Cumulata d'evento (mm)	Intensità media (mm/h)	Effetti dell'evento
12/11/1950	13	58,0	4,4	No
07/02/1951	66	207,9	3,1	Si
11/08/1951	4	39,9	9,9	No
31/10/1951	12	51,2	4,2	No
06/04/1952	13	57,1	4,3	No
19/08/1952	15	63,0	4,2	No
19/11/1952	26	106,6	4,1	Si
11/12/1952	19	80,0	4,2	No
03/10/1953	13	50,5	3,8	No
11/02/1954	30	68,7	2,2	No
26/04/1954	35	106,5	3,1	No
28/04/1954	35	106,5	3,1	Si
08/11/1954	11	57,5	5,2	No
10/12/1954	8	55,0	6,8	No
03/01/1955	36	154,1	4,2	Si
05/10/1955	8	130,0	16,2	Si
09/11/1955	33	87,3	2,6	No
10/11/1955	33	87,3	2,6	Si
02/12/1955	34	135,5	3,9	Si
01/04/1956	15	85,0	5,6	No
08/04/1957	8	55,0	6,8	No
02/05/1957	11	68,5	6,2	No
30/09/1957	13	59,5	4,5	No
20/10/1957	4	41,8	10,4	No
10/11/1957	122	212,5	1,7	Si
27/06/1958	12	53,8	4,4	Si

Tabella 6.3 - Dati relativi agli eventi pluviometrici significativi registrati dalla stazione di Fossacava per il periodo compreso tra il 1951 e il 1964 (dati forniti dal Servizio Idrografico).

Data evento	Durata (h)	Cumulata d'evento (mm)	Intensità media (mm/h)	Effetti dell'evento
26/09/1959	24	99,5	4,1	No
29/10/1959	49	183,0	3,7	Si
18/11/1959	8	43,5	5,4	No
12/02/1960	17	82,3	4,8	Si
17/02/1960	12	59,0	4,9	No
15/03/1960	13	71,0	5,4	No
06/10/1961	4	58,1	14,5	No
05/03/1962	34	115,5	3,4	Si
06/10/1962	25	102,4	4,1	No
27/10/1962	19	120,5	6,3	Si
12/11/1962	26	116,4	4,4	Si
03/09/1963	3	61,6	20,5	No
03/10/1963	9	96,3	10,7	Si
01/11/1963	37	142,2	3,8	Si
01/11/1963	37	142,2	3,8	Si
06/11/1963	24	81,2	3,3	No
04/12/1963	9	42,3	4,7	No
24/02/1964	49	100,0	2,1	No
26/03/1964	29	75,6	2,6	No

Tabella 6.3 - Dati relativi agli eventi pluviometrici significativi registrati dalla stazione di Fossacava per il periodo compreso tra il 1951 e il 1964 (dati forniti dal Servizio Idrografico).

Sulla base della ricerca storica degli effetti prodotti, 17 dei 45 episodi analizzati sembrano aver provocato dissesti di varia entità.

Come per la stazione precedente, anche per la stazione di Fossacava si è cercato di elaborare l'insieme dei dati utilizzando il metodo menzionato nel capitolo 3 paragrafo 3.2.

Nel grafico di figura 6.4, con lo scopo di individuare le soglie pluviometriche di innesco, sono stati distinti gli eventi durante i quali si sono verificati i dissesti (indicati nei grafici come eventi A) da quelli che apparentemente non avrebbero provocato conseguenze significative (indicati nei grafici come eventi B).

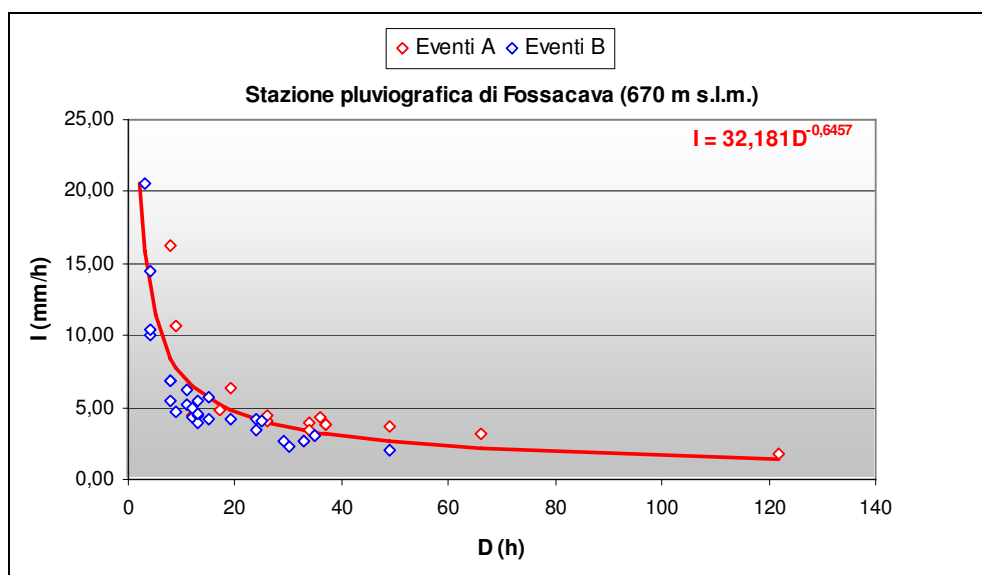


Figura 6.4 - Relazione durata/intensità per i 45 eventi analizzati. Gli eventi A sono quelli di cui si hanno notizie certe sull'innesco di frane; gli eventi B sono quelli che non avrebbero generato frane.

Mentre nella figura 6.5, i 45 eventi selezionati, sono stati proiettati su un piano cartesiano durata/intensità in scala bi-logaritmica.

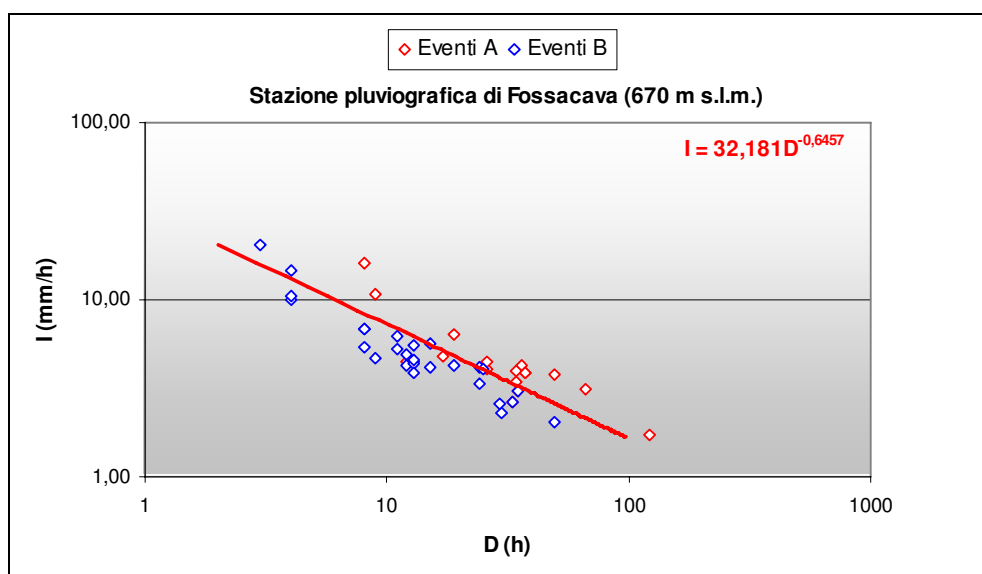


Figura 6.5 - Relazione durata/intensità per i 45 eventi selezionati, proiettati su un grafico in scala bi-logaritmica.

In base ai grafici precedenti, si può osservare che i 45 episodi selezionati si dispongono su una linea di tendenza di tipo iperbolico, di equazione $I = 32,181D^{-0,6457}$, al di sopra della quale la probabilità che si inneschino frane superficiali aumenta considerevolmente.

6.6 STAZIONE PLUVIOMETRICA RIFUGIO BELVEDERE

I dati pluviometrici ricavati dalle registrazioni della stazione Rifugio Belvedere coprono un intervallo di anni che va dal 1967 al 1990.

Durante questo intervallo di tempo, il 1977 è stato l'anno più piovoso con 2549,3 mm e un totale di 144 giorni piovosi, mentre il 1984 è stato l'anno più secco con 993,4 mm di pioggia e un totale di 57 giorni piovosi.

Gli eventi di pioggia significativi registrati nella stazione Rifugio Belvedere sono stati 78. Si tratta di eventi che generalmente presentano un'intensità media intorno ai 5 mm/h con massimi di oltre 26 mm/h. In tabella 6.4 è riportato l'elenco degli eventi registrati:

Data evento	Durata (h)	Cumulata d'evento (mm)	Intensità media (mm/h)	Effetti dell'evento
25/08/1967	2	36,0	18,0	No
13/09/1967	11	58,7	5,3	No
19/09/1967	6	34,5	5,8	No
31/10/1967	11	65,3	5,9	No
05/11/1967	10	84,6	8,5	No
15/11/1967	12	59,0	4,9	No
24/02/1968	92	226,5	2,4	Si
12/05/1968	17	58,7	3,5	No
16/07/1968	37	96,4	2,6	No
29/08/1968	8	60,0	7,5	No
14/09/1968	4	42,0	10,5	No
07/10/1968	10	61,2	6,1	No
24/10/1968	43	118,3	2,8	No
17/11/1968	58	198,0	3,4	Si

Tabella 6.4 - Dati relativi agli eventi pluviometrici significativi registrati dalla stazione Rifugio Belvedere per il periodo compreso tra il 1967 e il 1990 (dati forniti dal Servizio Idrografico).

Data evento	Durata (h)	Cumulata d'evento (mm)	Intensità media (mm/h)	Effetti dell'evento
29/01/1969	30	79,0	2,6	Si
19/02/1969	22	119,1	5,4	No
13/11/1969	32	93,5	2,9	No
02/01/1970	3	79,3	26,4	Si
29/08/1970	7	60,0	8,6	No
18/11/1970	33	100,7	3,1	Si
19/11/1970	14	73,0	5,2	No
17/02/1971	8	44,2	5,5	No
03/04/1971	37	100,7	2,7	No
06/06/1971	4	81,8	20,4	Si
26/06/1971	37	86,9	2,3	Si
03/02/1972	37	86,9	2,3	No
12/02/1972	19	64,4	3,3	Si
05/03/1972	16	52,7	3,3	No
11/06/1972	23	102,5	4,5	No
10/09/1972	23	110,6	4,8	Si
27/10/1972	24	104,2	4,3	No
20/11/1972	12	59,2	4,9	No
30/11/1972	33	117,5	3,5	Si
07/12/1972	49	100,1	2,0	No
15/01/1973	90	125,1	1,4	No
13/02/1973	17	54,3	3,2	No
08/06/1973	8	110,7	13,8	Si
18/09/1973	18	133,0	7,3	Si
13/10/1973	48	85,0	1,8	No
21/12/1973	46	111,8	2,4	Si
05/01/1974	32	78,4	2,5	No
06/02/1974	18	75,8	4,2	No
28/06/1974	34	88,2	2,6	No
03/10/1974	22	62,8	2,9	No
19/10/1974	24	75,0	3,1	No
02/09/1975	14	63,7	4,6	No
01/12/1975	14	66,0	4,7	Si
17/12/1975	38	153,5	4,1	Si
10/09/1976	15	100,0	6,6	Si
13/09/1976	25	93,5	3,7	No
15/09/1976	16	55,0	3,4	No
02/12/1976	59	130,5	2,2	Si
09/12/1976	43	103,9	2,4	No
15/12/1976	37	94,6	2,6	No
05/01/1977	43	102,8	2,3	Si
11/01/1977	19	100,0	5,2	Si
28/02/1977	30	190,0	6,3	No
28/02/1977	31	72,0	2,3	Si
26/06/1977	9	73,4	8,2	No
01/11/1977	6	94,5	15,7	Si
23/05/1978	37	113,7	3,1	Si
04/10/1978	28	219,5	7,8	Si
09/01/1979	25	106,5	4,3	No
24/01/1979	50	170,0	3,4	Si
26/01/1979	98	152,5	1,6	No

Tabella 6.4 - Dati relativi agli eventi pluviometrici significativi registrati dalla stazione Rifugio Belvedere per il periodo compreso tra il 1967 e il 1990 (dati forniti dal Servizio Idrografico).

Data evento	Durata (h)	Cumulata d'evento (mm)	Intensità media (mm/h)	Effetti dell'evento
24/04/1979	26	140,0	5,3	Si
26/08/1979	11	51,5	4,7	No
11/11/1979	19	84,0	4,4	Si
08/10/1980	31	86,7	2,8	No
16/10/1980	71	184,0	2,6	No
24/10/1980	22	74,0	3,4	No
10/03/1982	24	88,0	3,7	No
06/12/1982	68	71,2	1,1	No
09/11/1987	30	71,2	2,4	No
04/12/1987	48	91,6	1,9	No
17/05/1988	14	62,6	4,5	No

Tabella 6.4 - Dati relativi agli eventi pluviometrici significativi registrati dalla stazione Rifugio Belvedere per il periodo compreso tra il 1967 e il 1990 (dati forniti dal Servizio Idrografico).

Sulla base della ricerca storica degli effetti prodotti, 27 dei 78 episodi analizzati sembrano aver provocato dissesti di varia entità.

Come per le stazioni precedenti, anche per la stazione Rifugio Belvedere, con lo scopo di individuare le soglie pluviometriche di innesco, si è cercato di elaborare l'insieme dei dati utilizzando il metodo menzionato nel capitolo 3 paragrafo 3.2.

Nel grafico di figura 6.6, sono stati distinti gli eventi durante i quali si sono verificati i dissesti (indicati nei grafici come eventi A) da quelli che apparentemente non avrebbero provocato conseguenze significative (indicati nei grafici come eventi B).

Mentre nella figura 6.7, i 78 eventi selezionati sono stati proiettati su un piano durata/intensità in scala bi-logaritmica.

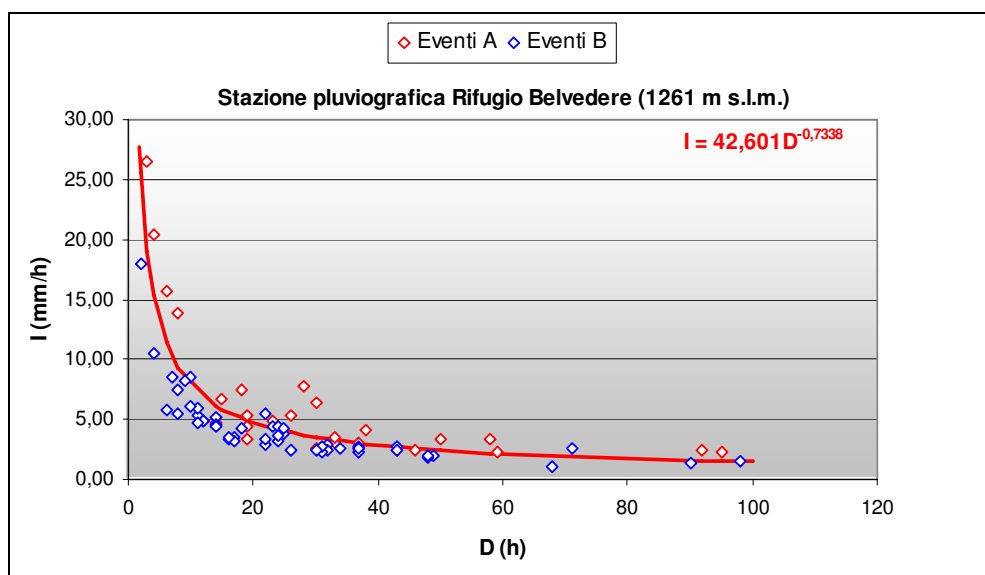


Figura 6.6 - Relazione durata/intensità per i 78 eventi selezionati. Gli eventi A sono quelli di cui si hanno notizie certe sull'innesco di frane; gli eventi B sono quelli che non avrebbero generato frane.

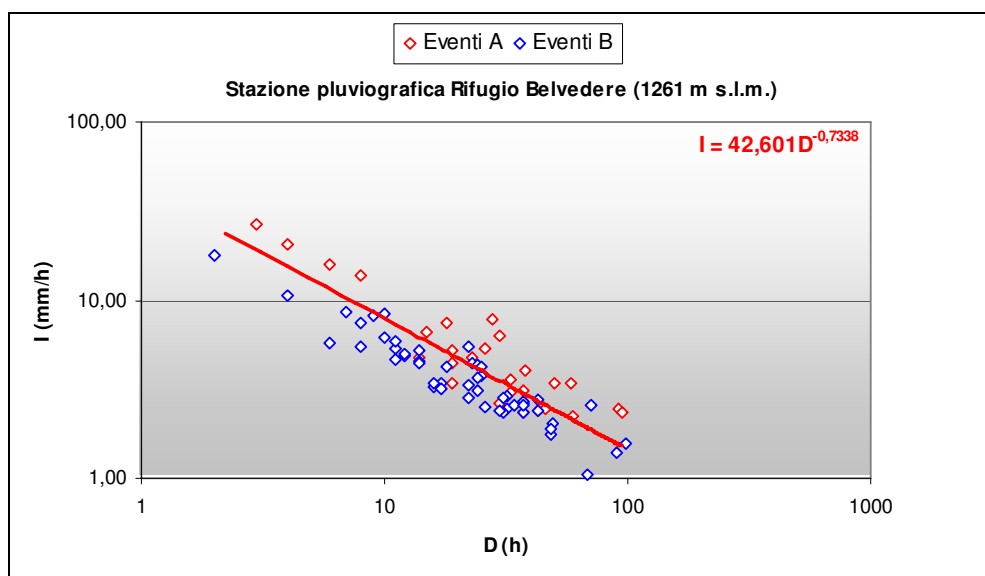


Figura 6.7 - Relazione durata/intensità per i 78 eventi selezionati, proiettati su un grafico in scala bi-logaritmica.

In base ai grafici precedenti, si può osservare che i 78 episodi selezionati si dispongono su una linea di tendenza di tipo iperbolico, di equazione $I = 42,601D^{-0,7338}$.

6.7 NORMALIZZAZIONI

Come asserito da vari autori (Guidici & Iwasa, 1977; Govi et al., 1985; Cannon & Ellen, 1988; Jibson, 1989), facendo ricorso a variabili pluviometriche normalizzate mediante la pioggia annuale media (PAM), è possibile ottenere migliori generalizzazioni nella determinazione delle curve-soglia.

Cannon & Ellen (1988), ad esempio, studiando varie aree della California, hanno osservato come le frane superficiali si innescavano in seguito ad eventi pluviometrici eccezionali che superavano le normali condizioni climatiche. Poiché tali condizioni variano con la PAM, le caratteristiche di un evento in grado di innescare frane superficiali possono essere poste in relazione ad essa.

Per cercare, anche in questo studio, i rapporti esistenti fra gli eventi pluviometrici e la pioggia annuale media, sono stati realizzati due tipi di grafici per ciascuna stazione utilizzata: intensità evento/NSR in scala semilogaritmica e durata evento/NSR in scala normale. Come già visto in precedenza l'NSR (*Normalized Storm Rainfall*) è dato dal rapporto tra la pioggia caduta durante un singolo evento e la pioggia media annuale. Nella tabella 6.5 è indicata la PAM per ciascuna stazione utilizzata.

Stazione	PAM
Carrara	1376 mm
Fossacava	1540 mm
Rifugio Belvedere	1664 mm

Tabella 6.5 – Pioggia media annuale per le tre stazioni utilizzate.

Sui grafici proposti è stato possibile tracciare una soglia che confermano le osservazioni già fatte: affinché si verificano effetti sui versanti sono necessarie grandi altezze di pioggia e quindi elevati valori di NSR.

6.7.1 STAZIONE PLUVIOMETRICA DI CARRARA

La PAM, pari a 1376 mm, è stata calcolata per un periodo di 81 anni; sui grafici proposti è stato possibile tracciare una curva-soglia che conferma le osservazioni fatte in precedenza.

In figura 6.8 è rappresentato il grafico durata/NSR, mentre in figura 6.9 è rappresentato il grafico intensità/NSR in scala semilogaritmica.

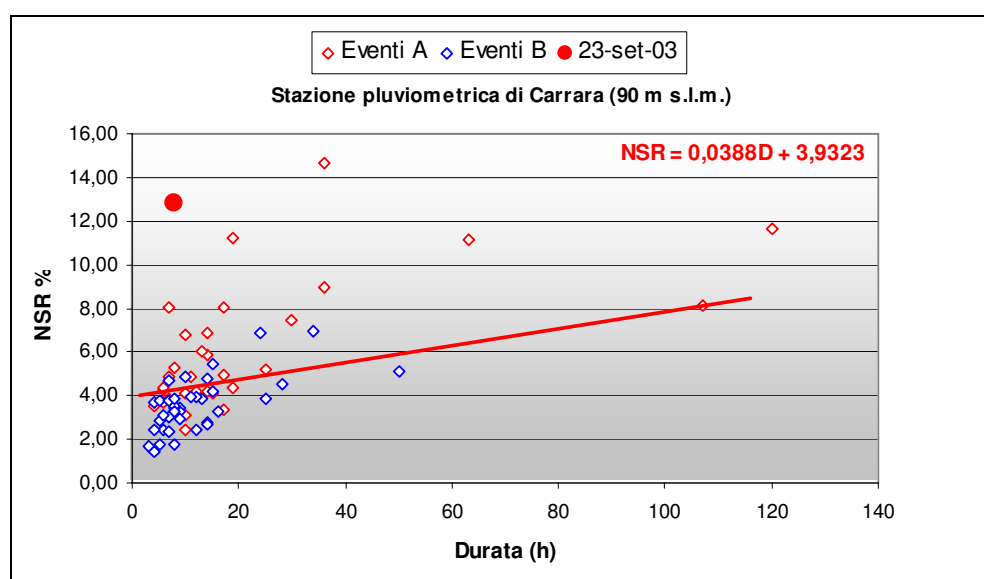


Figura 6.8 – Relazione durata/NSR per i 68 eventi analizzati. Sul grafico si è cercato di tracciare un possibile limite che separa gli eventi A dagli eventi B, rappresentato dalla retta di equazione $NSR = 0,0388D + 3,9323$.

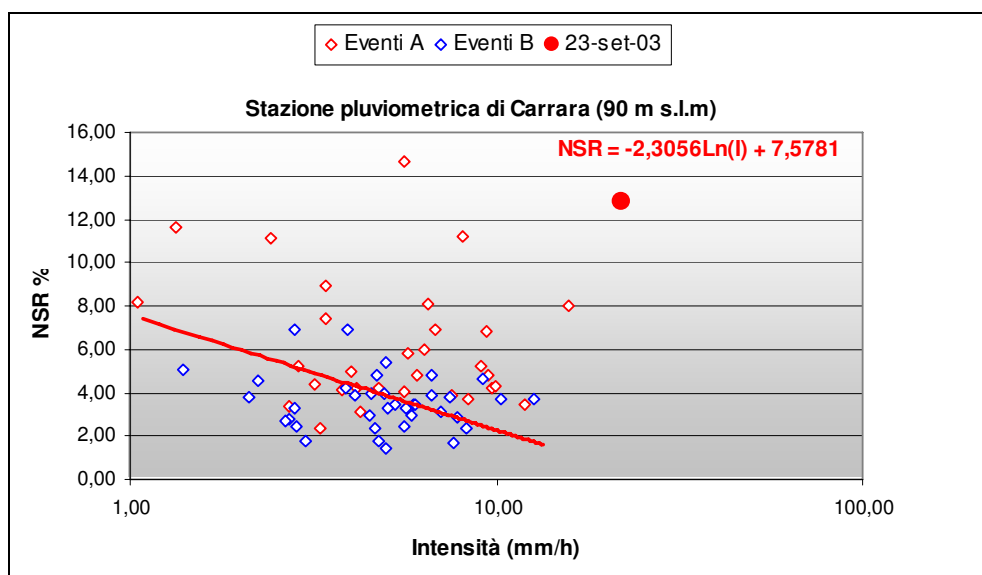


Figura 6.9 – Relazione intensità/NSR per i 68 eventi analizzati. L'asse delle ascisse è in scala logaritmica. Sul grafico si è cercato di tracciare un possibile limite, che separa gli eventi A dagli eventi B, rappresentato dalla retta di equazione $NSR = -2,3056Ln(I) + 7,5781$.

6.7.2 STAZIONE PLUVIOMETRICA DI FOSSACAVALA

La PAM, è pari a 1540 mm, è stata calcolata per un periodo di 14 anni; a differenza della stazione precedente, sui grafici proposti è stato possibile tracciare una soglia che conferma le osservazioni fatte in precedenza.

In figura 6.10 è rappresentato il grafico durata/NSR, mentre in figura 6.11 è rappresentato il grafico intensità/NSR in scala semilogaritmica.

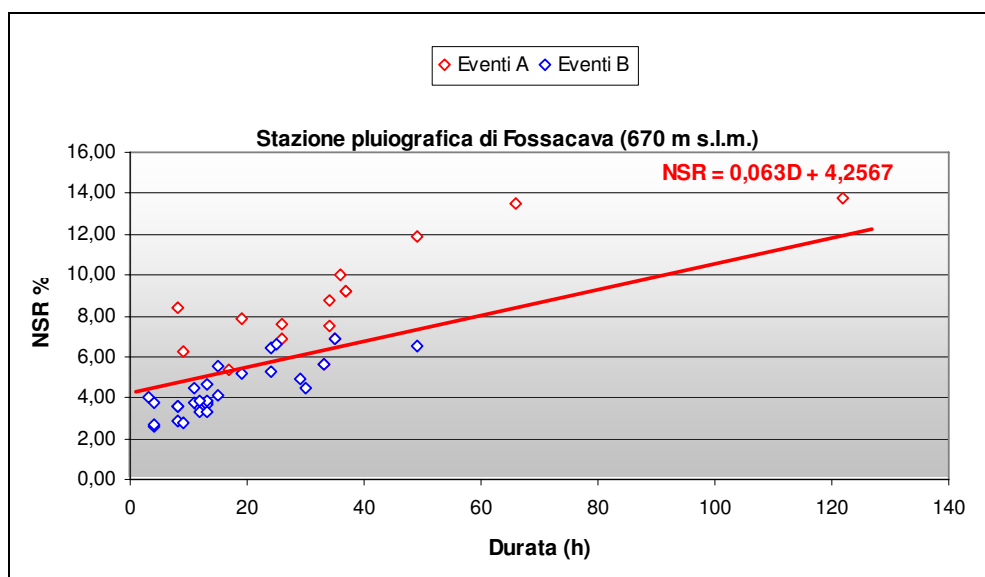


Figura 6.10 – Relazione durata/NSR per i 45 eventi analizzati. Sul grafico è stato tracciato un possibile limite che separa gli eventi A dagli eventi B, rappresentato dalla retta di equazione $NSR = 0,063D + 4,2567$.

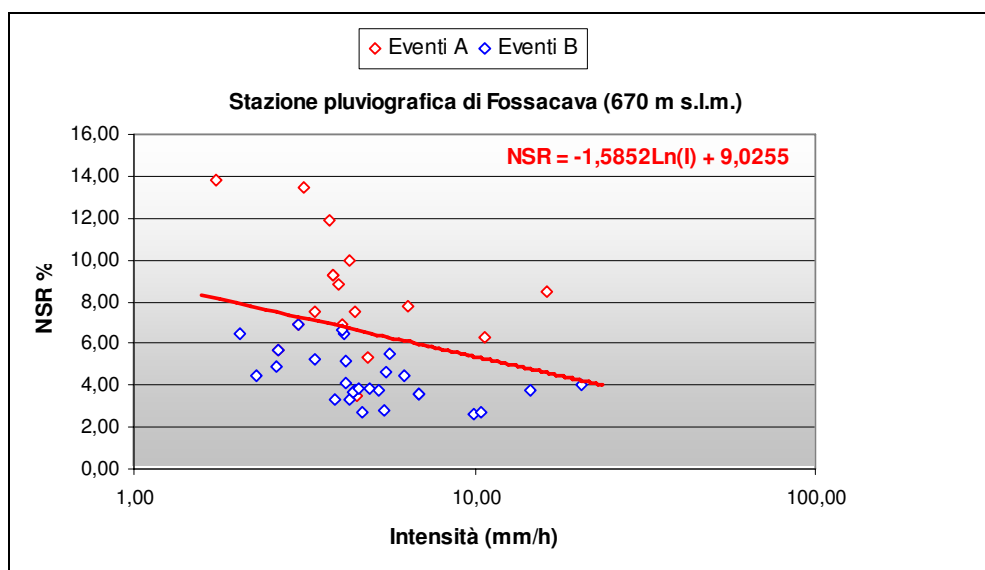


Figura 6.11 - Relazione intensità/NSR per i 45 eventi analizzati. L'asse delle ascisse è in scala logaritmica. Sul grafico è stato tracciato un possibile limite che separa gli eventi A dagli eventi B, rappresentato dalla retta di equazione $NSR = -1,5852Ln(I) + 9,0255$.

6.7.3 STAZIONE PLUVIOMETRICA RIFUGIO BELVEDERE

La PAM, è pari a 1664 mm, è stata calcolata per un periodo di 33 anni; come per la stazione precedente, anche in questo caso, sui grafici proposti

è stato possibile tracciare una soglia che conferma le osservazioni fatte in precedenza.

In figura 6.12 è rappresentato il grafico durata/NSR, mentre in figura 6.13 è rappresentato il grafico intensità/NSR in scala semilogaritmica.

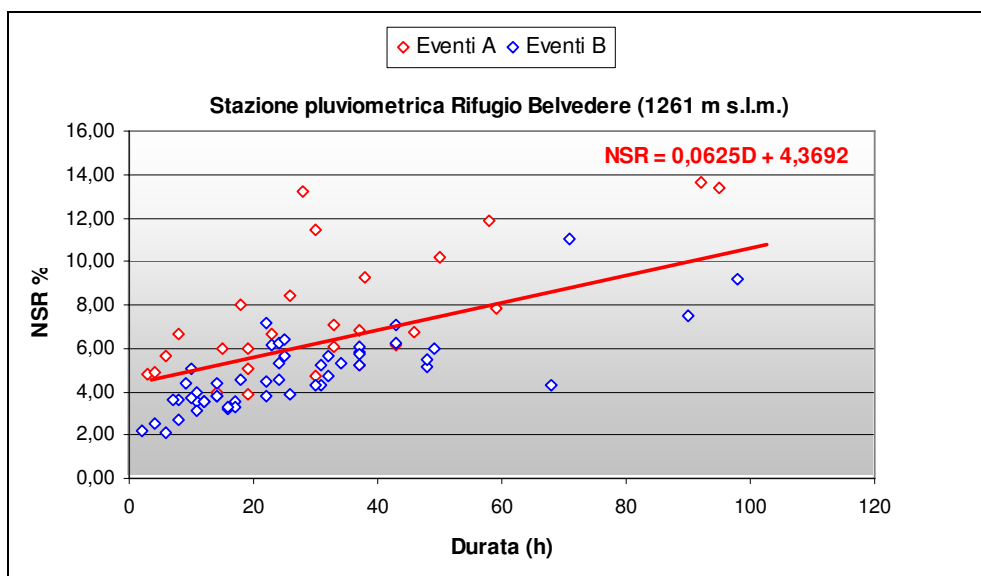


Figura 6.12 - Relazione durata/NSR per i 78 eventi analizzati. Sul grafico è stato tracciato un possibile limite che separa gli eventi A dagli eventi B, rappresentato dalla retta di equazione $NSR = 0,0625D + 4,3692$.

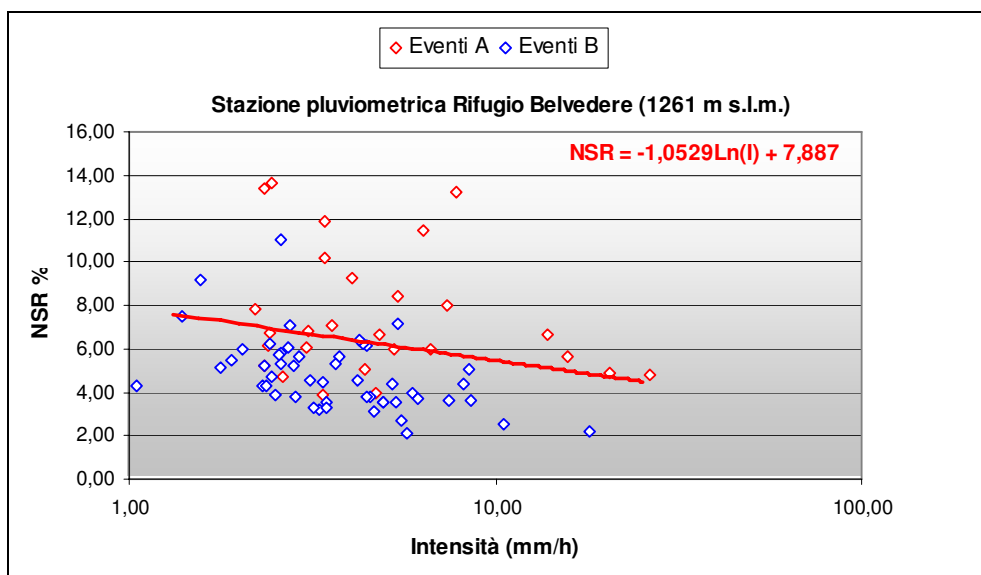


Figura 6.13 - - Relazione intensità/NSR per i 78 eventi analizzati. L'asse delle ascisse è in scala logaritmica. Sul grafico è stato tracciato un possibile limite che separa gli eventi A dagli eventi B rappresentato dalla retta di equazione $NSR = -1,0529Ln(I) + 7,887$.

6.8 CONFRONTO TRA LE CURVE-SOGLIA OTTENUTE CON LE TRE STAZIONI

Di seguito, i risultati delle tre curve-soglia ottenute per le tre stazioni pluviometriche, vengono confrontate tra di loro.

In figura 6.14 e 6.15 le curve-soglia vengono confrontate prima sul grafico durata/intensità in scala normale e poi in scala bi-logaritmica.

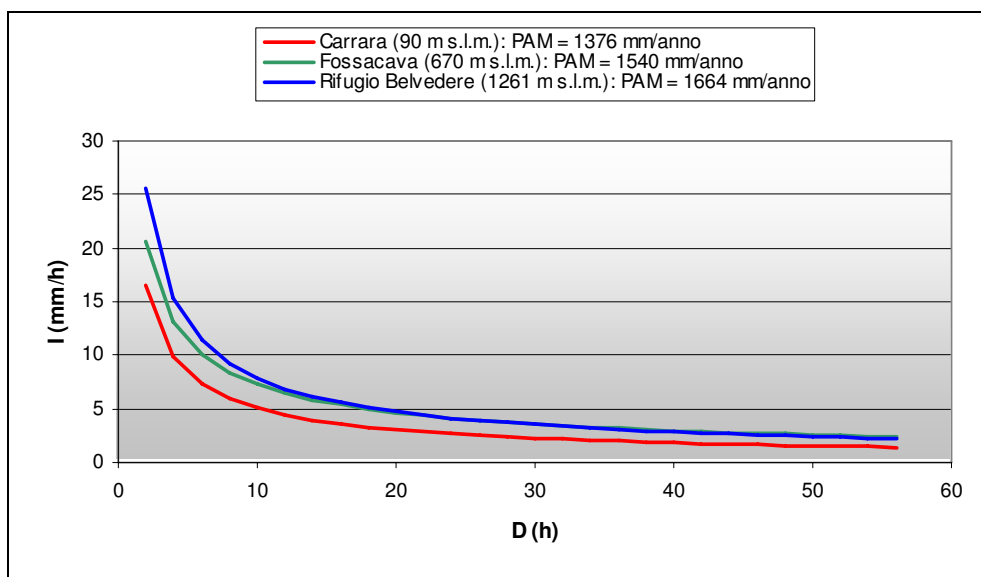


Figura 6.14 - Confronto fra le curve-soglia tracciate per ciascuna stazione pluviometrica.

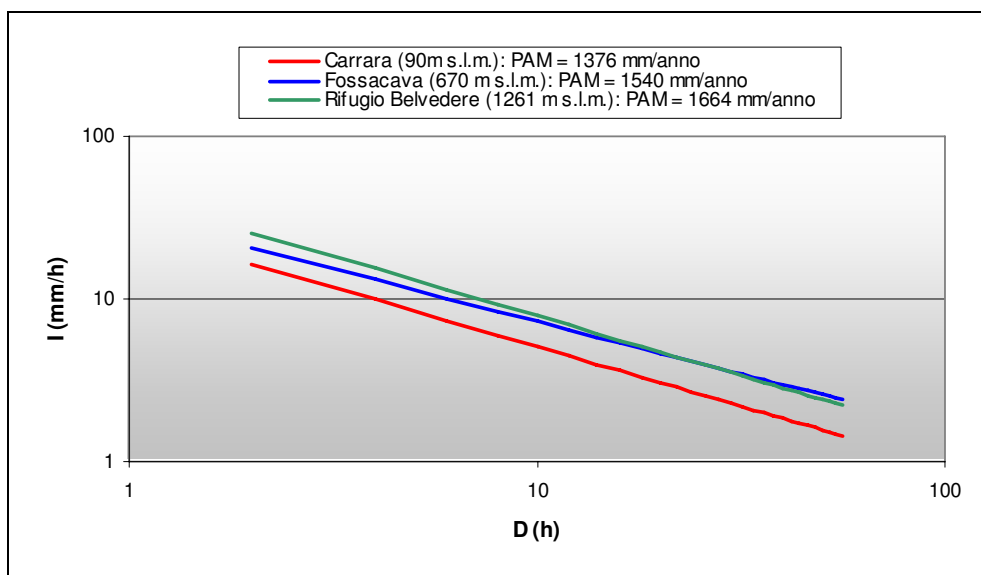


Figura 6.15 - Confronto fra le curve-soglia tracciate per ciascuna stazione pluviometrica.

Dai grafici sopra riportati, risulta evidente il fatto che, a mano a mano che la PAM aumenta, sono necessari eventi con intensità e/o durata via via maggiori; infatti, dalle figure 6.14 e 6.15 si può vedere che le curve-soglia si alzano con l'aumentare della PAM della stazione utilizzata (tabella 6.5). Questo dipende dal fatto che in una zona con elevata PAM, i versanti saranno più disposti a tollerare precipitazioni di elevata intensità, rispetto a versanti che si trovano in zone meno piovose (Govi et al., 1985; Jibson, 1989).

Di seguito, in figura 6.16 e 6.17, viene invece proposto il confronto tra le curve-soglia ottenute confrontando, prima l'intensità e poi la durata con l'NSR (*Normalized Storm Rainfall*).

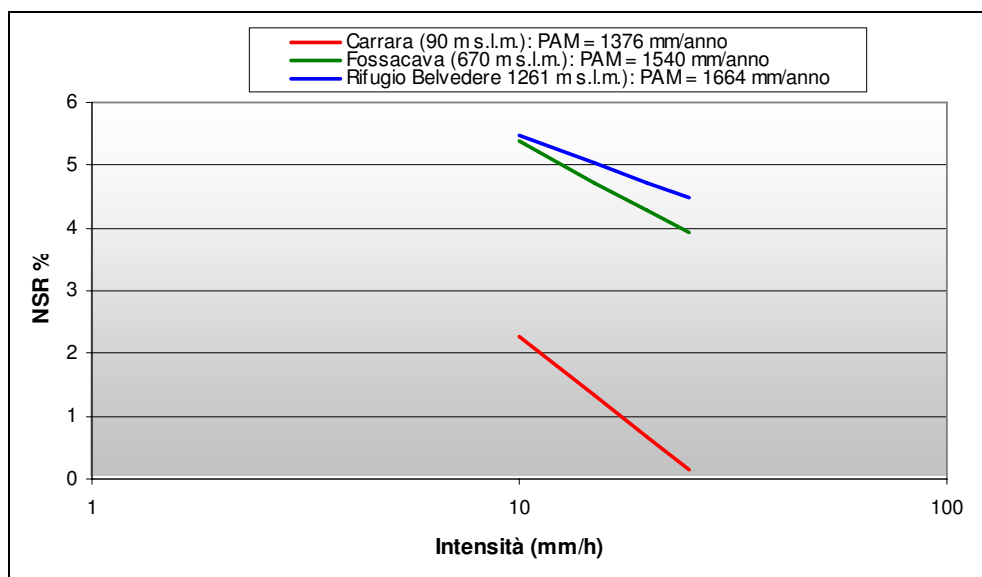


Figura 6.16 – Confronto tra le tre curve soglia-ottenute, per ciascuna stazione di misura, sul piano cartesiano intensità-NSR%.

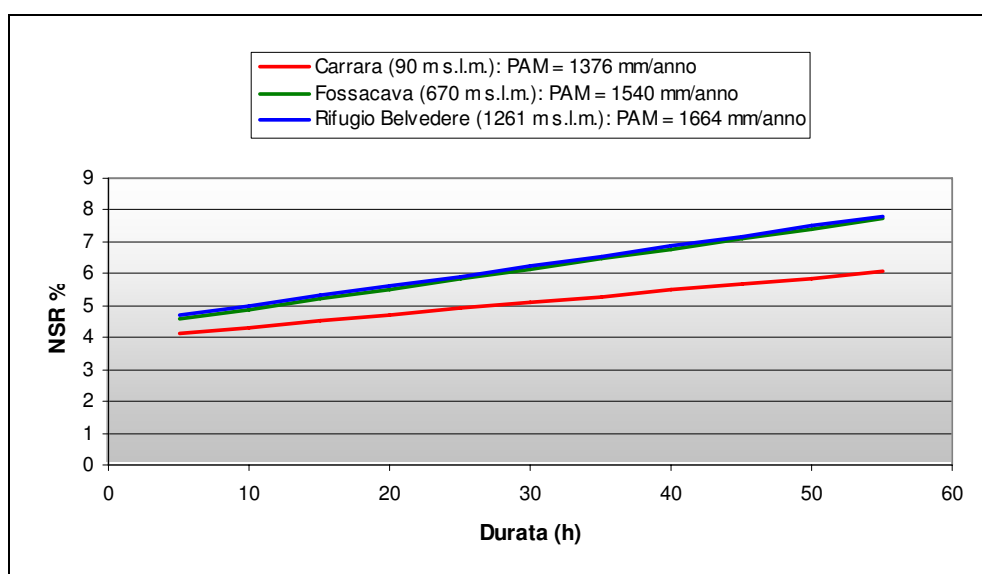


Figura 6.17 - Confronto tra le curve-soglia, ottenute per ciascuna stazione di misura, sul piano cartesiano durata-NSR%.

Dalle figure precedenti (6.16, 6.17), si può notare come, sia nel grafico intensità-NSR%, che nel grafico durata-NSR% le tre curve ottenute si dispongano in modo tale da far intuire una relazione con il valore della PAM.

6.9 CONFRONTO CON I RISULTATI DI PRECEDENTI STUDI IN ZONE LIMITROFE

Molto interessante è il risultato ottenuto dal confronto delle curve di soglia del presente studio con quelle elaborate da Gianneccchini (2005, 2006), per la zona apuo-vesiliese, e da Governi (2005), per la media Val di Serchio.

Gianneccchini (2005, 2006), attraverso un esame approfondito sugli effetti prodotti dagli eventi pluviometrici più significativi che hanno interessato l'area apuo-versiliese nel periodo 1975-2002 (in totale 152 eventi) ha suddiviso tali effetti in tre gruppi:

- “eventi con frane”: quelli che hanno prodotto numerose frane e allagamenti;

- “eventi al limite”: quelli che hanno prodotto localmente qualche piccola frana;
- “eventi senza frane”: quelli di cui non si ha notizia di effetti prodotti.

Diagrammando i valori di durata e intensità dei tre gruppi di eventi, l'autore è riuscito ad individuare due possibili curve-soglia: una curva-soglia inferiore di equazione $I = 26,871D^{-0,638}$, che separa eventi senza frane da eventi al limite ed una curva soglia superiore di equazione $I = 85,584D^{-0,7809}$, che separa eventi al limite da eventi con frane (figura 6.18).

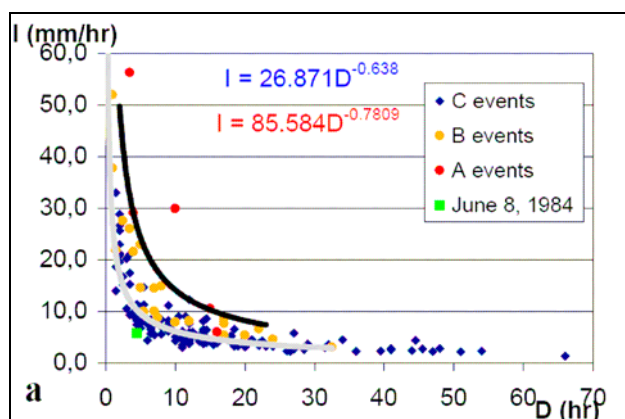


Figura 6.18 - Curve-soglia per la zona apuo versiliese. A: eventi con frane; B: eventi al limite; C: eventi senza frane (da Gianneccchini, 2005, 2006).

Confrontando le soglie proposte da Gianneccchini (2005, 2006), con le soglie ottenute nel presente lavoro, sia per la stazione di Carrara, che per quelle di Fossacava e Rifugio Belvedere, risultano soglie di innesco più basse rispetto a quelle dell'area apuo-versiliese (figure 6.19, 6.20, 6.21).

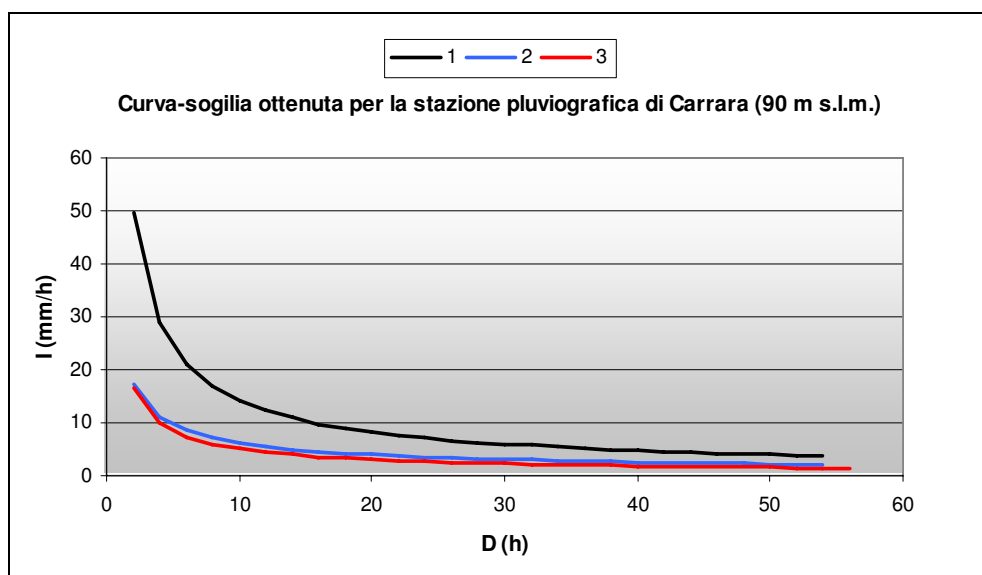


Figura 6.19 – 1: curva-soglia superiore proposta per l'area apuo-versiliense (Giannecchini, 2005, 2006); 2: curva-soglia inferiore proposta per l'area apuo-versiliense (Giannecchini, 2005, 2006); 3: curva-soglia ottenuta nel presente studio.

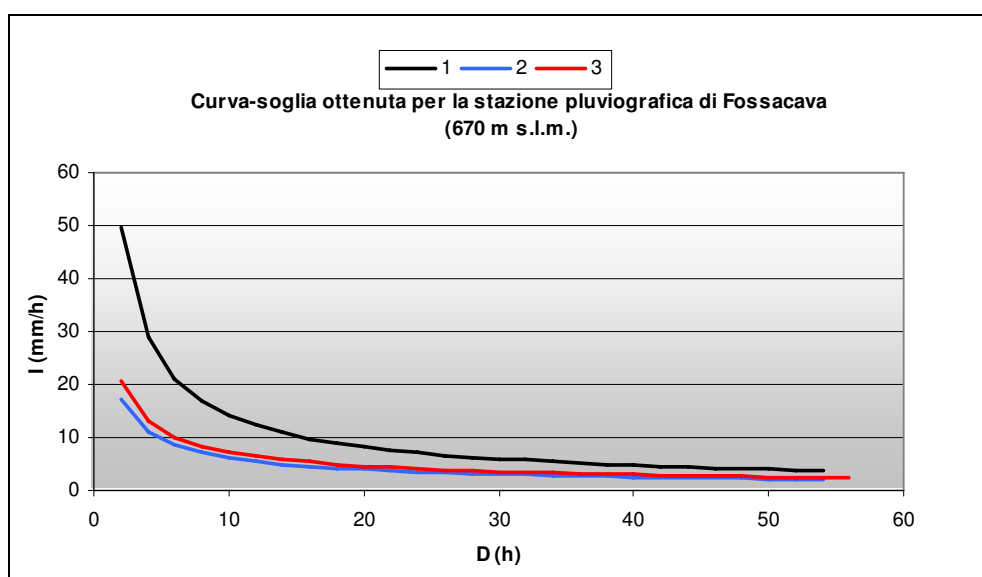


Figura 6.20 - 1: curva-soglia superiore proposta per l'area apuo-versiliense (Giannecchini, 2005, 2006); 2: curva-soglia inferiore proposta per l'area apuo-versiliense (Giannecchini, 2005, 2006); 3: curva-soglia ottenuta nel presente studio.

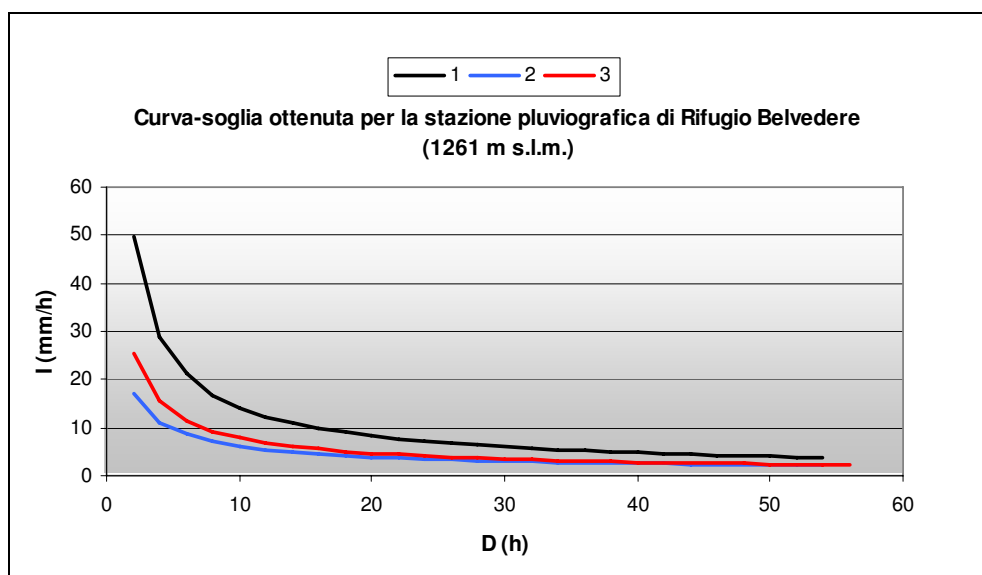


Figura 6.21 - 1: curva-soglia superiore proposta per l'area apuo-versiliense (Giannecchini, 2005, 2006); 2: curva-soglia inferiore proposta per l'area apuo-versiliense (Giannecchini, 2005, 2006); 3: curva-soglia ottenuta nel presente studio.

Da questi confronti, come visto in precedenza, risulta evidente il fatto che, a mano a mano che la PAM aumenta, anche la curva-soglia aumenta. Se si prende in riferimento prima la stazione di Carrara, posta ad una quota di 90 m s.l.m., con una PAM di 1376 mm/anno, e la confronto con la stazione di Retignano, posta a 440 m s.l.m. con una PAM di poco superiore a 1800 mm/anno (Giannecchini, 2005, 2006)), risulta chiaro (figura 6.19), come la curva soglia ottenuta in questo studio sia sensibilmente più bassa rispetto alla curva superiore proposta da Giannecchini (2005, 2006); infatti, si passa da una retta di equazione $I = 85,584D^{-0,7809}$ (Giannecchini, 2005, 2006) ad una di equazione $I = 27,361D^{-0,7309}$.

Prendendo come riferimento la stazione di Fossacava, posta 670 m s.l.m., con una PAM di 1540 mm/anno, si può vedere che la curva-soglia che si ottiene ha equazione pari a $I = 32,181D^{-0,6457}$. Osservando i dati ottenuti per la stazione di Rifugio Belvedere, posta ad una quota di 1261 m

s.l.m. con una PAM di 1664 mm/anno, si può notare come la curva-soglia che si ottiene ha equazione pari a $I = 42,601D^{-0,7338}$ che, pur restando inferiore alla curva superiore ottenuta da Giannecchini (2005, 2006), resti ben superiore alle curva-soglia ottenuta per la stazione di Carrara e di poco superiore per quella ottenuta a Fossacava.

Oltre al diverso valore della PAM, un altro motivo per cui le curve-soglia ottenute nel presente lavoro risultano più basse rispetto a quella ottenuta da Giannecchini (2005, 2006) per la zona apuo-versiliese, deriva dal fatto che quest'ultime sono state ottenute per frane che hanno interessato coperture colluviali mentre, nel presente lavoro, sono state ottenute per frane che hanno interessato depositi detritici ("ravaneti") che, oltre ai problemi sulla loro stabilità, visti nel capitolo 4, presentano nella maggior parte dei casi il problema di essere incanalati in valli secondarie con tutto ciò che ne consegue (maggior apporto idrico dai lati delle valli, scalzamento al piede per quei ravaneti che arrivano ad occupare una porzione di alvei torrentizi). Perciò sono forse più facilmente mobilizzabili rispetto alle coperture colluviali trattate da Giannecchini (2005, 2006).

Confrontando le soglie proposte da Governi (2006), per la stazione di Fornovolasco con le soglie proposte nel presente lavoro, per le stazioni di Carrara, Fossacava e Rifugio Belvedere, risulta anche in questo caso che le soglie di innesco ottenute per i ravaneti siano più basse rispetto a quelle dell'area della media Val di Serchio (figure 6.22, 6.23, 6.24).

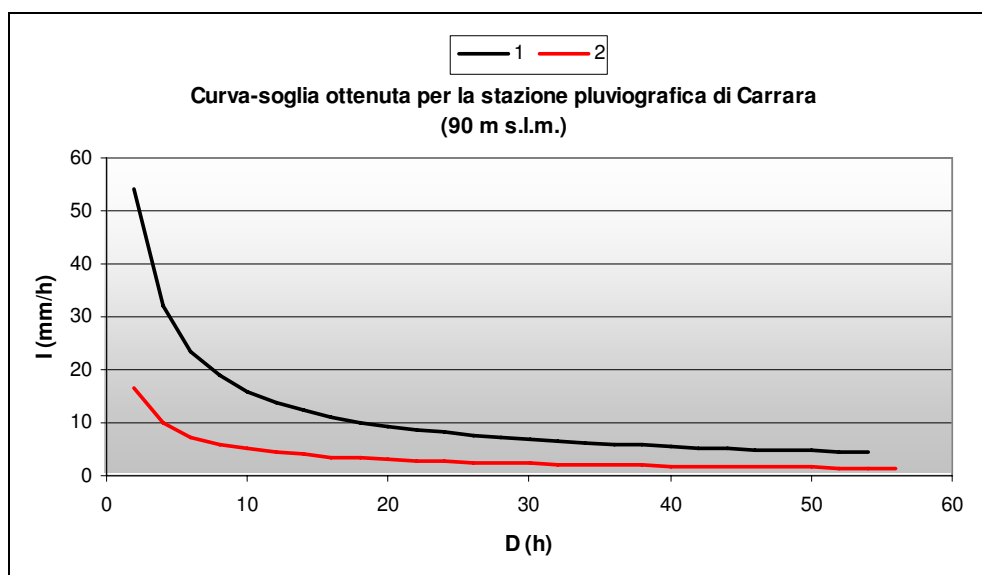


Figura 6.22 - 1: curva-soglia proposta per la media Val di Serchio (Governi, 2005); 2: curva-soglia ottenuta nel presente studio.

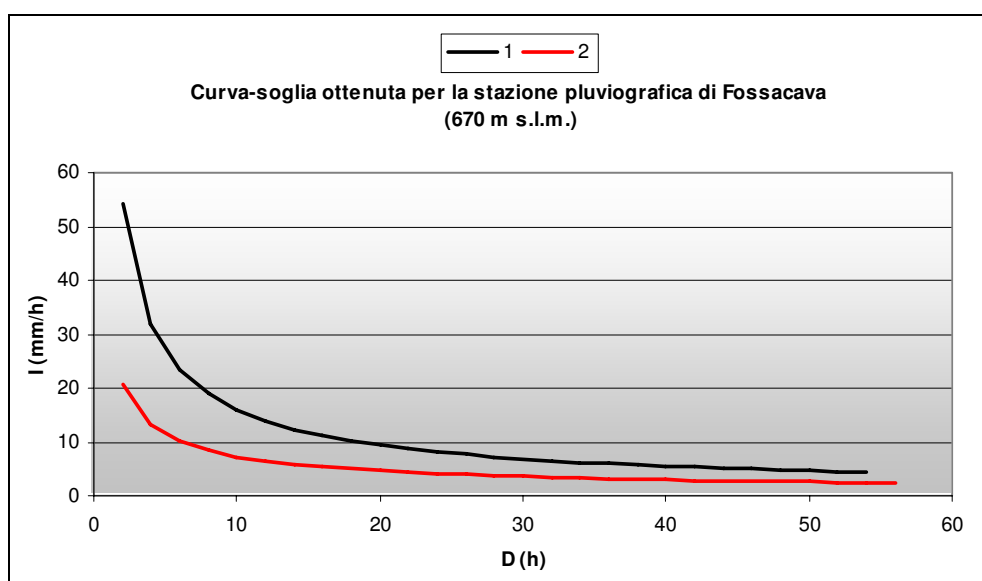


Figura 6.23 - 1: curva-soglia proposta per la media Val di Serchio (Governi, 2005); 2: curva-soglia ottenuta nel presente studio.

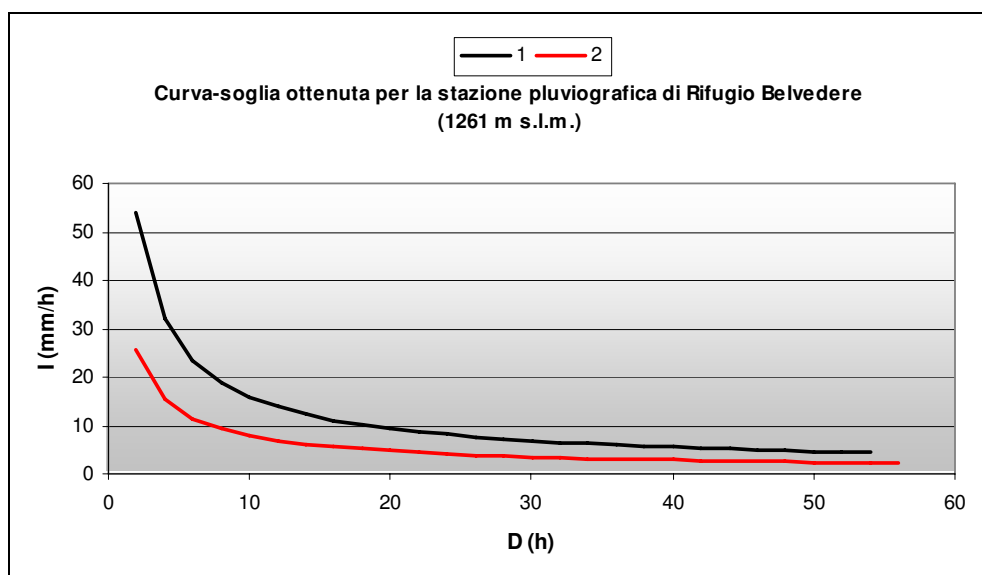


Figura 6.24 - 1: curva-soglia proposta per la media Val di Serchio (Governi, 2005); 2: curva-soglia ottenuta nel presente studio

Come per precedenti confronti, fatti per le curve-soglia di Gianneccchini (2005, 2006), anche quelli fatti con le curve-soglia della Governi (2005), risulta evidente il fatto che, le curve ottenute in questo studio, risultano essere più basse rispetto a quelle della Governi; anche in questo caso il possibile motivo, risiede nel fatto che la PAM, della stazione di Fornolasco (2497,8 mm/anno), utilizzata dalla Governi (2005), è considerevolmente più alta di quelle delle stazioni utilizzate nel presente studio. La curva-soglia ottenuta dalla Governi, per la stazione di Fornolasco, ha equazione pari a $I = 91,721D^{-0,7609}$, notevolmente più alta di quelle ottenute nel presente studio; possono considerarsi valide le osservazioni fatte precedentemente per i confronti con Gianneccchini (2005, 2006) e cioè, che le curve-soglia ottenute non sono solo influenzate dai diversi valori della PAM, ma anche dal tipo di copertura presente nell'area di studio della Governi; infatti, le coperture di quest'area sono paragonabili a quelle dell'area di studio di Gianneccchini (2005, 2006).

7. CRONISTORIA DEGLI EVENTI PLUVIOMETRICI

Nello sforzo di reperire il più ampio numero possibile di notizie sugli eventi che, nell'intervallo di anni compreso fra il 1950 e il 2005, hanno causato i maggiori disagi nell'area di studio, sono state analizzate e censite con cura numerose copie di quotidiani come La Nazione e Il Tirreno, con la cronaca del Comune di Carrara.

Per consentire una visione più agevole sull'intero panorama degli eventi, le notizie relative ad ogni singolo caso sono riassunte molto brevemente.

1951

7 febbraio 1951: “Frana blocca la strada che porta ai canali”

Da “La Nazione” del 8 febbraio 1951.

1954

28 aprile 1954: “Nubifragio si abbatte sulla città – Smottamenti e Frane nei paesi a monte...”

Da “La Nazione” del 29 aprile 1954

1955

2 dicembre 1955: “Il maltempo non dà tregua alla città”

Da “La Nazione” del 3 dicembre 1955.

1962

5 marzo 1962: “UNA MONTAGNA MINATA DALLA PIOGGIA CROLLA A VALLE – Un milione di metri cubi di materiale ha seppellito il piazzale.....”

Da “La Nazione” del 6 marzo 1962 (figura 7.1).



Figura 7.1 – Estratto da “La Nazione” del 6 marzo 1962.

1963

3 ottobre 1963: “Gli edifici in pericolo sarebbero quelli posti a contatto con la massa franante....”

Da “La Nazione” del 4 ottobre 1963 (figura 7.2).



Figura 7.2 – Estratto da “La Nazione” del 4 ottobre 1963.

1967

4 ottobre 1967: “Violento Nubifragio - ...alcuni piccoli smottamenti sono stati segnalati dalla montagna. Il corso del torrente Carrione è in piena”

Da “La Nazione” del 5 ottobre 1967.

1968

17 novembre 1968: “Fermo il lavoro alle cave per cinquemila operai-
Trecento millimetri di acqua in poche ore...”

Da “La Nazione” del 18 ottobre 1968 (figura 7.3).



Figura 7.3 – Estratto da “La Nazione” del 18 ottobre 1968.

1972

10 settembre 1972: “Nubifragio con frane e crolli nella zona Spezzina e
Apuana”

Da “La Nazione” del 11 settembre 1972.

17 dicembre 1972: “ Allagamenti della città al Mare – Numerose le
chiamate ai vigili del fuoco”

Da “La Nazione” del 18 dicembre 1972.

1977

5 gennaio 1977: “Frane e torrenti in piena per la pioggia incessante”

Da “La Nazione” del 6 gennaio 1977.

11 gennaio 1977: “La pioggia incessante ha provocato smottamenti e
allagamenti su tutto il territorio”

Da “La Nazione” del 12 gennaio 1977.

11 novembre 1977: “La pioggia incessante ha provocato smottamenti e allagamenti su tutto il territorio”

Da “La Nazione” del 12 novembre 1977.

1978

4 ottobre 1978: “VENTIQUATTRORE DI PIOGGIA - CASA TRAVOLTA DA UNA FRANA
- ...una decina di frane si sono verificate nel territorio montuoso. Una di queste ha fatto crollare una casa...”

Da “La Nazione” del 5 ottobre 1978.

1979

24 gennaio 1979: “Interrotta per smottamento la strada che porta a Colonnata”

Da “La Nazione” del 25 gennaio 1979.

1992

11 luglio 1992: “Frane e Smottamenti a Mortarola”

Da “La Nazione” del 12 luglio 1992.

7 ottobre 1992: no articolo

1993

3 ottobre 1993: “Allarme per una frana a Miseglia”

Da “La Nazione” del 4 ottobre 1993.

6 ottobre 1993: “Violento Nubifragio: la città in ginocchio”

Da “La Nazione” del 7 ottobre 1993.

1994

7 novembre 1994: “Frana si abbatte sulla 446. Chiusa per due ore la statale tra Sorgnano e Gragnana”

Da “La Nazione” del 8 novembre 1994.

1995

26 dicembre 1995: “Le forti piogge hanno provocato momenti di paura. Allarme frana per due famiglie”

Da “La Nazione” del 28 dicembre 1995.

1996

2 aprile 1996: “Qualche ora di pioggia ed è subito disastro...frane a Gragnana...”

Da “La Nazione” del 3 aprile 1996.

1 maggio 1996: “...fermo il lavoro nella cava di Gemignani & Vanelli interessata da una grossa frana...”

Da “La Nazione” del 3 maggio 1996.

19 giugno 1996: “Paura per tre persone bloccate da una frana a Colonnata”

Da “La Nazione” del 20 giugno 1996.

13 ottobre 1996: “...alberi abbattuti, smottamenti e frane. Inchiesta dell’USL. Sciagura sfiorata alle cave...”

Da “La Nazione” del 14 ottobre 1996.

13 dicembre 1996: “Frana a Colonnata: Isolato il paese”

Da “La Nazione” del 14 dicembre 1996.

1997

7 novembre 1997: “FRANA UN MONTE, SCONGIURATO IL DISASTRO – Per la pioggia precipitano su Lorano 300 mila tonnellate di marmo. Gli operai se ne erano andati da poco”

Da “La Nazione” del 8 novembre 1997.

1999

20 settembre 1999: “È TEMPESTA E LA CITTÀ VA IN TILT – Una frana interrompe la strada dei canaloni”

Da “La Nazione” del 21 settembre 1999.

15 dicembre 1999: “Smottamenti e frane causati dalle piogge”

Da “La Nazione” del 16 dicembre 1999.

2000

13 ottobre 2000: “Campocecina: Frana alla Maestà”

Da “La Nazione” del 14 ottobre 2000.

30 ottobre 2000: “Dalla città al mare un disastro...Carrione ai massimi storici da oltre vent’anni...”

Da “La Nazione” del 31 ottobre 2000.

7 ottobre 2000: “Carrione tracima...una frana e Fontia rischia l’isolamento”

Da “La Nazione” del 8 novembre 2000.

29 dicembre 2000: “Frana: interrotta via Colonnata alle Canale”

Da “La Nazione” del 30 dicembre 2000.

2001

26 gennaio 2001: “Una frana crea disagio a Torano”

Da “La Nazione” del 27 gennaio 2001.

2002

21 settembre 2002: “La città sott’acqua. Servizi e strade in tilt”

Da “La Nazione” del 2002.

2003

23 settembre 2003: “RABBIA E LACRIME PER LA FURIA DEL FIUME — La forza devastante delle acque spazza via il centro...Dolore e proteste di chi crede di essersi svegliato da un incubo.

Carrara — Un centro da *day after*. Strade trasformate in litorali, il fiume che per la prima volta ha mostrato un volto ancora ignoto ai carraresi. Paura, sgomento, panico, disperazione...”

Da “La Nazione” del 24 settembre 2003 (figure 7.4 e 7.5).



Figura 7.4 - Estratto da “La Nazione” del 25 settembre 2003.



Figura 7.5 - Estratto da “La Nazione” del 25 settembre 2003

27 novembre 2003: “MALTEMPO, SCATTA LO STATO D’ALLERTA – Frane a Torano e Miseglia ...”

Da “La Nazione” del 28 novembre 2003.

2004

1 giugno 2004: “SMOTTAMENTI ALLE CANALIE – I vigili urbani hanno chiuso la strada comunale. Traffico interrotto al Tardone”

Da “La Nazione” del 2 giugno 2004.

14 settembre 2004: “Una frana blocca i <<Canaloni>>”

Colonnata – Il nubifragio lampo ha causato pesanti disagi alla viabilità pesante nei bacini marmiferi e in particolare in quello di Colonnata dove la strada che conduce ai Canaloni era completamente invasa da detriti e fango precipitato dai ravaneti...”

Da “La Nazione” del 15 settembre 2004.

29 novembre 2004: “Smottamento blocca la strada che porta a Bedizzano”

Da “La Nazione” del 30 novembre 2004.

2005

23 ottobre 2005: “L’ACQUA FLAGELLA LA CITTÀ – Il nubifragio ha provocato frane alla piastra...”

Da “La Nazione” del 24 ottobre 2005.

2 dicembre 2005: “MALTEMPO: PERICOLO A BEDIZZANO. Una frana mette a rischio la viabilità”

Da “La Nazione” del 3 dicembre 2005.

8. CONCLUSIONI

L'intero studio è stato incentrato essenzialmente sui bacini marmiferi di Carrara. Lo scopo della ricerca è stato quello di determinare dei valori di pioggia, esprimibili attraverso curve-soglia pluviometriche di innesco, superati i quali la probabilità che si verificano frane aumenta notevolmente.

Le stazioni di Carrara (90 m s.l.m.), Fossacava (670 m s.l.m.) e Rifugio Belvedere (1261 m s.l.m.) hanno fornito i dati pluviometrici sui quali si è basata la ricerca.

Raccogliendo ed analizzando i dati pluviometrici dal 1950 al 2005 è stato possibile riconoscere gli eventi più significativi che hanno interessato l'area di studio. Successivamente, attraverso un'indagine storica, mirata all'identificazione degli effetti prodotti, gli eventi sono stati classificati: eventi che hanno innescato fenomeni franosi (eventi A) ed eventi che non hanno innescato fenomeni franosi o dei quali non si ha notizia (eventi B).

Le rappresentazioni grafiche su assi cartesiani, indicanti durata e intensità delle piogge, hanno permesso di descrivere la distribuzione dei vari tipi di evento pluviometrico.

Per ogni stazione, questi grafici hanno portato all'identificazione di una curva-soglia, con equazione del tipo $I = a D^{-b}$, che suddivide l'area del grafico in due zone: una zona inferiore o zona di stabilità, cioè all'interno della quale la probabilità che si verificano fenomeni franosi è molto bassa, e una zona superiore o zona di instabilità entro la quale la probabilità che si verificano fenomeni franosi aumenta considerevolmente. Grazie alle esperienze fatte da Govi et al. (1985), Cannon & Ellen (1988), Jibson

(1989), Giannecchini (2005, 2006) e Governi (2005), si è cercato di capire, tramite l'NSR (*Normalized Storm Rainfall*), le relazioni tra l'innescò di frane superficiali e le normali condizioni climatiche dell'area di studio; infatti, una data area, con il passar del tempo, tende a raggiungere un naturale stato di equilibrio con le condizioni climatiche al contorno (Govi et al. 1985); quindi, per innescare una frana superficiale c'è bisogno di un evento pluviometrico superiore alla norma. La PAM (Pioggia Annua Media), per Govi et al (1985), è il parametro che permette di valutare queste condizioni.

Di seguito, nella tabella 8.1, sono riportate le equazioni che descrivono le curve-soglia ottenute per le tre stazioni pluviometriche considerate in questo studio.

Stazione	Durata/Intensità	Durata/NSR%	Intensità/NSR%
Carrara	$I = 27,361D^{-0,7309}$	$NSR = 0,0388D + 3,9323$	$NSR = -2,3056\ln(I) + 7,5781$
Fossacava	$I = 32,181D^{-0,6457}$	$NSR = 0,0063D + 4,2567$	$NSR = -1,5852\ln(I) + 9,0255$
Rifugio Belvedere	$I = 42,601D^{-0,7338}$	$NSR = 0,0625D + 4,3692$	$NSR = -1,0529\ln(I) + 7,887$

Tabella 8.1 – Resoconto dei risultati ottenuti nelle tre stazioni pluviometriche utilizzate.

Significativo è il risultato del confronto delle curve-soglia ottenute nel presente studio con quelle ottenute da Giannecchini (2005, 2006), per l'area apuo-versiliense e da Governi (2005) per la media Val di Serchio.

Dal confronto, si evince che più elevato sarà il valore della PAM maggiore sarà l'area del campo di stabilità sottesa dalla curva-soglia ottenuta, cioè più elevati sono i valori delle soglie pluviometriche critiche; infatti, le stazioni pluviometriche di Carrara, Fossacava e Rifugio Belvedere hanno rispettivamente PAM pari a 1376 mm/anno, 1540 mm/anno e 1664 mm/anno mentre la stazione Retignano, utilizzata da Giannecchini (2005,

2006), ha una PAM superiore ai 1800 mm/anno, mentre la stazione di Fornovolasco, utilizzata da Governi (2005), ha una PAM di circa 2500 mm/anno, ambedue ben superiori a quelle della zona di studio.

Al fine di validare le ipotesi proposte in questo lavoro, dovrebbero essere realizzate delle indagini per poter caratterizzare meglio l'assetto geomeccanico dei ravaneti. In tal senso, potrebbe essere di aiuto anche un'attività di monitoraggio di versanti a rischio, per verificare e migliorare le curve pluviometriche critiche ottenute nel presente lavoro. Futuri studi potranno essere svolti per ottenere delle informazioni sul ruolo delle piogge antecedenti per l'innesco di frane superficiali.

BIBLIOGRAFIA

Baroni C., Bruschi G. & Ribolini A. (2000), *Human-induced hazardous debris flow in Carrara marble basins (Tuscany, Italy)*. Earth Surface Processes and Landforms, 25, 93-103.

Baroni C., Bruschi G., Criscuolo A., Ribolini A. (2001), *Il rischio geomorfologici indotto dall'attività estrattiva nei Bacini Marmiferi Apuani (Alpi Apuane, Italia)*. Memorie Atti Società Toscana Scienze Naturali, Serie A, 87-96.

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, Vol. 2, 809-820.

Bosco F., Campus S., Mensio L., Nicolò G., Tiranti D. (2005), *La previsione delle frane*. Convegno "Dalla valutazione alla previsione dei rischi naturale", ARPA-Piemonte, Torino, 2005, 196-214.

Bradley F. (1991), *Guida alle Cave di Marmo di Carrara*. Internazionale Marmi e Macchine Carrara.

Caine N. (1980), *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flow*. Physical Geograph 1980, 62, Issue 1-2, pp 23-27.

Carmignani L. & Giglia G. (1975), *Le fasi tettoniche terziarie dell'autoctono delle Alpi Apuane: studio delle strutture minori della zona centro-meridionale*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 1957-1981.

Carmignani L. & Giglia G. (1977), *Analisi mesostrutturale della zona occidentale delle Alpi Apuane Metamorfiche*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 429-450.

Carmignani L., Giglia G. & Kligfield R. (1980), *Nuovi dati sulla zona di taglio ensialica delle Alpi Apuane*. Mem. Soc. Geol. It., 21, 93-100.

Carmignani L. & Kligfield R. (1990), *Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex*. Tectonics, 9(6), 1275-1303.

Clark G. M. (1987), *Debris slide and debris flow historical events in the Appalachians south of the glacial border*. Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 7, 125-138.

Coli M. & AA. VV., (2001), *Carta dell'attività dei bacini marmiferi del Carrarese*, S.E.L.C.A., Firenze, 2 tav.

D'Amato Avanzi G. & Verani M. (1998), *Valenze ambientali ed economiche dei ravaneti delle Alpi Apuane (Toscana)*. Mem.Soc.Geol.It., 53 489-501, 7 ff. 1998.

D'Amato Avanzi G., Giannecchini R., Cortopassi P. F., Daddi M., Lattanzi G., Merlini A., Milano P. F. (in stampa), *Discariche di cava e instabilità dei versanti: Valutazione preliminare di alcuni fattori nel bacino marmifero di Carrara (Italia)*. Italian Journal of Engineering Geology.

Elter P. (1960), *I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Alpi Apuane*. Boll. Soc. Geol. It., 79(2), 273-312.

Elter P., Giglia G., Rau A. & Tongiorgi M. (1966), *Il Verrucano della Verruca (Monti Pisani) nel quadro della serie del Carbonifero, del Permian e del Trias della Toscana Settentrionale*. In Tongiorgi M. & Rau A. (Editors), Atti del Symposium sul Verrucano, Soc. Tosc. Sc. Geol. It., 48, 31-50.

Giannecchini R. (2005), *Rainfall triggering soil slips in the southern Apuan Alps (Tuscany, Italy)*. Advances in Geosciences, 2, 21-24.

Giannecchini R. (2006), *Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy)*. Nat. Earth Syst. Sci., 6, 357-364.

Giglia G. & Radicati di Brozolo R. (1970), *K/Ar ages of metamorphism in the Apuane Alps (Northern Tuscany)*. Boll. Soc. Geol. It., 89, 485-497.

Governi S. (2005), *Valutazione delle Soglie Pluviometriche critiche per l'insacco di frane rapide nella media Val di Serchio (LU)*. Tesi di Laurea, Università di Pisa, pp.206.

Govi M., Mortara G., Sorzona P. F. (1985), *Eventi idrogeologici e frane*. Prog. Finalizzato del CNR "Conservazione del suolo", Sottoprogetto "Fenomeni franosi", Sintesi dei risultati. Geologia Applicata e Idrogeologia, 20, parte II, 359-375, Bari.

Guidici G., Iwasa O. Y. (1977), *Tentative correlation between rainfall and landslides in humid tropical environment*. Bull. Int. Assoc. Eng. Geologist, 16, 13-30.

Jibson R. W. (1989), *Debris flow in southern Puerto Rico*. Geological Society of America Special Paper, 236, 29-55.

Keefer D. K., Wilson R. C., Mark R. K., Brabb E. E., Brown III W. M., Ellen S. D., Harp E. L., Wieczorek G. F., Alger C. S., Zarkin R. S. (1987), *Real time landslide warning during heavy rainfall*. Science, 238, 921-926.

Kligfield R. (1979), *The Northern Apennines as a collisional orogen*. Am. Journ. Sc., 279, 676-691.

Kligfield R. et Al. (1986), *Dating of deformation phases using K/Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ techniques: results from the Northern Apennines*. J. Struct. Geol., 8, 781-798.

La Nazione, *Cronaca del Comune di Carrara*. Varie copie del quotidiano.

Neary D. G., Swift L. W. (1987), *Rainfall thresholds for triggering a debris avalanching event in the southern Appalachian mountains. Debris flow avalanches processes, Recognition and Mitigation*. Engineering Geology, 7, 81-91.

Piccini L. (1994), *Caratteri morfologici ed evoluzione dei fenomeni carsici profondi nelle Alpi Apuane (Toscana, Italia)*, Natura Bresciana, Vol. 30, pp. 45-85.

Pierson T. C., Iverson R. M., Ellen S. D. (1991), *Spatial and temporal distribution of shallow landsliding during intense rainfall, southeastern Oahu, Hawaii*. In Bell (Ed.). Landslides. Proceedings 6th International Symposium on Landslides A.A. Balkema, Rotterdam, 2, 1393-1398.

Polemio M., Petrucci O. (2001), *La ricerca internazionale sulle relazioni tra piogge e frane*. Atti Convegno Internazionale "Il territorio fragile". X Congresso Nazionale dei Geologi, Consiglio Nazionale dei Geologi. Roma, 7-10 dicembre 2000, 503-510.

Rapetti F. & Vittoriani S. (1991), *Studio di serie pluviometriche secolari in Toscana, in Pinna, M. (Ed.), Le variazioni recenti del clima (1800-1900) e le prospettive per il XXI secolo*. Memorie della Società Geografica Italiana, 46, 457-478.

Rapetti C. & Rapetti F. (1996), *L'evento pluviometrico eccezionale del 19 giugno 1996 in alta Versilia (Toscana) nel quadro delle precipitazioni delle Alpi Apuane*. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A, 103, 143-159.

Sansoni G. (1991), *Impatto ambientale dell'industria lapidea apuana*. Atti convegno "Impatto ambientale nella lavorazione dei materiali lapidei", Verona, 23/09/91, 1-34.

Trevisan L., Dallan L., Federici P.R., Giglia G., Nardi R., Raggi G., (1971), *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 96. Massa*, Servizio geologico d'Italia, Roma.

Wieczoreck G. F. (1987), *Effect of rainfall and duration on debris flow in central Santa Cruz Mountain, California*. Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 7, 93-104.

Wieczoreck G. F., Sarmiento J. (1988), *Rainfall, piezometric level and debris flow near La Honda, California, in storm between 1975 and 1983*. Ellen e Wieczoreck eds., USGS Professional Paper, 1434, 43-62.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare i miei relatori, il Prof. Giacomo D'Amato Avanzi e il Dott. Roberto Giannecchini, per l'aiuto fornito nel corso di questa tesi.

Un ringraziamento particolare all'Ufficio Idrografico e ad ARSIA per avermi fornito tutti i dati pluviometrici indispensabili per questa tesi.

Ringrazio Susanna & Francesca, Paolo, Roberto, Martina, Gino, Stefano, Marco, Riccardo e il Nuta per avermi aiutato durante tutto il corso di studi.

Un ringraziamento particolare a Francesco e Riccardo, per tutti gli aiuti dati per la stesura della tesi.

Desidero ringraziare Andrea, Nik, Mauri, Freddy, Sarah, Chiara, Francy, Elena, Sara & Sara; anche se vi conosco da poco tempo, vi siete dimostrati degli ottimi amici.

Desidero ringraziare Martina, per avermi aperto gli occhi e fatto capire molte cose...

Infine, ma non per questo da meno, desidero ringraziare tutta la mia famiglia, mia Mamma, mio Babbo mia Sorella, e tutti i mie Zii e Zie, Cugini e Cugine; in particolare vorrei ringraziare mio Zio Franco per la sua disponibilità sia per la stesura della tesi che in passato.

Grazie a Tutti

