

# La Dendrogeomorfologia nello studio dei movimenti di versante: alcune recenti applicazioni in Italia

21

GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE

2/97

ROSANNA FANTUCCI  
Geologo

## 1. Introduzione

La dendrocronologia è la scienza che si occupa della collocazione temporale degli anelli annuali di accrescimento delle piante arboree [KAENNEL & SCHWEINGRUBER, 1995] e viene applicata in diversi settori come quello archeologico, forestale, climatologico, ecologico e geologico. ALESTALO [1971] fu il primo ad utilizzare la metodologia dendrocronologica per lo studio di diversi processi geomorfologici quali i movimenti di versante, i processi vulcanici, littorali, fluviali, glaciali, periglaciali ed eolici, chiamando questo tipo di studi «analisi dendrogeomorfologiche». I principi dell'analisi dendrogeomorfologica e le sue principali applicazioni sono stati riassunti tramite un accurato esame della bibliografia disponibile da SHRODER [1980] e HEIKKINEN [1994]. I principali disturbi e reazioni delle piante arboree interessate dai movimenti di versante sono riportati in tabella 1. La formazione del «legno di reazione», prodotto dalle conifere (legno di compressione) e dalle latifoglie (legno di tensione), è tra le principali reazioni che le piante arboree, interessate da movimenti di

versante, manifestano [GNACCOLINI & OROMBELLI, 1972; SHRODER, 1978; CLAGUE & SOUTHER, 1981; BEGIN & FILION, 1988; HUPP, 1984; DENNELER & SCHWEINGRUBER, 1993] (Tab.1).

Negli studi eseguiti finora la dendrogeomorfologia è stata utilizzata con successo nell'analisi dei movimenti di versante di vario tipo [VARNES, 1958] quali: le colate di detrito (*debris flow*) [STRUNK, 1992; VAN ASCH & VAN STEIJN, 1991; CLAGUE & SOUTHER, 1982; HUPP, 1984], le colate argillose (*mud flow*) [LIONEL & JACKSON, 1977; BRAAM et al., 1987a; FANTUCCI & McCORD, 1995], le colate di terra (*earth flow*) [BOVIS & JONES, 1992], le colate di roccia (*rock flow*) [FANTUCCI & SORRISO VALVO, 1997], i lenti colamenti superficiali (*creeping*) [PARIZEK & WOODRUFF, 1957; DENNELER & SCHWEINGRUBER, 1993], gli scorrimenti rotazionali [JIBSON & KEEFER, 1988; BEGIN & FILION, 1988; TERASME, 1975; BURN & FRIELE, 1989], gli scorrimenti traslativi [JIBSON & KEEFER, 1988; AIPASSA & SHIMIZU, 1988; OROMBELLI & GNACCOLINI, 1980] ed i crolli [PORTER & OROMBELLI, 1980; BEDNARZ, 1986; MOSS & ROSENFELD, 1978].

| MOVIMENTI<br>DI<br>VERSANTE | DISTURBI SULLE PIANTE                      | REAZIONI DELLE PIANTE                                                                                                 |
|-----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | Inclinazione della pianta                  | Curvatura del tronco<br>Produzione di legno di reazione<br>Anomalie di crescita<br>(riduzioni, aumenti, eccentricità) |
|                             | Abrasioni del cambio                       | Sviluppo di cicatrice                                                                                                 |
|                             | Seppellimento del tronco                   | Anomalie di crescita (riduzioni)<br>Crescita di radici avventizie                                                     |
|                             | Denudamento delle radici                   | Anomalie di crescita (riduzioni)                                                                                      |
|                             | Rotture nel tronco<br>Rotture nelle radici | Anomalie di crescita (riduzioni)<br>Sviluppo di cicatrici<br>Produzione di nuovi rami o radici                        |
|                             | Denudamento di un'area                     | Successione (ricolonizzazione)                                                                                        |
|                             | (Adattata da Shroder 1978, 1980)           |                                                                                                                       |

Tab. 1 - Elenco dei principali disturbi e reazioni delle piante interessate da movimenti di versante.

Alcune delle principali ricerche dendrogeomorfologiche, eseguite in Italia ed applicate allo studio dei fenomeni franosi, hanno condotto alla datazione della frana del Vajont tramite le anomalie di crescita di conifere interessate dall'evento [OROMBELLI & GNACCOLINI, 1972], alla datazione di una frana mediante un tronco fossile rinvenuto in Toscana [CORONA, 1972], alla stima dell'età minima di un deposito franoso ricolonizzato da una comunità di larici, nei pressi del Monte Bianco [PORTER & OROMBELLI, 1980], allo studio dei periodi di riattivazione di una frana del centro Italia tramite l'analisi delle anomalie di crescita [FANTUCCI & McCORD, 1995] ed alla correlazione tra anomalie di crescita e periodi di riattivazione di una frana in Calabria, specialmente in concomitanza di eventi sismici di notevole intensità [FANTUCCI & SORRISO VALVO, 1997].

## 2. Materiali e metodi

L'analisi dendrogeomorfologica si basa sull'analisi dendrocronologica di campioni provenienti da piante viventi in una zona soggetta a disturbo geomorfologico, recente o passato, e di piante non interessate da tale processo, riferite quindi ad una zona di controllo. Non tutte le specie arboree sono utilizzabili per questo tipo di analisi, difatti solamente le piante dette «sensitive», in cui si riscontra una notevole variabilità annuale dell'ampiezza anulare di accrescimento, sono ritenute idonee. In queste piante è possibile individuare anelli di crescita dotati di ampiezza particolarmente ridotta o ampia che costituiscono dei veri e propri capisaldi nella datazione dei campioni arborei e sono denominati «anni caratteristici» [STOKES & SMILEY, 1968; FRITTS, 1976; KAENNEL & SCHWEINGRUBER, 1995].

### 2.1. Campionamenti non distruttivi

Il campionamento nelle indagini dendrogeomorfologiche è generalmente di tipo non distruttivo ed è effettuato mediante il «succhiello di Pressler». Questo è un carotiere dotato di una punta tubolare cava e di un estrattore, viene inserito manualmente nel tronco degli alberi e permette di estrarre dei campioni denominati «carote» di 0.5 cm di diametro e lunghezza variabile in funzione della grandezza della pianta. Nell'analisi dendrogeomorfologica vengono campionate piante con segni di disturbi, quali inclinazioni e curvature del tronco, provenienti dal deposito franoso in esame. Da ognuna di queste piante arboree si prelevano un campione in direzione opposta all'inclinazione del tronco ed un secondo campione, alla stessa altezza, perpendicolare o opposto al primo, in modo da evidenziare al massimo i disturbi di accrescimento dell'albero. Anche dalle piante arboree provenienti dalla zona stabile di controllo, con tronco

verticale, si prelevano due campioni, in direzione opposta tra di loro, paralleli alle curve di livello.

Un esempio di mappa di campionamento in indagine dendrogeomorfologica è indicato in figura 1, in cui sono mostrate due fotografie relative ad alberi inclinati, campionati su un corpo di frana (Foto A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>), ed una fotografia relativa ad un albero verticale proveniente da una zona stabile di controllo (Foto B).

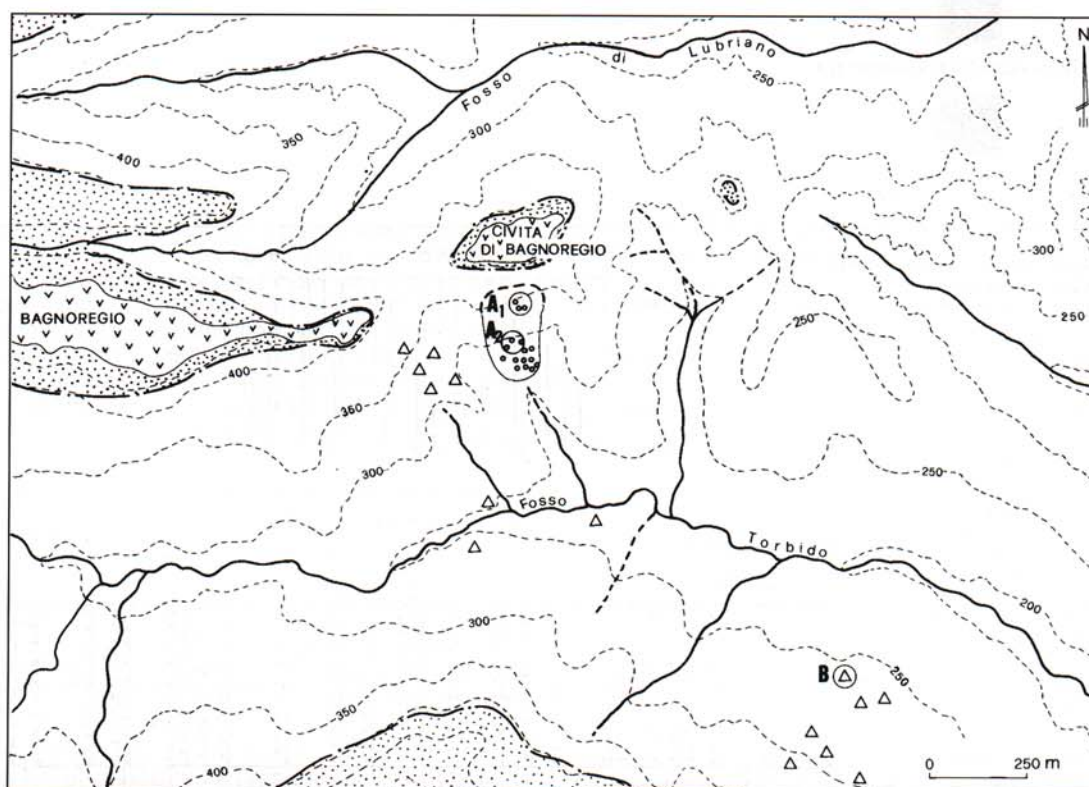
### 2.2. Datazione dei campioni

Una volta estratte, le «carote» vengono montate su opportuni supporti di legno e preparate per l'analisi dendrocronologica. Essa ha inizio con la costruzione di un grafico, per ciascun campione, denominato «skeleton plot». Su di esso vengono attribuite delle linee di diversa lunghezza, ai singoli anelli annuali di accrescimento, in funzione del loro rapporto con le ampiezze degli anelli immediatamente precedenti e successivi (Fig. 2) [STOKES & SMILEY, 1968]. Questo tipo di grafico permette di evidenziare gli «anni caratteristici», dotati di spessore particolarmente ridotto o ampio, usati per la datazione dei campioni legnosi. Il confronto tra i vari skeleton plot e la costruzione di uno «skeleton plot master», permettono di datare i singoli campioni, valutando l'eventuale assenza di alcuni anelli e/o la presenza di falsi.

Successivamente, gli anelli dei singoli campioni vengono misurati tramite un micrometro, costruendo la «curva di crescita» di ciascun campione, con le ampiezze degli anelli in funzione del tempo. Le curve sono quindi controllate tramite programmi computerizzati (es.: COFECHA, [HOLMES R., 1983]), che permettono di verificare l'esatta datazione, la presenza di eventuali falsi anelli ed errori di lettura. Già dalla semplice analisi delle curve di crescita, relative ai campioni legnosi, si possono comunque distinguere i campioni arborei che sono stati soggetti a disturbi locali, da quelli che mostrano solamente normali variazioni di crescita, legate a fattori climatici. Nella figura 3 sono mostrati tre esempi di curve di crescita relativi a campioni provenienti dalla zona di studio della frana di «Lago» (CS). Il campione arboreo C 4b non mostra anomalie di crescita mentre il campione C 9b mostra una forte riduzione a partire dal 1871 (anno seguente al sisma del 1870 di Cosenza) come pure il campione C 10a indica una forte riduzione a partire dal 1932. Nel primo caso (C 9b) lo stress è stato così intenso che la pianta non ha mai recuperato la sua crescita normale, mentre nel secondo caso (C 10a) dopo una ventina di anni l'albero ha ripristinato un normale sviluppo.

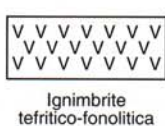
### 2.3. Analisi delle anomalie di crescita

I campioni, datati e misurati, vengono quindi sottoposti all'analisi visiva delle anomalie di accrescimento, secondo il metodo adottato da Schweingruber [SCHWEINGRUBER et al., 1990].

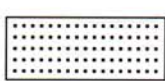


# LEGENDA

Pleistocene



Ignimbrite  
tefrítico-fonolitica



Tufi stratificati



Alberi campione  
in zona stabile

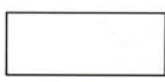


A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub> Foto  
alberi disturbati



Limite frana esaminata

Plio-Pleistocene



Argille  
ed argille sabbiose



Alberi campione  
su frana



B Foto albero indisturbato

Fig.1 - Civita di Bagnoregio (VT), alberi su frana caratterizzati da inclinazioni del tronco (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>) ed albero sito in zona stabile privo di anomalie morfologiche del tronco (B). Gli alberi esaminati sono querce appartenenti alla specie Roverella (*Quercus Pubescens Willd.*).

Fig. 2 - Esempio di costruzione di uno «skeleton plot».

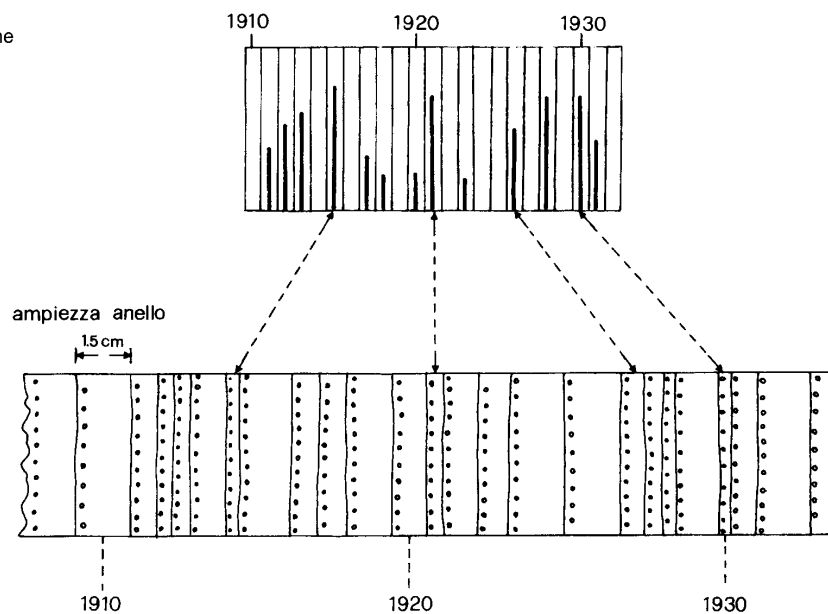
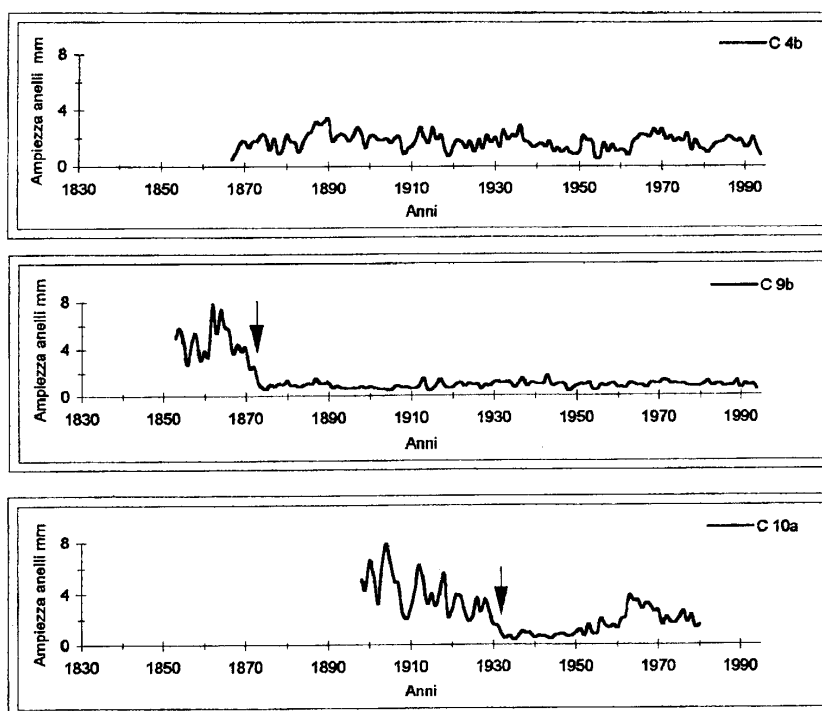


Fig. 3 - Curve di crescita di campioni arborei provenienti dalla frana di «Lago» (CS). I campioni C 9b e C 10a mostrano riduzione di crescita a partire dal 1871 e 1932 rispettivamente, mentre il campione C 4b non presenta anomalie di accrescimento.





L'analisi consiste nell'individuare, ove presenti, improvvise riduzioni o aumenti di crescita, purché abbiano una durata uguale o superiore ai quattro anni. Ciascun gruppo di anomalie è suddiviso in tre classi a seconda dell'intensità del fenomeno (vedi Fig. 4). L'analisi visiva delle anomalie di crescita è stata applicata dall'autore in tre aree franose: due in Italia centrale, nella zona della Riserva Naturale di Monte Rufeno-Acquapendente (VT) [FANTUCCI & McCORD, 1995] e nei pressi di Civita di Bagnoregio (VT) (progetto C.E. Meffist), ed una in Italia meridionale, frana di «Lago» (CS) (progetto C.E. Teslec) [FANTUCCI & SORRISO VALVO, 1997]. Nelle tre zone sono state esaminate piante arboree appartenenti a varie specie di querce. Nelle aree studiate, le piante campionate, provenienti dai depositi franosi, hanno mostrato generalmente forti anomalie, quali improvvise riduzioni di crescita, correlabili a rotture nell'apparato radicale e/o ad inclinazioni del tronco verificatesi in concomitanza di momenti di riattivazione delle frane. Un secondo tipo di anomalia (improvvisi aumenti di crescita), più raro, segue a volte le riduzioni di crescita ed è probabilmente dovuto ad un miglioramento delle condizioni generali dell'albero, successive allo stress subito a causa del disturbo geomorfologico. Le migliori condizioni di sviluppo dell'albero si verificano quando lo stesso viene a trovarsi in situazioni di minore competitività con gli alberi limitrofi, perché non sopravvissuti all'evento, e/o perché il substrato pedologico risulta più favorevole alla crescita (miglioramento delle proprietà chimico-fisiche del suolo). Differenze evidenti tra campioni arborei con e senza anomalie di crescita sono mostrate in figura 5. Queste «carote» provengono da querce appartenenti alla specie Cerro (*Quercus cerris* L.) della zona franosa di Monte Rufeno (VT). La riduzione di crescita registrata nel campione arboreo (5a) è ben evidente ed inizia nel 1963, mentre nello stesso intervallo di tempo, il campione (5b), prelevato in zona stabile, non mostra segni di anomalie. Le anomalie di accrescimento di tipo riduttivo sembrano non dipendere dalla tipologia e dimensione dei dissesti franosi esaminati. Infatti, sia nel caso della Riserva Naturale di Monte Rufeno (VT) con una frana classificabile come recente e tipo scorrimento-colata (dimensione 40 ha), sia nel caso della frana di Lago (CS), tipo sackung (dimensione 1.300 ha), con spessore molto superiore alla precedente, sono state riscontrate le stesse improvvise riduzioni di crescita sugli alberi campionati. Nella frana investigata a Sud di Civita di Bagnoregio (VT), i risultati dell'indagine dendrogeomorfologica hanno invece evidenziato una stabilità del dissesto nell'intervallo di tempo analizzato (1880-1994) con assenza di anomalie di accrescimento; dato confermato da notizie storiche disponibili sui movimenti dei versanti circostanti il centro abitato. L'evidenza di questi tipi di anomalie (forti riduzioni di crescita), sono stati riscontrati preceden-

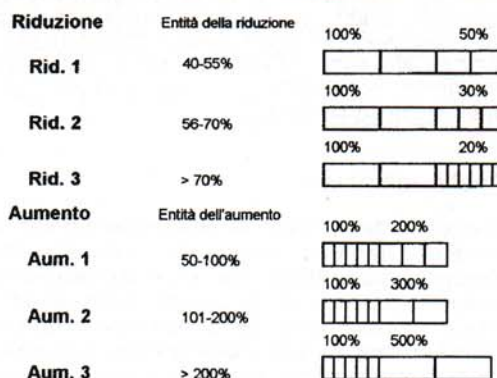
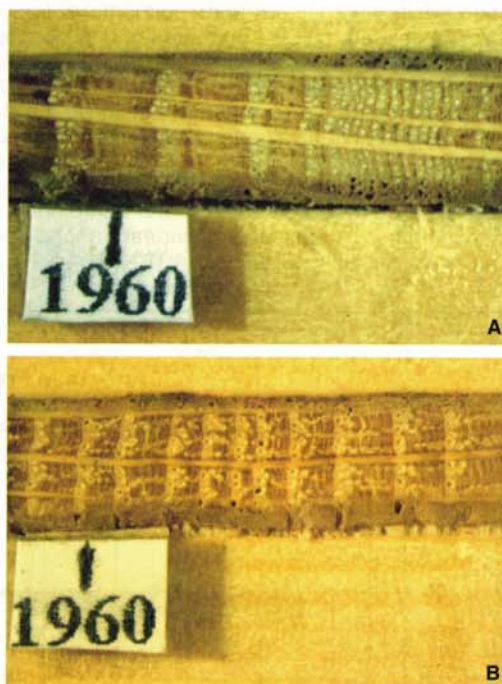


Fig. 4 - Analisi visiva delle anomalie di crescita secondo il metodo Schweingruber (1990).



(Foto M. Vollarò)

Fig. 5 - Campioni di querce appartenenti alla specie Cerro (*Quercus cerris* L.) provenienti dalla Riserva Naturale di Monte Rufeno (VT): campione 5A, proveniente dalla zona in frana, con anomalie di crescita - classe di riduzione III tipo (> 70%), verificatesi dal 1963; campione 5B, proveniente dalla zona di controllo, privo di anomalie



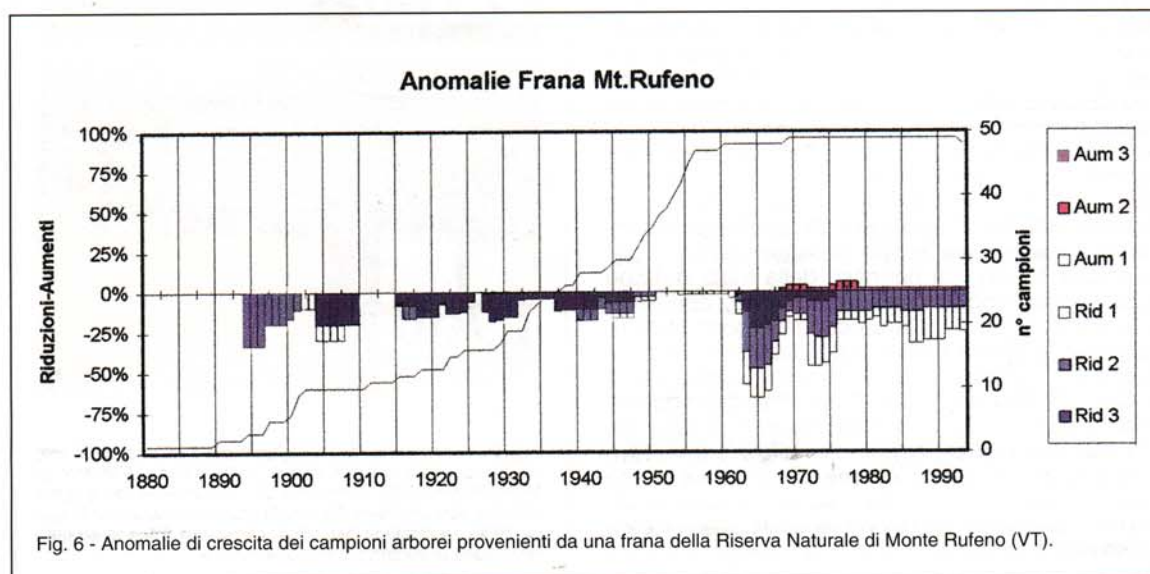
temente anche in altre ricerche dendrogeomorfologiche su frane, utilizzando campioni provenienti da conifere come pure da alberi decidui [OROMBELLI & GNACCOLINI, 1972; TERASME, 1975; SHRODER, 1978; HUPP, 1984; STRUNK, 1992; DENNELER & SCHWEINGRUBER, 1993].

### 3. Analisi temporale

La datazione dei momenti di attivazione e/o riattivazione di una frana tramite i risultati dell'analisi dendrogeomorfologica, utilizza i dati delle anomalie di accrescimento dei campioni arborei. Sommando le anomalie individuate nei campioni (valori in percentuale) in funzione della loro tipologia (riduzioni ed aumenti di accrescimento) e classe di intensità, si ottengono i valori relativi ai campioni, con anomalie di crescita in funzione del tempo. La figura 6 mostra un esempio in merito, riguardante i dati della ricerca eseguita sulla frana nella Riserva Naturale di Monte Rufeno (VT). Nell'intervallo di tempo esaminato (1890-1994) vi sono stati numerosi ed improvvisi incrementi delle anomalie di accrescimento di tipo riduttivo. Questi, attribuibili a momenti di disturbo della crescita delle piante arboree, hanno interessato una percentuale variabile di campioni dal 5 al 70%, a seconda dell'entità del fenomeno di disturbo. Le date dei momenti di riattivazione della frana sono state le seguenti: 1894, 1903, 1915-16, 1922, 1928, 1937, 1940, 1945, 1963, 1972, 1986; l'evento più intenso, nel 1963, ha coinvolto oltre il 70% dei campioni. Dal grafico in figura 6 si possono individuare anche i periodi di stasi dell'attività franosa (1910-1914 e 1950-

1960) e comunque un generale incremento di riattivazione del dissesto a partire dagli anni '60. I campioni di controllo prelevati in zona stabile non hanno mostrato alcuna delle anomalie rilevate nella zona franosa, confermando il rapporto causa - effetto tra attività franosa e anomalie di crescita delle piante [FANTUCCI & McCORD, 1995].

Ulteriori studi dendrocronologici, per la datazione di un evento franoso, possono essere eseguiti mediante l'esame di microfotografie su campioni dotati di anomalie di crescita. L'esame microscopico, eseguito su sezioni sottili, permette di definire con precisione in quale periodo di attività o stasi vegetativa si è verificato il disturbo franoso. Considerando le querce, alle nostre latitudini, il periodo di attività vegetativa in cui si formano gli anelli di crescita inizia in primavera e prosegue fino alla fine dell'estate; segue quindi un periodo di stasi dell'attività vegetativa, corrispondente all'autunno ed all'inverno. Dall'esame delle microfotografie è quindi possibile determinare se l'evento di disturbo nell'accrescimento della pianta si è verificato durante il periodo di stasi o il periodo di attività vegetativa. Questo esame, eseguito sui campioni della frana di Monte Rufeno (VT), ha chiaramente individuato che il disturbo sulle piante registrato a partire dal 1963, si era verificato nel periodo di riposo vegetativo corrispondente all'autunno-inverno del 1962-1963 [FANTUCCI & McCORD, 1995]. Il dato rilevato è risultato ben correlabile con l'autunno del 1962, particolarmente piovoso, confermato inoltre anche dall'analisi dei dati storici, relativi ai periodi di crisi dell'attività franosa nel bacino del Tevere [AVI-CNR, 1994].

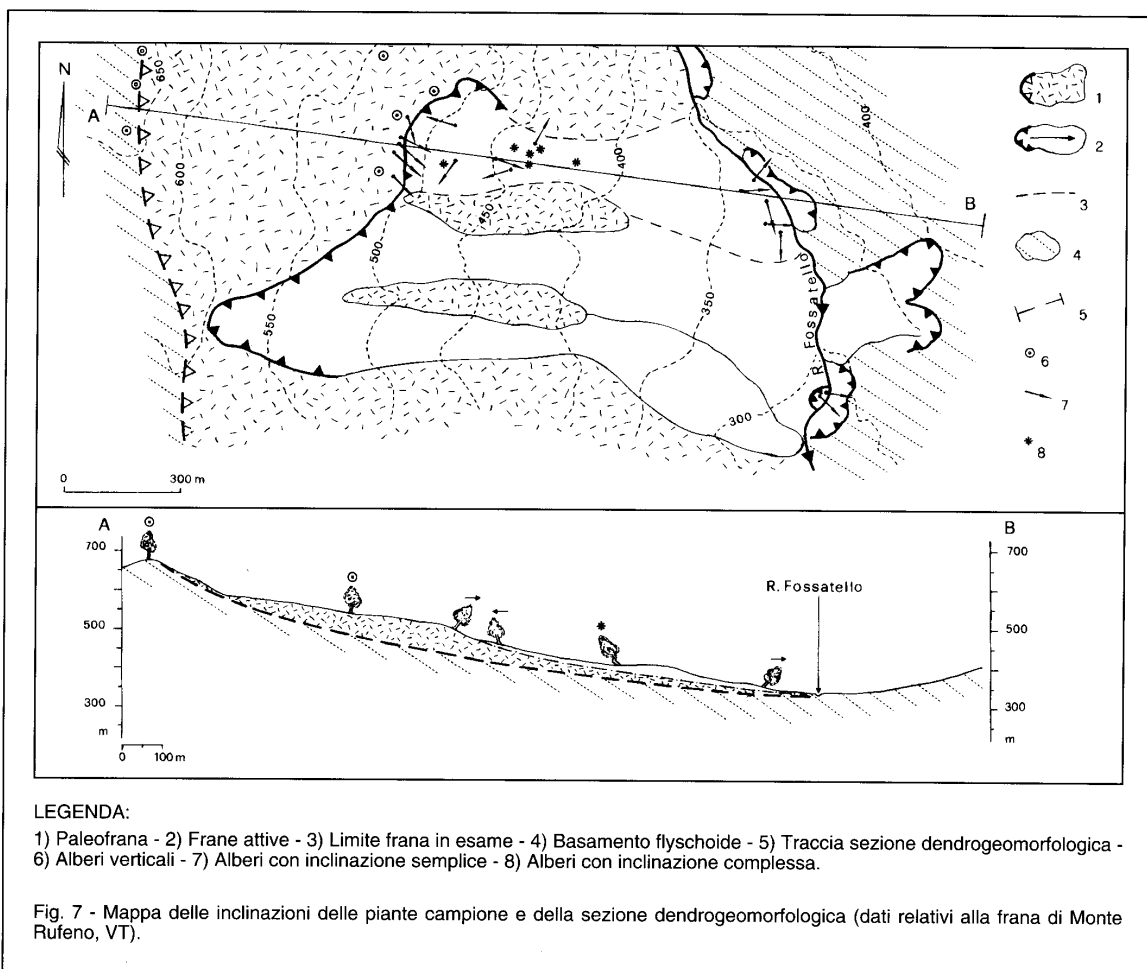


#### 4. Analisi spaziale

L'analisi spaziale consente di delimitare le aree soggette a dissesti franosi o potenzialmente instabili da quelle stabili. Sono possibili due tipi di analisi spaziale: la prima si basa sullo studio delle anomalie morfologiche degli alberi rilevate durante il campionamento, la seconda sulla costruzione di mappe spazio-temporali che forniscono indicazioni sull'evoluzione del dissesto franoso.

Il primo tipo di analisi prevede l'esame delle anomalie morfologiche delle piante mediante la registrazione di dati rilevati in campo quali: l'ubicazione degli alberi campione, la presenza o assenza di curvature semplici o complesse nel tronco, la loro direzione ed il loro grado di inclinazione. Questi dati possono essere utilizzati per la costruzione di una mappa delle inclinazioni delle piante campione e delle sezioni

dendrogeomorfologiche. Nella mappa delle inclinazioni in figura 7, gli alberi campionati mostrano diverse inclinazioni del tronco, a seconda della zona di provenienza: nella zona retrostante la corona di frana, sulla paleofrana e sulle zone stabili di riferimento, le piante hanno una normale crescita verticale, con assenza di curvature del tronco. In corrispondenza della zona di corona esse sono inclinate verso valle, mentre nella porzione medio-alta della frana sono generalmente inclinate in più direzioni (curvature complesse del tronco), a causa dei numerosi eventi di disturbo legati alla riattivazione del movimento. La porzione del piede del deposito franoso mostra una generale inclinazione delle piante verso il fondovalle. L'utilità di quest'analisi è quella di poter delimitare le zone soggette a disturbo franoso tramite il solo studio dell'aspetto morfologico delle piante, confrontandole con le piante limitrofe viventi in zona stabile.



Questo studio potrebbe fornire indicazioni utili sulla dinamica del movimento delle diverse porzioni del dissesto franoso, ma necessita comunque di ulteriori approfondimenti.

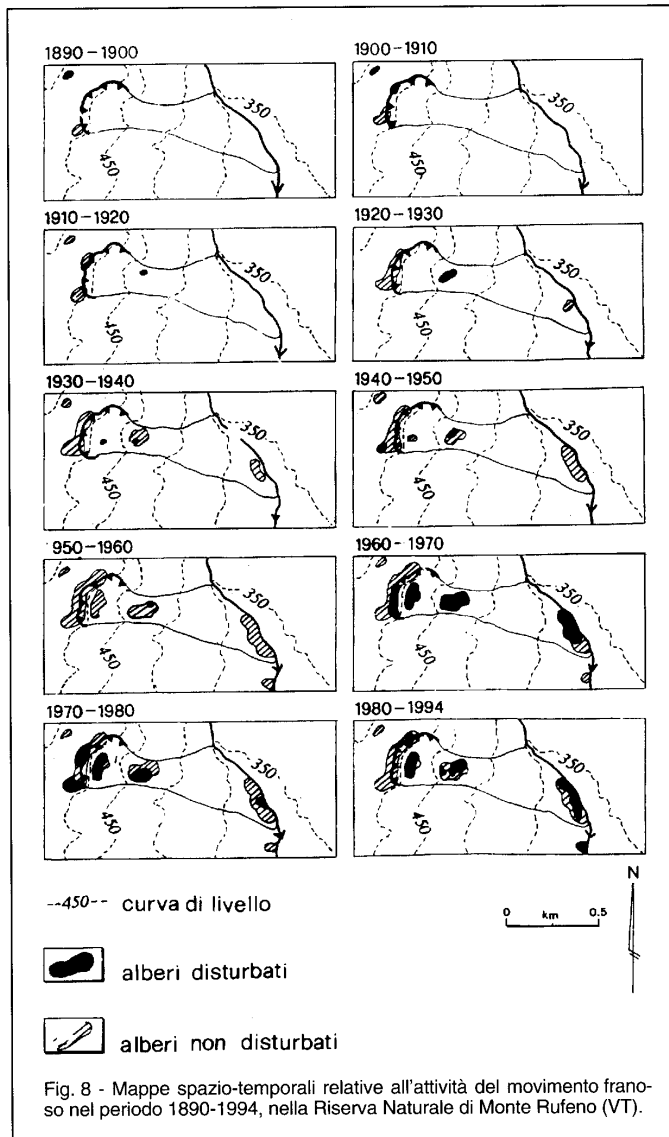
Il secondo tipo di analisi si basa sulla costruzione di mappe spazio-temporali, molto utili nell'esame della evoluzione della dinamica franosa.

Queste mappe si riferiscono a particolari intervalli di tempo, in cui vengono cartografati i campioni arborei esistenti in tale periodo, differenziandoli cartograficamente in base alla presenza o assenza di anomalie di crescita. Le mappe sono state utilizzate per l'individuazione dei periodi di stasi e di riattivazione del dissesto franoso, come pure per l'individuazione delle porzioni del corpo di frana riattivate durante tali movimenti.

La figura 8 mostra un esempio delle mappe spazio-temporali, relativo alla frana di Monte Rufeno (VT): dall'analisi della sequenza delle mappe (nell'intervallo di tempo esaminato dai campioni arborei, 1890-1994) è stato possibile trarre diverse informazioni quali:

- Nel periodo 1890-1910 le uniche piante esistenti erano situate a monte della corona di frana esaminata.
- Nel periodo 1910-20 iniziano ad apparire le prime piante sul corpo franoso in esame, nella zona centrale del deposito, area più disturbata fino al 1930. Le fotografie aeree del 1943 mostrano già la presenza della frana, con una concentrazione di alberi sopravvissuti al movimento franoso iniziale, nella porzione centrale, ed in minor parte, lungo il fronte di frana. Pertanto, poiché i primi alberi con disturbi risalgono al periodo 1910-30 e provengono proprio dalla porzione centrale del corpo di frana, si ipotizza l'attivazione di questa frana all'inizio del 1900, anche se non è possibile datare con precisione, in questo caso, il momento di attivazione del dissesto franoso.

- Tra il 1930 ed il 1960 escludendo disturbi locali di lieve entità, la frana mostra una generale situazione di stasi della sua attività.
- Nella mappa relativa al decennio 1960-70, viene rilevato un disturbo di notevole intensità, esteso a tutto il corpo franoso e collegabile ad un evento di riattivazione, databile, tramite l'ausilio delle microfotografie dei campioni disturbati, all'autunno del 1962.
- Nel periodo 1970-80, la zona disturbata è concentrata nella porzione centrale e di corona della frana.



In particolare, quest'area sembra arretrare a monte della corona di frana principale, a causa della formazione di una scarpata secondaria rilevata durante il campionamento.

- I disturbi continuano nel periodo 1980-94. In questo periodo un disturbo datato 1986 ha interessato anche la zona lungo il piede della frana, adiacente al fosso. In questo stesso anno è stato possibile datare con precisione uno smottamento lungo il fosso, a Sud della frana investigata.

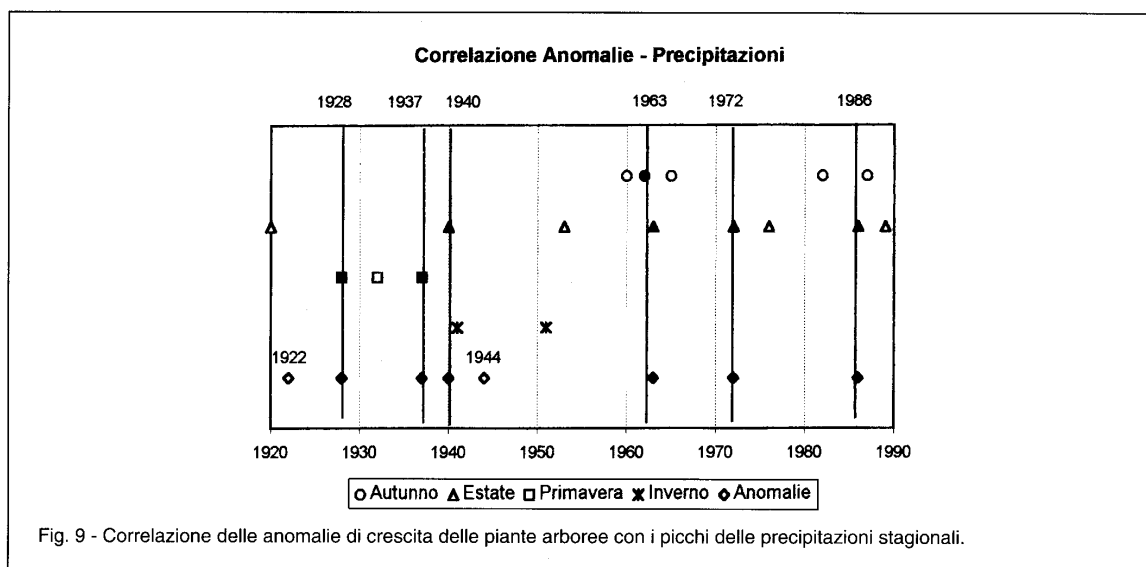


### 5. Correlazione tra anomalie di crescita delle piante e cause di riattivazione dei movimenti franosi.

Le cause determinanti la riattivazione dei movimenti franosi possono essere di varia natura (morfologiche, idrogeologiche, sismiche, antropiche, ecc.) [VALLARIO, 1992]. L'analisi dendrogeomorfologica permette di individuare e datare forti stress di crescita nelle piante arboree, indotti da periodi di attività della frana esaminata. In alcuni casi si è constatata una stretta connessione tra eventi sismici di notevole intensità ed anomalie di crescita delle piante legate a riattivazioni di frane. Ad esempio, sono stati riscontrati forti stress di crescita, a seguito di notevoli eventi sismici, che hanno interessato l'area della frana di «Lago» (CS) [FANTUCCI & SORRISO VALVO, 1997] quali i terremoti con epicentro a Cosenza (1854 e 1871) ed i terremoti del 1905 e del 1908, con epicentro nel Golfo di S. Eufemia e nella zona Calabro-Messinese [POSTPISCHL, 1985]. Questo tipo di relazione è stata individuata anche in precedenti ricerche dendrogeomorfologiche come quelle di JIBSON & KEEFER, 1988 e di FILION et al., 1991. In altri casi, come in quello relativo alla frana nella Riserva Naturale di Monte Rufeno (VT), si è osservata una notevole correlazione tra periodi particolarmente piovosi e datazioni di anomalie di crescita. In particolare, sono state analizzate le precipitazioni stagionali della stazione meteorologica di Acquapendente (VT), individuando i valori di picco superiori alla media ( $>1.5$  scarto quadratico medio), nel periodo di disponibilità dei dati meteorologici (1920-1989). Questi dati sono stati quindi confrontati con quelli relativi ai picchi di

anomalie di crescita delle piante campione. Nel grafico in figura 9 si nota che oltre il 75% delle date delle anomalie di crescita sono correlabili con stagioni (primavera ed estate) particolarmente piovose. Nel caso dell'anomalia registrata nel 1963, essa è stata correlata con la stagione autunnale, particolarmente piovosa, dell'anno precedente (1962), dato confermato dallo studio microfotografico delle anomalie di crescita sui campioni esaminati. Inoltre, nello stesso studio si è evidenziato che le stagioni particolarmente piovose, che possono aver indotto la riattivazione del movimento franoso, sono precedute da periodi siccitosi persistenti per diverse stagioni [FANTUCCI & McCORD, 1995]. Questa situazione, può aver favorito la formazione di fessure da tensione per il ritiro del materiale argilloso flyschoidale costituente il deposito franoso; il conseguente aumento della permeabilità secondaria avrebbe favorito l'infiltrazione nel periodo successivo, caratterizzato da intense e prolungate precipitazioni, diminuendo così il fattore di sicurezza del pendio e riattivando la frana. La correlazione tra anomalie di crescita e riattivazione di dissesti franosi in concomitanza di periodi di particolari precipitazioni meteoriche è stata riscontrata in precedenti studi eseguiti da diversi autori [SHRODER, 1978; HUPP, 1983b; BEGIN & FILION, 1988; KASHIWAYA et al., 1989].

L'esame della documentazione bibliografica e degli archivi storici in relazione ai dissesti franosi nelle aree in esame, può essere molto utile sia per determinare le cause che possono aver provocato le attivazioni e/o riattivazioni dei dissesti franosi, sia come supporto alle datazioni dei periodi di riattivazione dei movimenti franosi, rilevate tramite l'esame dendro-



geomorfologico. Nel caso della frana di Monte Rufeno (VT), alcune delle date rilevate dalle anomalie di accrescimento arboreo sono state confermate come periodi di crisi franosa, a scala regionale, nel bacino del Tevere: 1928, 1937, 1962, 1986 [AVI-CNR, 1994].

## 6. Conclusioni

Lo studio dendrogeomorfologico, finalizzato all'esame dell'evoluzione dei movimenti di versante ed in particolare dei dissesti franosi, è in grado di fornire numerose informazioni sulla datazione e sull'evoluzione di questi processi geomorfologici. Le piante, infatti, risultano degli ottimi «sensori naturali», in grado di registrare i movimenti dei versanti in quanto capaci di memorizzare sia esternamente, nella morfologia del tronco, che internamente, con le varie tipologie di anomalie di crescita, i disturbi arrecati da questi processi geomorfologici.

La potenzialità degli alberi di registrare i movimenti del terreno su cui vivono sono notevoli; studi eseguiti hanno dimostrato che anche l'inclinazione di pochi gradi del tronco di un albero, indotta da un movimento di versante, può indurre anomalie nell'accrescimento come brusche variazioni di eccentricità [ALESTALO, 1971]. Una delle anomalie di crescita più frequenti notata nelle piante interessate dai dissesti franosi è la improvvisa riduzione di accrescimento annuale. I dati ottenuti da un'analisi dendrogeomorfologica su frana, sono utilizzabili sia per l'esame temporale dell'evoluzione del dissesto franoso sia per l'esame spaziale delle aree soggette ai dissesti. La precisione nella datazione dei movimenti di versante è relativa all'anno dell'evento ma, tramite particolari analisi microscopiche di sezioni sottili dei campioni legnosi, è possibile ottenere una precisione stagionale e/o mensile [GNACCOLINI & OROM-BELLI, 1972; CLAGUE & SOUTHER, 1981; FANTUCCI & McCORD, 1995]. Oltre all'età delle piante campionabili, il principale fattore limitante l'utilizzo di questa metodologia è la presenza di specie arboree idonee per questo tipo di analisi (piante sensitive); è altresì necessario costruire una cronologia di controllo per mezzo delle piante situate in una o più aree stabili di riferimento, in prossimità delle zone in dissesto esaminate, da confrontare con gli accrescimenti anomali delle piante viventi sul corpo di frana.

L'analisi dendrogeomorfologica può essere quindi considerata una nuova metodologia per la determinazione del reale stato di attività di un'area franosa, con indiscutibili vantaggi quali la conoscenza immediata delle proporzioni dell'evento e la sua evoluzione nel tempo storico e, non ultimo, la possibilità di compiere dei «flash» in aree indiziate. Alla luce di quanto evidenziato, gli studi dendrogeomorfologici risultano quindi un notevole supporto alle tradizionali indagini geologiche, particolarmente utili nel caso di progetti di grandi opere come dighe, gallerie, ecc.

## RINGRAZIAMENTI

Le ricerche dendrogeomorfologiche citate nel presente articolo sono state svolte grazie a collaborazioni dell'autore al Progetto «Mefisst» del Programma Ambiente dell'U.E. (Dott. Claudio Margottini ENEA), al Progetto «Teslec» del Programma Ambiente dell'U.E. (Dott. Marino Sorriso-Valvo CNR-IRPI - CS), ed alla ricerca sulle aree in dissesto franoso finanziata dalla Riserva Naturale di Monte Rufeno (VT). Si ringraziano inoltre i Dott.ri Claudio Margottini e Luigi Gatti per i suggerimenti e la revisione del manoscritto ed il Dott. Diego Rughi per le elaborazioni grafiche.

## BIBLIOGRAFIA

- AIPASSA M. & SHIMIZU O. (1988): *Geomorphic process and natural revegetation on landslide scars in Teshio Experimental Forest, Hokkaido University*. Research Bulletins of the College Experiment Forests, 45 (3), 691-716.
- ALESTALO J. (1971): *Dendrochronological interpretation of geomorphic processes*. Fennia, 105, 1-140.
- AVI-CNR (1994). Prog. CNR G.N.D.C.I.: *Censimento delle aree italiane vulnerate da calamità geologiche. Catalogo delle calamità geologiche nelle regioni Lazio, Toscana e Umbria*.
- BEGIN C. & FILION L. (1988): *Age of landslides along the Grande Rivière de la Baleine estuary, easter coast of Hudson Bay, Québec (Canada)*. Boreas, 17, 289-298.
- BEDNARZ Z. (1986): *An example of the application of the tree-ring chronology of the Dwarf Mountain Pine (Pinus Mugo var Mughus Zenari) for the dating of geomorphological processes in the Tatra Mts.*. Dendrochronologia, 4, 75-77.
- BRAAM R.R., WEISS E.E.J., BURROUGH P.A. (1987a): *Spatial and temporal analysis of mass movements using dendrochronology*. Catena, 14, 573-584.
- BRAAM R.R., WEISS E.E.J., BURROUGH P.A. (1987b): *Dendrogeomorphological analysis of mass movement: a technical note on the research method*. Catena, 14, 585-589.
- BOVIS M.J. & JONES P. (1992): *Holocene hystory of earth-flow mass movements in south-central British Columbia: the influence of hydroclimatic changes*. Can. J. Earth Sci., 29, 1746-1755.
- BURN C.R. & FRIELE P.A. (1989): *Geomorphology, vegetation succession, soil characteristics and permafrost in retrogressive thaw slumps near Mayo, Yukon Territory*. Arctic, 42, 31-40.
- CLAGUE J.J. & SOUTHER J.G. (1982): *The Dusty Creek landslide on Mount Cayely, British Columbia*. Can. J. Earth Sci., 19, 524-539.
- CORONA E. (1972): *L'abete affiorato nella zona del Falterona (Toscana)*. Monti e boschi, III, 35-38.
- DENNELER B. & SCHWEINGRUBER F.H. (1993): *Slow mass movement. A dendrogeomorphological study in Gams, Swiss Rhine valley*. Dendrochronologia, 11, 55-67.
- FANTUCCI R. & McCORD A. (1995): *Reconstruction of landslide dynamic with dendrochronological methods*. Dendrochronologia, 13, 33-48.
- FANTUCCI R. & SORRISO VALVO M. (1997): *Dendrogeomorphological analysis of a landslide near Lago, Calabria (Italy)*. (sottoposto per accettazione a Geomorphology).

- FILION L., QUINTY F., BEGIN C. (1991): *A chronology of landslide activity in the valley of Rivière du Gouffre, Charlevoix, Quebec*. Can. J. Earth Sci., 28, 250-256.
- FRITTS H.C. (1976): *Tree rings and climate*. Academic Press, London.
- HEIKKINEN O. (1994): *Using dendrochronology for the dating of land surfaces*. In: Beck c. (ed.) *Dating in exposed and surface contexts*. Albuquerque, Unit of New Mexico Press, 213-235.
- HOLMES R. (1983): *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements*. Tree-ring Bulletin, 43, 69-78.
- HUPP C.R. (1983a): *Seedling establishment on a landslide site*. Castanea, 48 (2), 89-98.
- HUPP C.R. (1983b): *Geo-botanical evidence of late quaternary mass wasting in block field areas of Virginia*. Earth surface processes and landforms, 8, 439-450.
- HUPP C.R. (1984): *Dendrogeomorphic evidence of debris flow frequency and magnitude at Mount Shasta, California*. Environ. Geol. Water Sci., 6(2), 121-128.
- JIBSON R.W. & KEEFER D. (1988): *Landslide triggered by earthquakes in the Central Mississippi valley, Tennessee and Kentucky*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1336-C.
- KASHIWAYA K., OKIMURA T., KAWATANI T. (1989): *Tree-ring information and rainfall characteristic for landslide in the Kobe District, Japan*. Earth surface processes and landforms, 14, 63-71.
- KAENNEL M. & SCHWEINGRUBER F.H. (1995): *Multilingual Glossary of Dendrochronology*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL/FNP. Birmensdorf, Paul Haupt Publishers Berne-Stuttgart-Vienna.
- LIONEL E. & JACKSON Jr. (1977): *Dating and recurrence frequency of prehistoric mudflows near Big Sur, Monterey County, California*. Jour. Research U.S. Geol. Survey, 5,1,17-32.
- MOSS M.R. & ROSENFELD C.L. (1978): *Morphology, mass wasting and forest ecology of a post-glacial re-entrant valley in the Niagara escarpment*. Geografiska Annaler, 60A, 161-174.
- OROMBELLI G. & GNACCOLINI M. (1972): *La dendrocronologia come mezzo per la datazione di frane avvenute nel recente passato*. Boll. Soc. Geol. It., 91, 325-344.
- PARZEK E.J. & WOODRUFF J.F. (1957): *Mass wasting and the deformation of trees*. American Journal of Science, 25, 63-70.
- PORTER S.C. & OROMBELLI G. (1980): *Catastrophic rock-fall of September 12, 1717 on the Italian flank of the Mont Blanc massif*. Z. Geomorph.N.F., vol. 24, 2, 200-218.
- POSTPISCHL D. (1985): *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*. C.N.R. - Quaderni de la Ricerca Scientifica, 114 (2A).
- SCHWEINGRUBER F.H., ECKSTEIN D., SERRE-BACHET F., BRAKER O.U. (1990): *Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology*. Dendrochronologia, 9, 9-38.
- SHRODER J.F. (1978): *Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah*. Quaternary Research, 9, 168-185.
- SHRODER J.F. (1980): *Dendrogeomorphology: review and new techniques in tree-ring dating*. Progress in Physical Geography, 4, 161-185.
- STOKES M.A. & SMILEY T.L. (1968): *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago.
- STRUNK H. (1992): *Reconstructing debris flow frequency in the southern Alps back to AD 1500 using dendrogeomorphological analysis*. Erosion, Debris flows and Environment in Mountain Regions (Proceedings of the Chengdu Symposium on Geomorphology, July 1992). IAHS Publ. 209, 299-307.
- TERASME J. (1975): *Dating of landslide in the Ottawa river valley by dendrochronology - a brief comment*. Mass wasting Proceedings, 4th Guelph Symposium on Geomorphology, 153-158.
- VALLARIO A. (1992): *Frane e territorio*. Liguori editore.
- VAN ASCH TH. W.J. & VAN STEIJN H. (1991): *Temporal patterns of mass movements in the French Alps*. Catena, vol. 18, 515-527.
- VARNES D.J. (1958): *Landslides types and processes*. In «Landslides and Engineering Practice» Eckel E.B. (ed.): Highway Research Board. Special Report 29. NAS-NRC Publication 544, 20-47. Washington. D.C.