

ANALISI DELL'EVENTO ALLUVIONALE DEL 19 GIUGNO 1996 IN ALTA VERSILIA-GARFAGNANA E DEGLI INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

Analysis of the flood event of June 19th 1996 in Alta Versilia-Garfagnana (Italy) and the watershed slope stabilization

Alessia Amorfini, Antonio Bartelletti*, Federico Preti**,***

Sommario

Gli Autori descrivono le metodologie e i risultati dell'analisi dell'evento alluvionale del 19 giugno 1996, che ha colpito il settore centro-meridionale delle Alpi Apuane, in Provincia di Lucca, tra l'alta Versilia e la Garfagnana.

Vengono presentate le principali caratteristiche dell'evento, indicando i criteri e le metodologie di quantificazione dei fenomeni di dissesto, ponendo l'attenzione sull'eccezionalità delle precipitazioni, sulle particolarità del contesto geo-morfo-climatico dell'area, sul ruolo della vegetazione e sulla realizzazione di opere di ingegneria naturalistica per la sistemazione dei bacini, con particolare riferimento ai versanti.

Summary

The Authors describe the methodologies and the results of the analysis of the flood event of June 19th 1996 in the South-West part of the Apuanian Alps, in the province of Lucca in the Versilia and Garfagnana areas.

The main characteristics of the event are presented, showing the criteria and the methodologies of quantification of the impact in the watershed, paying attention on the exceptionality of the rainfall, on the peculiarity of the geo-morpho-climatic context of the area, on the role of vegetation and biotechnical stabilization methods, particularly on slopes.

1. Introduzione

Il 19 giugno 1996 si è verificato un evento meteorico di eccezionale intensità sui bacini dell'Alta Versilia e della Garfagnana, provocando ingenti danni in termini di vite umane (15 vittime) e beni (circa 200 miliardi di lire, di cui 100 a infrastrutture e opere pubbliche, 60 a insediamenti produttivi e 40 ad abitazioni).

* Parco Regionale delle Alpi Apuane, viale della Stazione, n. 82, 54100 Massa
aamorfini.parcapuane@interbusiness.it; abartelletti.parcapuane@interbusiness.it

** Università della Tuscia, preti@unitus.it

L'intensità del deflusso superficiale, accompagnato anche da fenomeni di riattivazione di percorsi sotterranei e di sorgenti carsiche, ha generato profondi dissesti geo-idrologici nei versanti e notevoli alterazioni morfologiche nel reticolo idrografico sino ai più alti ordini. Le onde di piena hanno raggiunto, soprattutto nelle parti montane, valori di colmo assolutamente eccezionali con concentrazioni di trasporto solido praticamente ai limiti della saturazione. Nei tratti di fondovalle il fenomeno del forte sovralluvionamento ha elevato, oltre alla quota dell'alveo, quella della corrente idrica le cui condizioni di deflusso risultavano ulteriormente aggravate dall'enorme trasporto di materiale legnoso originato dai numerosi collassi di versanti a copertura boschiva. Il trasporto dei volumi liquidi e solidi concentrati in tempi eccezionalmente brevi ha prodotto inondazioni e distruzioni che hanno interessato i corsi principali e gli affluenti dei bacini del fiume Versilia e del torrente Turrîte di Galliciano per tutta la loro estensione (AA.VV., 1998; Preti et al., 1999).

Nella presente memoria, vengono fornite notizie geologiche, geomorfologiche, pedologiche, climatiche e vegetazionali dell'area in esame. L'analisi dell'evento si concentra sugli effetti misurati sia in termini di afflussi meteorici che di deflussi lungo l'asta fluviale principale, con valutazioni sulla piena registrata e sui tempi di ritorno.

Segue una descrizione dei tipi di dissesto idrogeologico verificatisi nell'area montana e sul contributo dato soprattutto dai castagneti nell'innesco dei movimenti franosi e nel trasporto solido. In conclusione, si ricordano i criteri dei principali interventi progettati ed attuati di sistemazione idrogeologica e idraulico-forestale in particolare dei versanti, sottolineando l'importanza delle soluzioni d'ingegneria naturalistica messe in opera.

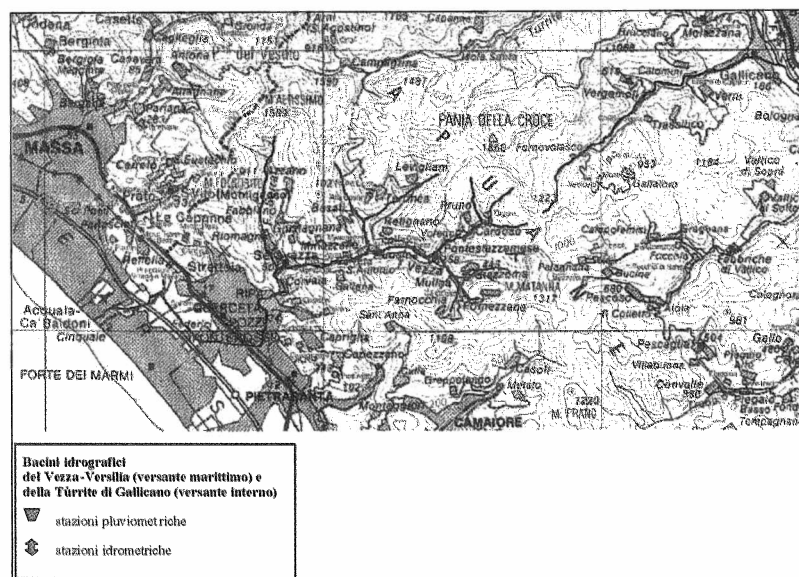


Fig. 1 - I bacini del fiume Versilia e del torrente Turrîte e le stazioni di misura

2.1 Geologia e geomorfologia

La morfologia locale, come del resto quella di tutte le Alpi Apuane, è contraddistinta da forme tipicamente alpine con versanti acclivi, frequenti pareti rocciose, valli relativamente strette, cime e crinali fortemente lavorati dagli elementi meteorici. L'alveo principale dei corsi d'acqua si presenta con fondo in roccia nelle porzioni a pendenza longitudinale elevata (tratti altomontani) mentre nei tratti di fondovalle risulta spesso costituito da detriti di pezzatura media e grossa.

Dal punto di vista geologico le aree interessate sono principalmente costituite dalle formazioni dell'*Autoctono apuano Auct.* e della *Falda Toscana*. Complessivamente si riscontra la presenza, dall'alto verso il basso, delle seguenti formazioni, viste in parallelo nelle due successioni sopra ricordate:

Autoctono Auct.	Falda Toscana
Pseudomacigno – <i>metarenarie quarzoso-feldspatiche-micacee, alternate a filladi più o meno quarzitiche grigio-scure (Oligocene sup.)</i>	Macigno - <i>arenarie quarzoso-feldspatiche-micacee gradate in strati di potenza variabile, con livelli più sottili di argilliti siltose (Oligocene sup.)</i>
Cipollini - <i>Filladi muscovitiche verdastre, rosso violacee e più raramente grigie (Eocene?-Oligocene)</i>	Calcareniti a nummuliti - <i>Calcareniti a macroforaminiferi e calciruditi grigie, talvolta selciferi, alternate con argilliti e marne rosse o verdastre (Eocene-Oligocene inf.)</i>
Scisti sericitici - <i>Filladi muscovitiche verdastre, rosso-violacee e più raramente grigie, con rari e sottili livelli di filladi carbonatiche, marmi a clorite e metaradiolariti rosse (Cretacico inf.-Oligocene)</i>	Scaglia toscana - <i>Argilliti e argilliti siltose e marnose rosso fegato, verdastre o grigie, talvolta con sottili intercalazioni di calcilutiti silicee e calcareniti grigie o verdastre; rare radiolariti rosse (Cretaceo inf.-Paleogene)</i>
Calcari selciferi ad Entrochi - <i>Metacalcilutiti grigio chiare e color avorio, ben stratificate, con liste e noduli di selce (Titaniano sup. - Cretacico inf.)</i>	Maiolica - <i>Calcilutiti selciferi ben stratificate bianche o grigie e con rari livelli calcarenitici (Titanico sup. - Cretacico inf.)</i>
Diaspri - <i>Metaradiolariti rosse, violacee, verdastre e raramente grigie, sottilmente stratificate, con interstrati di filladi quarzitiche (Malm)</i>	Diaspri - <i>Radiolariti rosso-scure o verdi, sottilmente stratificate, localmente con interstrati argillitici (Malm)</i>
Calcescisti - <i>(Lias sup. – Dogger) non affioranti nell'area di studio</i>	Calcari selciferi superiori - <i>Calcilutiti e calcareniti talvolta oolitiche, grigio scure, ben stratificate, con noduli e liste di selce nera (Dogger sup. – Malm inf)</i>
	Marne a Posidonia - <i>Marne e calcari</i>

Tab. 1 - Le formazioni geologiche affioranti nell'area di studio

	<i>marnosi grigio verdastri, con rare intercalazioni di marne o argilliti rosse e di calcareniti talvolta selcifere (Lias sup. – Dogger p.p.)</i>
Calcari selciferi – <i>Metacalcilutiti grigio scure con liste e noduli di selci e rari livelli di metacalcareniti, in strati di potenza variabile, spesso alternati con strati più sottili di calcescisti e filladi carbonatiche grigio scure con tracce di pirite e Ammoniti piritizzate (Lias med.- sup.)</i>	Calcari selciferi - <i>Calcilutiti talvolta leggermente marnose, grigio chiare ben stratificate, con noduli e liste di selce grigio-chiare e sottili interstrati marnosi; rari livelli calcarenitici (Lias medio-sup.)</i>
Marmi s.s. - <i>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 (Lias inf.- medio?)</i>	Rosso ammonitico - <i>Calcari nodulari rosati, rossi o giallastri e calcari stratificati rosa, talvolta con sottili interstrati di marne rosse e rare selci rosse (Lias inf. – med.)</i> Calcare massiccio s.l. - <i>Calcari e calcari dolomitici grossolanamente stratificati, talvolta massicci (Lias inf.)</i>
Marmi dolomitici – <i>Marmi spesso dolomitici, alternati a livelli di dolomie grigio-chiare o rosate, più o meno cristallizzate (Lias inf.)</i>	Calcari e marne a Rhaeticula contorta - <i>Calcari, calcari dolomitici e dolomie con sottili intercalazioni di marne, i quali prevalgono, grossolanamente stratificati, nella parte inferiore, e a cui seguono calcilutiti nere alternate a sottili livelli di marne grigio-scure (Retico.)</i>
Breccie di Seravezza - <i>Breccie poligeniche metamorfiche a elementi marmorei e subordinatamente dolomitici. Scisti a cloritoide (Retico-Lias inf. ?)</i>	
Grezzoni - <i>Dolomie più o meno ricristallizzate grigio-scure, con limitate modificazioni tessiturali metamorfiche. Parte inferiore spesso costituita da breccie metamorfiche a elementi dolomitici (Norico)</i>	Calcare cavernoso - <i>Calcari dolomitici, dolomie grigie con “struttura a cellette” e “dolomie cariate (Norico-Retico)</i>
Verrucano s.s. - <i>Quarziti, anche grossolane, talvolta alternate a filladi muscovitiche e a metaconglomerati quarzosi con matrice quarzítico-filladica (“Anageniti” Auct.) (Ladinico sup.-Carnico)</i>	
Dolomie scistose ad Orthoceras - <i>Dolomie cristalline grigio-scure o chiare, a patina d’alterazione giallastra o marrone, alternate a livelli di filladi nere granitiche, con tracce di pirite (Silurico)</i>	
Metarenarie quarzose – <i>Quarziti, quarziti filladiche e metarenarie arcosiche grigio chiare, alternate a filladi e filladi quarzitiche grigio scure (Ordoviciano sup. ?)</i>	

Tab. 1



<p>Porfiroidi e scisti porfirici - <i>Metavulcaniti prevalentemente riolitici, massicci, verdi-chiari o grigi (Porfiroidi) e metarcosi, filladi muscovitico-cloritiche con abbondanti porfiroclasti di quarzo (Ordoviciano?)</i></p>	
<p>Filladi inferiori - <i>Filladi quarzítico-muscovitiche più o meno cloritiche, grigio-scure o grigio-verdastre, alternate a quarziti grigio-chiare (Cambrico?-Ordoviciano?)</i></p>	

Tab. 1

Per quanto riguarda i terreni di età quaternaria si rileva la presenza, nei fondovalle principali, di sottili livelli di depositi alluvionali recenti e degli alvei odierni (Olocene-Attuale).

Maggiore importanza assumono le modificazioni recenti delle forme del rilievo riconducibili alla formazione di coperture detritiche. Si tratta in minima parte di falde di detrito, talus detritici e coni di detrito coalescenti, presenti alla base di pareti carbonatiche. In parte più consistente sono i depositi eluvio-col-luviali, eterometrici e a prevalente composizione sabbioso-siltosa, che derivano dall'alterazione chimico-fisica del substrato roccioso (entrambi i depositi: Pleistocene-Olocene-Attuale). Questi ultimi presentano in genere un notevole sviluppo areale estendendosi con spessori variabili a seconda della morfogenesi subita su una gran parte del territorio; molto spesso infatti, oltre ai normali processi di produzione del detrito si sommano eventi essenzialmente di tipo gravitativo che tendono a dislocare e ridistribuire questi terreni secondo modalità diverse.

Molto caratteristica risulta appunto la distribuzione dello spessore in rapporto alla disposizione strutturale e geomorfologica dell'area dove insiste il terreno detritico: nei versanti molto acclivi con disposizione della scistosità principale o della stratificazione a reggipoggio la copertura detritica è spesso assente o comunque ridotta a pochi decimetri; anche nei versanti a franapoggio caratterizzati da forte acclività si ha in genere un relativamente ridotto spessore della coltre detritica (da 1 a 2 m); da osservare che in questi ultimi la pendenza del versante corrisponde all'incirca all'immersione della superficie di scistosità principale o di stratificazione.

Nelle zone caratterizzate da minore acclività si rileva in genere, salvo eccezioni legate a particolari situazioni, un maggiore sviluppo della coltre detritica; si osserva con una certa frequenza che le zone meno acclivi corrispondono ad estese frane antiche o a ripiani orografici di morfogenesi fluviale.

2.2 Pedologia e clima

I suoli presenti sono generalmente riconducibili alle categorie U.S.D.A. (Soil Survey Staff, Soil Conservation Service, 1975): Eutrochrepts, Dystrochrepts,

Udorthents, Hapludolls, Rendolls. Si presentano solitamente di scarsa potenza (in media nelle aree forestali A+B= 30-50 cm), molto ricchi di scheletro, poco strutturati e spesso disturbati dall'erosione (Bartelletti et al., 1996).

Per quanto riguarda il clima, la stazione termo-pluviometrica di Retignano, in posizione centrale nel bacino del Torrente Vezza, indica una piovosità media di 1916 mm annui con 110 giorni piovosi (trentennio di riferimento 1921-1950) ed una temperatura media annua di 14,1°C (per il trentennio di riferimento 1926-1955). L'elevata piovosità è confermata dalla carta delle isoiete elaborata per il trentennio 1921-1950 (Romagnoli, 1963), dalla quale si evince come la parte alta dei bacini di riferimento presenti entità medie di precipitazione vicine a 3.000 mm annui.

I corsi d'acqua hanno regime torrentizio, con portate di piena nelle stagioni equinoziali e di magra in estate. Nella zona si sono registrati eventi alluvionali notevoli anche nel 1629, 1662, 1750, 1774, 1819, 1845, 1885, 1902, 1935, 1938, 1952, 1992 (Bartelletti e Nepi, 1996).

Nella pianura apuo-versiliese e nel primo entroterra prevale un "regime submediterraneo" delle precipitazioni, che presenta massimi principali d'afflusso in autunno (*AIPE* – cioè nell'ordine autunno, inverno, primavera, estate). Invece, nella zona colpita dai massimi afflussi meteorici del 19 giugno 1996 (Retignano-Cardoso-Fornovolasco) e così pure in tutto il versante interno delle Alpi Apuane, domina il "regime mediterraneo" (*IAPE*), con prevalenza delle piogge invernali e conferma dei minimi estivi (Rapetti e Rapetti, 1996).

2.3 Uso del suolo e vegetazione

I bacini idrografici in esame sono per la gran parte coperti da vegetazione forestale arborea, rappresentata, per le cenosi spontanee, soprattutto da boschi mesofili di latifoglie decidue a dominanza di carpino nero (ostrieti) e in misura più ridotta da formazioni ancora di caducifoglie, sia termofile (querceti misti) sia di fascia subatlantica (faggete). Notevole è la rilevanza in zona di superfici già destinate alla coltivazione del castagno, che si caratterizzano oggi per l'evidente stato di abbandono. I castagneti acidofili sono per altro presenti con fustaie annose da frutto e cedui invecchiati. Non particolarmente significativi risultano poi gli impianti artificiali di conifere (pino nero, abete bianco, abete rosso, larice, ecc.), circoscritti in aree limitate, così come la vegetazione igrofila o riparia (alneti e saliceti), che non va oltre i ristretti limiti d'alveo dei corsi d'acqua maggiori.

Le aree agro-pastorali di alpeggio, anch'esse in fase di abbandono colturale, risultano spesso colonizzate da arbusteti (principalmente ericeti) e da brughiere di degradazione forestale (calluneti). Si registra pure una recente diffusione di praterie secondarie xeriche (brachipodieti), di composizione comunque meno ricca rispetto alle analoghe formazioni erbacee intrasilvatiche e soprattutto soprasilvatiche che, a mosaico con le fitocenosi casmofitiche e glareicole, dominano la parte più rilevata e sommitale del territorio in esame.

Per l'inquadramento fitosociologico di dettaglio della vegetazione si veda Bartelletti et al. (1996) e Lombardi et al. (2000).

Le due tipologie più diffuse sono le selve castanili in abbandono e i cedui di carpino nero. I castagneti da frutto presentano un volume unitario di massa legnosa attorno ai 450-600 m³/ha, con circa 100 piante/ha di castagni da frutto con diametro attorno ai 75 cm, età attorno ai 60 anni e altezze oltre i 20 m e numerosi altri individui arborei spontanei di minori dimensioni. I cedui a dominanza di carpino nero presentano età media attorno ai 35 anni, massa legnosa unitaria di circa 200 m³/ha distribuita su circa 2.000-2.500 ceppaie/ha: solitamente il diametro medio dei polloni non supera i 9 cm (Bartelletti et al., 1996).

L'uso agricolo dei suoli è limitato ai dintorni degli insediamenti accentrati, con coltivazioni soprattutto orticole di consumo integrativo familiare. Scarse sono le zone urbanizzate mentre quelle artigianali sono concentrate nel fondovalle dell'asta principale. Le aree estrattive di Pietra del Cardoso sono presenti intorno all'omonimo abitato, ad eccezione di alcuni piccoli siti sparsi nella zona di Pomezzana e Stazzema. Cave di marmo e di breccia, non più in esercizio da alcuni decenni, si trovano nell'area di Pontestazzemese e di Montalto.

Nel territorio considerato le attività agro-silvo-pastorali rivestono un ruolo del tutto secondario nell'economia locale e la presenza dell'uomo in montagna è legata principalmente alla continuità storico-culturale dell'insediamento e in misura sempre più ridotta alle attività estrattive ed al relativo indotto.

3. Analisi dell'evento del 19 giugno 1996

3.1 Trasformazione afflussi-deflussi e formazione della piena

Già nell'ambito del piano degli interventi predisposti dal Commissario per gli Eventi Alluvionali si è resa necessaria una quantificazione dei fenomeni occorsi e dei loro effetti, al fine di consentire la progettazione e la realizzazione delle opere di sistemazione idraulica ed idraulico-forestale (Regione Toscana, Ufficio del Commissario Eventi Alluvionali, 1996).

Ai fini di tale analisi condotta immediatamente a seguito dell'evento, sono stati raccolti i dati relativi alle misure pluviometriche ed idrometriche disponibili alle stazioni di misura ed alla caratterizzazione dell'uso del suolo, della geologia e della morfologia dei bacini idrografici del fiume Versilia e del torrente Turrite di Galliciano investiti dall'evento del 19 giugno 1996.

Nella Fig. 1 è riportata l'ubicazione dei bacini e delle stazioni di misura idrometriche e pluviometriche utilizzate per la caratterizzazione dell'evento alluvionale che ha interessato un'area di più di circa 60 km².

La base dei dati pluviometrici per l'analisi statistica è costituita dai valori di precipitazione intensa disponibili nelle 41 stazioni che ricadono nella zona della Versilia e dell'alto Serchio (Garfagnana), di cui 19 sono collegate nella rete di telemisura gestita dal Servizio Idrografico.

Ai fini della ricostruzione dell'evento sono state selezionate le stazioni telepluviometriche di Retignano, Cervaiolo, Azzano, Palagnana, Pomezzana, Fornovolasco. Le stazioni ricadenti nel bacino del Fiume Versilia sono Azzano (sot-

tobacino del torrente Serra), Cervaiole (sottobacino del canale del Giardino), Retignano e Pomezzana (sottobacino del torrente Vezza), mentre la stazione di Fornovolasco ricade in Garfagnana (bacino della Tùrrite di Gallicano). Le precipitazioni di maggiore intensità si sono verificate in un'area di circa 5 km² intorno al Monte Forato. Nella tabella 2 sono riportati i valori nel tempo delle altezze di pioggia registrate in varie finestre temporali.

<i>Durata [min]</i>	Retignano	Cervaiole	Azzano	Palagnana	Pomezzana	Fornovolasco
1	3.4	5.0	2.4	2.0	9.0	
2	6.2	8.6	4.6	4.0	16.2	
3	8.6	12.2	6.8	5.6	22.6	
4	11.2	15.0	8.8	7.2	27.2	
5	13.6	17.0	10.6	9.0	31.4	
15	33.8	31.4	22.2	19.2	68.2	47.4
30	54.4	42.0	34.6	35.4	112.8	84.0
45	69.6	51.8	46.8	44.8	138.0	119.4
60	79.2	67.2	61.2	59.6	176.4	151.6
180	165.2	125.8	144.4	118.0	319.4	323.8
360	214.6	183.2	184.2	221.2	390.8	387.4
720	387.4	229.8	242.0	296.4	474.6	
1440	400.6	245.6	260.6	298.6	478.0	

Tab. 2 - Altezze massime di precipitazione (in mm) negli intervalli da 1 minuto a 24 ore occorse durante l'evento del 19 giugno 1996

Per quanto riguarda i dati idrometrici, nel bacino del fiume Versilia sono presenti due stazioni dell'Ufficio Idrografico di Pisa, una posta a Seravezza immediatamente a valle della confluenza tra il Torrente Vezza e il Torrente Serra, l'altra posta circa 7 km a valle in prossimità di Ponte Tavole (Fig. 1). Entrambe le stazioni sono entrate in funzione poche settimane prima dell'evento alluvionale e pertanto non dispongono di alcuna serie storica né tantomeno di una scala di deflusso. Esse, inoltre, sono state danneggiate dalla piena del 19 giugno e pertanto la registrazione dei livelli si è interrotta in prossimità del colmo, come risulta dai grafici forniti dal Servizio Idrografico.

Nel bacino del torrente Tùrrite di Gallicano non esistono stazioni idrometriche del Servizio Idrografico. Una stazione idrometrica dell'ENEL, per la quale non sono disponibili dati relativi all'evento, è presente a Gallicano, circa 4 km a valle della diga di Trombacco (Fig. 1). L'ENEL-Raggruppamento Impianti di Lucca, ha comunque messo a disposizione i diagrammi delle misure relative alle portate scaricate nonché i livelli dell'invaso registrati durante l'evento.

La caratterizzazione topografica dei bacini considerati è stata effettuata sulla base della Cartografia Tecnica Regionale e di quella dell'Istituto Geografico Militare. I dati geomorfologici sono stati derivati da un modello digitale del terreno 100x100 m prodotto a partire dalla CTR 1:5.000, mentre i dati relativi

all'uso del suolo ed alla geolitologia sono stati derivati rispettivamente dalla Carta Regionale dell'Inventario Forestale Toscano e dalla Carta Litologica 1:250.000 della Regione Toscana.

Un'apposita campagna topografica ha permesso il rilievo delle sezioni fluviali e delle principali opere interagenti con il deflusso della corrente (Regione Toscana, 1996).

3.2 *Analisi dei dati*

Le registrazioni delle precipitazioni avvenute il 19 giugno 1996 nella zona della Versilia e della Garfagnana mostrano come l'area interessata dal fenomeno meteorico sia concentrata prevalentemente nella zona montana, risultando la fascia costiera ed il fondovalle del Serchio interessati solo in maniera molto modesta. Il fenomeno si è sviluppato con una distribuzione spaziale assai particolare, con ridotti valori di correlazione già per distanze dell'ordine dei 20÷30 km. I massimi di precipitazione complessivi sono stati registrati alla stazione di Pomezzana (478 mm), sul versante versiliese, e di Fornovolasco (420 mm) sul versante della Garfagnana. Si noti che le misure di altezza di pioggia a Fornovolasco risultano interrotte alle ore 14:45 a causa del danneggiamento della stazione e, pertanto, i valori di altezza di pioggia totale sono da considerarsi parziali. Per comprendere appieno la limitata estensione areale del fenomeno, si possono confrontare i valori assai differenziati registrati alle stazioni di Palagnana, Cervaiolo e Azzano, tutte estremamente vicine a Pomezzana e Fornovolasco, ma collocate in diversi bacini idrografici. Una prima analisi della dinamica temporale dell'evento può essere condotta considerando i valori di precipitazione rilevate appunto alle stazioni di Pomezzana e Fornovolasco. Analizzando gli ietogrammi registrati a 15', si osserva come l'evento presenti più picchi di intensità particolarmente elevata. Il primo picco, collocato tra le 6:00 e le 7:00 della mattina, presenta i valori più alti a Pomezzana; segue un picco più debole (non certo irrilevante) intorno alle 10:00, a cui succede un periodo di stasi (verso le 11:00). Intorno alle 11:30-11:45 la precipitazione cessa addirittura, per poi scatenarsi con valori di assoluta eccezionalità per intensità e durata dalle 12:00 alle 13:00 (con i massimi registrati a Fornovolasco).

Il confronto con le serie dei massimi storici registrati nelle stazioni di Retignano, Palagnana e Fornovolasco (le altre stazioni, si ricorda, sono entrate in funzione il 1° giugno 1996, e quindi non dispongono di serie storica) mostra come i valori relativi all'ultimo evento si collochino in tutti i casi al di sopra dei massimi registrati. Se per la stazione di Retignano la brevità delle serie storiche (13 anni) può non rendere molto significativo questo confronto, per la stazione di Palagnana (21 anni) e ancora di più per la stazione di Fornovolasco (49 anni) esso evidenzia la anormalità dei valori registrati in ogni finestra temporale. Per la stazione di Palagnana, per durate inferiori ad 1 ora, erano già stati registrati dei valori più alti di quelli verificatisi la mattina del 19 giugno, ma i massimi per le durate superiori a un'ora superano nettamente i valori storici. Per Fornovolasco il divario è ancora più accentuato: i valori storici su alcuni intervalli (1

ora, 3 ore) risultano essere quasi la metà del valore registrato durante l'evento. L'andamento dei massimi registrati a Fornovolasco e a Pomezzana evidenzia come l'eccezionalità dell'evento sia soprattutto relativa ai massimi sulle 3, 6 e 12 ore. Interessante può essere anche il confronto con i massimi di precipitazione registrati in tutto il compartimento dell'Ufficio di Pisa del Servizio Idrografico e Mareografico.

Sulle finestre temporali da 1 a 24 ore i massimi registrati a Pomezzana e a Fornovolasco superano i massimi precedentemente registrati nelle diverse stazioni del compartimento (Regione Toscana, 1996; Preti et al., 1996 e 1999).

L'analisi statistica dei massimi di precipitazione è stata condotta utilizzando la distribuzione di probabilità TCEV (*Two Components Extreme Values*) (AA.VV., VAPI-CNR, 1992; Gabriele et al., 1994), considerando le stazioni ricadenti nella zona.

Esempi dell'adattamento della distribuzione ai dati campionari è riportata in Regione Toscana, 1996 e in Preti et al., 1996 e 1999, dove è rappresentata anche una distribuzione ricavata a scala regionale, mentre nella Tab. 3 sono riportate le stime dei tempi di ritorno ricavate per le stazioni considerate relativamente all'evento del giugno 1996.

Tempi di ritorno stimati [anni]					
Stazione	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Retignano	44 (≈100)	69 (>200)	88 (>200)	174 (>500)	135 (>200)
Fornovolasco	567 (>500)	329 (>500)	201 (>500)		
Palagnana	35 (≈100)	26 (≈200)	50 (>200)	82 (>500)	95 (≈100)

Tab. 3 - Valutazione dei tempi di ritorno dell'evento del 19 giugno 1996 mediante la TCEV (tra parentesi quelli calcolati in AA. VV., 1998)

I dati messi a disposizione dall'ENEL-Raggruppamento Impianti Lucca hanno permesso una ricostruzione dell'idrogramma di piena in arrivo all'invaso di Trombacco sulla Tùrrite di Galliciano. L'invaso, avente una capacità complessiva di circa 750.000 m³, sottende un bacino di circa 25 km².

Dalle registrazioni dei livelli dell'invaso e delle portate sfiorate nel tempo nonché dalla curva di invaso, è possibile risalire all'idrogramma in ingresso al lago utilizzando il principio di conservazione della massa ed assumendo l'ipotesi di comportamento puramente cinematico, ottenendo una stima della portata al colmo pari a circa 350 m³/s (Regione Toscana, 1996).

I risultati ottenuti mettono in evidenza il notevole effetto di laminazione esercitato dall'invaso di Trombacco che ha ridotto il colmo in arrivo a circa 115 m³/s, trattenendo nel lago un volume d'acqua stimabile in 600.000 m³.

La ricostruzione dell'idrogramma di piena a Seravezza nel versante versiliese è stata condotta nella sezione in cui era posizionato l'idrometro della rete di telerilevamento del Servizio Idrografico, ovvero circa 100 m a valle della confluenza tra il torrente Veza e il torrente Serra (Fig. 1), con un bacino sotteso di

circa 68 km². Tale idrometro è stato travolto dalla piena del 19 giugno. È comunque disponibile una registrazione dei livelli idrometrici che arriva intorno alle ore 14:00. Al fine di ottenere l'andamento delle portate defluite durante l'evento è stato necessario ricostruire una scala di deflusso per la sezione in esame.

3.3 Modellazione afflussi-deflussi

Per lo studio idrologico dell'evento del 19 giugno 1996 sono stati applicati modelli a parametri distribuiti che prevedono la schematizzazione del bacino in un insieme di celle, per ciascuna delle quali viene definito un *set* di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica (Regione Toscana, 1996; AA.VV., 1998).

La prima applicazione modellistica (Regione Toscana, 1996) è basata su di un modello digitale del terreno e una serie di mappe relative alle principali grandezze idrologiche (precipitazioni ragguagliate, grado di saturazione, tempi di trasferimento), ottenute tramite la distribuzione spaziale di misure puntuali e dalla schematizzazione della variabilità spaziale delle caratteristiche pedolitologiche e geomorfologiche a scala di bacino idrografico. I dati di precipitazione in una serie di stazioni ricadenti nel bacino o limitrofe ad esso possono essere distribuiti spazialmente con diverse metodologie (es. topoieti oppure aree di influenza individuabili sulla base del grado di dissesto nel caso di eventi eccezionali, come quelli in esame).

La taratura dei parametri del modello viene ottenuta sulla base del confronto, alla stessa sezione di chiusura, fra l'idrogramma calcolato e quello ottenuto da valori di portata relativi ad eventi noti. In particolare, il modello è stato tarato sull'idrogramma ricavato per il torrente Tùrrite a Trombacco e successivamente applicato anche al fiume Versilia, ottenendo idrogrammi di piena simulati con il modello in accordo con quelli ricostruiti sulla base dei dati idrometrici disponibili.

3.4 Stima della frequenza delle portate al colmo dell'evento

Ai fini della progettazione degli interventi ricostruzione nelle aree colpite dall'evento alluvionale del 19 giugno 1996, è stato necessario fornire una valutazione della probabilità con cui determinati eventi di piena possono presentarsi nei bacini considerati. Una tale valutazione è fortemente dipendente dalla disponibilità e qualità di dati nonché dalla scelta dei criteri di analisi statistica (Ferrari et al., 1992; Copertino et al., 1994), con riferimento alla particolare realtà del territorio toscano (Preti et al., 1996).

È noto come l'ipotesi alla base del metodo di stima della frequenza delle portate di piena (il tempo di ritorno per la portata corrisponde a quello della LSPP che l'ha generata) possa portare a approssimazioni anche grossolane del cosiddetto "tempo di ritorno". Basti pensare ai diversi effetti nei riguardi dei contributi di piena che le condizioni iniziali del terreno possono generare in

conseguenza dello stesso evento di pioggia, oppure al fatto che si possono avere intensità di pioggia ugualmente critiche, ma con tempi di ritorno diversi (Bacchi et al., 1993). Appare di particolare importanza la stima del grado di saturazione iniziale dei suoli del bacino da ottenersi sulla base di un'analisi stagionale dei massimi di precipitazione ovvero sulla base di uno studio dei massimi di precipitazione all'inizio dell'evento "critico" "condizionati" (ricadenti su suoli in diverse condizioni di saturazione caratterizzabili con una stima dell'umidità del terreno o almeno dell'altezza di precipitazione nei giorni precedenti).

Nel caso in esame, il modello idrologico sopra citato è stato applicato a vari sottobacini ricadenti nell'area colpita dall'evento alluvionale del 19 giugno, ottenendo stime per via indiretta dei tempi di ritorno che possono superare i 300 anni per le sezioni in cui l'evento è risultato più critico.

I risultati sopra riportati sono stati ottenuti sulla base dei dati disponibili nei due mesi successivi l'evento ed hanno costituito la base di riferimento per la progettazione degli interventi di sistemazione (Regione Toscana, 1996).

Gli studi condotti successivamente (AA.VV, 1998) hanno sostanzialmente confermato le valutazioni sopra indicate.

<i>Sezione</i>	<i>Area bacino [km²]</i>	<i>Portata evento [m³/s]</i>	<i>Contributo unitario [m³/s/km²]</i>	<i>Tempo di ritorno [anni]</i>
<i>Versilia</i>				
Cardoso valle	9.1	396	44	300 ÷ 500
Cardoso monte P.te Stazzemese	13.4	490	37	200 ÷ 500
Ruosina monte	28.7	498	17	200 ÷ 500
Seravezza valle	68.9	565	8	100 ÷ 200
<i>Tùrrite di Galliciano</i>				
Fornovolasco	8.4	251	30	100 ÷ 300
Trombacco Valle	25.2	307	12	100 ÷ 300

Tab. 4 - Portate al colmo di piena e stima del tempo di ritorno associato

4. Fenomeni di dissesto idrogeologico

Brugioni e Galeotti raggruppano i fenomeni di dissesto idrogeologico conseguenti all'evento del 19 giugno 1996 possono essere raggruppati come segue (in Preti et al., 1999):

- movimenti franosi superficiali o subsuperficiali tipo "flussi di detrito" (*debris flow*);

- movimenti franosi profondi del tipo: scorrimenti rotazionali o traslativi, misti;
- frane di crollo e mobilizzazioni di falde detritiche (con minimo interessamento dei ravaneti di cava);
- riattivazione degli impluvi del reticolo idrografico minore, fino agli alvei dei primi ordini;
- erosione lineare degli alvei;
- erosioni di sponda a carico dei collettori principali e secondari;
- fenomeni di sovralluvionamento degli alvei;
- situazioni complesse, tra le quali molto diffusa nei tratti intermedi dei collettori secondari: forti erosioni lineari dell'alveo, successivo deposito di sedimenti di granulometria molto varia, nuovi fenomeni di incisione.

In particolare si osserva che le frane attive che generalmente insistono sul territorio (Galeotti et al., 1996) possono essere grossolanamente distinte in due grandi categorie individuabili come frane profonde e frane superficiali, con prevalenza di queste ultime.

Le frane attive profonde sono in genere riconducibili a movimenti rotazionali o planari o ad una combinazione di queste tipologie a cui sono ascrivibili le frane di maggiore estensione presenti sul territorio e caratterizzate da attività legata essenzialmente ai cicli stagionali. Presentano in genere un'evoluzione lenta o relativamente lenta, salvo locali riattivazioni con sviluppo rapido in conseguenza di situazioni molto particolari (infiltrazioni diffuse d'acqua lungo la superficie di potenziale scivolamento, forti scalzamenti al piede, ecc.) e possono arrivare ad interessare spessori piuttosto considerevoli (eccezionalmente 15-20 m). Tali frane profonde non hanno risentito particolarmente dell'evento del 19 giugno.

Le frane superficiali presentano invece un innesco ed un'evoluzione molto rapidi e sono di norma strettamente collegate a precipitazioni atmosferiche di notevole entità. I fenomeni maggiormente ricorrenti sono riconducibili a fenomeni di scorrimento traslativi, ad andamento lineare, interessanti in genere detriti e suoli saturi o parzialmente saturi in conseguenza del nubifragio, evolutisi quindi in colate di detriti e fanghi. In genere si riconoscono caratteristiche comuni che possono essere generalmente ricondotte a:

- forma allungata con lunghezze che possono raggiungere anche le centinaia di metri e larghezze fino ad un massimo di alcune decine di metri;
- spessore della porzione di ammasso coinvolto che generalmente non supera i 3 metri;
- materiale coinvolto rappresentato prevalentemente da detriti, suolo e strato alterato del substrato roccioso sottostante;
- pendenza delle scarpate interessate generalmente superiori a 35°;
- dissesti localizzati per circa l'80% in corrispondenza delle aree di affioramento dei terreni filladico-arenacei e dei terreni non carbonatici in genere.

In molti casi si riconosce la superficie di scivolamento costituita in genere dal substrato litoide.

Si tratta di movimenti gravitativi connessi strettamente alla azione delle

acque di dilavamento nelle pendici acclivi e negli impluvi dei primi ordini e possono essere classificati come *debris flow*.

Per *debris flow*, quindi si intendono movimenti riguardanti spessori superficiali di terreno essenzialmente rappresentato da suolo, depositi colluviali e detritici e talvolta lo strato di alterazione dell'ammasso litoide sottostante, localizzati su pendici ripide solitamente comprese tra 30° e 55°, con velocità di movimento elevate dell'ordine di diversi m/sec, che si verificano in concomitanza di pesanti precipitazioni (Campbell, 1975; Varnes, 1978; Hutchinson, 1988). Solitamente si verificano in terreni con ampia distribuzione granulometrica dalla quale, insieme alla morfologia dell'ammasso coinvolto, deriva una nomenclatura vasta, derivante dalla classificazione di lingua inglese, quale: soil slips, earth flows, mud-flows, debris torrent, etc. (Hutchinson e Bhandari, 1971; Bovis, 1986; Hooke, 1987; Hutchinson, 1988; Cancelli et alii, 1994).

Tali forme sono in genere riconoscibili nell'intero bacino del Veza e, in parte, nel bacino della Tùrrite. L'assenza di vegetazione come indicato da Campbell (1975) non rappresenta un prerequisito necessario per l'innescò di tali fenomeni ed in tal senso lo sviluppo delle forme di dissesto anche in aree boscate quali appunto quelle della Versilia e della Garfagnana confermano quanto indicato dall'autore. In alcuni casi i dissesti suddetti sono presenti in associazione con altre tipologie di frana, in particolare crolli nelle porzioni superiori e più acclivi dei versanti, in forme complesse in ogni caso sempre evolutesi in colate di materiale detritico e terroso.

In sintesi si intende quindi un movimento molto rapido che si attiva in genere su versanti molto acclivi e caratterizzati da un ridotto spessore della copertura detritica; un fattore predisponente per l'innescò di questi dissesti è rappresentato dalla presenza di superfici di discontinuità strutturale (scistosità, stratificazione), con disposizione geometrica favorevole all'innescò del dissesto. Questi fenomeni sono causati da forti afflussi concentrati di acqua che vanno a saturare la coltre di terreno detritico più superficiale, o se di esiguo spessore (1-2 m), l'intero orizzonte detritico fino al contatto con il substrato roccioso; come risultato si hanno fenomeni di scoscendimento e deflusso di una massa fluido-viscosa dotata di elevata energia di trasporto.

La causa scatenante dei dissesti va ricercata nell'evento piovoso del 19 giugno, sicuramente con caratteri di intensità e volume di precipitazioni fuori dall'ordinario, così come si può osservare dai dati di analisi del fenomeno. Sotto tale pressione, raggiunti certi parametri di soglia corrispondenti a condizioni al contorno quali pendenza, spessore di suolo, caratteristiche geotecniche dei materiali coinvolti, (Caine, 1980, Govi, Sorzana, 1980, Cancelli, Nova, 1985, Cascini, Versace, 1986 e 1988, Jibson, 1989) si sono innescati i fenomeni di dissesto precedentemente descritti.

Oltre al carattere di eccezionalità dell'evento è indubbio che alcune situazioni ed aspetti particolari hanno contribuito al verificarsi dei dissesti. Tra questi, come già accennato, uno dei più importanti appare l'assetto stratigrafico-strutturale locale del substrato litoide: in vaste aree colpite dai dissesti si ritrovano infatti superfici con disposizione favorevole al verificarsi di scorrimenti gravita-

tivi. Inoltre, in base a quanto osservato si può ipotizzare che il grado di ammorsamento tra i terreni di copertura s.l. e il substrato litoide di natura filladico-arenacea, sia risultato piuttosto scadente anche laddove la scistosità principale non era nettamente a franapoggio, in quanto gli sforzi di taglio, indotti al contatto con il substrato dalla copertura appesantita dall'acqua di infiltrazione, sono riusciti comunque ad individuare superfici di scorrimento globalmente parallele al versante fra le varie discontinuità strutturali presenti nel bedrock ed ancor più nel regolite. Si pensi per confronto all'elevato grado di ammorsamento che esiste frequentemente fra substrati di rocce carbonatiche ed i relativi suoli, che si insinuano verticalmente nelle fratture carsificate.

Sulla base di quanto sopra riportato sono stati realizzati (Brugioni et al. 1997, AA.VV., 1998, Rulli et al., 1998) modelli matematici spazialmente distribuiti al fine di simulare l'evoluzione temporale dei processi di instabilità dei versanti durante eventi meteorici particolarmente intensi (con valutazione delle condizioni limite di innesco dei debris flow con particolare riferimento a quelli di versante). Rimandando ai lavori citati per un eventuale approfondimento, in questa sede si evidenzia come tale modellazione sia stata applicata ad un sottobacino (Capriola) ed abbia la possibilità di tener conto, attraverso l'inserimento di opportuni parametri, anche degli effetti della vegetazione presente. (AA.VV., 1998), tema quest'ultimo trattato nel seguito.

5. L'incidenza dei boschi sui dissesti

La diffusione di boschi "artificiali" in abbandono colturale - come i castagneti dell'area in esame - ha rappresentato, durante gli eventi alluvionali del 19 giugno 1996, un fattore di instabilità ulteriore rispetto a quelli sopra indicati. Si tratta in verità di un fattore oltre modo complesso per l'intrinseca difficoltà ad essere ponderato correttamente, stante l'elevato numero di variabili che vi entrano in gioco.

La presenza di formazioni boschive "artificiali" in stato di abbandono è di per sé indizio di minore difesa, rispetto ai boschi spontanei, nei confronti dell'erosione idrica superficiale, del contenimento delle portate solide dei corsi d'acqua, della capacità di regimazione dei deflussi idrici e, più in generale, per il contributo effettivo alla stabilità dei versanti.

Tuttavia, il fattore "presenza di formazioni boschive artificiali in stato di abbandono" non è risultato determinante nella diffusione dei fenomeni franosi, benché vi abbia contribuito in una misura comunque non trascurabile. Prova ne è, dal confronto tra la notevole estensione di frane nei castagneti su pseudomacigno (Cardoso), rispetto alla più limitata diffusione di questi fenomeni in analoghe formazioni vegetazionali su calcare (Fornovolasco). Conferma indiretta di ciò si ricava pure da una qualche insorgenza di dissesti negli ostrieti (o comunque nei boschi misti spontanei) vegetanti su substrato siliceo impermeabile, rispetto alla mancanza quasi assoluta in quelli localizzati su substrato carbonatico.

Quanto detto sopra è reso palese dai dati che seguono, riferiti ad un ambito

d'indagine ristretto alla zona epicentrale dell'evento (di circa 1600 ha di superficie). Su rocce impermeabili, il castagneto occupa qui un'estensione territoriale di 398,30 ha, mentre le zone interessate dai dissesti areali del 19 giugno riguardano 32,73 ha, cioè l'8,2 % della zona coltivata a castagno. Di contro, l'ostrieto - su substrato impermeabile - presenta una superficie totale di 80,24 ha ed una superficie dissestata di 3,20 ha; pari soltanto al 4,0%.

La relativa maggiore vulnerabilità del castagneto rispetto ai boschi spontanei, si ripropone anche per i dati desunti da situazioni vegetazionali su substrato permeabile. In effetti, al di sopra di calcari e rocce simili, l'area coltivata a castagno occupa una superficie totale di 62,26 ha, mentre la parte che è stata interessata da dissesti è di 0,83 ha: ovverosia l'1,3%. Al contrario, l'ostrieto (o bosco misto) - nonostante che rivesta ben 361,60 ha di territorio a substrato permeabile - ha avuto soltanto 1,27 ha di superficie interessata da frane di versante, da cui una percentuale risibile dello 0,3%.

I dati sono riportati nella tabella che segue:

	substrati impermeabili			substrati permeabili		
	Superficie totale	Superficie dissestata	% dissesti	Superficie totale	Superficie% dissestata	dissesti
Castagneti	398,30	32,73	8,2	62,26	0,83	1,3
Ostrieti	80,24	3,20	4,0	361,60	1,27	0,3
Totali	478,54	35,93	7,5	423,86	2,10	0,5
<i>valori di superficie in ettari (ha)</i>						

Tab. 5 - Incidenza areale e percentuale dei dissesti per tipo di substrato e bosco

In sintesi, si può affermare che, il 19 giugno 1996, il castagneto ha rappresentato un fattore di aggravamento dei fenomeni di dissesto, in quanto il tessuto vegetale di questa formazione mostra condizioni diffuse di instabilità e di scarsa coesione, tale da renderlo vulnerabile di fronte ad eventi eccezionali.

Inoltre, il castagneto ha pure contribuito, in maniera massiccia, al deleterio e devastante trasporto solido, soprattutto con tronchi di grosse dimensioni. E' stato infatti stimato che, da questo soprassuolo, sia derivato oltre il 70 % delle piante fluitate, di diametro superiore ai 20 cm, e più dell'80 % del volume totale di legname trasportato dalle acque superficiali (Bartelletti et al., 1996; 1997; 1998; Amorfini et al., 1997).

6. Trasporto solido

Nel corso dell'evento del 19 giugno 1996 il trasporto solido è stato assai rilevante a causa dell'ingentissima produzione di materiale lapideo e legnoso provocata dalle precipitazioni.

Con riferimento al versante versiliese, i volumi solidi mobilitati durante l'evento, in un'area epicentrale di circa 16 km², sono stati stimati (Regione

Toscana, 1996) secondo la seguente ripartizione:

- volume uscito dal bacino: 710.000 m³
- volume depositato negli alvei di fondovalle: 450.000 m³
- volume ancora presente sui versanti: 1.140.000 m³
- volume totale mobilitato nel bacino: 2.300.000 m³

Le condizioni di deflusso sono state fortemente condizionate dalla presenza del materiale solido, sia per il sovralluvionamento degli alvei che in taluni tratti ha raggiunto anche 12 m nella zona di Cardoso, sia per le numerosi occlusioni e sbarramenti temporanei che hanno provocato forti rigurgiti e rilasci improvvisi di portata.

La stima del quantitativo di materiale legnoso mobilitatosi durante l'evento di piena (Tab. 6) sul bacino versiliense ammonterebbe a circa 175.000 piante (provenienti, come volume, prevalentemente da castagneti abbandonati), di cui circa la metà rimasta sui versanti per un quantitativo totale di circa 40.000 m³ di materiale legnoso asportato durante l'evento alluvionale (Bartelletti et al., 1996).

volume per diametri	volume totale			volume totale (mc)	numero di piante per diametri			numero piante tot.
	< 20 cm	21-50 cm	>50 cm		< 20 cm	21-50 cm	>50 cm	
castagneti	23.603	7.978	1.662	33.243	5.876	1.986	414	8.276
ostrieti	4.291	43	0	4.334	136.796	1.382	0	138.178
faggete	1.884	1.866	19	3.769	27.599	279	2	27.880
Totali	29.778	9.887	1.681	41.346	170.271	3.647	416	174.334

Tab. 6 - Stima della massa legnosa asportata durante l'evento alluvionale

Tale stima è stata eseguita calcolando le superfici soggette a dissesti gravi (nei quali il soprassuolo risultava asportato quasi totalmente) e attribuendo, in base al soprassuolo che prima vi vegetava, il valore di biomassa in piedi stimato con le aree di saggio dendrometriche.

Dalla tabella riportata emerge il dato significativo del contributo totale da parte del castagneto alla fluitazione di piante di grosse dimensioni:

7. Gli interventi di sistemazione idrogeologica e idraulico-forestale

7.1 La "protezione" dei boschi

In materia di difesa del suolo, la "debolezza" dei castagneti abbandonati, in confronto ai boschi spontanei, trova una serie innumerevole di ragioni. In primo luogo, si può ricordare la condizione monofitica della stessa formazione, in cui la biodiversità degli strati legnosi scende a livelli minimi anche per l'utilizzo diffuso di *cultivar*, cioè di cloni utili soprattutto alle produzioni legnose o di frutti, e non certo a migliorare la stabilità dei versanti. Cosa ben diversa sono i boschi misti - a carpino nero ed altre latifoglie - in cui la differenziazione

inter- ed intraspecifica assume un rilievo notevole, quale esito di lunghissimi percorsi evolutivi che hanno selezionato ecotipi locali, perfettamente adattati alle diverse condizioni bioclimatiche delle Apuane.

Altra ragione riguarda l'impianto degli individui arborei che, nel caso del castagno, è il risultato di pratiche agronomiche con fini produttivi, mentre per le fanerofite autoctone è l'esito di una continua e spontanea "competizione" naturale, che ha determinato, alla fine, la maggiore/migliore copertura/protezione dei versanti. A ciò si aggiunga poi il limitato ancoraggio assicurato dagli apparati radicali del castagno, con i suoi sviluppi piuttosto superficiali, per completare un quadro di "debolezza" strutturale e fisionomica della corrispondenza formazione boschiva artificiale (Bartelletti et alii, 1997).

Oltre la questione "variabilità", i castagneti di Cardoso, Mulina e dintorni hanno anche offerto, nell'evento del 19 giugno, un minor contributo alla difesa del suolo per il preoccupante stato di abbandono colturale in cui versano. La situazione è stata senza dubbio aggravata dal sovraccarico determinato, quasi ovunque, dalla biomassa in piedi (non più soggetta alle necessarie potature), nonché dalla diffusione di necromassa [anche conseguente agli effetti del cancro corticale prodotto da *Cryphonectria parasitica* Murr (Barr.)]. In sintesi, si tratta di condizioni vegetative non proprio ottimali che - di regola - limitano l'efficacia della protezione idrogeologica di questi boschi "artificiali".

Per dare misura concreta del "peso" e del "volume" dei castagneti di Cardoso e Fornovolasco, si riportano i dati rilevati nell'area in esame, anche confrontati con i boschi misti della stessa zona. I valori medi, per ettaro, documentano qui per le aree a castagno un volume di 600 m³ (pari a circa 600 ton), mentre in quelle a carpino nero dominante si raggiungono appena 200 m³ (≅ 200 ton).

Ulteriore elemento di aggravio della stabilità dei versanti, conseguente all'abbandono colturale, lo si individua nel degrado storico a cui sono andate incontro tutte le sistemazioni rurali del suolo all'interno dei castagneti. È nota la progressiva rovina che ha coinvolto, anche a Cardoso e Fornovolasco, le opere di terrazzamento dei versanti, quali lunette, gradoni, ciglioni, muretti a secco, ecc. In queste condizioni, è normale attenderci tempi di corrivazione più rapidi che non in passato, con tutte le conseguenze che tale situazione porta dietro sé (Bartelletti et al., 1996; 1997; 1998; Amorfini et al., 1997).

7.2 Le categorie d'intervento

Partendo da queste considerazioni sull'attuale debolezza del castagneto, sono stati pianificati interventi di sistemazione forestale lungo le pendici boschive della zona considerata.

Le zone di intervento sono state individuate attraverso una classificazione del territorio in diverse classi di vulnerabilità dei soprassuoli, sulla base di parametri oggettivi e relativi alla stabilità del versante e all'erodibilità dei suoli. Oltre a ciò, sono stati localizzati interventi nell'intorno di aree in cui emergono fenomeni di dissesto evidenti, classificabili (in maniera più sintetica della precedente) come:

- *erosione di alvei con asportazione di detrito*
- *frane complesse*
- *frane di crollo*
- *frane in detrito con scoscendimento*

L'obiettivo evidente dell'operazione è stato quello di ristabilire un assetto forestale in grado di migliorare lo stato di sicurezza dei versanti, scegliendo tipologie di intervento capaci di esaltare la qualità del lavoro forestale, secondo una scala prioritaria e di elevato livello qualitativo delle soluzioni proposte, anche in funzione della loro visibilità e durata ed efficacia nel tempo.

Gli interventi pianificati sono suddivisibili nelle seguenti tipologie:

- *tagli rasi di scoronamento alle aree dissestate*
- *tagli rasi uniti a diradamenti*
- *tagli di diradamento finalizzati alla regolarizzazione delle strutture forestali*
- *tagli di messa in sicurezza dei canali maggiormente interessati da erosione di fondo*

Il taglio raso di scoronamento interviene qui per l'esclusiva finalità di mettere in sicurezza gli intorni delle aree già dissestate ed in condizioni di instabilità, anche per la presenza di piante in equilibrio precario (o in via di stramazzo), che possono determinare con il loro peso ulteriori estensioni dei fenomeni di dissesto.

I tagli rasi uniti a diradamenti sono stati previsti per diversificare il più possibile la struttura dei soprassuoli ed inoltre sono tesi a regolarizzarne lo sviluppo, attraverso interruzioni artificiali della copertura su piccole superfici (3000 m²) e attraverso l'eliminazione del 50% degli individui di castagno d'alto fusto, scelti tra le piante singole o i gruppi instabili o in cattive condizioni fitosanitarie.

Anche la terza e successiva categoria d'intervento, di solo diradamento, persegue lo scopo di regolarizzare lo sviluppo strutturale del soprassuolo, con l'eliminazione di una percentuale variabile di piante in relazione alla classe di vulnerabilità individuata e soprattutto a carico dei castagni di origine gamica.

Infine, la ripulitura di alcuni tratti d'alveo, soprattutto lungo le aste d'ordine superiore, è stato previsto per una fascia di 50 metri, sia in destra che in sinistra idrografica, a partire dall'asse del corso d'acqua, con asportazione del 30% del numero delle piante da seme di castagno e secondariamente sulle ceppaie (Bartelletti et al., 1996).

Nonostante l'ampiezza e l'articolazione degli interventi pianificati, la progettazione esecutiva ha portato alla realizzazione soltanto dei tagli rasi di scoronamento e di ripulitura degli alvei. È evidente come scelte di priorità, in base alle non sufficienti disponibilità finanziarie, abbiamo gioco forza privilegiato interventi di somma urgenza e di messa in sicurezza di situazioni instabili o potenzialmente pericolose. Tutta la partita riguardante la prevenzione futura di dissesti, attraverso l'alleggerimento dei castagneti in condizioni di rischio (tagli rasi e diradamenti anche al di fuori di aree evidentemente dissestate), dovrà essere rimessa ad ulteriori piani di sistemazione delle pendici montane colpite dagli eventi alluvionali del 19 giugno 1996.

7.3. *Ingegneria Naturalistica sui dissesti*

I finanziamenti stanziati da vari soggetti pubblici e finalizzati alla sistemazione idrogeologica dei bacini coinvolti dall'evento ed alla prevenzione dei danni in occasioni analoghe, hanno costituito un'occasione importante per la diffusione dell'ingegneria naturalistica in Toscana. Dal punto di vista tecnico è stato possibile ricavare alcune indicazioni in merito all'applicabilità nell'Italia peninsulare delle tecniche ormai consolidate per la regione alpina ed alle modifiche ed agli aggiustamenti necessari (Galeotti in Preti et al., 1999).

Gli strumenti di programmazione entro i quali sono stati realizzati lavori comprendenti opere di ingegneria naturalistica sono i seguenti:

- interventi di somma urgenza di cui all'art. 10 Ordinanza Dipartimento Protezione Civile n. 2449/96;
- Piano di interventi infrastrutturali d'emergenza e di prima sistemazione idrogeologica (art. 3 Ordinanza Dipartimento Protezione Civile n. 2449/96);
- Piano per il completamento degli interventi infrastrutturali di emergenza e di prevenzione (art. 6 L. n. 677/96);
- Reg. 2081/93 CEE Misura 2.1;
- Reg. 2081/93 CEE Misura 6.4, azione "Interventi per l'attività di ricerca" e azione "Interventi per la programmazione e la realizzazione di opere di rinaturalizzazione";
- L.R. n. 10/89 Programmi annuali d'intervento 1996, 1997, 1998.

La pianificazione e la progettazione degli interventi di sistemazione ha seguito in primo luogo le disposizioni contenute nell'art. 1 (salvaguardia incolumità pubblica e privata, ripristino stato dei luoghi eliminando preesistenti situazioni di pericolo) e nell'art. 3 ("prevenire il ripetersi di rischi e danni per le popolazioni e le infrastrutture in concomitanza con eventi analoghi a quelli verificatisi") dell'Ordinanza del Dipartimento Protezione Civile n. 2449/96. Quest'ultimo articolo ha avuto la significativa conseguenza di portare all'assunzione, come parametri di progetto, dei valori idrologici e idraulici verificatisi il 19 giugno 1996, che come detto hanno avuto connotati di eccezionalità.

Sono state di riferimento anche specifiche direttive del Consiglio Regionale (deliberazione n. 289 del 23 luglio 1997) che ha fatto proprie le indicazioni del documento di indirizzi approvato dal Parco delle Apuane in cui sono contenute indicazioni per la conservazione della biodiversità e l'uso durevole dei suoi componenti negli interventi di ripristino ambientale effettuati con le tecniche di ingegneria naturalistica. Tali criteri riguardano soprattutto quali specie arboree ed arbustive, del contingente floristico del luogo, siano suscettibili o meno di utilizzazione nei recuperi ambientali lungo i corsi d'acqua. Va infatti ricordato che molte sistemazioni dei versanti montani dissestati sono andate a localizzarsi all'interno del Parco Regionale delle Alpi Apuane, per cui era inevitabile pretendere una particolare attenzione alla provenienza del materiale da propagazione. All'ingegneria naturalistica, condotta in un'area di elevato valore ambientale, è stato richiesto un utilizzo esclusivo e controllato di specie vegetali autoctone, nelle loro espressioni ecotipiche locali, anche al fine di valorizzarne

le intrinseche potenzialità adattative e, nel contempo, di impedire l'introduzione e la diffusione di entità estranee al popolamento floristico originario del territorio (Bartelletti, Amorfini, 2000).

Le principali situazioni di dissesto in cui sono stati effettuati, o programmati, interventi di difesa del suolo con tecniche di ingegneria naturalistica sono le seguenti:

- movimenti franosi superficiali tipo *debris flow*;
- rete idrografica minore.

In alcune situazioni non si è ritenuto opportuno sostituire le sistemazioni "tradizionali" con quelle di ingegneria naturalistica. È il caso di opere a difesa diretta di centri abitati e infrastrutture, opere alte o con spazi ridotti a disposizione, movimenti franosi profondi e strutture soggette a forti spinte, corsi d'acqua con elevata pendenza longitudinale e con trasporto solido abbondante e molto grossolano.

È comunque interessante sottolineare come l'impiego integrato delle tecniche di ingegneria naturalistiche con quelle tradizionali si sia rivelato efficace ed abbia consentito di allargarne il campo di intervento. L'integrazione è stata realizzata sia impiegando le due metodologie di intervento separatamente nello spazio, pur nell'ambito dello stesso dissesto (briglie in muratura; difese di sponda e sistemazione delle soprastanti scarpate con l'ingegneria naturalistica), sia contestualmente sulla stessa opera (palificate doppie su versante fondate su micropali).

Come sottolineato, i metodi di ingegneria naturalistica sono quelli che meglio si sono prestati per gli interventi effettuati nelle località remote e distanti dalla viabilità carrozzabile, in quanto consentono di minimizzare i materiali di apporto esterno all'area di cantiere e impiegano mezzi meccanici particolarmente adatti ad operare al di fuori da una viabilità definita, come ad esempio l'escavatore ragno e l'elicottero. Inoltre questo tipo di interventi comportano una forte incidenza di manodopera e molte lavorazioni sono effettuate completamente a mano e quindi l'utilizzo in aree remote è, anche per questo aspetto, proficuo.

La gamma di interventi portati a termine è assai vasta e di difficile sintesi compendiativa. La tipologia di tecniche di ingegneria naturalistica utilizzate è dunque notevolmente articolata, benché ricorrano e siano più diffuse quelle opere di sistemazione basilare quali le viminate e le palizzate in legname e ferro, le gabbionate in certi casi coperte con biostuoie di juta o con reti di nylon, nonché le palificate in legname e talvolta anche in pietrame, doppie o singole, con o senza talee di salici. A ciò si aggiungono anche interventi più complessi di regimazione idraulica, quali, ad esempio, le canalette di drenaggio con sponde rinforzate in legname e pietrame e alcune serie di briglie selettive in legname e pietrame a salti multipli, di particolare valenza anche estetica oltre che funzionale (Galeotti in Preti et al., 1999).

8. Conclusioni

L'evento meteorico e i conseguenti fenomeni idrologici e idraulici, di disse-

sto idrogeologico e di trasporto solido che hanno interessato il 19 giugno 1996 il bacino del torrente Vezza in alta Versilia ed il bacino della Tùrrite di Galliciano in Garfagnana, sono stati imponenti per estensione ed intensità.

Le caratteristiche di eccezionalità dell'evento, le particolarità del contesto geo-morfo-climatico dell'area ed il ruolo della vegetazione hanno richiesto metodologie di analisi innovative ed un livello di approfondimento adeguato anche per poter procedere alla progettazione e realizzazione degli interventi di sistemazione più adeguati ed efficaci.

La fase di ricostruzione è stata un formidabile banco di prova per porre in essere interventi di messa in sicurezza e di più generale riassetto idrogeologico dei bacini interessati dall'evento. Le opere di difesa del suolo sono state progettate attingendo il più possibile alle più recenti conoscenze sviluppate nel campo delle sistemazioni idrogeologiche ed idraulico-forestali, riservando uno spazio considerevole alle tecniche di ingegneria naturalistica (cfr. Appendice in allegato).

A consuntivo, si può ritenere che il territorio dell'alta Versilia e della Garfagnana, ha già raggiunto un notevole livello di sicurezza idraulica e tenuta idrogeologica, presentando un panorama, unico nel suo genere, di opere ed interventi, talvolta pure sperimentali, di sistemazione dei corsi d'acqua e dei versanti.

Bibliografia

1. Amorfini A., A. Bartelletti, L. Zocco Pisana, 1997: *Dissesto idrogeologico e soprassuoli boschivi: il caso di Cardoso e Fornovolasco, nelle Alpi Apuane, durante gli eventi del 19 giugno 1996*. Atti del Convegno "Piano di bacino dell'Arno e dissesto idrogeologico", Putignano Pisano, 7 marzo 1997, Viareggio, 47-54.
2. AA.VV., 1994: *La valutazione delle piene in Italia*. CNR-GNDCI. Rapporto Nazionale di sintesi, Roma.
3. AA.VV., 1998: *19 giugno 1996: Alluvione in Versilia e Garfagnana*, a cura di Renzo Rosso e Leonello Serva, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente-Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale in Toscana.
4. Bacchi B., A. Brath, U. Maione, 1993: *Sul dimensionamento delle reti di drenaggio con la metodologia dell'evento critico*. Idrotecnica 1.
5. Bartelletti A., A. Amorfini, 2000: *Gli interventi di ingegneria naturalistica nelle aree protette e nelle aree di elevato valore ambientale; in "Principi e linee guida per l'ingegneria naturalistica". Vol. 1: Processi territoriali e criteri metodologici*. Regione Toscana, Firenze, 48-54.
6. Bartelletti A., A. Amorfini, E. Guazzi, L. Zocco Pisana, 1998: *Lo studio della vegetazione per la definizione dei rapporti tra dissesti idrogeologici e copertura forestale negli eventi alluvionali del 19 giugno 1996 all'interno del Parco Regionale delle Alpi Apuane*. Atti del convegno "Lo studio della vegetazione con il metodo fitosociologico per la programmazione e la gestione delle aree protette", Pavia, 23 gennaio 1998, Archivio Geobotanico 4(1), 35-38.
7. Bartelletti, A., A. Amorfini, L. Zocco Pisana, 1997: *Dissesto idrogeologico e nuovi assetti forestali nel Parco delle Alpi Apuane*. Parchi, 20, 16-18.
8. Bartelletti A., M. Miozzo, S. Bracciotti, R. Giannini, A. Amorfini, L. Zocco Pisana, A. Bichi, I. Ronchieri, C. Fagarazzi, F. Rocchi, 1996: *Studio per la definizione delle relazioni tra dissesti idrogeologici e copertura forestale nei bacini montani interessati dagli eventi allu-*

- vionali del 19 giugno 1996 nelle Alpi Apuane. Relazione per il Commissario regionale agli eventi alluvionali.
9. Bartelletti A., C. Nepi, 1996: *L'alluvione in Versilia e Garfagnana del 19 giugno 1996*. Inserto redazionale "Siac Notizie", 10 (3-4), 1-8.
 10. Billi P., 1996: *Caratterizzazione sedimentologica dei materiali detritici d'alveo e di esondazione depositi dal fiume Versilia e dai Torrenti Cardoso, Vezza e Tùrrite di Galliciano durante l'evento alluvionale del 19/06/1996*. Regione Toscana.
 11. Bovis M.J., 1986: *The morphology and mechanics of large scale slope movements, with particular references to southwest British Columbia*. In: Hillslope Processes, The Binghampton Symposia in Geomorphology, A.D. Abrahams (ed).
 12. Brugioni M., G. Menduni, R. Rosso, M.C. Rulli, 1997: "La modellazione dell'innescò di fenomeni gravitativi superficiali sui versanti in seguito ad eventi meteorici di elevata intensità", in "La difesa idraulica del territorio", a cura di Ugo Maione ed Armando Brath, Editoriale Bios, Cosenza.
 13. Caine N., 1980: *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flow*, Geografiska Annal, 62A, 23-27.
 14. Campbell R.H., 1975: *Soil slips, debris flow and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, Southern California*. Geological Survey Professional Paper 851, Washington.
 15. Cancelli A., R. Nova, 1985: *Landslides in soil e debris cover triggered by rainfall in Valtellina (Central Alps-Italy)*. Proc. IV Conf. & Field Workshop on Landslides, Tokio.
 16. Cascini L., P. Versace, 1986: *Eventi pluviometrici e movimenti franosi*. Atti XVI Conv. Naz. di Geotecnica, Bologna, 3, 171-184.
 17. Cascini L., P. Versace, 1988: *Relationships between rainfall and landslides in a gneissic cover*. Proc. 5th Int. Symp. On Landslides, Lausanne, 1, 565-570.
 18. Copertino V.A., M. Fiorentino, 1994: *Valutazione delle Piene in Puglia*. Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente. Università degli Studi della Basilicata. GNDCI.
 19. Ferrari E., S. Gabriele, ...Rossi Fiume, P. Versace, P. Villani, 1992: *Aspetti climatici, geologici e morfologici nella regionalizzazione*. Atti del 23° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idraulica, Firenze.
 20. Gabriele S., G. Iiritano, 1994: *Alcuni aspetti teorici ed applicativi nella regionalizzazione delle piogge con il modello TCEV*. CNR-GNDCI. Linea 1 U.O. 1.4. Rende.
 21. Galeotti L., G. Bonaldi, M. Palazzetti, 1996: *Censimento dei dissesti*. Comunità Montana Alta Versilia, Seravezza (LU).
 22. Govi M., P.F. Sorzana, 1980: *Landslides susceptibility as a function of critical rainfall amount in Piedmont basins (NW Italia)*. Studia Geomorphologica Carphato-Balcanica, 14, 43-61.
 23. Hooke R., B. LE, 1987: *Mass movement in semi-arid environments and the morphology of alluvial fans*. In: Slope Stability, M.G. Anderson & K.S. Richards, John Wiley & Sons.
 24. Hutchinson J.N., R.K. Bhandari, 1971: *Undrained loading, a fundamental mechanism of mudflows and other mass movements*. Geotechnique, 21: 353-358.
 25. Hutchinson J.N., 1988: *General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*. Proc. 5th Int. Symp. On Landslides, Lausanne, 1, 3-35.
 26. Jibson R.W., 1989: *Debris flow in southern Puerto Rico*. Geol. Soc. Am. Spc. Pub., 236, 1-13.
 27. Lombardi L., L. Galeotti, D. Viciani, 2000: *Ricerche fitosociologiche in un bacino a rischio idrogeologico delle Alpi Apuane: Il fosso delle Rave*. Parlatorea, 4, 75-90.
 28. Preti F., D. Settesoldi, B. Mazzanti, E. Paris, 1996: *Criteri e procedure per la valutazione*

delle piene nel territorio toscano. XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino.

29. Preti F., E. Paris D. Settesoldi, 1996: *Evento alluvionale del 19 giugno 1996 in Versilia-Garfagnana: ricostruzione degli idrogrammi di piena*, Atti a cura di M. Falciai e F. Preti del Convegno sul trentennale dell'alluvione di Firenze - La difesa dalle alluvioni, Firenze, 4-5 Novembre 1996, n. 1963, CNR-GNDICI, Tecnoprint, Bologna., 341-353.
30. Preti F., L. Galeotti, M. Brugioni, 1999: *Caratterizzazione dell'evento alluvionale del 19 giugno 1996 in Versilia e Garfagnana per gli interventi di sistemazione idraulico-forestale*, Monti&Boschi, 3-4, 21-28.
31. Rapetti C., F. Rapetti, 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., Ser. A, 103, 143-159.
32. Regione Toscana, Ufficio del Commissario per gli Eventi Alluvionali, 1996: *Verifica idraulica del Fiume Versilia e dei suoi principali affluenti*.
33. Regione Toscana, Ufficio del Commissario per gli Eventi Alluvionali, 1996: *Interventi di sistemazione idraulica del Torrente Tùrrite di Galliciano e affluenti*.
34. Regione Toscana, Ufficio del Commissario Eventi Alluvionali, 1996: *Evento del 19 giugno 1996: analisi preliminare*, a cura di E. Paris, F. Preti e D. Settesoldi, 1996.
35. Romagnoli L., 1963: *Ricerche pedologiche sulle Alpi Apuane. Nota I e II*. Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali, 12, 347-410.
36. Rulli M.C., G. Menduni, M. Brugioni, R. Rosso, 1998: *Considerazioni sulla stabilità dei pendii al fine di una modellazione distribuita dei movimenti gravitativi superficiali innescati da eventi meteorici intensi*. Atti del Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania.
37. Soil Survey Staff, Soil Conservation Service, *Soil Taxonomy*. Agriculture Handbook, n. 436, 1975.
38. Varnes D.J., 1978: *Slope movements type and process*. Chap. 2 in: *Landslides analysis and control*, R.L. Schuster & R.J. Krizek (eds.), Special report 176, 11-33, Washington D.C., 1.