

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO DI TECNOLOGIE, INGEGNERIA, E SCIENZE DELL'AMBIENTE E DELLE FORESTE,

DAF

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA

SCIENZE E TECNOLOGIE PER LA GESTIONE FORESTALE E AMBIENTALE

CURRICULUM PIANIFICAZIONE DI BACINO IDROGRAFICO E DIFESA DEL

SUOLO

XXIII CICLO

DISSESTO IDROGEOLOGICO E INTERVENTI FORESTALI

NELL'ALTA VALLE DEL FIUME ORCIA,

COMUNE DI RADICOFANI, PROVINCIA DI SIENA

SSD GEO/05

Coordinatore: Prof. Gianluca Piovesan

Firma

Tutor: Prof. Ugo Chiocchini

Firma

Dottorando: Fabio Castaldi

Firma

Sommario

1.	INTRODUZIONE	4
2.	METODOLOGIA.....	8
2.1.	Geologia	8
2.2.	Geomorfologia	9
2.3.	Idrologia	10
2.4.	Uso del suolo	11
2.5.	Rilevamento forestale	11
3.	AREA DI STUDIO	13
3.1.	Inquadramento geologico	15
3.1.1.	Stratigrafia	16
3.1.1.1.	Unità del F. Paglia	16
3.1.1.2.	Unità di Radicofani	18
3.1.1.3.	Depositi di versante.....	20
3.1.1.4.	Depositi alluvionali recenti e attuali.....	21
3.1.2.	Tettonica	21
3.1.3.	Sismicità.....	22
3.1.4.	Caratteri geotecnici delle argille dell'Unità del F. Paglia.....	24
3.2.	Caratteristiche climatiche e fitoclimatiche	26
3.3.	I rimboschimenti nelle colline argillose delle crete senesi.....	27
4.	RISULTATI	31
4.1.	Geologia	31
4.2.	L'uso del suolo	32
4.3.	Geomorfologia	35
4.3.1.	Aree a calanchi, biancane ed erosione accelerata (Ac).....	35
4.3.2.	Indice di Franosità	36
4.3.3.	Tasso di erosione medio annuo - comparazione di DEMs	47
4.4.	Idrologia	47
4.5.	Risultati del rilievo forestale.....	53
4.5.1.	Copertura	53
4.5.2.	Indici di frammentazione	53
4.5.3.	Dati dendrometrici	54
5.	DISCUSSIONE	68
6.	CONCLUSIONI	77

7.	RINGRAZIAMENTI	79
8.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	80

1. INTRODUZIONE

La fragilità del territorio italiano dal punto di vista idrogeologico è testimoniata dai numerosi e continui eventi catastrofici che avvengono nella nostra penisola. A una fragilità intrinseca vanno aggiunte una pianificazione e una prevenzione, in merito al dissesto idrogeologico, che troppo spesso si sono dimostrate inadeguate o insufficienti ad arginare i danni alle aree urbane, alle infrastrutture, all'agricoltura e la perdita di vite umane. Sebbene la legislazione italiana prevedesse già con la legge n.183 del 1989 un'attività di pianificazione volta a limitare i danni a persone e cose causati dal dissesto idrogeologico, un notevole impulso verso la pianificazione territoriale si è avuto solo a seguito del drammatico evento di Sarno, in cui hanno perso la vita 160 persone, con l'emanazione del Decreto Legge n. 180 del 1998. Purtroppo l'emergenza non è mai cessata e il nostro paese continua ad essere fortemente esposto al rischio idrogeologico, come testimoniano gli eventi recenti del crollo in roccia di Ventotene (2010) o l'alluvione di Scaletta Zanclea in provincia di Messina (2009). Anche se molto è stato fatto in termini di pianificazione attraverso i Piani stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) è ancora necessario approfondire la conoscenza del territorio studiando misure volte alla riduzione della pericolosità e al tempo stesso rendere efficace il legame tra pianificazione e attuazione delle misure di prevenzione riducendo al minimo il rischio. Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha pubblicato una monografia (Direzione Generale per la Difesa del Suolo, 2008) dalla quale risulta che il territorio italiano è per il 9,8% (29517 km²) interessato da *alta criticità idrogeologica*, intendendo con questo termine aree a rischio o soggette a pericolosità da alluvione, da frana o da valanga, aree caratterizzate da livelli di grado elevato o molto elevato secondo il DPCM del 29.9.1998 a seguito del D.L. n. 180 del 1998. I comuni interessati da *alta criticità idrogeologica* sono 6633, cioè l'81,9% dei comuni italiani. In Toscana ben il 98% dei comuni ha al loro interno aree interessate da *alta criticità idrogeologica*, per una superficie pari all'11,1% del territorio regionale. In particolare nella provincia di Siena la percentuale sale all'11,5% con una superficie di 235 km² suddivisa in 34 comuni tra i quali figura anche quello di Radicofani. La rupe lavica sulla quale sorge la fortezza medievale è considerata area a rischio da frana molto elevato. Per proteggere l'abitato di Radicofani dalla caduta massi si è provveduto alla creazione di una fascia di rimboschimento protettiva a monte del paese e ad opere di consolidamento (reti, gradonatura del pendio) (Concialini, 1954; Cruciani, 1982). Gran parte del territorio comunale (118,46 km²) è interessata da fenomeni franosi (Chiocchini et al., 2005; Baldo et al., 2008), come scivolamenti, scorrimenti, colate, e da fenomeni

degradativi accelerati che hanno prodotto il tipico paesaggio a calanchi e biancane (Phillips, 1998) caratteristico delle aree di affioramento dei sedimenti argillosi del Pliocene inferiore. Questo paesaggio è molto diffuso nell'intero sistema collinare delle aree pre – appenniniche soprattutto di Emilia Romagna, Marche, Abruzzo, Toscana, Umbria, Lazio e Basilicata. Nella sola val d'Orcia le argille plioceniche occupano circa 21000 ha e qui questo tipico paesaggio argilloso prende il nome di *Crete senesi*.

La sistemazione di queste colline argillose ha rappresentato fin da tempi remoti una sfida per gli uomini insediati in queste terre. Vari studiosi si sono interrogati nel corso degli anni sull'opportunità di tentare il recupero di queste aree inospitali e se fosse maggiormente efficace destinarle all'attività agricola tramite bonifica o all'attività forestale mediante opere di rimboschimento, cercando quindi il modo migliore per arrestare o rallentare i fenomeni degradativi, fenomeni che Fischer già nel 1903 definì “*una delle maggiori piaghe nel nostro suolo*”. Nonostante gli sforzi profusi, non sempre si è arrivati a risultati soddisfacenti, soprattutto a causa delle proprietà intrinseche di questo substrato argilloso che lo rendono soggetto a frequenti fenomeni di erosione calanchiva e a sterilità (Fig. 1).



Figura 1: rimboschimenti di cipresso dell'Arizona in area calanchiva.

Vegetazione e suolo sono fortemente concatenati, usando le parole di Ciancio & Iovino (1995) “*i sistemi forestali esistono in quanto si ha conservazione del suolo. E si ha conservazione del suolo in quanto esistono i sistemi forestali*”. La vegetazione forestale svolge un ruolo fondamentale nella mitigazione dei fenomeni di ruscellamento superficiale delle acque e quindi limitando l'erosione incanalata (De Philippis, 1970; Mancini, 1975;

USDA Soil Conservation Service, 1978). Inoltre le radici delle piante arboree garantiscono maggiore stabilità dei versanti aumentando la coesione del suolo (Endo & Tsuruta, 1968; O'Loughlin, 1974; Burroughs & Thomas, 1977) e limitando i movimenti di massa superficiali (Wu & Swanston, 1980; Gray & Megahan, 1981; Reistenberg & Sovonick – Dunford, 1983; Greenway, 1987). La regimazione delle acque ha effetti positivi anche nella riduzione degli eventi franosi maggiormente profondi. Non sempre però la vegetazione in territori fragili come quelli delle colline argillose si sviluppa con una copertura ed una continuità sufficiente a garantire la stabilità dei versanti.

Nella *Dichiarazione di Rio de Janeiro* proclamata in seguito alla *Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo* – UNCED (Rio de Janeiro 1992) e nelle tre fondamentali convenzioni internazionali sull'ambiente (FCCC – Convenzione quadro sui Cambiamenti climatici, CBD – Convenzione sulla biodiversità, CCD – Convenzione per la lotta alla desertificazione) si indicano come esigenze primarie per la comunità internazionale la lotta alla desertificazione, la stabilizzazione del clima e la conservazione della biodiversità. Le foreste svolgono un ruolo fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi suddetti e l'Unione Europea ha recepito tali indicazioni stilando il *Piano d'azione per le foreste 2007 – 2010* per la realizzazione degli scopi enunciati nell'agenda di Goteborg in riguardo allo sviluppo sostenibile e ripresi a livello nazionale con il D.M. 16 giugno 2005 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. Nel decreto si fa particolare menzione al mantenimento, alla conservazione e allo sviluppo della funzione protettiva delle foreste in riguardo all'assetto idrogeologico. La gestione forestale deve quindi garantire l'arginamento dei processi erosivi del suolo, proteggere e regimare le risorse idriche ed arginare fenomeni di dissesto quali frane, alluvioni e valanghe. La gestione dei soprassuoli forestali di origine artificiale dovrà inoltre tenere conto delle finalità del rimboschimento, dell'età, della composizione, dello stato di conservazione e di evoluzione del soprassuolo e delle condizioni stagionali.

L'obiettivo di questo studio è di valutare il ruolo della vegetazione e in particolare dei rimboschimenti, effettuati nel Comune di Radicofani, nella trasformazione del paesaggio e nella variazione dei parametri idrologici e geomorfologici. Tale indagine assume un'importanza sostanziale in un substrato povero come quello delle argille del Pliocene inferiore. Fino agli anni '60 dello scorso secolo la comunità scientifica si era interessata approfonditamente al recupero di queste aree argillose, interesse culminato nel “Congresso nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati” tenutosi nel 1961 a Firenze, nel quale Giacobbe si occupò specificatamente delle metodologie per i

rimboschimenti su terreni argillosi. Negli anni a seguire molti altri studiosi, soprattutto del settore delle Scienze della Terra, si sono occupati del monitoraggio dei tassi di erosione, delle attività franose e quindi della sistemazione delle aree calanchive, ma nel settore forestale la ricerca si è fermata ai principi enunciati nel Congresso del 1961. L'argomento meriterebbe maggiore approfondimento anche considerando l'estensione delle argille plioceniche nel territorio italiano e alle ingenti perdite di suolo collegate all'erosione calanchiva. Molti forestali hanno intrapreso ricerche nel campo della *ecological restoration* (SER, 2004) ma quasi nessuno si è occupato di substrati argillosi, né per la pianificazione d'interventi né per la perpetuazione dei popolamenti esistenti.

Oltre a valutare il ruolo della vegetazione forestale sulla geomorfologia, il presente studio si è fatto carico di valutare la riuscita degli interventi forestali attraverso parametri dendrometrici e di copertura. L'obiettivo principale di questo lavoro è di avvicinare ulteriormente le Scienze Forestali alle Scienze della Terra nel comune impegno della restaurazione delle aree degradate, cercando una sinergia indispensabile per giungere a risultati soddisfacenti e duraturi nel tempo.

La presente ricerca è stata eseguita anche con il contributo del Comune di Radicofani che ha stipulato una specifica convenzione con l'Università della Tuscia per la durata di tre anni (2007 - 2010).

2. METODOLOGIA

La situazione pre – rimboschimenti (1954) e quella post- rimboschimenti (2003 – 2007) è stata descritta mediante un’analisi diacronica di foto interpretazione di immagini del 1954 e del 2003 – 2007 in nove bacini di drenaggio con caratteristiche vegetazionali, geologiche e morfologiche eterogenee (Fig.2). Le differenze e le variazioni nell’uso del suolo, nell’idrografia e nella morfologia hanno consentito di valutare al meglio l’influenza dei rimboschimenti sulla mitigazione della pericolosità idrogeologica e sui fenomeni erosivi. Di seguito si descrive la metodologia adottata per ogni aspetto analizzato nella presente ricerca.

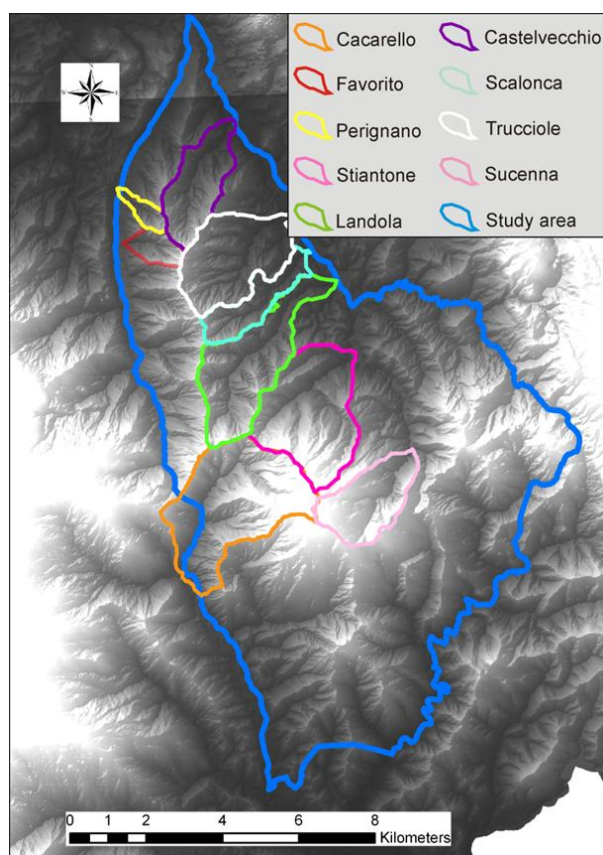


Figura 2: aree dei bacini di drenaggio relativi ai nove torrenti analizzati.

2.1. Geologia

Gli aspetti geologici (stratigrafico, tettonico, sismico e geotecnico) sono descritti mediante un’attività di rilevamento in campo svolta su tutto il territorio comunale, supportata dall’interpretazione di foto aeree a scala 1:33000 del 2003, ed integrata da dati di letteratura e da documenti storici.

2.2. Geomorfologia

L'aerofoto - interpretazione ha permesso di individuare le aree interessate da calanchi, biancane ed erosione accelerata, che sono state poi controllate mediante il rilievo di campagna. I dati riportati sul GIS hanno permesso il calcolo delle aree degradate sia per il periodo attuale sia per il 1954.

Allo scopo di ricostruire la situazione morfologica pre – rimboschimenti è stata digitalizzata la cartografia IGM 1:25000 (rilievo del 1943), tale operazione ha permesso la creazione di un DEM mediante interpolazione di tipo spline dei punti quotati e delle curve di livello. La stessa operazione è stata compiuta con la CTR della Regione Toscana 1:25000 con rilievo del 1994. Sottraendo il DEM del 1943 con il DEM del 1994, tramite la funzione Raster Calculator in ArcGIS, è stato possibile stimare l'erosione media annua in cm/anno ed individuare le zone di erosione e deposizione (Ciccacci et al., 2008).

Per le aree in frana è stata usata principalmente la banca dati del Progetto IFFI dell'ISPRA integrata dai rilievi di campagna, dalla foto interpretazione e dai dati di letteratura. È stato creato quindi un layer delle aree in frana, correlato, in ambiente GIS, ad alcuni fattori che hanno un ruolo nella predisposizione al dissesto come la pendenza e l'esposizione dei versanti, l'uso del suolo e la litologia (Romeo & Tiberi, 2006). Tale intersezione porta all'assegnazione di pesi per i fattori predisponenti, consentendo di stabilire quale tra questi influisca maggiormente sul dissesto e al tempo stesso di fare previsioni.

Per ogni classe dei fattori sono stati individuati il numero di pixel relativo alle aree in frane (f) e a quelle non in frana (n) e rapportati al numero di pixel totali rispetto all'area totale (t):

$$a = \frac{f}{t}$$

$$b = \frac{n}{t}$$

Il rapporto tra "a" e "b" fornisce l'indice di franosità per ogni classe di un fattore (IF_i). L'indice di franosità relativo di ciascun fattore ($IF_{rel,j}$) si ottiene mediante la formula:

$$IF_{rel,j} = \frac{IF_i}{IF_{i(max)}} \times 100$$

Per ogni fattore si calcola l'indice di franosità minimo (IF_{min}), che è dato dal valore più basso dell' IF_{rel} al di sopra del quale ricade almeno il 50% della superficie totale in frana. Il rapporto tra l' IF_{min} di un fattore j con la somma di tutti gli IF_{min} fornisce il peso (w_j) del fattore stesso.

L'indice di franosità totale (IF_{tot}) si ottiene con la formula:

$$IF_{tot} = \sum_{j=1}^k IF_{rel,j} \times w_j$$

Questo indice esprime con valori da 0 a 100 la propensione relativa al dissesto e con questo dato si calcola quindi il valore soglia ovvero il valore limite dell'indice di franosità (IF_{min}). L' IF_{min} è il valore più basso dell' IF_{tot} al di sotto del quale si trova il 50% delle aree in frane. La rappresentazione cartografica delle aree dove $IF_{tot} \geq IF_{min}$ fornisce la localizzazione delle zone dei versanti maggiormente suscettibili al dissesto.

2.3. Idrologia

I nove bacini imbriferi sono stati individuati mediante la funzione *watershed* presente nell'estensione *Spatial Analyst* in ArcGIS. All'interno dei bacini è stato ricostruito il reticolo idrografico tramite l'interpretazione in stereoscopia di foto aeree relative alla situazione *pre* e *post* rimboschimenti. Il reticolo è stato quindi riportato in ambiente GIS, dove è stato possibile individuare la gerarchizzazione e quindi calcolare gli indici parametrici tramite l'esportazione in un foglio elettronico: frequenza e densità di drenaggio (F e D), numero di anomalia gerarchica (Ga), densità di anomalia gerarchica (ga) e l'indice di anomalia gerarchica (Δa ; Strahler, 1957). Il parametro F è valutato attraverso il rapporto tra i segmenti del reticolo idrografico di primo ordine e l'area del bacino (A), mentre D è uguale alla sommatoria delle lunghezze dei segmenti diviso A (Horton, 1945; Strahler, 1952). Ga è dato dalla formula:

$$Ga = \sum_{i=1}^{s-2} \sum_{r=i+2}^s N_{i,2} f_{i,2}$$

dove s è l'ordine gerarchico del bacino, ed $N_{i,2}$ è il numero di segmenti anomali di ordine i che confluiscono in segmenti di ordine r (Avena et al., 1967). La ga è il rapporto tra Ga e A , mentre Δa è ottenuto dividendo Ga con il numero dei segmenti di primo ordine (Avena et al., 1967).

La densità di drenaggio e l'indice di anomalia gerarchica hanno permesso di stimare il tasso di erosione espresso come *deflusso torbido unitario medio annuo* (Tu , t/km²/anno) attraverso 2 formule (Ciccacci et al., 1980; Lupia Palmieri, 1983; Ciccacci et al., 1986; Della Seta et al., 2007):

$$\log Tu = 1,05954 + 2,79687 \log D + 0,13985 \Delta a \text{ con } D \geq 6$$

$$\log Tu = 1,44780 + 0,32619 D + 0,10247 \Delta a \text{ con } D \leq 6$$

2.4. Uso del suolo

Il territorio è stato diviso in classi di uso del suolo secondo la metodologia CORINE Land Cover (Bossard et al., 2000) mediante foto - interpretazione e rilievi di campagna. È stata prodotta una carta di uso del suolo della situazione attuale e del 1954, quest'ultima ottenuta tramite foto aeree del 1954 in scala 1:30000. Le difficoltà nella foto interpretazione di immagini storiche non ha permesso di ottenere un dettaglio superiore al secondo livello del CORINE Land Cover (Tab.1).

CORINE	Descrizione
11	Zone urbanizzate di tipo residenziale
12	Zone commerciali, industriali ed infrastrutturali
14	Zone verdi artificiali non agricole
21	Seminativi
22	Colture permanenti
23	Prati stabili
24	Zone agricole eterogenee
3112	Zone boscate - boschi di latifoglie
3121	Boschi a prevalenza di pini mediterranei
3122	Boschi a prevalenza di pini montani e oromediterranei
3125	Boschi e piantagioni a prevalenza di conifere non native
3131	Boschi misti a prevalenza di latifoglie
31321	Boschi misti di conifere e latifoglie con prevalenza di pini mediterranei
31322	Boschi misti di conifere e latifoglie con prevalenza di pini montani e oromediterranei
31325	Boschi misti di conifere e latifoglie con prevalenza di conifere non native.
32	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
33	Zone aperte con vegetazione rada o assente
51	Acque continentali - bacini d'acqua

Tabella 1: categorie del CORINE Land cover individuate nell'area di studio e loro descrizione.

2.5. Rilevamento forestale

Con l'obiettivo di valutare, a distanza di circa 40 anni, l'esito dei rimboschimenti e comprendere i limiti forestali delle specie coinvolte e fornire indicazioni utili per la rinaturalizzazione o per il mantenimento di questi popolamenti è stato ricostruito dapprima l'iter storico delle sistemazioni forestali e quindi dei rimboschimenti tentati su questo

substrato argilloso, per poi analizzare nel dettaglio i nuclei di rimboschimento attualmente presenti nel territorio comunale di Radicofani. I nuclei sono stati suddivisi in strati in base alla composizione in specie. Sono stati individuati 9 strati mediante la documentazione fornita dal Corpo Forestale dello Stato, la foto - interpretazione e diversi sopralluoghi.

Per quantificare la frammentazione dei nuclei di rimboschimento all'interno del territorio comunale sono stati calcolati estensione areale e perimetro dei nuclei per il calcolo della densità dei nuclei (DN) e dell'indice di forma medio ponderato con l'area (AWMSI). Per meglio descrivere la dispersione dei nuclei è stata inoltre calcolata la media delle distanze minime tra nuclei vicini (DmM).

E' stata individuata la classe cronologica di ampiezza 4 maggiormente presente tra gli strati (38 – 42 anni) e per i 14 nuclei in essa compresi è stata prevista un'area di saggio circolare di 10 m di raggio ogni 10 ha o frazioni. L'ubicazione delle aree di saggio è avvenuta in ambiente GIS individuando aree aventi esposizione e pendenza molto vicine ai valori medi del nucleo e all'interno di queste, mediante l'interpretazione di ortofoto, è stato scelto un punto con un valore di copertura rappresentativo del nucleo. Per superfici maggiori di 10 ha le aree di saggio sono state uniformemente distribuite all'interno del nucleo. In totale sono state effettuate 18 aree di saggio ottenendo la distribuzione delle classi diametriche di ampiezza 5 cm e la curva ipsometrica. Il diametro minimo di cavallettamento è stato fissato in 5 cm.

3. AREA DI STUDIO

Il comune di Radicofani si trova nella parte meridionale della provincia di Siena nell'alta valle del Fiume Paglia (Fig.3) in un territorio caratterizzato da rilievi collinari con quote tra 880 e 300 m s. l. m. costituiti per oltre il 90% dai sedimenti argillosi dell'Unità del F. Paglia. I versanti sono interessati da erosione diffusa, da morfologia calanchiva, da frequenti movimenti franosi, da soil creeping e deformazioni plastiche. Comune anche il paesaggio a biancane, caratterizzato da collinette con efflorescenza biancastra, dovuta alla presenza di sali sodici in particolare thermadite (Guasparri, 1978), solitamente prive di vegetazione o stagionalmente coperte da formazioni erbacee.

La continuità morfologica dei rilievi collinari è interrotta solo dal neck vulcanico di Radicofani, il quale emerge in maniera evidente dal paesaggio circostante. Dal punto di vista idrografico, l'allineamento M. Amiata - Radicofani - M. Cetona definisce lo spartiacque tra i bacini idrografici dei fiumi Tevere, con il suo affluente F. Paglia, ed Ombrone con il suo affluente F. Orcia. Quest'ultimo, nella parte superiore, riceve diversi tributari a carattere torrentizio che contribuiscono allo sviluppo dell'instabilità dei versanti del territorio in esame. Il 50% circa del territorio comunale è destinato alle attività agricole – pastorali. Le aree naturali e semi naturali quali boscaglie, arbusteti ed aree a vegetazione rada o assente (calanchi e biancane) occupano zone di ricolonizzazione dei terreni abbandonati dall'agricoltura e i terreni aventi condizioni morfologiche proibitive per l'attività antropica, mentre i boschi di latifoglie, composti in prevalenza da cerro, roverella e orniello, si rinvencono principalmente nell'area interessata dal detrito vulcanico e su terreni argillosi con pendenze inferiori a 15°.

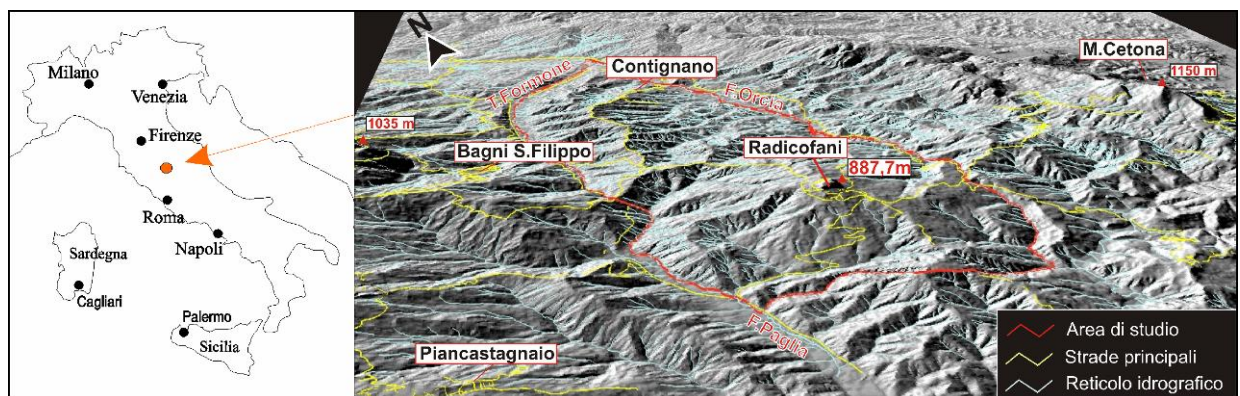


Figura 3: ubicazione dell'area di studio.

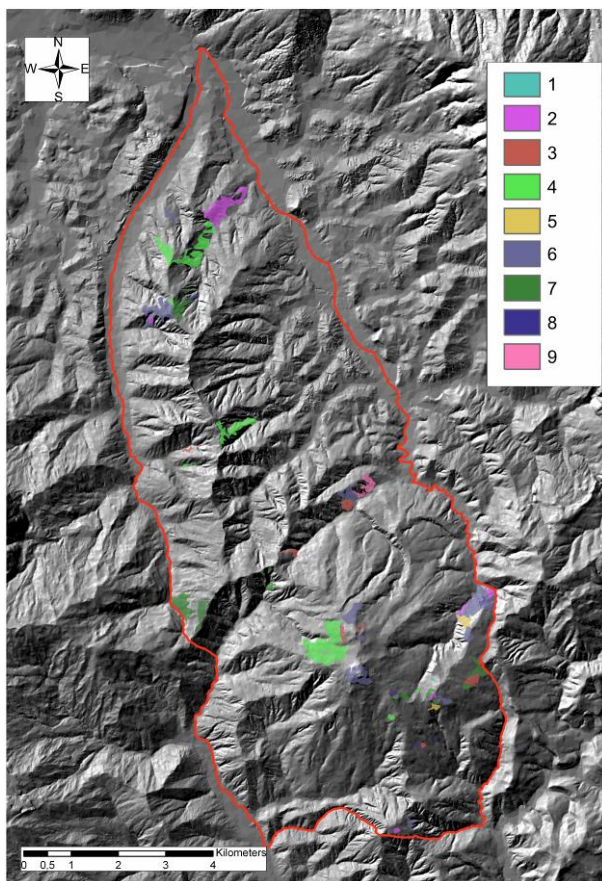


Figura 4: nuclei di rimboschimento suddivisi per strato (Per l'identificazione degli strati vedere la tabella 1).

Il territorio comunale di Radicofani è stato oggetto di numerosi interventi di rimboschimento fin dal 1948, ma per lo più concentrati nel periodo 1966 – 1970 nel quale furono rimboschiti circa 110 ha (Fig.4). Tali interventi, operati dal Corpo Forestale dello Stato, dalla Comunità Montana Amiata e dalla Regione Toscana, hanno interessato terreni privati incolti, aree arbustive e degradate ma anche aree con forti limiti geopedologici e soggette a movimenti franosi e ad erosione calanchiva.

I rimboschimenti occupano il 3% del territorio comunale (circa 320 ha) suddivisi in nuclei di limitata estensione e distribuiti principalmente nei pressi dell'abitato di Radicofani e nella parte nord ad ovest di Contignano. Le specie maggiormente usate sono il pino nero (*Pinus nigra subsp. nigra* Arnold) , il cipresso comune (*Cupressus sempervirens* L.), il cipresso dell'Arizona (*Cupressus arizonica* Greene) e i pini mediterranei, mentre le latifoglie sono presenti solo in alcuni nuclei all'interno dei filari di conifere specialmente orniello (*Fraxinus ornus* L.) e ontano napoletano (*Alnus cordata* (Loisel.) Loisel.) o come piante sparse pre – esistenti all'impianto: roverella (*Quercus pubescens* Wild) e cerro (*Quercus cerris* L.). I nove strati individuati sono descritti nella tabella 2.

Strato	Descrizione	Area (ha)
1	Boschi misti a prevalenza di <i>Quercus cerris</i> con <i>Cupressus arizonica</i> e <i>Cupressus sempervirens</i>	0,59
2	Popolamenti misti con pini mediterranei (<i>Pinus pinea</i> , <i>Pinus halepensis</i>), <i>Cupressus arizonica</i> e <i>Cupressus sempervirens</i>	31,73
3	Pinete di pino nero	35,54
4	Cipressete di <i>Cupressus arizonica</i> con pino nero	83,91
5	Boschi misti con prevalenza di pini mediterranei con cerro, roverella e ontano napoletano	2,00
6	Boschi misti con prevalenza di <i>Cupressus arizonica</i> e <i>Cupressus sempervirens</i> con roverella, orniello e cerro (in aree limitate presenza di cedro dell'Atlante)	74,55
7	Boschi misti con prevalenza di pino nero con cerro, roverella e ontano napoletano	58,08
8	Boschi di cerro, roverella e altre latifoglie	12,42
9	Arbusteti derivanti da impianti falliti o giovani impianti	20,33

Tabella 2: Descrizione degli strati e loro estensione.

3.1. Inquadramento geologico

L'area in esame è compresa nel Bacino di Radicofani che è una delle diverse depressioni strutturali della Toscana meridionale orientale in direzione NW – SE, delimitate da faglie normali e di tipo listrico (Lazzarotto & Mazzanti, 1965; Lazzarotto, 1967; Calamai et al., 1970; Costantini et al., 1982; Liotta, 1996; Pascucci et al., 2006), colmate da depositi per lo più marini durante il Pliocene. La Toscana meridionale, come il resto della catena appenninica, appartiene al sistema tirrenico dei bacini di retroarco appenninico, caratterizzato da tettonica estensionale e sviluppato in risposta alla retroflessione verso E della subduzione appenninica diretta verso W (Scrocca et al., 2003).

La tettonica estensionale è stata attiva in due fasi: la prima nel Miocene medio – inferiore (Carmignani & Kligfield, 1994); la seconda nel Tortoniano superiore – Pliocene (Bertini et al., 1991; Carmignani et al., 1994a, b), con prosecuzione durante il Pleistocene. Durante la prima fase estensionale le faglie normali si sono sviluppate con inclinazioni sempre minori fino a diventare sub orizzontali in corrispondenza delle Anidriti di Burano del Trias superiore formando la “Serie ridotta”. In questo modo vengono elise le formazioni mesozoico – cenozoiche della Successione Toscana non metamorfica (Formazione a Rhaetavicula contorta, Calcare massiccio, Corniola, Rosso ammonitico, Calcari selciferi, Marne a Posidonomya, Diaspri, Scaglia Toscana, Macigno), che vanno a formare la Falda Toscana, e le unità liguridi sovrascorrono direttamente sulle Anidriti di Burano.

Alla seconda fase sono attribuite le faglie normali che frammentano la “Serie ridotta” e delimitano le depressioni tettoniche del Miocene superiore – Pliocene orientate in direzione NW – SE. L’area oggetto della presente ricerca è collocata nel settore meridionale del Bacino di Radicofani (Tav.1). Le depressioni tettoniche sono interessate da linee trasversali note come zone di trasferimento di cui una, definita “soglia di Pienza” da Costantini et al. (1982), costituisce l’estremità settentrionale del Bacino di Radicofani. Questo è delimitato ad E dalla dorsale del Monte Cetona, ad W dalla dorsale M. Amiata – Castell’Azzara, ambedue costituite dalle unità mesozoico – cenozoiche della Successione Toscana non metamorfica, mentre a S il Bacino di Radicofani è stato riconosciuto nel sottosuolo dell’area di Viterbo (Chiocchini & Madonna, 2006) e si collega al Bacino del F. Tevere (Baldi et al., 1974).

Le faglie normali della seconda fase tettonica estensionale hanno rivestito molto probabilmente un ruolo fondamentale come vie preferenziali per la risalita di magmi, in Toscana e nel Lazio, più antiche da W ad E e da N a S (Serri et al., 1991; Barberi et al., 1994). I magmi acidi anafettici hanno alimentato le intrusioni ed il vulcanismo della Provincia Magmatica Toscana, formando i distretti dell’Arcipelago toscano (7 – 5 Ma), di Roccastrada (2,5 – 2,2 Ma), di Radicofani (1,3 Ma) e del Monte Amiata (0,2 Ma) in Toscana e i distretti dei Monti Cimini (1,4 – 0,9 Ma) e dei Monti Tolfa – Ceriti (4,1 – 2,4 Ma) nel Lazio. Quest’attività è testimoniata, oltre che dagli edifici vulcanici, anche da ben sviluppate anomalie termiche regionali con gradienti maggiori di 0,5°C/10 m e da valori del flusso di calore più elevato dei valori medi continentali (circa 1,6 $\mu\text{cal}/\text{cm}^2$; Calamai et al., 1976; Cataldi et al., 1995).

3.1.1. Stratigrafia

L’area in esame è costituita per oltre il 90% dai sedimenti argillosi dell’Unità del F. Paglia e nella zona di Radicofani sono presenti i prodotti lavici dell’omonimo distretto vulcanico. Inoltre si rinvencono depositi alluvionali lungo i principali corsi d’acqua ed un’estesa coltre detritica essenzialmente sul versante settentrionale di Radicofani (Tav. 1).

3.1.1.1. Unità del F. Paglia

Questa denominazione informale comprende la successione pliocenica che ha colmato il Bacino di Radicofani (Servizio Geologico d’Italia, 1967; Jacobacci et al., 1967; Giannini et al., 1971; Costantini et al., 1979, 1980; Pasquarè et al., 1983; Progetto Finalizzato Geodinamica, 1987; Buonasorte et al., 1988; Bernini et al., 1990; Orlando et al., 1991; Bossio

et al., 1993; Boccaletti et al., 1994; Iaccarino et al., 1994; Liotta, 1994, 1996; Liotta & Salvatorini, 1996; Disperati & Liotta, 1998; Pascucci et al., 2006).

Nell'area in esame la successione comprende argille limose grigie con intercalazioni di strati medio – sottili di arenarie fini con lamine piane e incrociate e di corpi lenticolari di ghiaie con ciottoli e ciottoli grossolani di calcari marnosi, calcari silicei, arenarie quarzose fini, calcareniti fini e calcari mesozoici talora con fori di organismi litofagi (Fig. 5). Nell'alta valle del F. Paglia s'intercalano olistostromi (Jacobacci et al., 1957; Fig. 6) composti da calcari marnosi, calcari silicei, arenarie quarzose fini e calcareniti fini della formazione delle Argille con calcari palombini del Cretacico inferiore (Abbate & Sagri, 1970; Giannini et al., 1971; Costantini et al., 1977; Boccaletti et al., 1987) e da ciottoli degli stessi litotipi. Lo spessore affiorante dell'Unità del F. Paglia è di circa 420 – 430 m.

Nell'area di Celle sul Rigo lo spessore arriva a 2600 m e nella successione dell'Unità del F. Paglia, con spessore di circa 1650 m, si intercalano il Membro delle Sabbie di Celle sul Rigo e il Membro dei Conglomerati di Podere Pantano (Iaccarino et al., 1994; Liotta, 1996). La successione è chiusa al tetto dai Calcari ad Amphistegina.



Figura 5: affioramento dell'Unità del Fiume Paglia lungo la Strada Provinciale Contignano, in alto a sinistra particolare dei ciottoli e ghiaie intercalati nelle argille.

Ulteriori dati sono forniti dai sondaggi Paglia 1 e Radicofani 1. Il Paglia 1, eseguito dall'ENEL per ricerca geotermica, ha attraversato 1130 m di sedimenti argillosi di cui 1020 attribuiti al Pliocene inferiore e 110 m di conglomerati poligenici con matrice rossastra riferiti

al Miocene superiore. Il sondaggio Radicofani 1, perforato dall'AGIP, ha attraversato 650 m di peliti e di livelli di conglomerati del Pliocene inferiore, cui seguono da 650 m a 930 m conglomerati, sabbie ed arenarie del Messiniano ed infine da 930 m a 1900 m peliti con intercalazioni di sabbie, marne e conglomerati poligenici di incerta attribuzione. L'età dell'Unità del F. Paglia è Pliocene inferiore – medio (Zancleano – Piacenziano basale; 4,9 – 3,4 Ma; Jacobacci et al., 1967; Pasquarè et al., 1983; Iaccarino et al., 1994; Liotta, 1996; Pascucci et al., 2006).

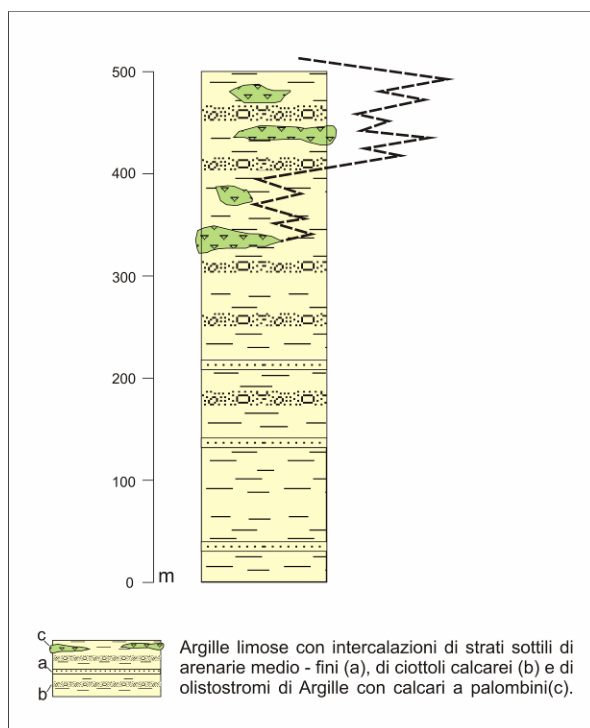


Figura 6: log dell'Unità del F. Paglia nell'area tra il T. Formone, Radicofani e l'alta valle del F. Paglia.

3.1.1.2. Unità di Radicofani

Nell'area di Radicofani affiora un corpo roccioso lavico a forma prismatica quadrilatera con spessore di 80 – 100 m e diametro basale di circa 400 m, attribuito ad un *neck* di un centro vulcanico minore con associati relitti di colate laviche. Le lave sono compatte e di colore grigio nella parte medio - inferiore e diventano sempre più bollose e ricche di vescicole nella parte superiore, assumendo un colore rosso - violaceo. Nelle zone circostanti il neck si riconoscono relitti di colate laviche di cui il più importante si rinviene a Poggio Sasseta. Le lave sono andesiti oliviniche alla base e trachibasalti nella parte superiore secondo Jacobacci et al. (1967) e Peccerillo et al. (1987), ovvero trachiti oliviniche secondo (Innocenti, 1967). D'Orazio et al. (1991; 1994) hanno esaminato diversi campioni prelevati sia nel neck sia nei

resti delle colate laviche di Poggio Sasseta e di Poggio Casano. I campioni della parte medio - inferiore del *neck* sono shoshsoniti, quelli della parte superiore e della colata di Poggio Sasseta sono shoshoniti ultrabasiche, mentre i campioni della colata di Poggio Casano e dei blocchi intorno al *neck* sono latiti ultrapotassiche.

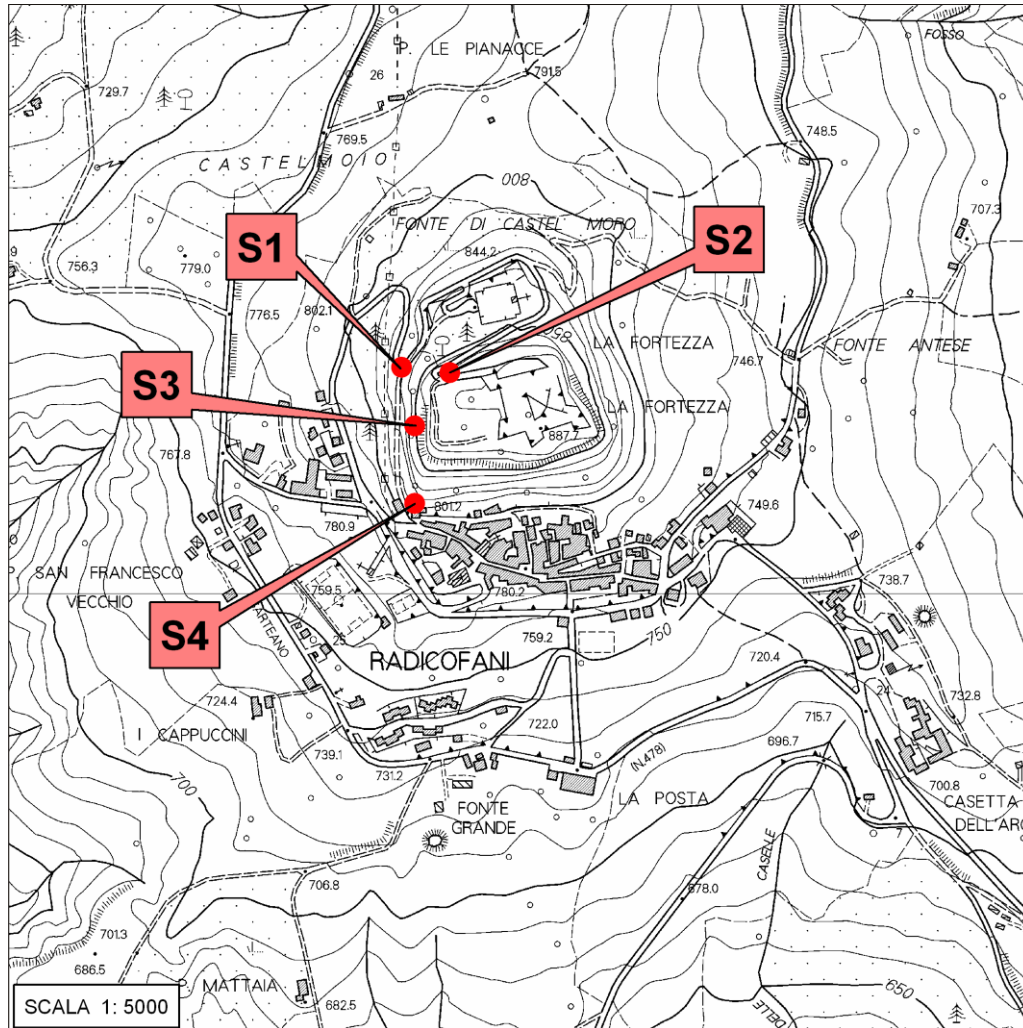


Figura 7: ubicazione delle stazioni di misura delle fratture delle lave dell'Unità di Radicofani.

L'ammasso roccioso è interessato da numerose fratture variamente orientate che lo suddividono in blocchi prismatici, agevolando il loro distacco mediante frane di crollo e/o di ribaltamento (Bertocci et al., 2000). Il rilevamento delle fratture è stato svolto in quattro stazioni (Fig. 7). Sono state misurate complessivamente 71 fratture: 29 nella stazione S1, 15 nella stazione S2, 13 nella stazione S3 e 14 nella stazione S4. Tutte le fratture mostrano piani in pratica verticali orientati N 70° - 60° O per 34 fratture, N 70° - 60° E per 22, N - S per 13 e E - O solo per 2 fratture (Fig. 8)

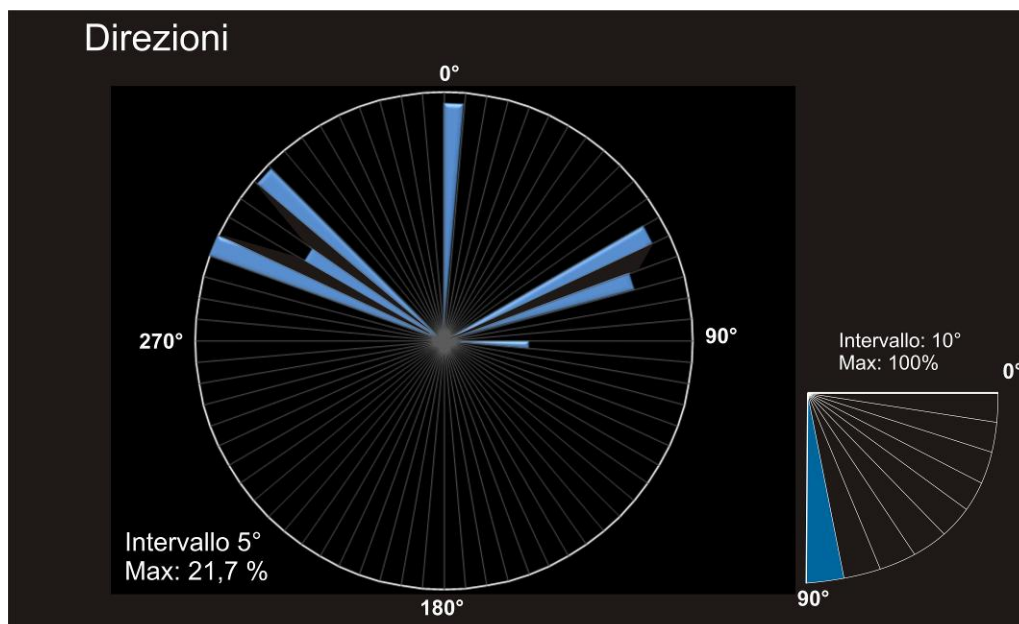


Figura 8: distribuzione delle fratture delle lave rilevate nelle quattro stazioni di misura.

Le lave appartengono alla serie potassica che è associata ai prodotti della Provincia Magmatica Toscana ad affinità genetica con le rocce plutoniche acide della Toscana di origine anatettica (Barberi et al., 1971; Marinelli, 1975; 1983; Boccaletti et al., 1987; Scrocca et al., 2003).

L'età assoluta della lava è stata determinata mediante il rapporto isotopico K/Ar (Barberi et al., 1971; Pasquarè et al., 1983; Ferrara & Tonarini, 1985) e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (D'Orazio et al., 1991; 1994). I risultati indicano:

- 1,08 +/- 0,05 e 1,22 +/- 0,06 Ma secondo Barberi et al. (1971);
- 1,315 +/- 0,033 e 1,337 +/- 0,033 Ma secondo Pasquarè et al. (1983);
- 1,30 +/- 0,005 e 1,299 +/- 0,003 Ma secondo D'Orazio et al. (1991; 1991b).

Pertanto le lave dell'Unità di Radicofani sono comprese nella parte alta del Pleistocene inferiore.

In base ai dati di D'Orazio et al. (1991) la lava esaminata è più vecchia del *neck* e quindi indicherebbe la sua età massima. La durata dell'attività vulcanica sarebbe stata breve a causa delle modeste dimensioni del centro vulcanico. D'Orazio et al. (1991) escludono la correlazione con il Distretto del M. Amiata la cui età non è maggiore di 0,3 Ma (Bigazzi et al., 1981).

3.1.1.3. Depositi di versante

Nelle aree circostanti le lave del condotto vulcanico di Radicofani, in particolare nell'area settentrionale, è presente una coltre detritica composta da frammenti di lava di dimensioni

variabili da pochi cm a circa 15 m³ e suoli di colore bruno sabbioso – limosi sui quali si rinvenivano diversi boschi. Questa copertura detritica è dovuta all'erosione del centro vulcanico e delle colate di lava distribuite radialmente (D'Orazio et al., 1991).

3.1.1.4. Depositi alluvionali recenti e attuali

Questi depositi sono costituiti da ghiaie con ciottoli in prevalenza calcarei e subordinatamente di lave, da sabbie e limi lungo le aste del F. Orcia, del T. Suceana e del T. Formone. Lungo gli altri corsi d'acqua prevalgono i depositi sabbiosi e limosi. L'età è Olocene.

3.1.2. Tettonica

L'Unità del F. Paglia mostra giaciture con immersione variabile da 10° a 20° verso NNE e NE. Queste giaciture sono dovute al sollevamento iniziato nel Pliocene medio – superiore, al quale ha contribuito anche la spinta del magma anatectico in risalita lungo la fascia della Toscana e del Lazio settentrionale. Più in generale l'evoluzione del Bacino di Radicofani è legato allo sviluppo di faglie normali che hanno dislocato la struttura del substrato costituito dalle unità liguridi direttamente sovrapposte alle Anidriti di Burano del Trias superiore ad opera della prima fase tettonica estensionale del Miocene inferiore. Alcune faglie normali mostrano geometria listrica e non sono rilevabili in superficie (Orlando et al., 1991; Liotta, 1994; 1996). Inoltre sul bordo orientale del bacino, costituito dalla dorsale del M. Cetona, sono state riconosciute faglie normali orientate SW – NE di tipo trascorrente destro, successive alle faglie normali orientate NW – SE e attribuite a strutture di trasferimento. Una di queste faglie delimita verso N anche la dorsale di Castell'Azzara, come evidenziato da Decandia et al. (1994), e costituisce il prolungamento verso NE della Linea dell'Albegna, connessa a SW all'omonimo bacino pliocenico (Zanchi & Tozzi, 1987) e verosimilmente da collegare alle faglie di trasferimento sopra ricordate.

L'attività delle faglie sui bordi del bacino è testimoniata da megabrecce con clasti calcarei della Formazione a Rhaetavicula contorta del Trias superiore sul bordo orientale in corrispondenza della dorsale del M. Cetona e dagli olistostromi della Formazione delle argille con calcari palombini sul bordo occidentale in corrispondenza della dorsale M. Amiata – Castell'Azzara. È altresì da evidenziare che sui piani delle faglie normali sul bordo orientale sono stati riconosciuti fori di organismi litofagi ed ostree, che stanno ad indicare i livelli della superficie del mare durante la deposizione dei sedimenti argillosi dell'Unità del F. Paglia nel Pliocene inferiore – medio (Liotta, 1996).

L'elevato spessore dell'Unità del F. Paglia sarebbe la causa principale della subsidenza del bacino, avvenuta su un substrato indebolito dall'elevato flusso di calore dovuto al magma in risalita. A questo fenomeno sarebbero legati il sollevamento dei sedimenti del bacino a quota anche superiori a 800 m. s.l.m., il fenomeno della incisione esercitata dai corsi d'acqua sui loro depositi e la presenza di valli sospese lungo il bordo occidentale del M. Cetona (Liotta, 1996).

3.1.3. Sismicità

Il violento scuotimento del terreno causato dalle vibrazioni delle onde longitudinali e trasversali prodotte da un terremoto rappresenta una delle cause principali di innesco dei movimenti franosi di vario tipo sia in ammassi rocciosi che in terre, come osservato in varie parti dei continenti (Wieczorek, 1996) ed in particolare in Italia in occasione dei terremoti del Friuli nel 1976 e in Irpinia - Lucania nel 1980.

L'Ordinanza della PCM n. 3274 del 20.03.2003 ha stabilito i criteri per l'individuazione delle Zone Sismiche che fanno specifico riferimento alle zone indicate nelle *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*, nelle *Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti* e nelle *Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni*, emanate contestualmente al DL 112/1998,

Le citate *Norme Tecniche* indicano 4 valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta e le norme progettuali e costruttive da applicare. Di conseguenza sono state individuate 4 Zone Sismiche. Viene proposto che ciascuna zona sia individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Ai 23 comuni sismici della Provincia di Siena, riconosciuti in parte nel 1927 e in parte nel 1982, sono stati aggiunti altri 13 comuni con la delibera della Regione Toscana n. 604 del 2003. Di questi 36 comuni 22 appartengono alla zona sismica 2 e 14 alla zona 3. Nel 2006 la Regione Toscana con la delibera n. 431 ha provveduto ad una riclassificazione sismica, secondo gli scenari proposti dall' INGV-MI (2004), con lo scopo di ottenere una classificazione più attinente alla situazione del rischio sismico regionale. Tale riclassificazione non ha previsto un aumento dei comuni sismici nella Provincia di Siena, ma lo spostamento dalla zona 2 alla zona 3S di 18 comuni. Attualmente nella zona 2 rimangono quindi solo 4 comuni: Abbadia San Salvatore, Piancastagnaio, S. Casciano dei Bagni e Radicofani, ovvero un'area di circa 330 Km² in cui risiedono circa 7800 persone con una densità media di 24 abitanti per Km² (dati ISTAT 2001) e in cui sono state censite circa 8100

abitazioni. Tale area, riconosciuta come sismica fin dal 1927 e nel 1982 inserita nella seconda categoria con grado di sismicità S9, presenta un valore mediano di accelerazione sismica compreso tra 0,139 e 0,141 g (INGV).

L'area di Radicofani ha subito nel corso dei secoli numerosi eventi sismici. Giovanni Battista Pecci nelle sue *"Cronache"* riferisce su quattro terremoti di notevole entità durante il XVIII secolo (1727, 1740, 1764 e 1776). Tra questi eventi il più violento fu quello del 1727 che distrusse quasi interamente il borgo cittadino e la rocca. Altri eventi sismici di entità ragguardevole si ebbero nel 1919 con magnitudo 5,2 della scala Richter (VIII grado MCS); nel 1926 con epicentro ad Abbazia San Salvatore (magnitudo 4,4) ed intensità del VII grado MCS; nel 1940 con magnitudo 5,1 ed intensità compresa tra il VII e l'VIII grado MCS; nel 2000 con due scosse di magnitudo 2,7 e 4. A seguito di questo ultimo evento sismico nel comune di Radicofani e nei comuni limitrofi è stato dichiarato lo stato di emergenza tramite il D.P.C.M. del 12 Maggio 2000.

Mediante l'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche e integrazioni contenute nell'Ordinanza del P.C.M. n. 3316 del 02/10/2003 sono stati delineati, come detto in precedenza, i primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. In particolare nell'art. 2 dell'Ordinanza n. 3274 si prescrive l'obbligo da parte dei comuni di procedere a verifica entro 5 anni *"...sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso."* La Regione Toscana, per le competenze contenute nell'art. 94 del D.L. n. 112 del 31/03/1998, ha emanato tramite delibera n. 1114 del 27/10/2003 e successive, il Programma Regionale per la Valutazione delle Verifiche Sismiche negli Edifici Strategici e Rilevanti (VVSESeR) ai sensi dell'Ordinanza del P.C.M. sopra menzionata. Nel VVSESeR viene data priorità agli edifici costruiti con le norme sismiche antecedenti al 1984 in comuni compresi nelle zone sismiche 1 e 2, di proprietà degli enti locali destinati all'istruzione, a sedi istituzionali, a strutture funzionali alle attività degli enti locali e agli edifici di proprietà delle Aziende Ospedaliere. All'interno del territorio comunale di Radicofani vengono quindi indicati come edifici pubblici strategici e rilevanti la sede comunale, la scuola materna "Luchini", la scuola elementare e media, l'ex scuola elementare e in località Contignano la scuola materna e l'ex scuola elementare. Gli interventi in atto prevedono opere di miglioramento e di adeguamento alle norme sismiche vigenti. Alcuni di questi edifici sono interessati dal programma regionale

per la valutazione degli effetti locali (VEL) e dal programma regionale di valutazione della resistenza del cemento armato (VCA).

3.1.4. Caratteri geotecnici delle argille dell'Unità del F. Paglia

Le caratteristiche geotecniche dei sedimenti argilloso – sabbiosi sono state determinate nell'ambito del progetto esecutivo per la costruzione del serbatoio di San Piero in Campo sul F. Orcia mediante una diga. Tale progetto esecutivo, sponsorizzato dal Consorzio di Bonifica della Val d'Orcia, è stato prodotto dalla Società GEOTECNA Progetti s.p.a. di Milano tra il 1970 e il 1976. I lavori eseguiti per la costruzione, limitati allo scolmatario in sponda sinistra e alla parte iniziale dello sbarramento in sponda destra, non sono stati completati per problemi di finanziamento e di incompatibilità ambientale dell'opera idraulica insorti quando i lavori erano già iniziati. Per il progetto esecutivo, oltre ad uno studio geologico, sono state eseguite due indagini geognostiche mediante 5 sondaggi nel 1970 e 2 sondaggi, 2 trincee e 29 pozzetti nel 1975. Dalle perforazioni sono stati prelevati 28 campioni indisturbati per analisi geotecniche di laboratorio.

I sondaggi sono stati perforati lungo l'allineamento San Piero in Campo – Molino della Vignaccia, corrispondente alla sezione di sbarramento del F. Orcia, a profondità di 20 – 27 m dal p. c.. Dalle stratigrafie dei sondaggi risulta che, al di sotto delle ghiaie e delle sabbie alluvionali del F. Orcia con spessore di 4 – 7 m, si rinvenivano le argille grigie compatte con rare intercalazioni di strati sottili di sabbie molto fini e talora di livelli di ciottoli calcarei. Solo in sponda sinistra al tetto delle argille grigie sono presenti limi argillosi giallastri con spessore di 2,6 m

Sui campioni indisturbati sono state eseguite prove di classificazione e prove meccaniche.

Tre campioni prelevati nei sedimenti argillosi superficiali sulla sponda sinistra sono caratterizzati da valore di umidità del 20%, peso secco unitario $1,7 \text{ t/m}^3$, plasticità media – alta con limite di liquidità tra 40 e 56 e indice di plasticità tra 20 e 30.

I 25 campioni di argille grigie compatte mostrano valori di umidità del 12% – 15%, peso secco unitario $1,9 \text{ t/m}^3$, grado di saturazione maggiore del 95%, peso specifico assoluto $2,73 \text{ t/m}^3$, limite di liquidità tra 32 e 49, indice di plasticità tra 15 e 30.

Dal punto di vista granulometrico si tratta di limi argilloso – sabbiosi con composizione media di sabbia 2 – 13%, limo 57 – 63%, argilla 25 – 35%.

Secondo la classificazione di Casagrande le terre in esame sono *argille inorganiche mediamente plastiche*.

Le prove edometriche forniscono moduli di compressibilità per l'intervallo di carico 1,5 – 3 kg/cm² e tra 130 e più di 300 kg/cm². I coefficienti di compressibilità sono compresi tra 0,08 e 0,12. Il carico di pre - consolidazione dei provini risulta di almeno 2 – 3 kg/cm².

La permeabilità, determinata per via indiretta durante le prove edometriche con campione sotto carico di 1,5 kg/cm², ha fornito valori di K molto bassi tra 10^{-8} e 10^{-2} m/sec.

Le caratteristiche di resistenza meccanica sono state determinate mediante prove di rottura ad espansione laterale libera e prove triassali.

Le prime hanno fornito valori di alcuni chilogrammi fino a 20 kg/cm² con modesti valori della deformazione percentuale (< 10%), confermando l'elevata compattezza delle terre in esame.

Sono poi state condotte prove non consolidate non drenate con rottura rapida e prove consolidate con determinazione delle pressioni interstiziali e rottura rapida. Dalle prove non consolidate risultano valori della coesione apparente tra 1,5 e 2,3 kg/cm² con un variabile angolo di attrito, evidentemente funzione del grado di saturazione diverso da 100 e della presenza delle intercalazioni di sabbie fini. Nel livello superficiale delle argille grigie la coesione è di 0,6 kg/cm². Le prove consolidate, in sforzi effettivi, indicano una coesione pari a 0,9 – 1.8 kg/cm² e angolo di attrito di 26° - 30°.

Arcangeli et al. (2002) descrivono i caratteri tecnologici delle rocce argillose plioceniche della Toscana centro – meridionale. Gli autori hanno determinato su 91 campioni la granulometria, la composizione mineralogica, i limiti di Atterberg, l'alluminio, il rigonfiamento, la porosità apparente, il potere decolorante. Cinque campioni provengo dall'area di Radicofani, due campioni da quella di Celle sul Rigo. I risultati delle analisi di questi sette campioni indicano che dal punto di vista granulometrico si tratta di argille limose composte dal 31 - 72% di minerali argillosi, 15 – 26% di quarzo, 2 – 3% di feldspati, 11 – 19% di calcite. La frazione argillosa è costituita in prevalenza da smectiti (fino al 71%), coloriti (6 – 25%), illiti – miche (16 – 58%), caoliniti (5 – 8%). I limiti di Atterberg hanno fornito valori di limite di liquidità tra 36% e 46%, di limite di plasticità tra 23% e 27% e indice di plasticità tra 11% e 21%.

Analisi diffrattometriche semiquantitative sul “tal quale” eseguite presso l'Università di Roma Tre e sulla frazione argillosa di due campioni prelevati nella zona di Podere Ghino di Tacco indicano valori della composizione simili a quelli sopra riportati e gli stessi tipi di fillosilicati. Disperati & Liotta (1998) determinano il rapporto indice dei vuoti / pressione effettiva ed il relativo rapporto porosità/profondità. Con tali parametri gli autori valutano l'entità dell'erosione del Bacino di Radicofani. Inoltre, utilizzando la profondità di sedimentazione,

l'entità dell'erosione e i dati topografici, gli autori valutano che il sollevamento del bacino è compreso tra 0,8 e 2 km, rispettivamente sul bordo orientale e occidentale.

3.2. Caratteristiche climatiche e fitoclimatiche

I dati termopluviometrici provengono dalla stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare di Radicofani posta a 828 m. s.l.m. e si riferiscono al periodo 1971 – 2005.

La temperatura media annua è di 12 °C, il mese più freddo è Gennaio (3,8 °C), il più caldo Agosto (21,5°C), l'escursione termica annua è quindi di 17,7°C. Annualmente piovono in media 705,6 mm di pioggia. I mesi più piovosi sono quelli autunnali con il valore più elevato in Novembre (97,7 mm), mentre nel periodo estivo e in particolare in Luglio (31,2 mm) si registrano precipitazioni mensili di entità inferiore (Fig.9). Tuttavia la distribuzione pluviometrica annua è piuttosto omogenea. L'umidità relativa media annua è del 75%. La velocità media annuale dei venti è di 1 km/h (bave di vento), con provenienza prevalente dal II Quadrante (SE).

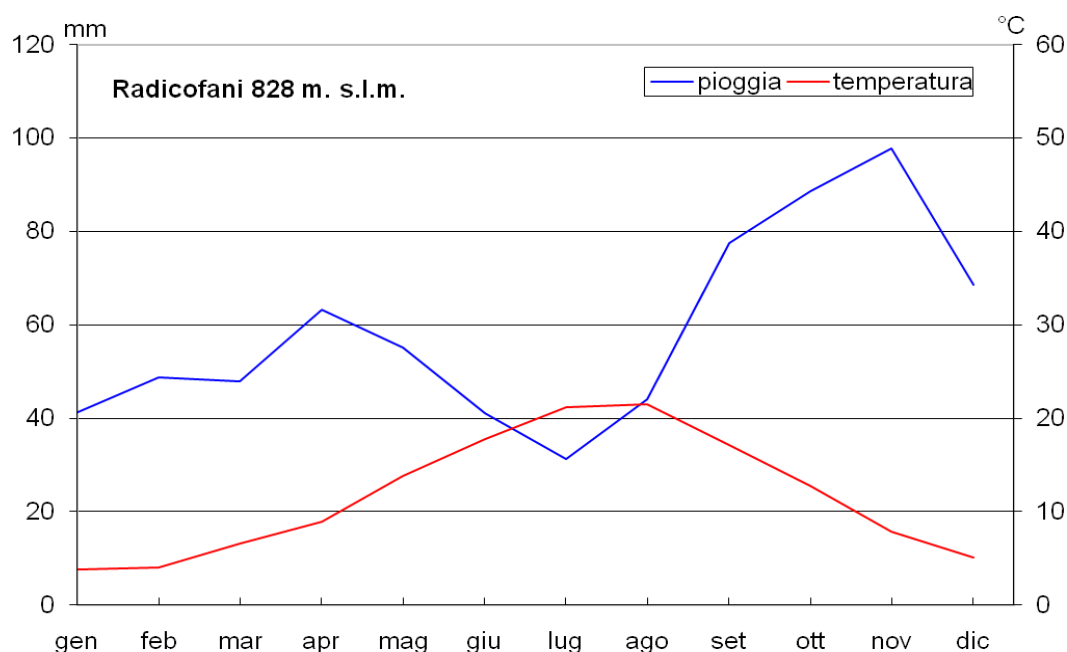


Figura 9: grafico di Bagnoulus & Gaussen della stazione termo – pluviometrica di Radicofani (828 m s.l.m.).

La zona di Radicofani è collocabile, secondo la classificazione ricavabile dal calcolo dell'indice ombrotermico di Rivas – Martinez, nella Regione Temperata con termotipo collinare superiore (submontano) ed ombrotipo subumido superiore. Secondo la

classificazione proposta da Pavari Radicofani appartiene alla zona fitoclimatica del Lauretum I tipo (piovosità abbastanza uniforme), sottozona fredda.

Il calcolo degli indici di Mitrakos (1980) ha evidenziato uno stress mensile da freddo (MCS) maggiore di 50 per il periodo che va da Dicembre a Marzo, con valore massimo in Gennaio (75,2). Lo stress di aridità mensile (MDS) non raggiunge mai valori superiori a 40 (Fig.10). Il grafico di Bagnoulus & Gaussen evidenzia quindi un periodo arido solo nel mese di Luglio dove lo MDS è di 37,5.

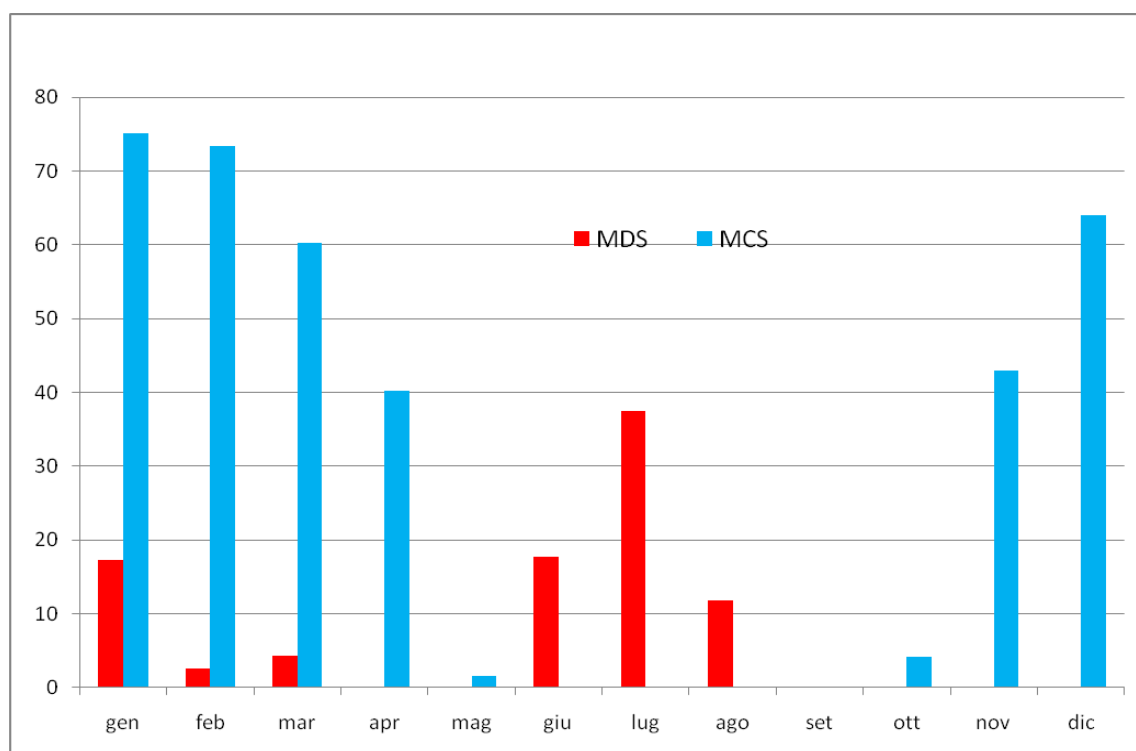


Figura 10: istogramma relativo allo stress mensile da freddo (MCS) e allo stress di aridità mensile (MDS).

3.3. I rimboschimenti nelle colline argillose delle crete senesi

Il primo studio riguardante la convenienza dei rimboschimenti sulle Crete senesi risale al 1865 quando il Ministero dell'Agricoltura incaricò il consigliere forestale Demetrio Balestrieri di visitare il territorio delle crete ed esprimere un giudizio sull'opportunità di effettuare dei rimboschimenti (Garavini, 1934 a). Questi diede un giudizio positivo, ma i tentativi fallimentari che seguirono aumentarono i dubbi sulla fattibilità dei rimboschimenti e sull'opportunità di desistere e concentrarsi esclusivamente sulla bonifica agraria. Tanto che nel 1934 all'interno de "La bonifica nelle colline argillose plioceniche" Pavari scrisse "nelle colline plioceniche nettamente argillose il bosco non è mai esistito, e perciò il rimboschimento non è attuabile" escludendo quindi la sistemazione forestale ed indicando

come unica soluzione la bonifica agraria. Se questa conclusione può essere accettabile per le aree nettamente argillose, tuttavia dove le condizioni pedologiche non sono estreme il bosco ha potuto svilupparsi e ne rimangono dei lembi piuttosto limitati come relitti di antichi boschi. Questa zona è tipica delle specie quercine quali roverella e cerro associate ad orniello e olmo campestre (Pavari, 1934; Crivellari, 1961). La limitata estensione di questi boschi è da attribuire da una parte ai tagli e al pascolo che hanno prodotto una vegetazione regressiva con *Prunus spinosa*, *Spartium junceum* con olmo e orniello molto radi. Garavini (1934 b) rintraccia fonti storiche che testimonierebbero la presenza di boschi nelle colline argillose senesi e spiegherebbe la loro attuale limitata estensione con una cospicua attività di disboscamento iniziato fin da Cosimo I de' Medici (XVI sec.) a seguito di guerre e periodi di carestie (Sismondi, 1832; Verdiani Bandi, 1926). Garavini così come Pavari premette che tali boschi occupavano quasi esclusivamente le zone di affioramento delle *sabbie gialle dell'Astiano* sovrapposte in strati più o meno spessi alle argille, ovvero le arenarie fini intercalate nelle argille limose dell'Unità del F. Paglia. Il substrato prettamente argilloso presentava e presenta invece una vegetazione piuttosto limitata, dove domina l'*Artemisia cretacea* (Antoni, 1965; Branconi et al., 1979; De Dominicis, 1980). Gli artemisieti si rinvenivano nelle zone erose, quindi nelle aree calanchive e sulle biancane e nei pianori di riporto dove si accumulano i prodotti dell'erosione (Branconi et al., 1979). Dove i fenomeni erosivi si riducono si assiste ad un'evoluzione del suolo con progressivo arricchimento in sabbia dovuto all'erosione selettiva della frazione argillosa nel suolo, tale mutamento della tessitura permette l'evoluzione degli artemisieti verso formazioni prative maggiormente stabili dove predominano *Dactylis glomerata* e *Phleum pratense* o *Bromus erectus* a seconda dell'esposizione e dell'altitudine (Branconi et al., 1979). Spesso la vegetazione evolve verso formazioni arbustive, anche rapidamente, con presenza di *Spartium junceum*, *Prunus spinosa*, *Ulmus minor*, *Juniperus communis*. Dove le condizioni geopedologiche lo permettono è possibile l'evoluzione verso forme boschive.

Per trovare i motivi della sterilità delle argille del Pliocene inferiore e quindi sull'impossibilità dell'instaurarsi del bosco furono compiuti diversi studi sulla composizione chimica delle argille fin dal XIX secolo (Sestini, 1879; Bandini, 1881, Martini, 1883), nel secolo successivo Pratolongo (1926) attribuì la sterilità al potere riducente, alla salsedine e soprattutto all'alcalinità. Le analisi pubblicate da Alinari & Palazzo (1934) su campioni di suolo prelevati nel comune di Radicofani evidenziano valori di pH tra 7,4 e 8,6. Alle stesse conclusioni giunse Giacobbe (1961) associando agli alti valori di pH la tendenza di questi terreni a spaccarsi e quindi ad essere erosi e lo scarso contenuto di sostanza organica. L'autore

indica quindi come situazione critica per la vita vegetale valori di pH tra 8,2 e 8,5, gli effetti di tale alcalinità possono essere aggravati dove la frazione sabbiosa scende sotto un certo limite con conseguente aumento della compattezza e dell'impermeabilità. Giacobbe oltre ad evidenziare i vizi di sterilità fornisce anche una metodologia per rimediarvi e quindi un modo per eseguire il rimboschimento su questi substrati. Se da una parte afferma che l'unica bonifica che giustifichi dispendiose lavorazioni sia quella agraria, dall'altra indica un modo economico per ottenere un soprassuolo forestale. Il suo metodo si basa sul miglioramento delle caratteristiche pedologiche attraverso il rinfoltimento della vegetazione arbustiva esistente come ginestra, artemisia etc. (*fase arbustiva*), in questa fase si mira al miglioramento del suolo e alla protezione dall'erosione e dal disseccamento. A questa fase ne segue un'altra denominata *arborea*, dove sono introdotte specie arboree chiamate d'avanguardia che miglioreranno ulteriormente le caratteristiche pedologiche (olmo, orniello, cipresso, robinia, ontano napoletano). Ed infine si provvederà al rimboschimento con le specie climax come roverella e cerro (*fase forestale*). Tale metodo secondo Giacobbe eviterebbe i fallimenti ottenuti con la piantagione diretta delle specie quercine definendo il substrato argilloso come un supporto e non ancora un suolo nel senso pedologico, quindi per il successo delle opere di rimboschimento bisognerà trasformare in maniera graduale questo "supporto".

Riguarda la scelta delle specie era di un altro avviso sia Pavari sia Crivellari che negli Atti del Congresso sui rimboschimenti e sulla Ricostituzione dei boschi degradati del 1961, gli stessi dove sono riportate le teorie di Giacobbe, indicano come le sole specie pioniere possano instaurarsi con successo nelle argille. In particolare Pavari prevede l'uso di conifere anche per sopperire alla scarsità di queste nell'economia forestale italiana.

La prima opera di rimboschimento di cui si ha notizia nel territorio delle Crete senesi è databile 1873 della quale Piccioli nel 1907 ci riporta i risultati fallimentari. Tale rimboschimento fu eseguito con conifere e le lavorazioni consistevano in uno scasso profondo, mescolanza di sabbia all'argilla, debbio e piantagione di piantine molto sviluppate. In precedenza c'erano stati i tentativi effettuati secondo le indicazioni di Balestrieri di cui non si hanno notizie certe, tranne gli esiti fallimentari. Le indicazioni del consigliere forestale, del quale abbiamo parlato all'inizio del paragrafo, riguardavano la semina e piantagione di specie quercine. Negli anni a seguire il R.D. 13 febbraio 1933, n.215 – *Nuove norme per la bonifica integrale*, furono effettuati numerosi rimboschimenti legati alla difesa idrogeologica, ovvero opere "*volte ai fini pubblici della stabilità del terreno e del buon regime delle acque*". Tali interventi interessarono anche i bacini dei fiumi Orcia, Paglia e Fiora. Nel 1936 venivano segnalati per questi bacini 1500 ettari di rimboschimenti comprendendo tutti i comuni con

l'esclusione di Roccalbegna, Semproniano, Sorano e Radicofani, in questi comuni i rimboschimenti inizieranno solo negli anni '60.

Nel secondo dopoguerra s'interviene a livello legislativo per arginare la crisi economica delle zone montane. L'articolo 44 della Costituzione prevede "*La legge dispone provvedimenti a favore delle zone montane*" e successivamente con la Legge 20 aprile 1949 n. 264 vennero istituiti cantieri di rimboschimento con lo scopo di arginare la disoccupazione, ma solo con la Legge 25 luglio 1952 n. 991 fu affrontato in maniera organica e con cospicue risorse finanziarie la bonifica nelle aree montane. I provvedimenti e i finanziamenti di questa legge furono prolungati fino al 1966. Nel 1972 (DPR 15 gennaio 1972 n.11) la competenza in materia di rimboschimento passa alle regioni, le quali negli anni '80 delegheranno a Provincia e Comunità montane le funzioni in questa materia.

Indubbiamente in Toscana il periodo di maggiore attività nell'ambito dei rimboschimenti è stato quello tra il 1960 e il 1970, periodo nel quale sono stati rimboschiti o rinfoltiti 15000 ha nel territorio regionale, di questi 4000 nella provincia di Siena (Ciabatti et al., 2009). Le specie maggiormente usate nel senese sono il pino nero (2670 ha), i cipressi (601 ha) e i pini mediterranei (446 ha).

4. RISULTATI

4.1. Geologia

I bacini della parte settentrionale (Castelvecchio, Trucciole, Scalonca, Perignano, Favorito, Landola) sono composti per circa il 90% dalle argille dell'Unità del F. Paglia (UFP) e per il restante 10% dagli affioramenti di arenarie e ciottoli sempre dell'UFP e dalle alluvioni (Fig. 11). Nei tre bacini meridionali (Cacarello, Stiantone e Sucenna) oltre all'UFP affiora l'Unità di Radicofani, i depositi di versante di natura lavica e la Formazione di Santa Fiora nella parte occidentale del Bacino del torrente Cacarello. L'UFP rimane predominante anche nei bacini meridionali, ma è in parte ricoperta dai depositi di versante i quali raggiungono valori tra il 20 e il 30% (Tab. 3; Tav. 1).

Litologia	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca	Media
1	4,3	1,0	1,0	9,0	12,3	3,8	0	3,5	5,8	4,5
2	20,4	0	0	0	0	31,6	29,2	0	0	9,0
3	0,3	0	0	0	0	0	1,4	0	0	0,2
4	66,3	98,7	93,6	88,9	83,4	64,1	69,4	92,2	89,5	82,9
4a	1,0	0,3	5,5	2,1	4,4	0,6	0	4,3	4,7	2,5
5	7,7	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0,9

Tabella 3: superficie affiorante in percentuale delle formazioni geologiche (vedi Tav. 1) relativi ai singoli bacini.

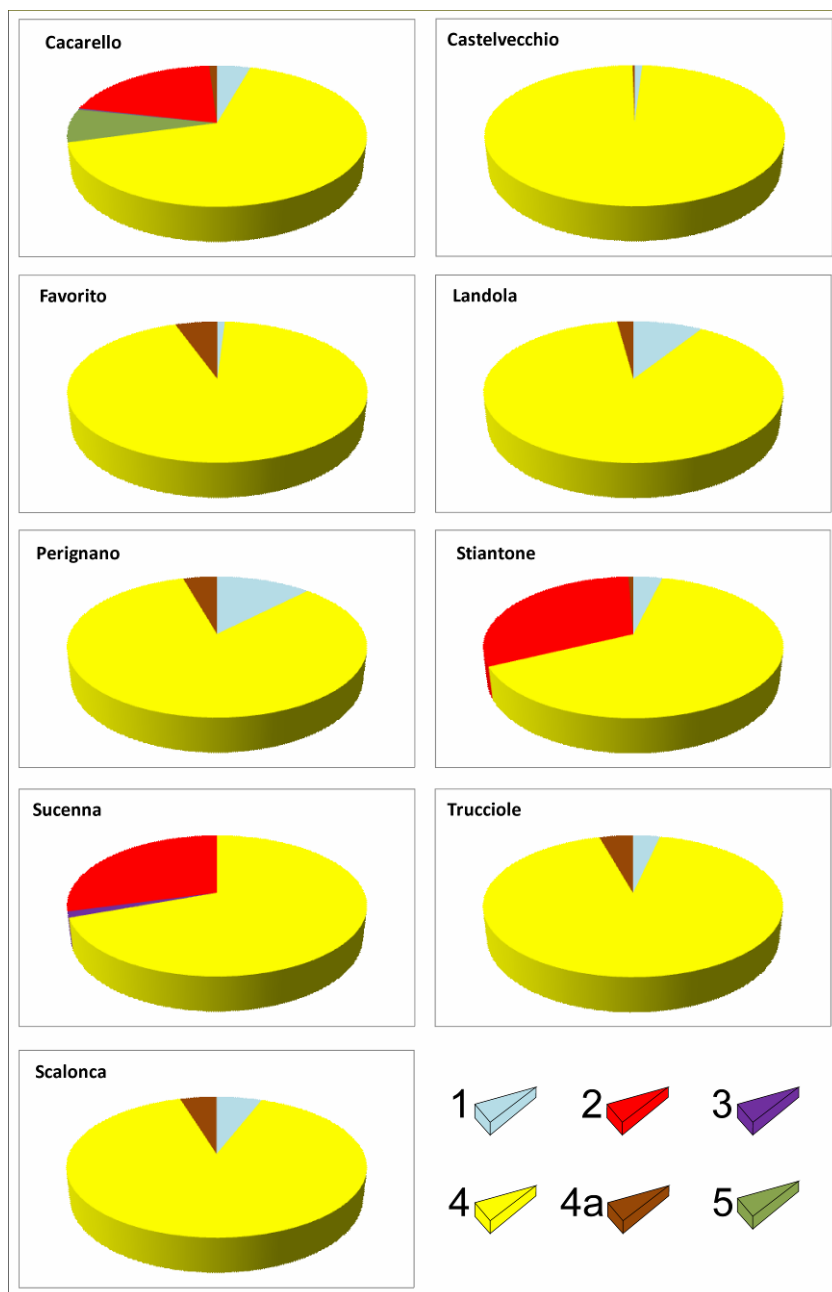


Figura 11: diagrammi a torta relativi ai valori espressi nella tabella 3.

4.2. L'uso del suolo

Il 50% circa del territorio comunale è destinato alle attività agricolo – pastorali. Le aree naturali e semi naturali occupano zone di ricolonizzazione dei terreni abbandonati dall'agricoltura e i terreni aventi condizioni morfologiche proibitive per l'attività antropica. I boschi di latifoglie, composti in prevalenza da cerro, roverella e orniello (cerrete mesoxerofile), si rinvencono principalmente nell'area interessata dal detrito vulcanico e su terreni argillosi con pendenze inferiori ai 15° (Tav. 2).

CORINE	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca	Media	dev st
11	0,1	2,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,37	0,9
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
14	0,0	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,14	0,3
21	9,9	43,6	23,7	42,0	16,9	40,7	37,5	68,2	46,3	36,54	17,5
22	1,2	3,6	0,0	3,0	0,0	0,8	0,1	0,3	0,1	1,00	1,4
23	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	1,6		0,8	0,0	1,03	2,0
24	32,1	1,0	0,0	0,7	0,0	5,6	11,1	1,8	0,0	5,81	10,5
3112	2,8	17,6	22,8	21,1	49,3	27,5	18,9	9,6	26,0	21,74	13,0
3121	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,80	2,4
3122	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	2,4		0,0	0,0	0,48	0,9
3125	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,7	0,21	0,6
3131	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,02	0,1
31321	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,26	0,8
31322	0,0	5,8	0,1	0,0	0,6	0,0	2,4	0,0	0,0	0,99	2,0
31325	0,0	4,3	7,1	0,0	29,1	1,1	7,5	0,0	0,0	5,46	9,4
32	25,4	9,1	22,5	17,9	0,0	13,6	15,6	8,4	6,5	13,22	8,1
33	28,6	5,1	15,3	15,3	4,1	6,5	4,0	10,6	19,3	12,09	8,3
51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,02	0,0

Tabella 4: categorie di uso del suolo in percentuale nei nove bacini.

Nei nove bacini presi in esame le aree a seminativi non irrigui occupano in media circa il 37% della superficie con un massimo del 68% del Bacino del Torrente Trucciole ed una deviazione standard del 17,5% (Tab. 4). I boschi di latifoglie riguardano in media il 22% del territorio e una deviazione standard del 13%. Nel bacino del torrente Perignano i boschi di latifoglie sono predominanti (49,3%). Le aree con vegetazione arbustiva rappresentano in media il 13%, mentre le aree con vegetazione scarsa o assente il 12%. I rimboschimenti (codici CORINE 3121; 3122; 3125; 3131; 31321; 31322; 31325) rappresentano in media l'8%.

Rispetto alla situazione rilevata attraverso le foto aeree del 1954 si ha un generale aumento delle aree agricole a seminativi (Tab. 5), mentre diminuiscono le colture arboree (uliveti e vigneti, codice 22) e le zone agricole eterogenee (codice 24) le quali erano composte per lo più da aree agroforestali con pascoli sotto copertura arborea. Le zone boscate aumentano sensibilmente in tutti i bacini, ad esempio in quello del torrente Perignano si ha una variazione positiva maggiore del 50%.

Più eterogenea la situazione per le aree a vegetazione erbacea ed arbustiva (codice 32): diminuiscono drasticamente nel bacino del Perignano, aumentano di circa il 10% in Cacarello, Favorito, Landola e Sucenna, mentre in Stiantone e Trucciole la variazione positiva non supera il 2%. Le aree a vegetazione rada o assente invece si sono ridotte sensibilmente in tutti

i bacini con $\Delta\%$ maggiore del -20% nei bacini Favorito, Landola, Perignano, Stiantone, Trucciole e Scalonca, in quest'ultimo il $\Delta\%$ è -40.65%.

Uds	anno	Bacini								
		Cacarello	Castelvechio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca
11	1954	0,10	0,00	0,00				0,19	0,00	
	2007	0,05	2,64	0,21				0,17	0,18	
	$\Delta\%$	-0,05	2,64	0,21				-0,02	0,18	
14	1954		0,00	0,00						
	2007		0,19	1,05						
	$\Delta\%$		0,19	1,05						
21	1954	11,52	33,26	29,73	28,68	9,81	32,89	64,79	44,23	21,45
	2007	28,16	43,54	23,73	41,98	16,80	40,77	37,55	68,32	46,36
	$\Delta\%$	16,63	10,28	-6,00	13,30	6,98	7,88	-27,24	24,09	24,91
22	1954	1,30	12,36	1,89	2,49	0,26	1,68	1,33	4,35	0,00
	2007	0,00	3,66	0,00	3,02	0,00	0,76	0,13	0,26	0,05
	$\Delta\%$	-1,30	-8,70	-1,89	0,53	-0,26	-0,92	-1,20	-4,09	0,05
23	1954	0,00		0,00			0,00		0,00	
	2007	3,87		5,86			1,61		0,82	
	$\Delta\%$	3,87		5,86			1,61		0,82	
24	1954	33,27	6,65		6,60		14,99	9,44	2,13	1,20
	2007	2,10	0,98		0,71		5,61	11,06	1,85	0,00
	$\Delta\%$	-31,16	-5,67		-5,89		-9,38	1,62	-0,28	-1,20
31	1954	2,33	8,52	10,73	8,21	25,56	12,00	6,43	2,76	3,76
	2007	20,01	34,74	31,34	21,07	79,17	31,12	31,57	9,60	27,77
	$\Delta\%$	17,67	26,22	20,61	12,86	53,61	19,12	25,14	6,84	24,01
32	1954	25,41	14,17	11,09	9,71	37,84	11,75	6,11	7,36	13,58
	2007	35,53	9,15	22,45	17,89	0,00	13,56	15,53	8,38	6,45
	$\Delta\%$	10,12	-5,02	11,35	8,18	-37,84	1,81	9,42	1,02	-7,13
33	1954	26,07	25,04	46,56	44,25	26,51	26,70	11,71	39,18	60,01
	2007	10,28	5,10	15,36	15,30	4,03	6,51	3,97	10,54	19,36
	$\Delta\%$	-15,79	-19,94	-31,20	-28,95	-22,48	-20,19	-7,74	-28,64	-40,65
51	1954				0,00		0,00	0,00	0,00	
	2007				0,03		0,06	0,02	0,07	
	$\Delta\%$				0,03		0,06	0,02	0,07	

Tabella 5: valori percentuali delle classi di uso del suolo nel 1954 e nel 2007 e loro variazione ($\Delta\%$). In verde i Δ positivi, in rosso i Δ negativi.

4.3. Geomorfologia

4.3.1. Aree a calanchi, biancane ed erosione accelerata (Ac)

Le aree a calanchi e biancane sono largamente diffuse nel territorio di Radicofani (Fig. 12 e 13). Dalla foto interpretazione delle immagine del 1954 è stata riscontrata una ragguardevole presenza di versanti interessati da erosione accelerata, calanchi e biancane, specialmente nel bacino dello Scalonca dove oltre la metà della superficie è affetta da erosione. Negli altri bacini le Ac variano dal 8% del torrente Perignano e il 41% del Trucciole con una media del 25%. Le Ac si sono ridotte sensibilmente dal 1954 al periodo 2003 – 2007 (Fig. 13; Tab. 6). Questa riduzione interessa tutti e nove i bacini con variazioni percentuali ($\Delta\%$) cospicue soprattutto nei bacini dei torrenti Perignano (-80%), Castelvechio (-76%), Stiantone e del fosso della Sucenna (-68%). In media la riduzione delle Ac è stata del 58%.

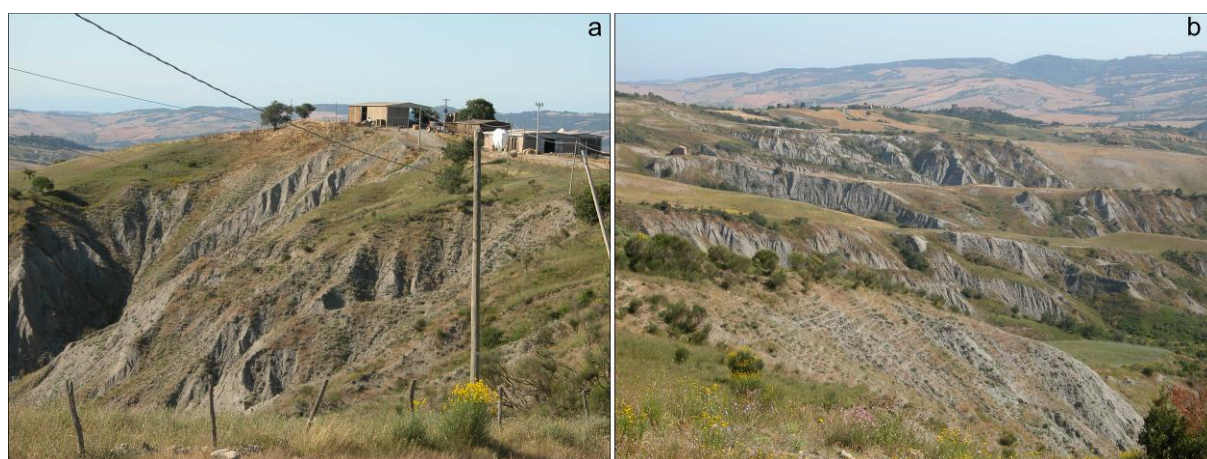


Figura 12: erosine calanchiva in località Contrada Barbone (a) e paesaggio a biancane (b) nei pressi di Poggio Bandinelli.

		Cacarello	Castelvechio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca	Media
Km ²	1954	1,4	0,79	0,18	2,08	0,05	1,74	0,38	2,24	1,3	1,1
	2003 - 2007	0,82	0,19	0,13	1,03	0,01	0,56	0,18	0,96	0,41	0,5
%	1954	15,6	22,3	18,6	33,8	8,1	24,2	10,1	40,7	55,6	25,4
	2003 - 2007	9,1	5,4	13,4	16,7	1,6	7,8	4,8	17,5	17,5	10,4
Δ Km ²		-0,58	-0,6	-0,05	-1,05	-0,04	-1,18	-0,2	-1,28	-0,89	-0,7
Δ %		-41,4	-75,9	-27,8	-50,5	-80,0	-67,8	-52,6	-57,1	-68,5	-57,8

Tabella 6: valori di Ac in Km² e in percentuale e loro variazioni nei nove bacini.

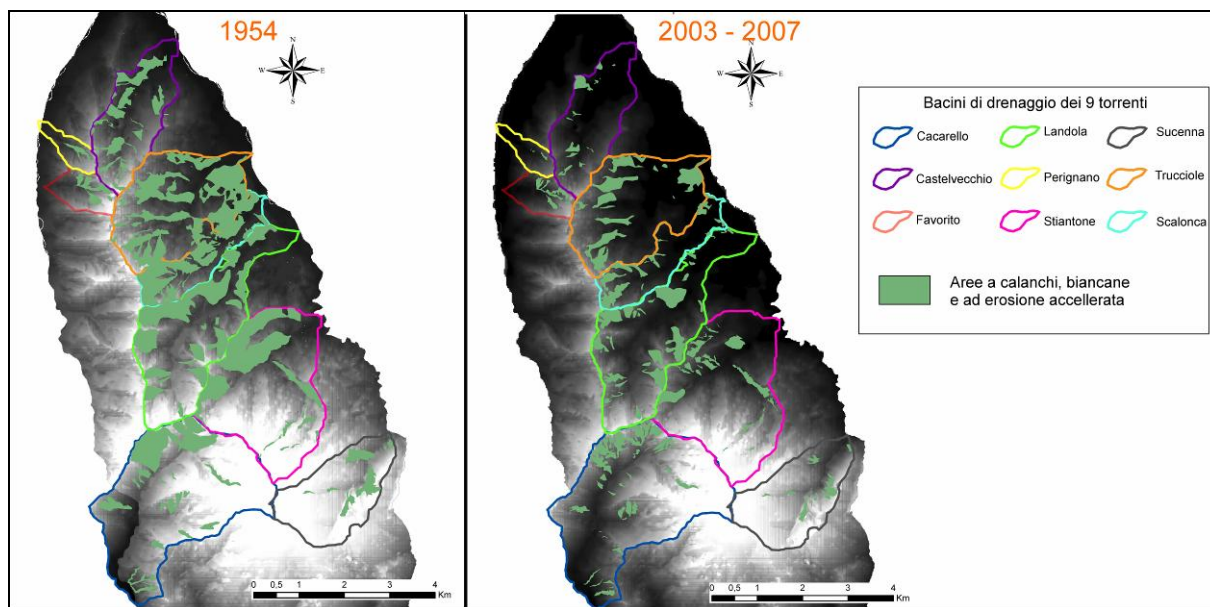


Figura 13: confronto diacronico delle aree a calanchi, bianche e ad erosione accelerata nei nove bacini.

4.3.2. Indice di Franosità

I dati provenienti dalla banca dati del Progetto IFFI dell'ISPRA evidenziano una franosità piuttosto diffusa nell'area di Radicofani. In media circa il 14% di ogni bacino è interessato da fenomeni franosi. Frequenti sono gli scivolamenti traslazionali e rotazionali (Fig.14) ma anche i colamenti e le frane di tipo complesso (Fig.15). Nella parte meridionale e specificatamente nel bacino del torrente Cacarello si riscontrano estese aree a franosità superficiali diffusa. In questo bacino ben il 45% della superficie è affetto da frane, mentre negli altri bacini le percentuali variano dal 2,4 del torrente Perignano al 19,6% del bacino del torrente delle Trucciole (Tab. 7).

I valori dell'IFrel relativi ai quattro fattori mostrano mediamente una predisposizione alla franosità maggiore nelle aree di affioramento delle argille dell'UFP con pendenza (slope) tra i 10° e i 20°, esposte a N e utilizzate a scopi agricoli (Tab. 7). Le differenze osservabili tra i bacini, per le classi predominanti dell'IFrel, riguardano principalmente l'esposizione (aspect; Tab. 8). I versanti esposti nel quadrante settentrionale hanno maggiore franosità nei bacini Castelvechio, Landola e Stiantone, mentre i bacini Cacarello, Perignano, Sucenna e Scalonca hanno IFrel elevati nel quadrante meridionale. Le classi predominanti per gli altri fattori non variano sensibilmente tra i bacini, da segnalare il bacino Cacarello dove l'USF, presente solo qui, mostra il valore maggiore dell'IFrel e il bacino Perignano dove sono le aree boscate e con pendenze tra 20 e 30° ad avere l'IFrel maggiore (tab. 8, 9; Fig.16, 17, 18, 19).



Figura 14: frana di scivolamento traslazionale in area calanchiva (maggio 2010).

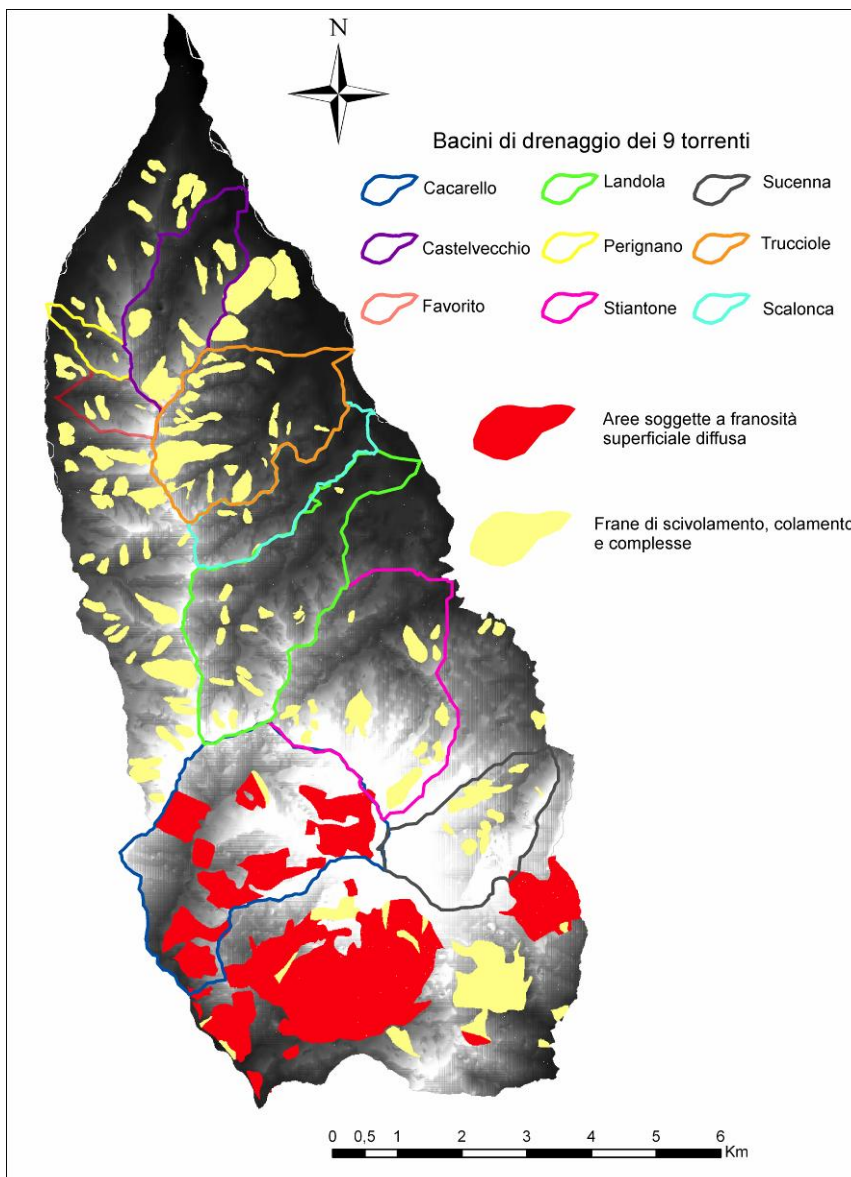


Figura 15: aree in frane nel territorio di Radicofani.

Bacino	S tot km ²	S frana km ²	S frana %
Cacarello	8,98	4,04	45
Castelvecchio	0,97	0,18	18,6
Favorito	0,62	0,05	8,6
Landola	7,2	0,33	4,6
Perignano	6,16	0,15	2,4
Stiantone	3,55	0,39	11,1
Sucenna	2,34	0,26	11,3
Trucciole	5,5	1,08	19,6
Scalonca	3,77	0,10	2,7
Media		0,73	13,77

Tabella 7: superficie totale, superficie in frana in km² e in percentuale dei bacini.

	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca
Slope °	10-20	10-20	10-20	40-50	20-30	20-30	0-10	10-20	10-20
Aspect	SE	N	W	N	SW	NE	SE	E	S
uds	24	14	21	24	31	21	21	24	21
Geologia	5	4	4	4	4a	4	4	4 - 4a	4

Tabella 8: classi con IFrel maggiore per ognuno dei quattro fattori.

Slope °	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca	Media
0-10	84	64	71	30	32	21	100	55	40	55
10-20	100	100	100	49	88	73	70	100	100	87
20-30	50	48	4	32	100	100	57	41	53	54
30-40	15	8	2	14	0	73	33	9	46	22
40-50	6	0	0	100	0	39	18	0	0	18
50-60				0		27	9			12
60-70				0		15	0			5
70-80						19				19
80-90						0				0

Tabella 9: valori dell'IFrel delle classi del fattore pendenza (slope).

Aspect	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca	Media
Flat	28	0	0	0	0	0	0	0	0	3
N	85	100	84	100	84	57	6	66	47	70
NE	31	71	48	45	0	100	52	85	45	53
E	84	28	30	28	0	22	58	100	64	46
SE	100	3	38	35	0	7	100	83	45	46
S	31	1	35	32	0	3	18	30	100	28
SW	38	25	17	16	100	2	7	18	74	33
W	66	56	100	93	12	5	4	65	2	45
NW	93	71	95	88	28	81	7	43	1	56

Tabella 10: valori dell'IFrel delle classi del fattore esposizione (aspect).

Land use	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca	Media
11	0	12	0				0	0		2
12							0			0
14		100	24				0			41
21	88	82	100	20	16	100	100	98	100	78
22	63	11		7		0	0	0	0	12
23			0			0		96		32
24	100	12		100		92	71	100		79
31	29	80	48	28	100	49	70	18		53
3121		0					0		14	5
3122			0			43				22
3125							0		0	0
3131							0			0
31321							0			0
31322		0	0		0		0			0
31325		1	0		0	0	6			1
32	94	3	1	2		44	89	56	58	43
33	22	5	3	2	0	0	0	17	4	6
51				0				0		0

Tabella 11: valori dell'IFrel delle classi del fattore uso del suolo (land use).

Geologia	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca	Media
1	10	0	0	13	0	0		0	0	3
2	54					71	34			53
3	0						0			0
4	20	100	100	100	55	100	100	100	100	86
4a		90	0	0	100	34		100	0	46
5	100									100

Tabella 12: valori dell'IFrel delle classi del fattore geologia.

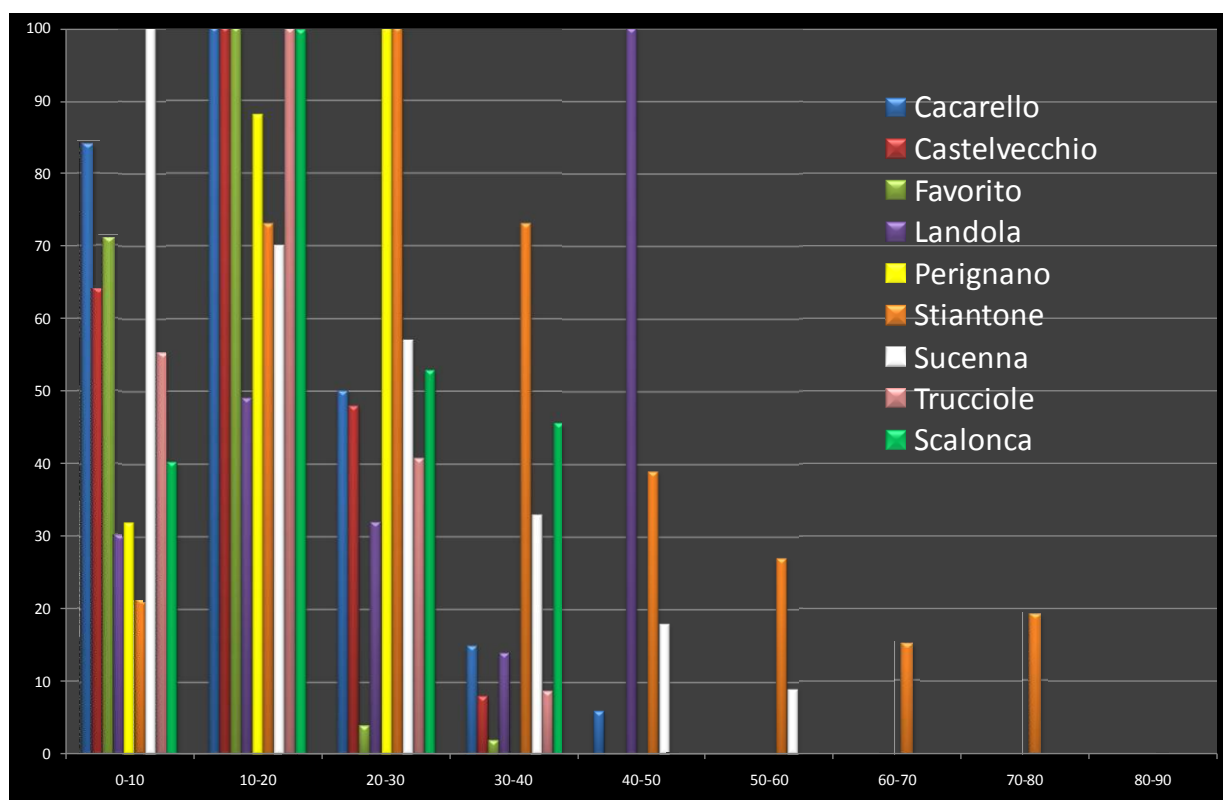


Figura 16: istogramma relativo ai valori della tabella 8.

Nella tabella 13 e nel grafico di figura 20 vengono mostrati i pesi relativi ad ogni fattore per il calcolo del IFtot. Dai valori medi per i 9 bacini si nota una forte omogeneità, ovvero i quattro fattori hanno pesi molto simili che va dal 23 di aspect al 27 di slope. Anche all'interno dei singoli bacini non c'è mai un fattore fortemente preponderante, ad eccezione del bacino Cacarello dove la pendenza pesa per il 43% e nel bacino Landola dove il fattore geologia rappresenta il 39%, aspect il 34%, mentre l'uds solo l'8%.

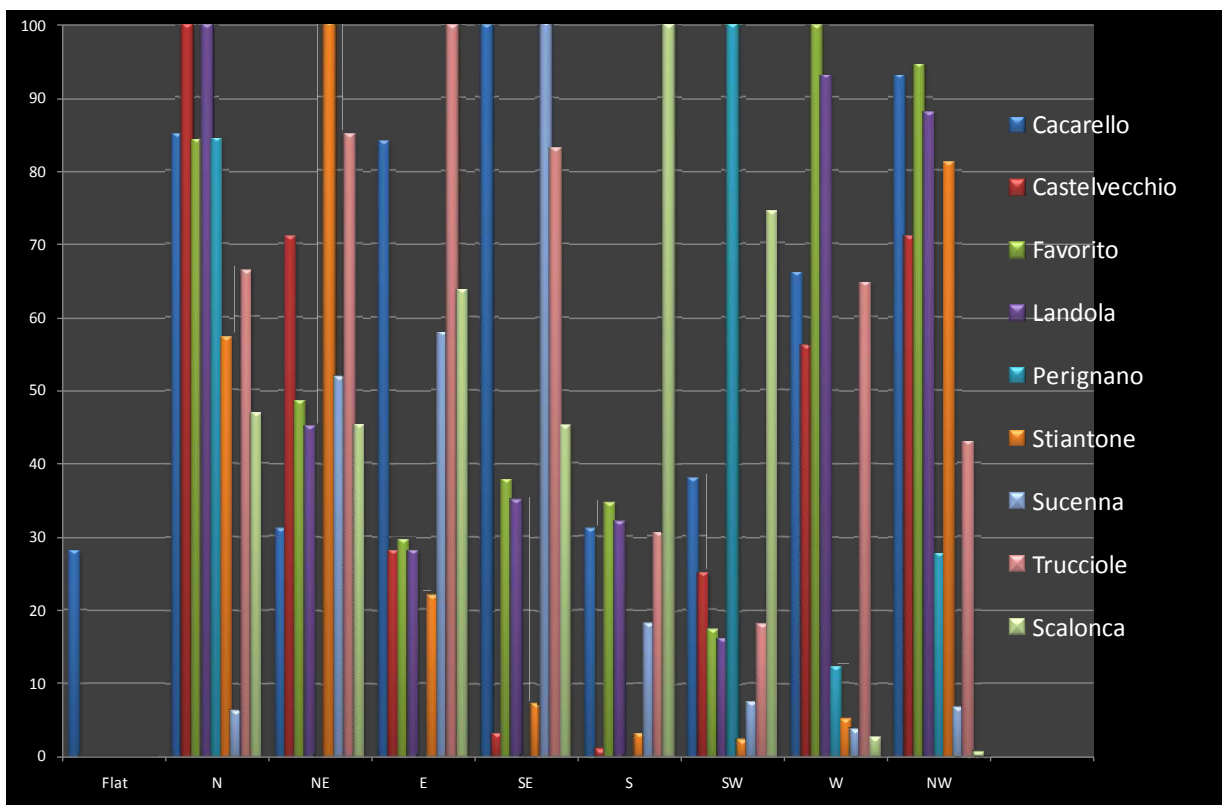


Figura 17: istogramma relativo ai valori della tabella 9.

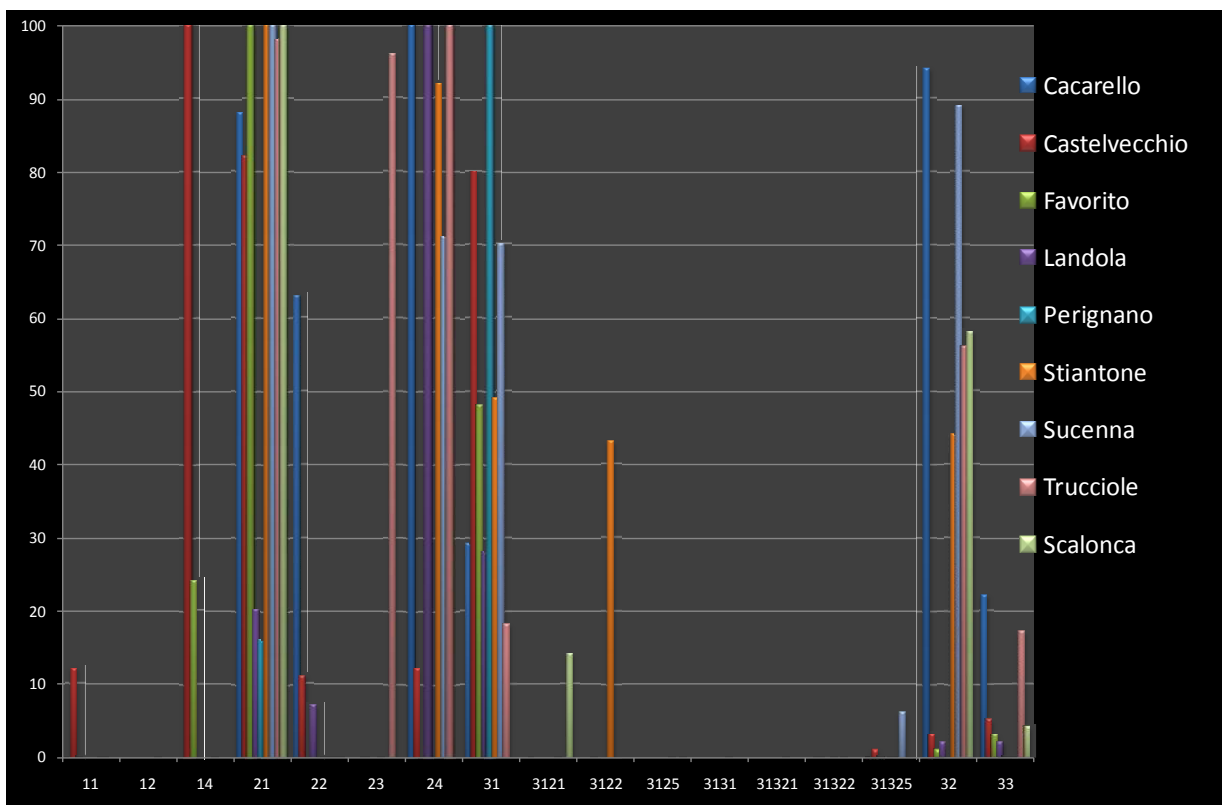


Figura 18: istogramma relativo ai valori della tabella 10.

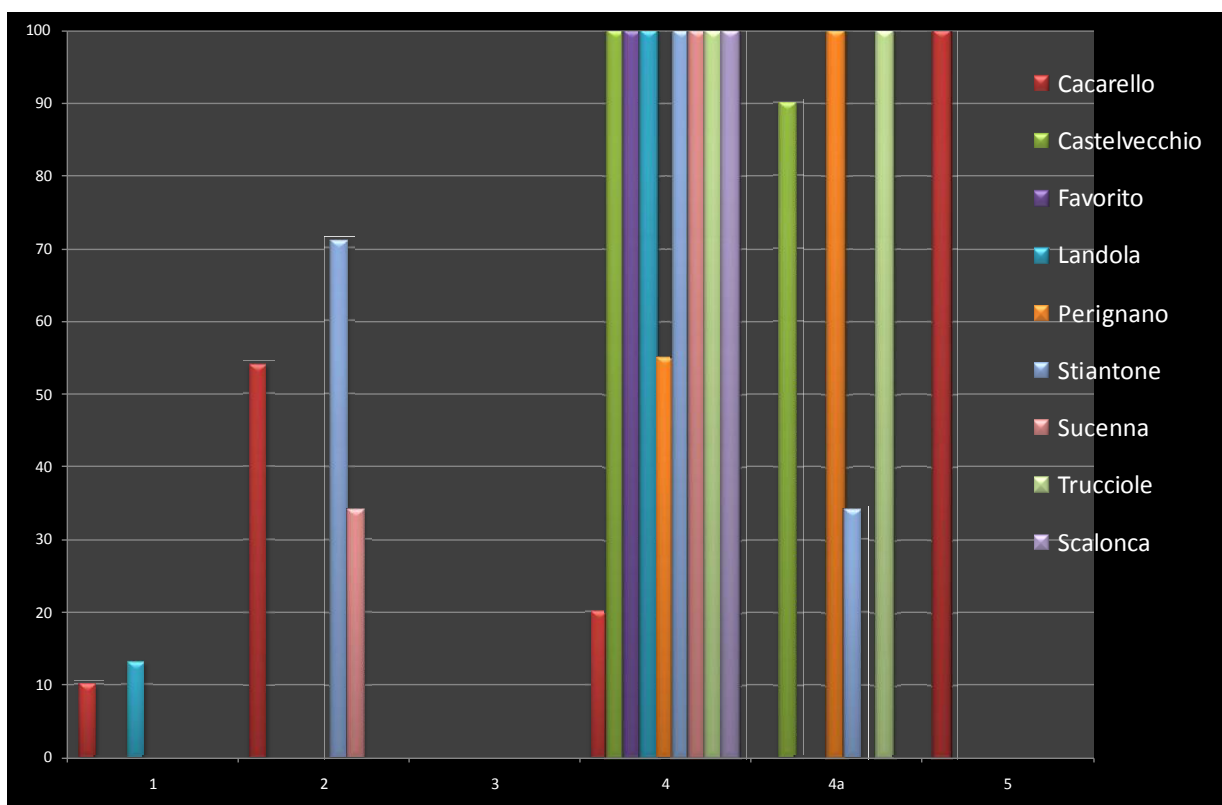


Figura 19: istogramma relativo ai valori della tabella 11.

	Cacarello	Castelvechio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scaltona	Media	dev.st.
slope	43	29	27	19	26	21	28	26	27	27	6,7
aspect	30	18	19	34	27	23	16	22	19	23	6,1
uds	16	24	27	8	30	28	28	26	27	24	7,2
geologia	11	29	27	39	17	28	28	26	27	26	7,9

Tabella 13: pesi attribuiti ai quattro fattori per il calcolo dell'IFtot nei nove bacini.

I valori medi dell'IFtot sono in tutti i bacini superiori a 50 (Tab. 14; Fig.21), particolarmente elevati i valori nei bacini Trucciole, Sucenna e Castelvechio, in quest'ultimo l'IFtot non scende mai sotto 32 (min). La variabilità (dev.st.) dei valori è pressappoco uguale in tutti i bacini (~ 18). Il valore medio dell'IFtot per tutti i bacini e ponderato alla superficie è di 65.

L'IFmin indica il valore dell'IFtot al di sopra del quale sono comprese la metà delle aree in frana e nei 9 bacini assume valori variabili bassi tra 50 e 61 nei bacini Cacarello, Landola e Perignano, mentre valori maggiori si hanno negli altri bacini con un massimo di 90 per Sucenna e Trucciole (Fig. 22). L'IFmin e la percentuale di aree suscettibili al franamento (IF

$\geq IF_{min}$) sono inversamente correlati, quindi dove l' IF_{min} è elevato diminuisce la propensione al dissesto (Tab. 14). La superficie $IF \geq IF_{min}$ corrisponde al 44% dell'area totale dei 9 bacini. In Cacarello, Castelvechio, Favorito, Landola, Perignano e Stiantone le aree con $IF \geq IF_{min}$ superano il 50%, mentre nei restanti tre bacini risultano preponderanti le zone con $IF < IF_{min}$.

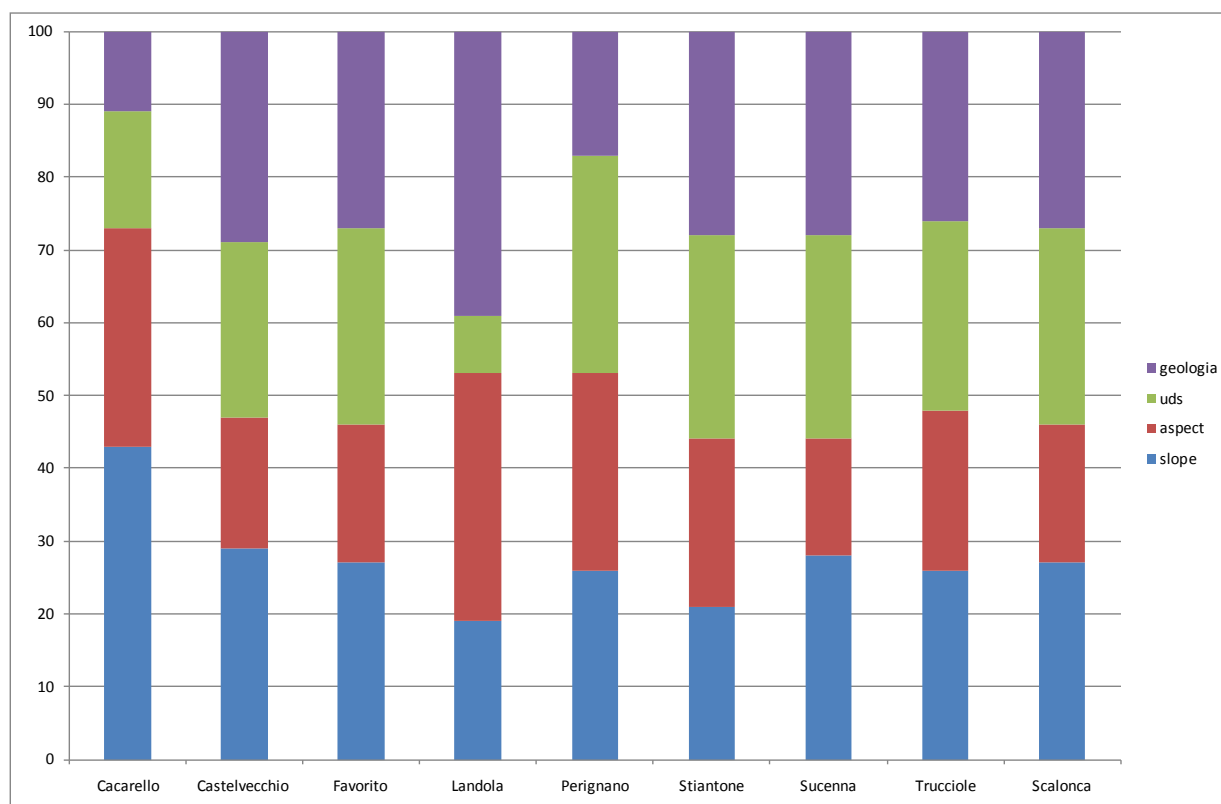


Figura 20: istogramma relativo ai valori della tabella 13.

Nella tabella 15 viene mostrata la probabilità di frana (PF) ottenuta con la formula $(A_{tot} \% - A_{non\ in\ frana} \%)/A_{tot} \%$, i valori percentuali si riferiscono alle aree con $IF_{tot} \geq IF_{min}$ (Romeo & Tiberi, 2006). La PF è fortemente correlata alla percentuale delle aree in frana ed ha quindi valori più elevati in quei bacini estesamente interessati da fenomeni franosi, come Cacarello (52%), Castelvechio (36%) e Trucciole (32%). Valori sotto il 10% nei bacini Landola. Scalonca e Perignano nei quali le superfici interessate da frane non superano il 5% dell'area totale.

Bacino	IFtot				IFmin	IF < IFmin %	IF ≥ IFmin %
	Max	Min	Media	dev.st.			
Cacarello	99	17	59	16	61	50	50
Castelvecchio	100	32	73	14	85	49	51
Favorito	100	0	61	22	58	49	51
Landola	94	16	63	16	61	44	56
Perignano	100	9	56	18	50	49	51
Stiantone	100	4	69	18	69	49	51
Sucenna	100	12	73	19	90	72	28
Trucciole	100	23	81	15	90	68	32
Scalonca	99	12	67	18	89	84	16

Tabella 14: valori massimi, minimi e medi dell'IFtot; valori dell'IFmin e percentuale di aree con IF < IFmin e aree con IF ≥ IFmin.

Bacino	A frana %	IF min	IF tot ≥ IF min		
			A tot %	A non in frana %	PF %
Cacarello	45	61	50,2	24,1	52
Castelvecchio	18,6	85	27,5	17,5	36
Favorito	8,6	58	50,5	42,01	17
Landola	4,6	61	42,4	38,7	9
Perignano	2,4	50	50,5	48,4	4
Stiantone	11,1	69	51,1	41,6	19
Sucenna	11,3	90	27,9	21,2	24
Trucciole	19,6	90	31,9	21,8	32
Scalonca	2,7	89	15,7	14,3	9

Tabella 15: percentuale delle aree in frana, IFmin, aree con IFtot ≥ IFmin e probabilità di frana.

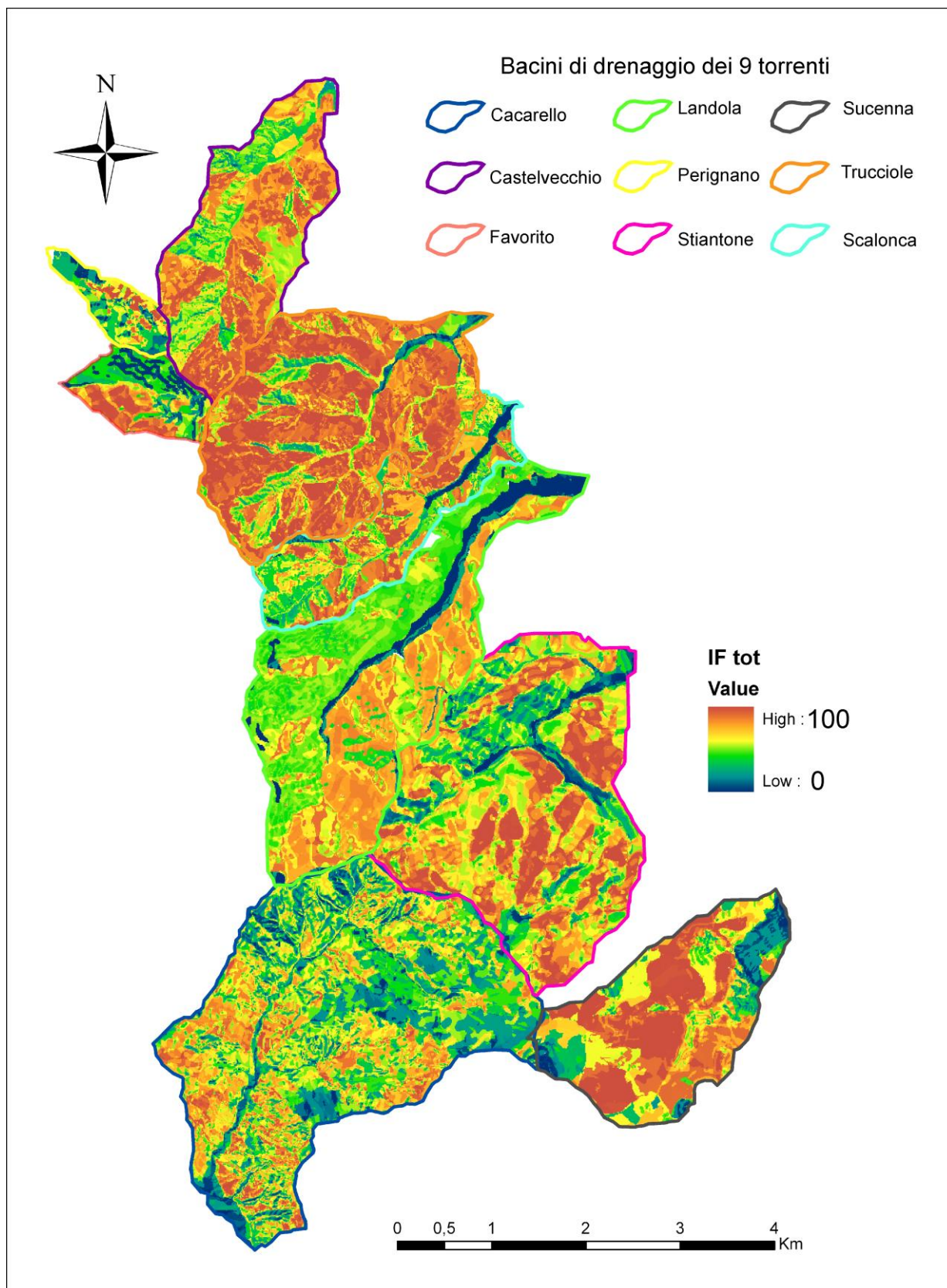


Figura 21: indice di franosità totale (IFtot).

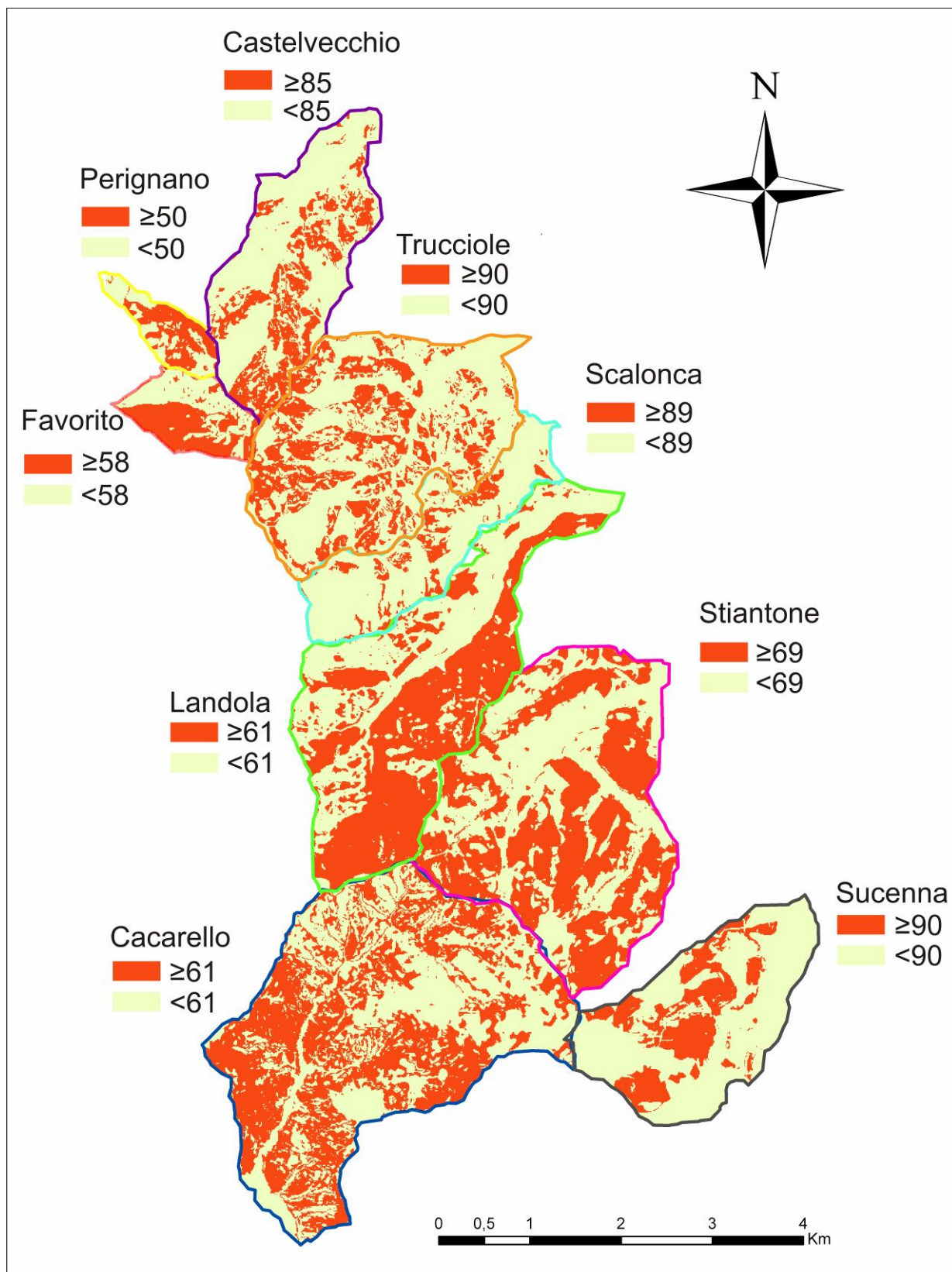


Figura 22: aree con $IF_{tot} \geq IF_{min}$ (rosso) e con $IF_{tot} < IF_{min}$ (verde)

4.3.3. Tasso di erosione medio annuo - comparazione di DEMs

Nella tabella 16 viene riportato il tasso di erosione medio annuo in centimetri (Te) ricavato tramite differenza tra il DEM del 1994 e quello del 1943 (Tav. 3). Il Te ha un valore massimo nel bacino del torrente Perignano (8 cm/anno), negli altri bacini varia tra gli 1,5 e i 4,1 cm/a, mentre nel bacino del Trucciole il rapporto tra erosione e deposizione è in equilibrio. Nello Stiantone a causa della carenza di input relativi alla cartografia del 1943 non è stato possibile stimare il Te attraverso questa metodologia. In media gli otto bacini hanno un valore medio di Te di 3,2 cm/anno.

Bacini	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca	media
Te (cm/anno)	2,6	4,1	3,4	2,6	8	-	1,5	0	3,7	3,2

Tabella 16: valori del tasso di erosione in cm/anno calcolato tramite differenze di DEMs.

4.4. Idrologia

Vengono di seguito descritti le principali caratteristiche idrologiche e morfologiche relative ai nove bacini (Tab. 17) e le variazioni riscontrate nei parametri idrologici e del Tu tra il 1954 e la situazione attuale (2003 – 2007; Tav. 4).

	Cacarello	Castelvecchio	Favorito	Landola	Perignano	Stiantone	Sucenna	Trucciole	Scalonca
A (km²)	8,98	3,55	0,97	6,16	0,62	7,2	3,77	5,5	2,34
Quota media (m s.l.m.)	571	424	480	479	438	535	633	437	434
Dislivello (m)	503	275	248	304	203	445	455	273	266
Esposizione prevalente	NW - W	NE - NW	NW	NW	NW	NE	E	NE -E	E
Pendenza media (°)	13,7	11,7	14,7	11,4	12,2	11	8,1	12,7	9,8
Bacino principale	F.Paglia	F.Orcia	T.Formone	F.Orcia	T.Formone	F.Orcia	F.Orcia	F.Orcia	F.Orcia

Tabella 17: dati morfologici dei nove bacini.

Torrente Cacarello: nasce nei pressi dell'abitato di Radicofani e scorre verso sud – ovest dove confluisce nel F. Paglia dopo circa 6 km. Il bacino, esteso circa 9 Km², ha il suo punto più alto a 889 m s.l.m. e confluisce nel Paglia a 386 m s.l.m. con un dislivello di 503 m. La pendenza media è di circa 14°. In destra il torrente Cacarello riceve acque da alcuni bacini calanchivi soprattutto nella parte sommitale dove le pendenze sono maggiori, mentre nella parte basale si concentrano zone a franosità diffusa specialmente dove affiora l'USF. Nel versante sinistro le pendenze sono minori rendendo possibile l'utilizzo del territorio per fini agricoli. Sempre in sinistra il Cacarello viene alimentato da tre fossi principali: fosso di Baiotto e delle Ova Sode nella parte alta e il fosso delle Cavallerecce nella parte bassa del bacino. In sinistra le incisioni calanchive riguardano solo ridotte porzioni di versanti perlopiù esposti a sud.

D ed F sono diminuite dal 1954 ad oggi passando rispettivamente da 8,11 a 7,21 e da 28,51 a 27,28. La diminuzione meno marcata di F ha fatto in modo che il rapporto F/D sia aumentato. Il Ga superava 1000 nel 1954, mentre attualmente risulta leggermente diminuito. Tale diminuzione si riflette ovviamente su ga e Δa . La diminuzione di D e di Δa ha permesso una diminuzione del Tu del 31%.

Torrente Castelvechio: scorre da SW dell'abitato di Contignano verso NE dove si riversa nell'Orcia dopo circa 4 km. Il bacino è esteso 3,55 km², la quota massima è a 599 m s.l.m. e la minima a 324 con un dislivello di 275 e una pendenza media di 11,7°. Il versante sinistro e quello destro hanno larghezze e pendenze simili, si differenziano per una maggiore densità di drenaggio e per la presenza di aree calanchive nel versante sinistro. In destra le scarse pendenze nella parte basale hanno permesso l'instaurarsi dell'attività agricola, mentre in sinistra i versanti sono largamente occupati da rimboschimenti di conifere. In sinistra nella parte sommitale il Castelvechio riceve le acque del fosso del Pianaccio.

D è diminuita del 24,5% passando da 7,2 a 5,4. Più consistente la diminuzione di F (46%), la quale è passata da 17,2 a 9,3 consentendo una diminuzione del 28% del rapporto F/D. Il Ga passa da 86 a 61, di conseguenza ga e Δa diminuiscono rispettivamente del 29 e del 31%. Il Tu decresce del 43%.

Torrente di Favorito: forma un bacino di ridotte dimensioni (0,97 km²) a SW di Contignano con quota massima di 621 m s.l.m. e quota minima a 373 m. Il torrente di Favorito scorre per 1,7 km verso W riversandosi nel torrente Formone. Il dislivello è di 248 m con una pendenza media di 14,7°. Il reticolo idrografico è più denso in destra nei versanti esposti a S, i quali

risultano estesamente affetti da erosione calanchiva specialmente nella parte alta (Fig.23). Sempre in sinistra s'insinua tra le aree a calanchi lingue di rimboschimenti a conifere, mentre le aree agricole si rinvergono solo in destra.



Figura 23: calanchi nella parte alta del bacino del torrente Favorito.

D ed F subiscono notevoli diminuzioni, rispettivamente del 26,5 e del 46,7%, così come il rapporto F/D (-26%). Il Ga e ga si dimezzano, il Δa diminuisce del 10,2%. Il Tu era di 16330 nel 1954, mentre attualmente risulta diminuito del 60% (6637).

Torrente Landola: scorre tra Radicofani e Contignano in direzione NE confluendo nell'Orcia dopo un percorso di circa 6 km. Il letto del torrente è abbastanza esteso con presenza di materiale alluvionale recente. Il bacino ha un'estensione di 6,16 km² con quota massima di 651 m s.l.m. e quota min di 357 m e un dislivello di 304 m. La densità del reticolo non mostra particolari differenze tra versante destro e quello sinistro, entrambi sono interessati da erosione calanchiva tranne che nella parte terminale in destra nei pressi della fattoria "Il pero" dove le pendenze diminuiscono considerevolmente. I calanchi sono particolarmente estesi nei versanti esposti a S che alimentano il Fosso dei Falchi il quale si riversa nel Landola a 419 m s.l.m.

Mentre D diminuisce del 20,2%, F rimane invariato comportando un aumento del rapporto F/D. Nonostante ga e Δa aumentino in maniera consistente, il Tu a causa della diminuzione di D mostra attualmente un valore minore del 18,9 % rispetto al 1954.

Torrente Perignano: si trova tra i bacini del Torrente di Favorito e del Torrente di Castelvechio e confluisce nel Torrente Formone scorrendo per 1,5 km. Il bacino si estende per 0,62 km² in direzione NW con una pendenza media di 12,2°. La quota massima è di 553 m s.l.m., mentre il punto di chiusura alla confluenza col T. Formone si trova a 350 m. Il dislivello è di 203 m. Le aree a calanchi riguardano una fascia ristretta in destra del Perignano nei versanti esposti a SW.

Tra i parametri idrologici solo D e Δa diminuiscono, rispettivamente del 22,6% e del 6,8%, mentre crescono F, F/D e Ga. Il Tu varia sensibilmente diminuendo di oltre il 50%.

Torrente Stiantione: scorre ad E di Radicofani in direzione NE per una lunghezza di 4 km riversandosi nell'Orcia (Fig. 24). Il bacino ha un'estensione di 7,2 km² e un dislivello di 445 m con una quota massima di 813 m s.l.m. e una quota minima a 368 m. I versanti sono prevalentemente esposti a NE ed hanno una pendenza media di 11°. Nel torrente Stiantone confluiscono le acque del torrente Casa Testa in destra e del fosso della Palazzetta in sinistra. Nel versante sinistro affiora esclusivamente l'UFP mentre nel versante destro è frequente il detrito lavico. Questa differenza litologica comporta pendenze maggiori in sinistra con una notevole presenza di aree calanchive e un'elevata densità di drenaggio, mentre in destra i versanti sono meno acclivi e le aree a calanchi si rinvencono esclusivamente nei versanti esposti a S – SW lungo il torrente Casa Testa.

D ed F diminuiscono del 20,2 e del 31,5%, mentre Δa aumenta del 24,2%. Il Tu scende del 42,2%.



Figura 24: il torrente Stiantone.

Fosso della Sucenna: scorre ad E di Radicofani in direzione NE per 3,2 km e si riversa nel torrente Sucenna (affluente dell'Orcia) a quota 442 m. Il bacino, avente un'estensione di 3,77 km², ha un dislivello di 455 m, una quota massima a 897 m s.l.m. e una pendenza media di 8,1°. Il fosso della Sucenna riceve in sinistra le acque del fosso della casina a quota 550 m, mentre in destra il reticolo idrografico è più caotico con pendenze maggiori soprattutto nelle vicinanze dell'asta principale, dove diviene frequente la presenza di erosione calanchiva.

I valori di D, F e Δa sono piuttosto bassi nei due anni di controllo e mostrano una diminuzione del 10% per D, del 13,7% per F e del 6% per Δa . Come conseguenza di questa diminuzione il Tu scende del 21,8%.

Torrente Trucciole: scorre a SE di Contignano in direzione NE per circa 4,5 km riversandosi nel Fiume Orcia a quota 355 m. Il bacino ha un'estensione di 5,5 km², un dislivello di 273 m e una pendenza media di 12,7°. Il versante sinistro oltre ad essere più esteso ha anche pendenze maggiori rispetto al destro, un reticolo idrografico più ramificato e la presenza di aree calanchive soprattutto nella parte alta del versante. In sinistra il fosso principale è quello delle Calanche, che si riversa nel Trucciole a quota 382 m dopo aver ricevuto le acque del fosso di Vitena. Nel tratto terminale del versante destro si trova il fosso del Colombaio, che giunge nell'asta principale a quota 334 m.

Mentre la D diminuisce del 12,5%, F ed Δa aumentano rispettivamente del 6,3 e del 13,4%. Il Tu, nonostante la crescita del valore di Δa , decresce del 21,5%.

Torrente di Scalonca: scorre tra il bacino del Landola e quello del Trucciole in direzione NE per una lunghezza di 4,2 km e si riversa nell'Orcia a quota 349 m. Il bacino del torrente di Scalonca ha un'estensione di 2,34 km², la forma è stretta e allungata, la distanza massima tra i due versanti è circa 1 km. La quota massima è di 615 m, il dislivello è di 266 m con una pendenza media di 9,8°. Il versante sinistro è maggiormente interessato da erosione calanchiva, specialmente nei pendii esposti a S – SW, qui il reticolo idrografico diviene particolarmente caotico e denso.

Per quanto concerne i parametri idrologici si assiste ad un forte decremento (D: - 22,3%; F: - 28,7%; Δa : -61,3%). Le sostanziali diminuzioni di D e soprattutto di Δa fanno in modo che il valore di Tu si riduca del 77,7%.

1954							
Bacino	D	F	F/D	Ga	ga	Δa	Tu
Cacarello	8,11	28,51	3,51	1044	116,26	4,1	14852
Castelvecchio	7,22	17,2	2,38	86	24,23	1,41	4548
Favorito	11,83	83,52	7,05	88	90,7	1,08	16330
Landola	8,08	16,4	2,03	162	26,3	1,16	5740
Perignano	10,27	30,65	2,98	39	62,9	2,05	15007
Stiantone	6	17,22	2,87	107	14,86	0,86	2274
Sucenna	3	8	2,7	65	17,2	2,17	441
Trucciole	6,4	14,2	2,2	184	33,4	2,36	4510
Scalonca	11,05	46,15	4,18	435	186	4,03	34762

2003 - 2007							
Bacino	D	F	F/D	Ga	ga	Δa	Tu
Cacarello	7,21	27,28	3,78	955	106,35	3,9	10120
Castelvecchio	5,45	9,3	1,71	61	17,18	1,85	2595
Favorito	8,69	45,37	5,22	44	45,4	0,97	6637
Landola	6,45	16,4	2,54	248	40,26	2,45	4656
Perignano	7,95	38,71	4,87	46	74,2	1,91	7015
Stiantone	4,79	11,8	2,47	91	12,64	1,07	1314
Sucenna	2,7	6,9	2,5	53	14,1	2,04	345
Trucciole	5,6	15,1	2,69	222	40,4	2,67	3541
Scalonca	8,59	32,9	3,83	120	51,3	1,56	7757

Tabella 18: parametri idrologici e del *deflusso torbido unitario medio annuo (Tu)* del 1954 e del 2003 – 2007.

Δ%							
Bacino	D	F	F/D	Ga	ga	Δa	Tu
Cacarello	-11,10	-4,31	7,69	-8,52	-8,52	-4,88	-31,86
Castelvecchio	-24,52	-45,93	-28,15	-29,07	-29,10	31,21	-42,94
Favorito	-26,54	-45,68	-25,96	-50,00	-49,94	-10,19	-59,36
Landola	-20,17	0,00	25,12	53,09	53,08	111,21	-18,89
Perignano	-22,59	26,30	63,42	17,95	17,97	-6,83	-53,26
Stiantone	-20,17	-31,48	-13,94	-14,95	-14,94	24,42	-42,22
Sucenna	-10,00	-13,75	-7,41	-18,46	-18,02	-5,99	-21,77
Trucciole	-12,50	6,34	22,27	20,65	20,96	13,14	-21,49
Scalonca	-22,26	-28,71	-8,37	-72,41	-72,42	-61,29	-77,69
Media	-18,87	-15,25	3,85	-11,30	-11,22	10,09	-41,05

Tabella 19: variazioni percentuali dei parametri riportati nella tabella 16.

4.5. Risultati del rilievo forestale

4.5.1. Copertura

La copertura dei rimboschimenti è mediamente discreta (Tab. 20), valori inferiori al 50% si riscontrano solo in alcuni nuclei per lo più appartenenti allo strato 6. Le coperture migliori appartengono agli strati 2, 3 e 4 con valori prossimi al 90%. Lo strato 1 è costituito da un solo nucleo con copertura piena. Ovviamente lo strato 9, che comprende arbusteti e impianti parzialmente falliti, è la tipologia con la copertura inferiore. Negli strati 3, 6 e 8 la deviazione standard risulta particolarmente elevata e solo nello strato 2 ha un valore inferiore a 10.

Strato	N° a.d.s.	Substrato prevalente	Pendenza media °	Esposizione prevalente	Copertura
2	3	Argille del Pliocene*	22	SE	89,9
4	6	Detrito lavico di versante	10	NO	90,6
6	4	Argille del Pliocene con arenarie e ciottoli	16	S	90,9
7	3	Argille del Pliocene con arenarie e ciottoli	16	E-NE	83,8

Tabella 20: caratteristiche medie relative agli strati interessati dal rilievo dendrometrico.

4.5.2. Indici di frammentazione

Nel comune di Radicofani sono stati individuati 93 nuclei di rimboschimento (Tab. 21) con una densità (DN) di 0,78 nuclei ogni 100 ha. La superficie media (aM) è di 4,18 ha con una deviazione standard (σ) di 6,27 ha, mentre il perimetro medio (pM) è 1093 m. L'indice medio di forma ponderato con l'area (AWMSI) è 1,92 e la media delle distanze minime al nucleo di rimboschimento più vicino (DmM) è 121,47 m (Tab. 22).

Strato	N° nuclei	Sup. media nuclei	Sup. Tot 2008 (ha)	Copertura media ponderata alla superficie	σ copertura
1	1	0.59	0,59	100,0	-
2	7	4.53	31,73	89,9	9,1
3	14	2.59	35,54	90,6	25,8
4	9	9.31	83,88	90,9	11,2
5	2	1	2,00	80,0	0
6	25	2.98	74,55	83,8	23,4
7	21	2.77	58,08	86,5	19
8	8	1.55	12,42	81,2	29,3
9	6	3.39	20,33	66,1	19,7
TOT	93	3.73	319,12		

Tabella 21: numero, superficie media, superficie totale e copertura media dei nuclei dei nove strati.

N	93
DN	0.78 N*100 ha
aM	4.18 ha
σa	6.27
pM	1093 m
AWMSI	1.92
DmM	121.47 m

Tabella 22: indici di forma e frammentazione dei nuclei dei nove strati.

4.5.3. Dati dendrometrici

Come spiegato nella metodologia, i rilievi dendrometrici hanno interessato solo i popolamenti con età compresa tra 39 e 42 anni. Gli strati sì interessati sono stati quindi solo 4 (Tab. 23; Fig. 25): pinete di pini mediterranei con cipressi (strato 2), cipressete di cipresso dell'Arizona

(strato 4), boschi misti con cipressi e latifoglie (strato 6) e boschi misti con pino nero e latifoglie (strato 7). Per le pinete di pino nero (strato 3) è stato possibile effettuare una sola area di saggio.

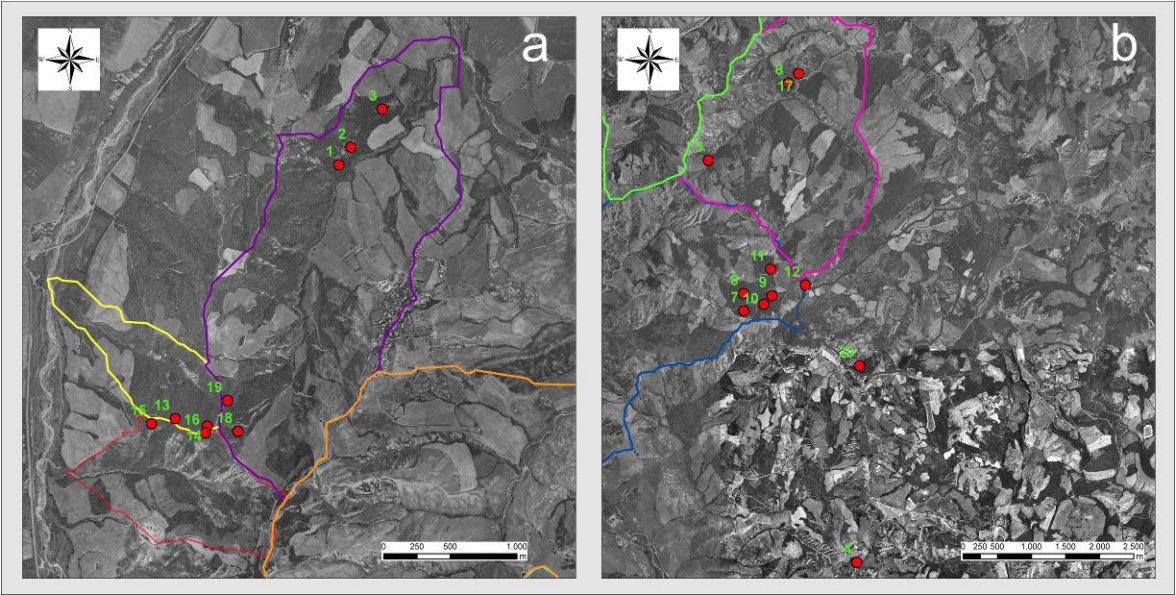


Figura 25: ubicazione delle aree di saggio nel settore settentrionale (a) e in quello meridionale (b).

Strato	ads	Pendenza°	esposizione	Substrato	Bacino
2	1	30,6	SE	Argille del Pliocene*	Torrente Castelveccchio
	2	25,4	NE	Argille del Pliocene*	Torrente Castelveccchio
	3	9,7	SE	Argille del Pliocene*	Torrente Castelveccchio
4	7	10,9	NO	Detrito lavico di versante	Torrente Cacarello
	8	10,6	N	Detrito lavico di versante	Torrente Cacarello
	9	9,4	NO	Detrito lavico di versante	Torrente Cacarello
	10	8,8	NO	Detrito lavico di versante	Torrente Cacarello
	11	9,1	O	Detrito lavico di versante	Torrente Cacarello
	12	10,9	E	Detrito lavico di versante	Torrente Sucenna
	14	12,4	N - NO	Argille del Pliocene con arenarie e ciottoli	Torrente Perignano
6	13	12,5	N	Argille del Pliocene con arenarie e ciottoli	Torrente Perignano
	15	12,8	S - SO	Argille del Pliocene	Torrente di Favorito
	16	20,1	S	Argille del Pliocene con arenarie e ciottoli	Torrente di Favorito
	17	16,9	S -SE	Argille del Pliocene	Torrente dello Stiantone
7	18	14	NE	Argille del Pliocene con arenarie e ciottoli	Torrente Castelveccchio
	19	15,9	E	Argille del Pliocene con arenarie e ciottoli	Torrente Castelveccchio
	20	17,2	E -NE	Detrito lavico di versante	Fosso della Sucenna

Tabella 23: pendenza, esposizione, substrato e bacino di appartenenza delle aree di saggio.

Strato 2 - Popolamenti misti con pini mediterranei e cipressi

I nuclei componenti questo strato si rinvengono principalmente sulle argille plioceniche all'interno del bacino del fosso Castelvechio nella parte nord del territorio comunale. La quota media è di 360 m s.l.m. con esposizione prevalente SE e pendenza media di 20°.

La composizione in specie è particolarmente eterogenea, nessuna delle quattro specie principali (pino d'Aleppo, pino domestico, cipresso comune e cipresso dell'Arizona) supera infatti il 30% (Tab. 22; Fig. 26). Nella sola ads 1 è stata riscontrata la presenza di cerro a testimonianza della vegetazione preesistente al rimboschimento. La densità maggiore si riscontra nell'ads 2 dove predomina il cipresso dell'Arizona (1058 piante/ha) ed è anche l'unica esposta nel quadrante Nord.

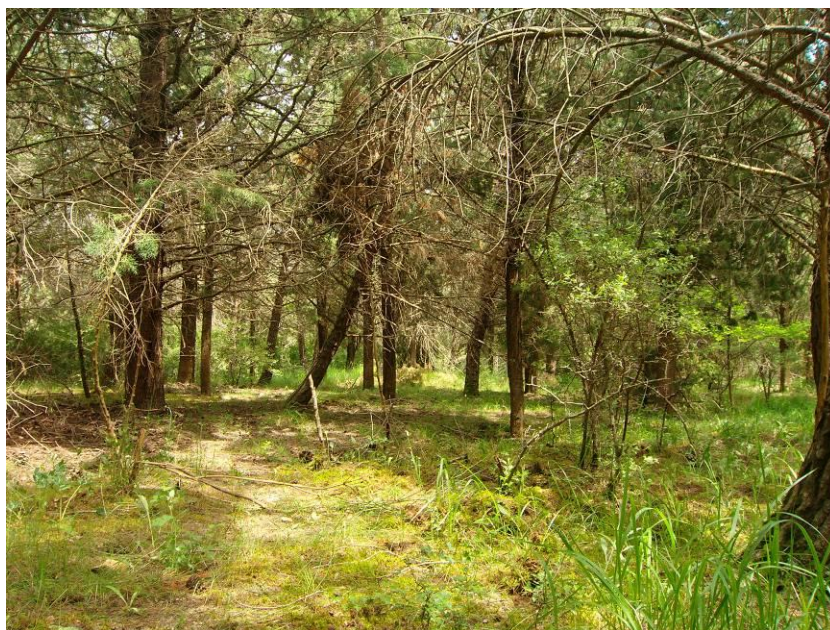


Figura 26: area di saggio n. 3.

La densità di strato è di 975 piante/ha (Tab. 24). Il valore di area basimetrica per ettaro maggiore (G/ha) si ha per il pino d'Aleppo (9,61 m²), pino domestico e cipresso dell'Arizona sono entrambi intorno ai 6 m², mentre il cipresso comune ha un valore decisamente inferiore (2,45 m²). Il valore totale di strato è 24,5 m². Il diametro medio di area basimetrica dg (Tab. 25) è superiore a 20 cm per il pino d'Aleppo (23 cm) e per il pino domestico (21,7 cm), i cipressi hanno invece diametri inferiori: 17,1 per il cipresso dell'Arizona e 10,6 per il cipresso comune. Le classi diametriche maggiormente rappresentate sono 10, 15 e 20 (Fig. 27). Frequenze decrescenti si riscontrano con l'aumentare dei diametri. Il cipresso comune, presente solo nelle classi diametriche minori, è l'unica specie della classe 5. Il cipresso dell'Arizona si concentra principalmente nelle classi 15 e 20 con presenze minori nella 10 e

nella 30. Il pino domestico invece è maggiormente presente nelle classi 20 e 25. Il pino d'Aleppo è distribuito in tutte le classi con esclusione della 5 e con leggera prevalenza delle classi 20 e 30. Nelle classi maggiori (25, 30, 35) predomina quindi il pino d'Aleppo, secondariamente il pino domestico ma anche alcuni esemplari di cipresso dell'Arizona. Le curve ipsometriche (Fig. 28) del pino d'Aleppo e dei due cipressi indicano un'altezza media di 11,2 m per il pino, 8,9 per il cipresso dell'Arizona e 7,5 per il cipresso comune (Tab. 25). L'altezza dominante maggiore è quella del pino d'Aleppo (11,9 m). La migliore correlazione tra diametro ed altezza appartiene al cipresso dell'Arizona.

Specie	ads 1		ads 2		ads 3		strato		σ	
	%	N.p/ha	%	N.p/ha	%	N.p/ha	%	N.p/ha	%	N.p/ha
pino d'Aleppo	53,85	518	20	212	0,00	0	24,00	232	27,2	260
cipresso comune	38,46	370	20	212	28,57	258	29,00	278	9,2	81
cerro	3,85	37	0	0	0,00	0	1,00	12	2,2	21
ginepro	3,85	37	0	0	0,00	0	1,00	12	2,2	21
cipresso dell' Arizona	0,00	0	60	635	21,43	194	29,00	278	30,4	325
pino domestico	0,00	0	0	0	50,00	452	17,00	162	28,9	261
totale	100	962	100	1058	100	905	100	973		77

Tabella 24: composizione in specie in percentuale ed in numero di piante ad ettaro delle aree di saggio dello strato 2.

Specie	G/ha (m ²)	dg (cm)	hm (m)	H (m)
Cipresso dell'Arizona	6,39	17,1	8,9	9,7
Cipresso comune	2,50	10,6	7,5	9
Pino d'Aleppo	9,61	23,0	11,2	11,9
Pino domestico	6,00	21,7		
cerro	0,02	5,0		
ginepro	0,02	5,0		
Totale	24,54			

Tabella 25: area basimetrica, diametro medio, altezza media, altezza dominante (strato 2).

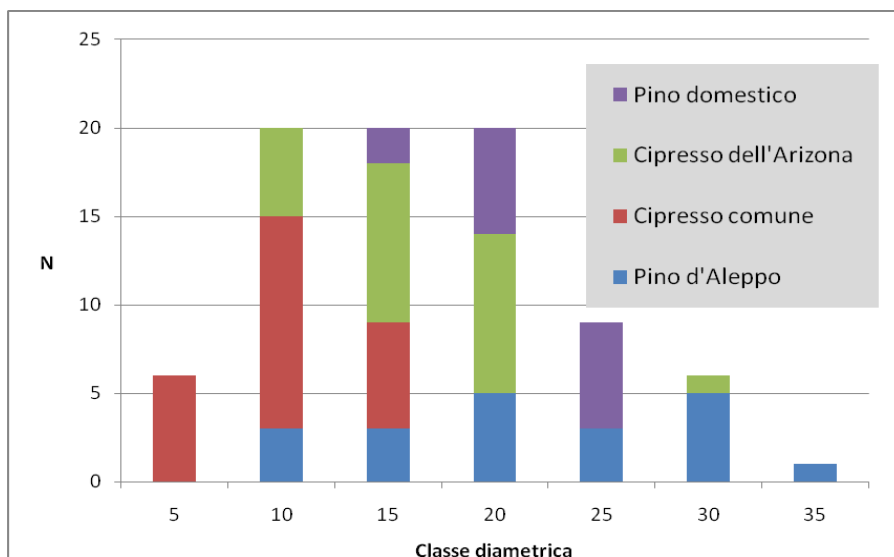


Figura 27: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 2).

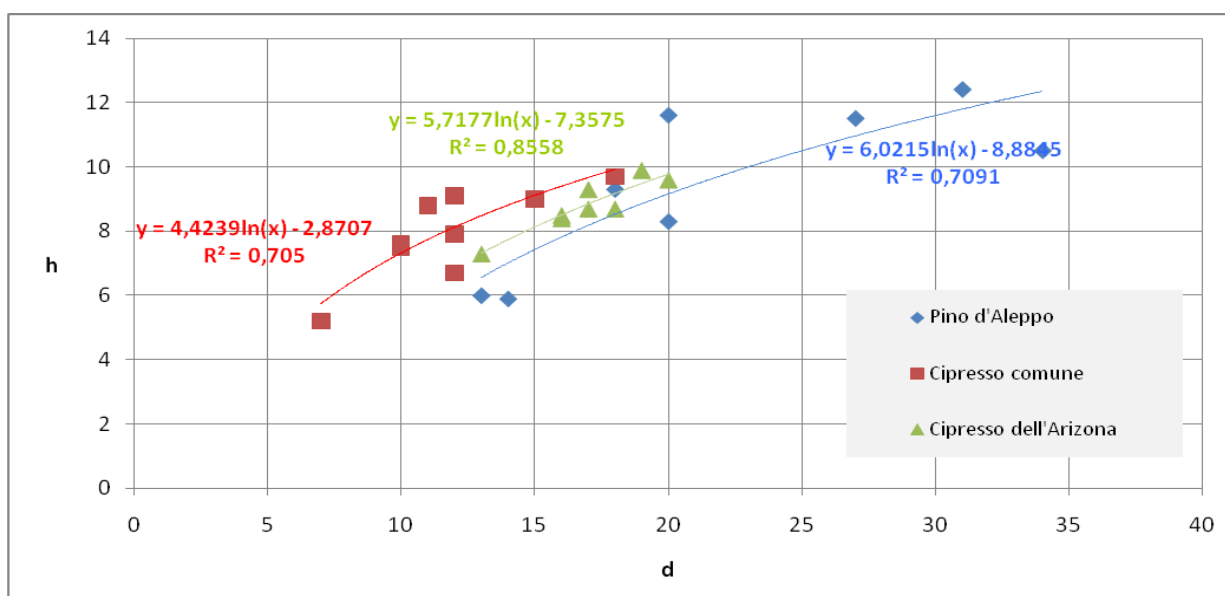


Figura 28: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 2.

Strato 4 – Cipressete di cipresso dell'Arizona con pino nero

I nuclei appartenenti a questo strato sono presenti principalmente sui versanti del bacino del torrente Cacarello ad W dell'abitato di Radicofani. Il substrato prevalente è il detrito lavico depositatosi al di sopra delle argille. Le esposizioni prevalenti appartengono al quadrante settentrionale.



Figura 29: rimboschimento con cipresso dell'Arizona nella parte alta del bacino del torrente Cacarello, nei pressi dell'ads 11.

La specie dominante è il cipresso dell'Arizona (65%; Fig. 29), presente in buona percentuale anche il pino nero (25,7%) mentre le altre specie sono sporadiche (Tab. 26). Solo il cipresso comune nell'ads 8 è presente con percentuali elevate. Il cedro dell'Atlante è stato trovato nella sola ads 12. Molto variabili la presenza del cipresso dell'Arizona nelle 7 aree di saggio. Le aree di saggio 8, 9, 11 e 12 hanno densità piuttosto elevate, superiori alle 1500 piante/ha. Ovviamente predominante la G/ha del cipresso dell'Arizona con $27,4 \text{ m}^2$ per ettaro su un totale di strato di $36,9 \text{ m}^2/\text{ha}$ (Tab. 27). I pini mediterranei dove presenti hanno dg elevati, così come il cipresso dell'Arizona (19,94). Decisamente minori i diametri per il pino nero (15,75) e per le altre specie minori. Sono presenti 8 classi diametriche. La distribuzione diametrica presenta un massimo nella classe 15 ed è quindi spostata verso sinistra. Dopo il massimo le frequenze diminuiscono piuttosto gradualmente fino alla classe 40 (Fig. 30). Il cipresso dell'Arizona è presente in tutte le classi ed ha un andamento simile alla distribuzione di strato ma il massimo è nella classe 20. Il pino nero non si trova oltre la classe 25 con un massimo nella 15. Le classi maggiori sono esclusive del cipresso dell'Arizona tranne alcuni esemplari di Pino d'Aleppo nella classe 35. Le curve ipsometriche costruite per il cipresso

dell'Arizona e per il pino nero indicano un'altezza media e dominante rispettivamente di 10,7 e 13,27 m per il primo e di 11,7 e 12,4 m per il secondo (Fig. 31).

	Ads 7		Ads 8		Ads 9		Ads 10		Ads 11		Ads 12		Ads 14		strato		σ	
Specie	%	p/ha	%	p/ha	%	p/ha	%	p/ha	%	p/ha	%	p/ha	%	p/ha	%	p/ha	%	p/ha
Cipresso dell'Arizona	68	551	38	713	41	613	58	709	91	1386	53	908	100	1109	65	856	24	3301
Pino nero	16	130	21	389	45	678	29	354	9	129	40	681	0	0	26	337	16	270
Pino d'Aleppo	16	130	0	0	2	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	23	6	48
Cipresso comune	0	0	41	778	0	0	8	97	0	0	0	0	0	0	3	125	15	290
Pino domestico	0	0	0	0	2	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	12
Pino laricio	0	0	0	0	8	129	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	18	3	49
Abete bianco	0	0	0	0	2	32	5	64	0	0	0	0	0	0	1,5	14	2	25
Cedro dell'Atlante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	130	0	0	1,5	18	3	49
totale	100	811	100	1880	100	1516	100	1224	100	1515	100	1719	100	1109	100	1396		370

Tabella 26: composizione in specie in percentuale ed in numero di piante ad ettaro delle aree di saggio dello strato 4.

Specie	G/ha (m ²)	dg (cm)	hm (m)	H (m)
Cipresso dell'Arizona	27,4	19,94	10,7	13,27
Pino nero	6,8	15,75	11,7	12,14
Cipresso comune	0,6	22,47		
Pino d'Aleppo	0,9	13,23		
Pino laricio	0,7	20		
Abete bianco	0,1	21,65		
Cedro dell'Atlante	0,3	9,01		
Pino domestico	0,1	13,69		
Totale	36,9			

Tabella 27: area basimetrica, diametro medio, altezza media, altezza dominante (strato 4).

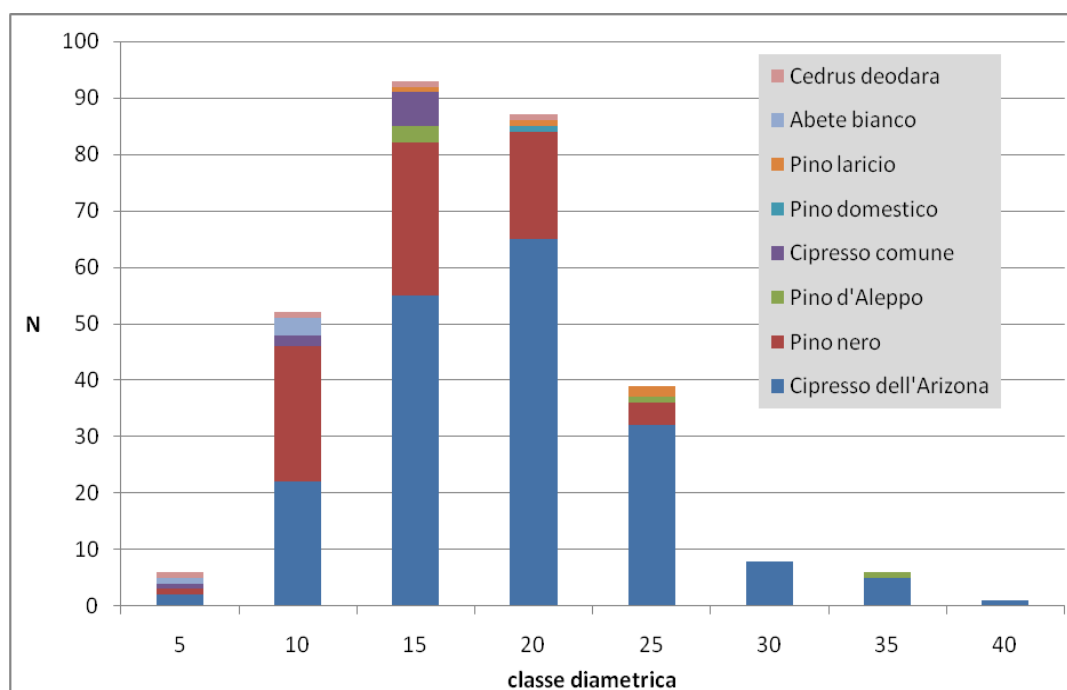


Figura 30: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 4).

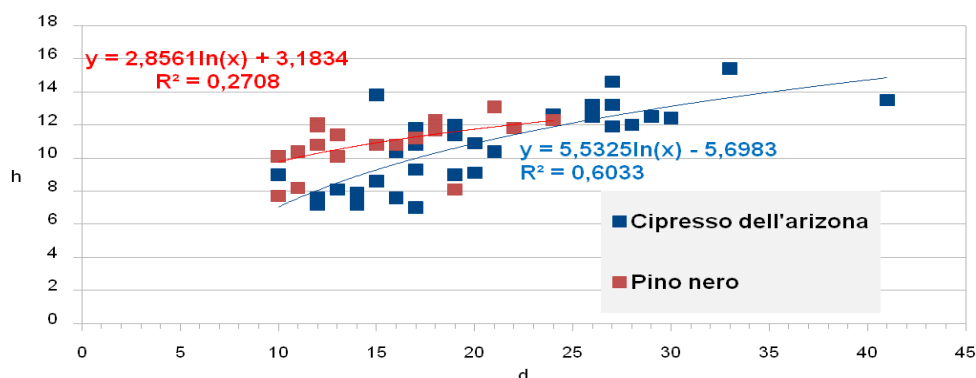


Figura 31: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 4.

Strato 6 - Boschi misti con prevalenza di cipresso dell'Arizona e cipresso comune con roverella, orniello e cerro.

Le ads effettuate, tranne la 13, sono situate con esposizione nel quadrante meridionale. Il substrato è argilloso con presenza di sabbie e ciottoli nelle ads 13 e 16. In questo strato sono presenti conifere e latifoglie, le prime rappresentano il 63%, le seconde il 37% (Tab. 28). Tra le latifoglie presenti alcune sono preesistenti al rimboschimento (cerro e roverella; Fig. 32) mentre l'orniello è stato impiantato in alternanza con i cipressi e l'olmo campestre si è probabilmente insediato in seguito. In quasi tutte le ads abbondano gli individui di roverella morti con diametri sopra i 10 cm e individui di orniello particolarmente filati o deperenti.



Figura 32: individuo di roverella preesistente al rimboschimento con conifere.

	ads 13		ads 15		ads 16		ads 17		strato		σ	
Specie	%	N. p/ha	%	N. p/ha	%	N. p/ha	%	N. p/ha	%	N. p/ha	%	N. p/ha
Cipresso del'Arizona	82	1207,1	7	130,6	55,4	1051,5	39,4	432,8	45,2	703,7	0,3	508,6
cerro	6,7	97,9	0,0	0,0	5,4	101,8	0,0	0,0	3,2	49,7	0,0	57,7
roverella	11	163,1	12	228,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	99,3	0,1	116,2
orniello	0,0	0,0	17	326,6	37,5	712,3	45,5	499,4	24,5	380,8	0,2	301,0
Olmo campestre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	133,2	2,1	33,1	0,1	66,6
cipresso comune	0,0	0,0	63,2	1175,8	1,8	33,9	3,0	33,3	18,6	289,8	0,3	576,9
Totale	100	1468	100	1861	100	1899	100	1098	100	1556		376,6

Tabella 28: composizione in specie in percentuale ed in numero di piante ad ettaro delle aree di saggio dello strato 6.

La specie più abbondante è il cipresso dell'Arizona (46%), tra le latifoglie predomina l'orniello con il 25% mentre le altre 3 non raggiungono insieme il 12%. Il numero delle piante ad ettaro è piuttosto elevato per tutte le ads, sempre al di sopra delle 1000 piante con un massimo di quasi 1900 per l'ads 16. Il valore di strato è di 1582 piante/ha. La G/ha per questo strato è di 19,9 m², di questi 14,2 m² sono rappresentati dal cipresso dell'Arizona (Tab. 28). Solo il dg del cipresso dell'Arizona supera i 15 cm (Tab.29), molto ridotti i diametri delle altre specie. Sono presenti 6 classi diametriche con un massimo nella classe 5 e andamento decrescente verso destra (Fig. 33). Solo il cipresso dell'Arizona è presente in tutte le classi con una distribuzione a campana e massimo nella 15. Simile andamento per il cipresso comune ma massimo nella classe 10 e assenza di individui della classe 30. Orniello, olmo campestre e cerro si trovano solamente nelle due classi inferiori. Particolarmente abbondante nella classe 5 la presenza di orniello. La curva ipsometrica del cipresso dell'Arizona indica un'altezza media di 6,2 m e un'altezza dominante di 9,5 m (Tab.29; Fig. 34).

<u>Specie</u>	G/ha (m²)	dg (cm)	hm (m)	H (m)
Cipresso dell'Arizona	14,20	16,0	6,2	9,5
orniello	0,90	5,5		
Cipresso comune	3,30	12,1		
roverella	1,10	11,9		
cerro	0,20	7,1		
olmo	0,20	9,0		
Totale	19,90			

Tabella 29: area basimetrica, diametro medio, altezza media, altezza dominante (strato 6).

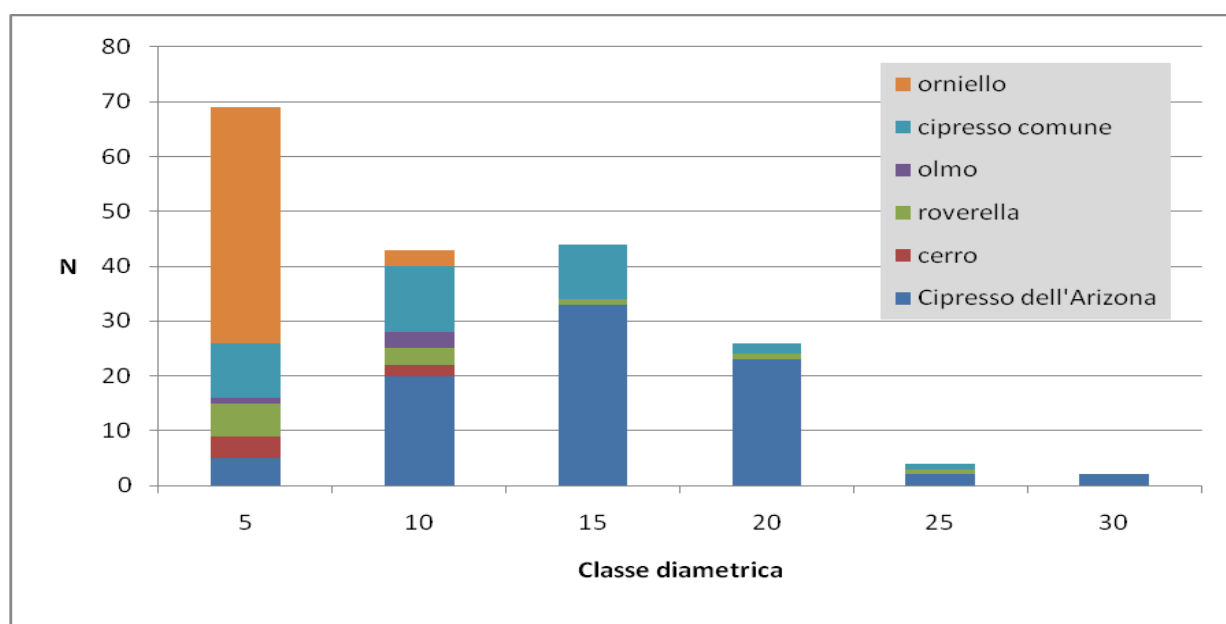


Figura 33: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 6).

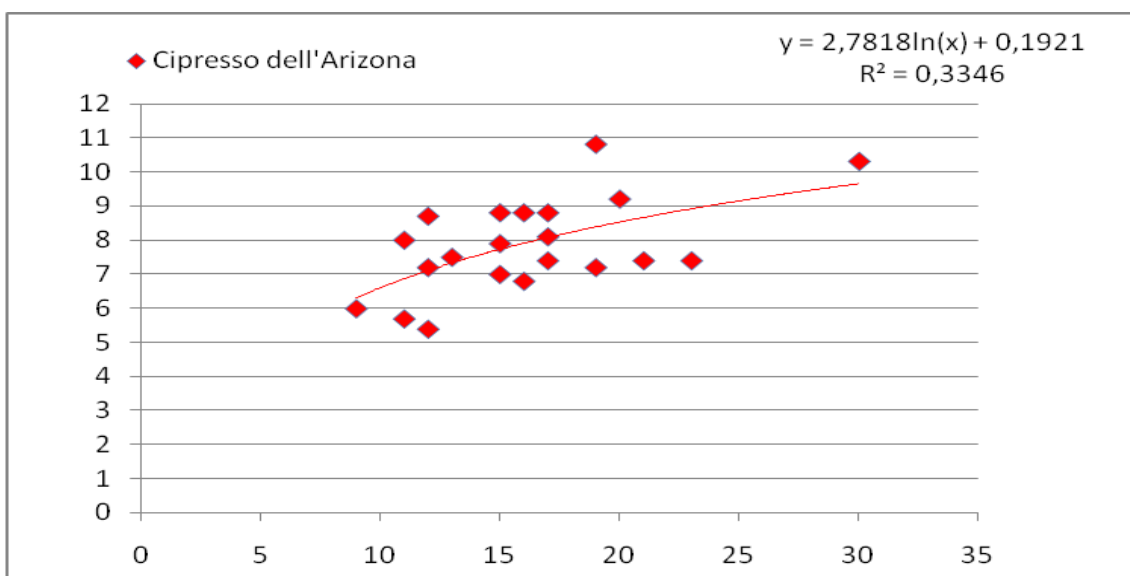


Figura 34: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 6.

Strato 7 - Boschi misti con prevalenza di pino nero con cerro, roverella e ontano napoletano

Le tre ads presentano esposizioni da E a NE e pendenze intorno ai 15°. Il substrato è argilloso con presenza di arenarie e ciottoli per l'ads 18 e 19 e di detrito lavico per l'ads 20. La specie prevalente è il pino nero il quale rappresenta il 73% del soprassuolo, mentre il cipresso comune il 2% (Tab. 30). Le latifoglie occupano il piano dominato, particolarmente abbondante è la roverella (24,1%). Cerro, orniello e ontano napoletano hanno percentuali inferiori. Mentre l'ontano napoletano potrebbe essere stato immesso come rinfoltimento, le specie quercine appartengono al soprassuolo preesistente al rimboschimento. Sono stati rinvenuti diversi esemplari di roverella e cerro morti con diametro tra i 7 e i 20 cm. L'orniello si presenta spesso in forma arbustiva, raggiungendo solo nell'ads 20 il diametro minimo di cavallettamento. In tutte le ads è presente una modesta rinnovazione di cerro o roverella e solo nell'ads 20 è stata riscontrata rinnovazione di leccio. L'ads 19 mostra una densità notevole, qui in effetti oltre alle piante di pino nero impiantate sono state rilasciate molte piante di roverella. Densità minore nelle altre 2 aree di saggio per un numero di piante/ettaro di strato uguale a 1766. La G/ha di strato è di 44,55 m² (Tab. 31), di questi 39,72 appartengono al pino nero e 4,42 alla roverella, le altre specie non superano gli 0,2 m². Il dg maggiore appartiene al pino nero (19,9 cm), mentre è 13 per la roverella e circa 9 per il cipresso comune. Le altre specie hanno tutte un dg di 5 cm. La distribuzione delle 6 classi diametriche (5 – 30) ha un massimo nella classe 20 e un andamento a campana spostato a destra. L'andamento di strato è simile all'andamento del pino nero, il quale però è contraddistinto da maggiore gradualità, con un minimo nella classe 5, mentre nelle classi 25 e 30 è la specie esclusiva (Fig. 35). Solo

la roverella, oltre il pino nero, è presente nelle classi sopra la 10. Le altre specie appartengono completamente alla classe 5 con l'eccezione del cipresso comune presente anche nella classe 10. La curva ipsometrica del pino nero indica un'altezza media di 11,8 m (Fig. 36), mentre l'altezza dominante è di 15,7 m.

	Ads 18		Ads 19		Ads 20		strato		σ	
Specie	%	N. p/ha	%	N. p/ha	%	N. p/ha	%	N. p/ha	%	N. p/ha
Pino nero	81,6	1017,5	56,9	1017,5	88,2	1017,5	73,0	1017,5	16,5	244,4
Ontano napoletano	7,9	98,5	0,0	98,5	2,0	98,5	1,9	98,5	4,1	50,1
Cerro	7,9	98,5	0,0	98,5	3,9	98,5	3,1	98,5	3,9	50,3
Ginepro	2,6	32,8	0,0	32,8	0,0	32,8	0,6	32,8	1,5	18,9
Roverella	0,0	0,0	41,7	0,0	0,0	0,0	18,9	0,0	24,1	573,7
Cipresso comune	0,0	0,0	1,4	0,0	3,9	0,0	1,9	0,0	2,0	33,3
Orniello	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,6	0,0	1,1	19,2
Totale	100	1247,2	100	1247,2	100	1247,2	100	1247,2		555,2

Tabella 30: composizione in specie in percentuale ed in numero di piante ad ettaro delle aree di saggio dello strato 7.

Specie	G/ha (m ²)	dg (cm)	hm (m)	H (m)
Pino nero	39,72	19,9	11,8	15,7
Roverella	4,42	13,0		
Ontano napoletano	0,06	5,0		
Cerro	0,11	5,0		
Cipresso comune	0,19	8,7		
Ginepro	0,02	5,0		
Orniello	0,02	5,0		
Totale	44,54			

Tabella 31: area basimetrica, diametro medio, altezza media, altezza dominante (strato 7).

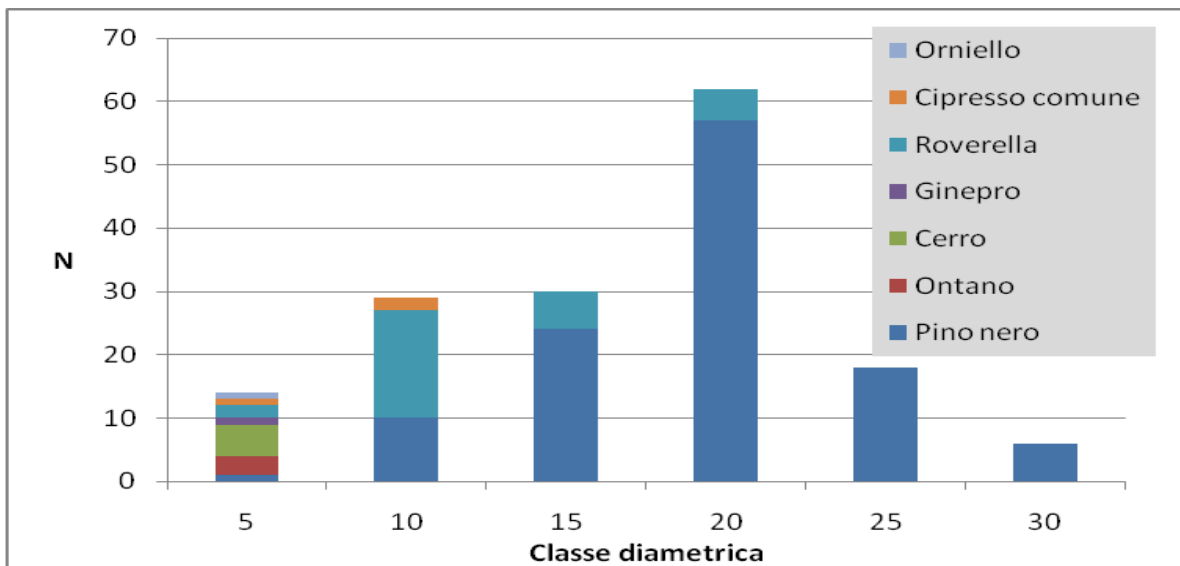


Figura 35: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 7).

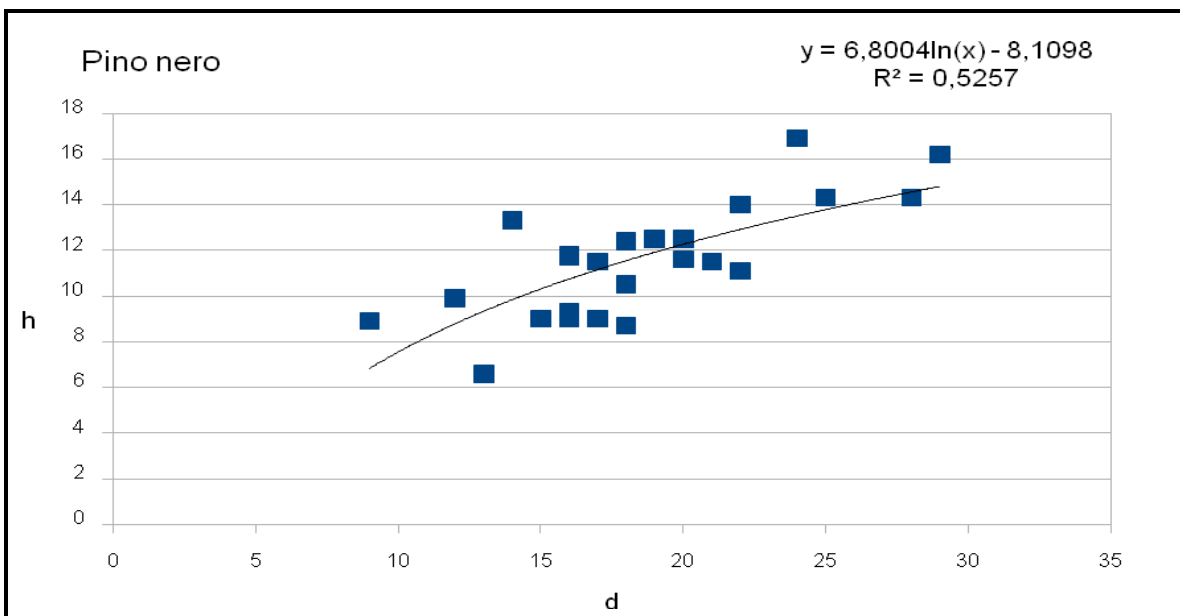


Figura 36: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 7.

Strato 3 – Pinete di pino nero

Per questo strato è stato possibile effettuare una sola ads per il range cronologico stabilito. Il soprassuolo è costituito per il 75% di pino nero e per il 25% da cipresso comune principalmente della varietà pyramidalis (Tab. 32). Il substrato è argilloso, la pendenza media è di 11°. La densità è di 1557 piante/ha con una G/ha di 25,09 m². Il dg è di 17,6 per la varietà pyramidalis del cipresso mentre il pino nero ha un dg inferiore (13,4 cm), un'altezza media di 8,4 m e un'altezza dominante di 10 m (Fig. 38). Le classi diametriche vanno dalla 5 alla 25

con una distribuzione gaussiana asimmetrica maggiormente pendente a destra e un massimo in 15 (Fig. 37). Il pino nero è presente in tutte le classi tranne la classe massima la quale comprende solo cipressi della varietà pyramidalis.

Specie	%	N/ha	G/ha m ²	dg	hm	H
Pino nero	75	1168	16,36	13,4	8,4	10
Cipresso comune (var. pyramidalis)	20,8	324,4	7,90	17,6		
Cipresso comune (var.horizontalis)	4,2	64,9	0,83	12,7		
totale	100	1557,3	25,09			

Tabella 32: composizione in specie, numero di piante ad ettaro e valori dendrometici dello strato 3.

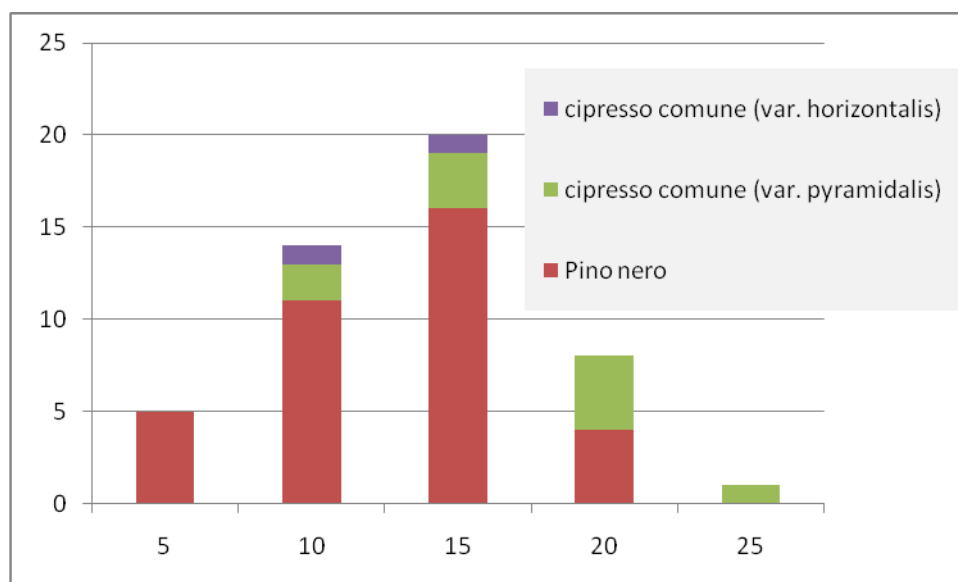


Figura 37: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 3).

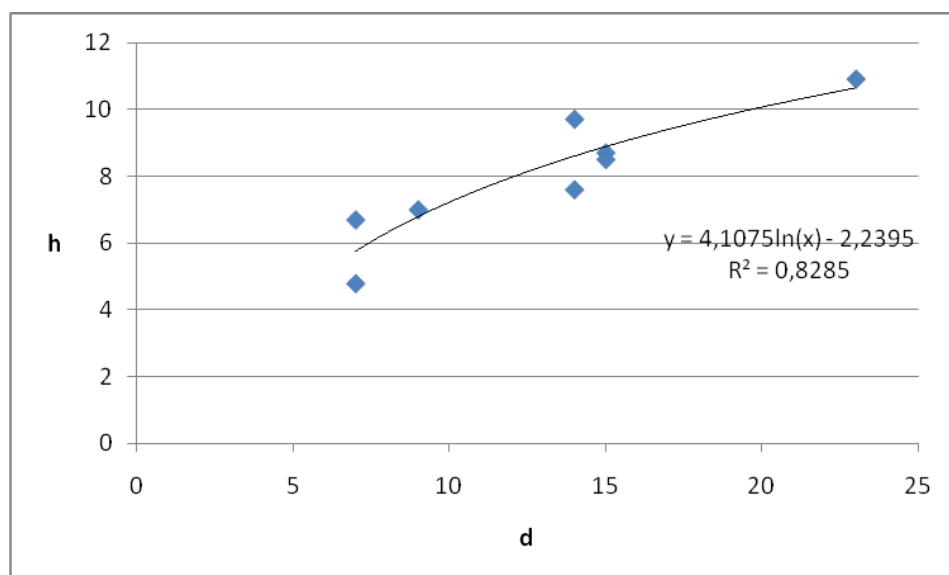


Figura 38: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 3.

5. DISCUSSIONE

I cambiamenti sociali ed economici avvenuti in Italia nel secondo dopoguerra hanno portato a profonde trasformazioni nel territorio. A partire dagli anni '50 del XX secolo le aree collinare e montane sono state interessate da un veloce e irreversibile spopolamento delle zone agricole. Nella Provincia di Siena tale fenomeno ha comportato l'aumento della superficie boschiva ad opera della colonizzazione secondaria della vegetazione spontanea nelle aree agricole e agro – silvopastorali abbandonate (Agnoletti & Paci, 1998; Agnoletti, 2007). Rispetto alla situazione esistente tra le due guerre mondiali, nella Provincia di Siena, si è avuto un aumento dei boschi a latifoglie del 114%, mentre i boschi di conifere sono aumentati di oltre il 400% (Geri et al., 2008). Mentre l'aumento dei boschi a latifoglie è da imputare in larga parte alla ricolonizzazione delle aree abbandonate (pascoli e terreni agricoli), per le conifere questo notevole incremento è da attribuire all'intensa attività di rimboschimento avvenuta a partire dal dopoguerra tramite impianti di conifere esotiche (vedi par. 3.3). I risultati ottenuti nel presente studio evidenziano anche per Radicofani un aumento delle aree boscate dal 1954 ad oggi (Tab. 5), sia a causa di impianti (conifere) ma anche per la ricolonizzazione di aree un tempo destinate all'attività silvo – pastorale e alla coltura di piante arboree (oliveti e vigneti). A seguito di opere di bonifica, effettuate attraverso le colmate di monte e all'uso di esplosivi per attenuare le pendenze dei versanti (Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, 1934; Guasparri 1978; Fig. 39) sono state rese coltivabili alcune aree altrimenti inutilizzabili da un'agricoltura meccanizzata, questo ha fatto quindi aumentare la superficie a seminativi (cerealicoltura). Il contemporaneo incremento delle aree agricole a seminativi e della superficie forestale è quindi da imputare all'abbandono delle coltivazioni delle colture arboree ma anche e soprattutto al recupero delle aree degradate, avvenuto tramite opere di rimboschimento, di bonifica agraria e, dove la fertilità stazionale l'ha consentito a seguito della ricolonizzazione della vegetazione spontanea. Questa ricolonizzazione è testimoniata dall'attuale invasione in vaste aree di arbusteti a ginestra, talvolta con presenza di specie quercine (cerro e roverella).

I cambiamenti morfologici e di uso del suolo hanno comportato anche una variazione dei parametri idrologici e quindi dei tassi di erosione (Tu). Sebbene dal 1954 ci sia stata una consistente diminuzione di Tu si osservano ancora valori particolarmente alti. Nel lavoro di Della Seta et al. del 2007 (nel quale si adotta la stessa metodologia qui utilizzata) viene riportato un valore di Tu di 1634 t/km²/ha per il bacino del Fiume Paglia al quale appartengono i torrenti Perignano, Favorito e Cacarello e di 1358 t/km²/ha per il bacino del

Fiume Orcia al quale appartengono gli altri 6 torrenti. Il valore è particolarmente alto nel bacino del Fiume Paglia dove i calanchi occupano il 30% dell'area e proprio in alcuni sottobacini prettamente calanchivi e di dimensioni inferiori ai 10 km² Tu supera le 10000 t/km²/ha (Della Seta et al., 2007). I bacini qui analizzati sono di ridotte dimensioni e non superano mai i 9 km², tuttavia si registrano attualmente valori di Tu superiori ai 10000 t/km²/ha solo per il torrente Cacarello, mentre nel 1954 la media era di 11000 t/km²/ha. Si evidenziano particolari incongruenze nei valori di Tu dei bacini Landola, Scalonca e Trucchiole tra il presente lavoro e quello pubblicato da Della Seta et al. nel 2007 (gli altri sei bacini non sono stati analizzati in particolare), tali differenze potrebbero essere imputabili all'utilizzo di una scala differente per il rilievo del reticolo di drenaggio oltre che alle inevitabili discrepanze tra le interpretazioni dei rilevatori.

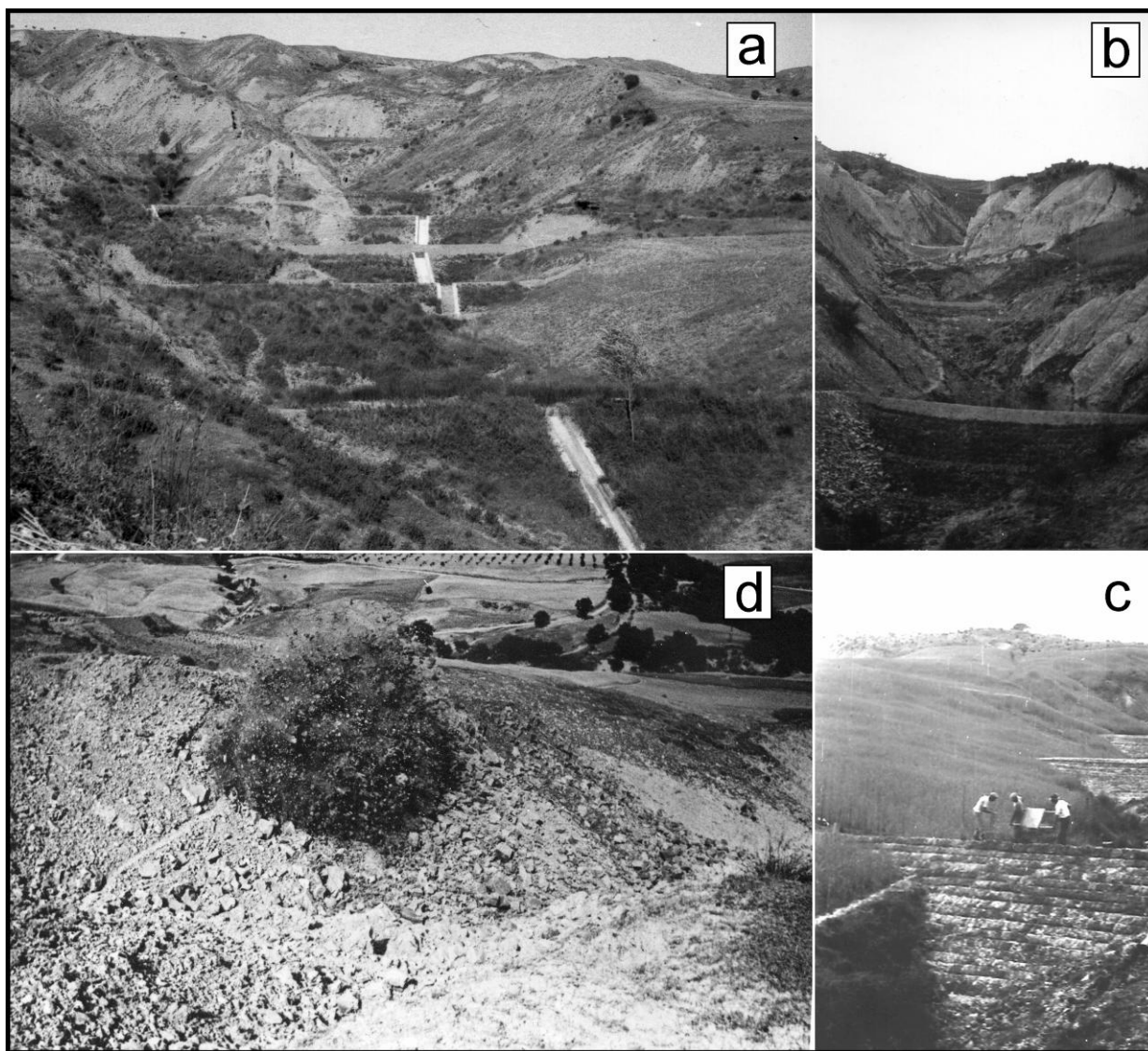


Figura 39: bonifica dei terreni argillosi mediante canalizzazioni e briglie (a, b, c) e rimodellamento del versante con l'uso di esplosivi (d). Foto fornite dal signor Giovanni Costa (Archivio Bonifica della Val d'Orcia – Comunità Montana Amiata Val d'Orcia).

Attraverso il calcolo di T_e si può osservare come le aree interessate da erosione elevata (in rosso e in arancione nella tavola 3 siano particolarmente frequenti nella parte alta dei versanti e ovviamente nelle zone calanchive. Nei bacini Trucciole, Scalonca, Landola e Cacarello i versanti esposti nel quadrante meridionale hanno tassi di erosione molto elevati (Tav. 3). In Cicacci et al. (2008) la comparazione tra DEMs in un bacino calanchivo di ridotta estensione nel Comune di Radicofani (Torrente Piantafrolla), sebbene utilizzando una metodologia diversa (Biasini & Salvatore, 1993, 1995), ha prodotto un risultato in linea con i valori calcolati in questo lavoro. Il tasso di erosione nel Torrente Piantafrolla per un periodo di 18 anni è di 5,5 cm/a, mentre per i 9 bacini si hanno valori tra gli 8 e l'1,5 cm/a per una media di 3,2 cm/a. Inoltre diversi autori indicano tassi di erosione tra 1.5 e 3 cm/a per aree affette da biancane e calanchi (Alexander, 1982; Rendell, 1982; Gutierrez et al., 1997; Del Prete et al., 1997; Raglione et al., 1997; Battaglia et al., 2002; Ciccacci et al., 2003; Clarke and Rendell, 2006).

I rimboschimenti su territori minacciati da erosione calanchiva presentano notevoli difficoltà sia riguardo la scelta delle specie, sia riguardo le metodologie d'impianto. L'obiettivo prioritario in queste aree contraddistinte da substrati con una marcata sterilità strutturale ed esposte a vulnerabilità idrogeologica è quello di riuscire ad arginare l'erosione del suolo. I rimboschimenti devono quindi garantire prioritariamente la difesa del suolo e la regimazione delle acque. Questi furono i principi ispiratori dei selvicoltori che operarono 40 anni fa, i quali scelsero quindi specie pioniere particolarmente adatte a sopportare le condizioni spesso estreme imposte dalle argille plioceniche. In Toscana furono scelti principalmente il cipresso comune, il cipresso dell'Arizona ed il pino nero. I rimboschimenti effettuati a scopi protettivi si possono dire riusciti solo se possiedono la capacità di rinnovarsi, se venga quindi garantito tramite la gestione del soprassuolo il dinamismo evolutivo (Ciancio et al. 1984a). In questi boschi dopo il conseguimento dell'obiettivo prioritario (la protezione del suolo) non è seguita una pianificazione che permettesse l'utilizzo e la rinaturalizzazione di questi popolamenti secondo i principi della *ecological restoration* (Nocentini, 2000; SER, 2004), in particolare non è stata riscontrata l'invasione di specie autoctone all'interno dei rimboschimenti, se non in ristrette aree.

Le specie maggiormente usate nel Comune di Radicofani sono state il cipresso dell'Arizona e il pino nero e il cipresso comune (Tab. 33), mentre le altre conifere si rinvencono con frequenze minori. Le latifoglie sono per lo più sporadiche e hanno valori dendrometrici decisamente inferiori alle conifere.

Il cipresso dell'Arizona è ritenuto specie xerofila, rustica e frugale che predilige suoli calcarei ma è stato ampiamente impiegato in substrati argillosi, specialmente in Abruzzo, Molise, Marche, Toscana ed Umbria (Ciancio et al. 1984a). Bagnaresi (1978) avanzava alcune perplessità sull'impiego di questa specie nell'Appennino toso - romagnolo in suoli particolarmente superficiali, mentre in precedenza Pavari & De Philippis (1942) espressero parere positivo all'utilizzo del Cipresso dell'Arizona, considerandolo una delle specie esotiche più preziose fra quelle introdotte in Italia. Nell'area di studio sebbene abbia garantito un buon successo di attecchimento sui substrati argillosi si è tuttavia rilevato non molto apprezzabile dal punto di vista economico, fornendo quando utilizzato legname di scarsa qualità, e dal punto di vista paesaggistico (Ciabatti et al., 2009; Mondino & Bernetti, 1998).

Specie	N°ads	N %	N tot	G		dg cm	hm	hm/dg
				m ² /ha	%			
Conifere								
Pino d'Aleppo	3	25	21	3.5	18	24	11.2	0.47
Pino domestico	2	26	15	3	35	21	-	-
Cipresso comune	10	21	90	1.6	7	11.3	7.5	0.66
Cipresso dell'Arizona	13	55	294	16	57	18.4	8.6	0.46
Pino nero	9	43	189	23	54	16.8	11.7	0.7
Pino laricio	1	9	4	0.7	2	21.7	-	-
Abete bianco	2	3.5	3	0.1	0.3	14.5	-	-
Cedro dell'Himalaya	1	7.5	4	0.3	0.8	13.7	-	-
Ginepro	2	3	2	-	-	5	-	-
Latifoglie								
Cerro	5	6	12	0.12	0.4	6	-	-
Roverella	3	37.3	42	2.7	7.5	11.8	-	-
Orniello	4	25.6	47	0.5	2.3	5.3	-	-
Olmo campestre	1	12.1	4	0.2	1	9	-	-
Ontano napoletano	2	5	4	0.06	0.1	10	-	-

Tabella 33: presenza e valori dendrometrici delle specie forestali rinvenute nelle aree di saggio.

Studi sui rimboschimenti con pino nero hanno dimostrato l'utilità di questa specie nell'arginamento del fenomeno calanchivo nelle Alpi sud – occidentali (Vallauri et al., 2002) e anche nel territorio delle Crete senesi, cioè in ambiente appenninico, questa specie ha

mostrato una buona attitudine a formare soprassuoli in substrati minacciati da erosione accelerata e contraddistinti da suoli superficiali (Ciabatti et al., 2009). Le pinete di pino nero del territorio di Radicofani vengono classificate come pinete neutro – basifile (Fig. 40), cioè popolamenti impiantati negli ambienti propri dei querceti termo – xerofili (Pavari, 1934; Crivellari, 1961; Mondino & Bernetti, 1998) su suoli argillosi e a reazione tendenzialmente alcalina (Alinari & Palazzo, 1934; Phillips, 1998).

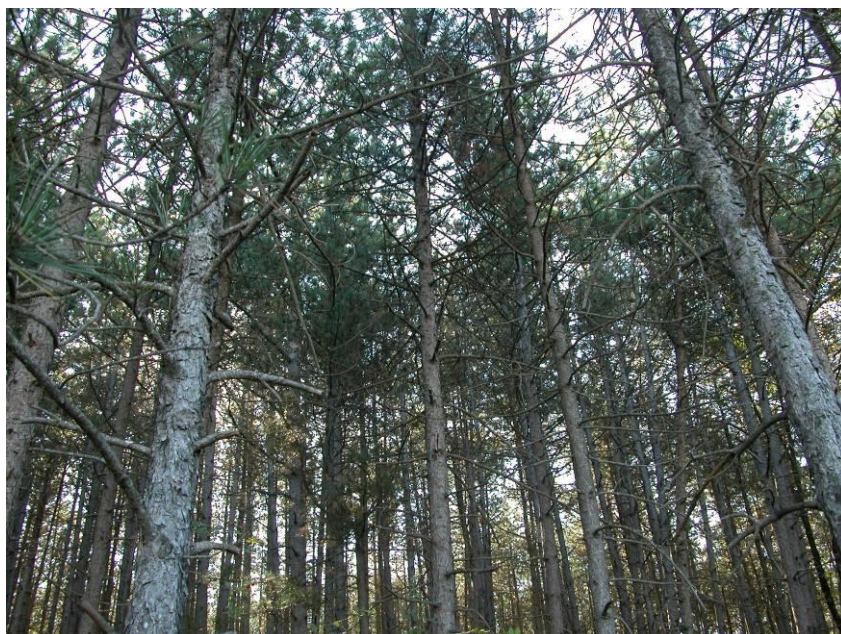


Figura 40: pineta monospecifica di pino nero.

Strato	Specie prevalente		Specie secondaria		N		G		dg	
	Nome	%	Nome	%	n/ha	σ	m ² /ha	σ	cm	σ
2	Cipresso dell'Arizona	29	Cipresso comune	29	973	77	22.7	3.5	17.2	2
4	Cipresso dell'Arizona	65	Pino nero	25	1396	379	37.7	13.8	18.5	2.9
6	Cipresso dell'Arizona	45	Orniello	24	1556	377	20.3	3.5	12.9	1.2
7	Pino nero	73	Roverella	19	1247	555	40.6	17.1	17	3

Tabella 34: tabella sintetica relativa ai 4 strati.

Dei 5 strati analizzati quello con la maggiore G/ha risulta di gran lunga lo strato 7 (Tab. 34), ovvero i boschi misti con prevalenza di pino nero e presenza di latifoglie. Quasi il 90% di

G/ha è costituito dal pino nero, il quale presenta in questi popolamenti i valori più alti di dg, hm e H. Valori di G/ha simili tra loro si hanno per gli strati 2 e 3, ma con densità molto diverse. Lo strato 2, composto da pini mediterranei e cipressi ha una densità più bassa dello strato 3 composto al 75% di pino nero. Sebbene il substrato prevalente sia lo stesso, le differenze tra questi due strati potrebbero essere imputabili, oltre alla composizione in specie, alla pendenza media e all'esposizione prevalente. Lo strato 4, ovvero le cipressete con presenza di pino nero, ha una G/ha piuttosto alta e anche una densità notevole. Il substrato, costituito dal detrito lavico, insieme a pendenze modeste ed esposizioni settentrionali ha permesso il buon esito dei rimboschimenti. Dove i cipressi sono in mescolanza con latifoglie (strato 6) si hanno valori di G/ha bassi ed una elevata densità. Le latifoglie presenti hanno diametri modesti e spesso sono in sofferenza: l'orniello particolarmente abbondante in questi popolamenti raramente supera i 10 cm di diametro. Oltre la crescita stentata delle latifoglie (impiantate e preesistenti) influisce negativamente sulla riuscita di questi interventi anche un'esposizione prevalente nel quadrante meridionale.

Nella tabella 35 vengano raffrontati i valori dendrometrici per le due specie principali utilizzate nel comune di Radicofani: il cipresso dell'Arizona e il pino nero. Il primo mostra dg, hm e H maggiori nei popolamenti dove rappresenta la specie nettamente prevalente (strato 4), le stesse misure risultano inferiori dove il cipresso dell'Arizona si trova in mescolanza con altre specie (strato 2 e 6). L'altezza dominante nettamente superiore nello strato 4 è probabilmente imputabile alle migliori potenzialità stazionali, qui infatti le condizioni geopedologiche sono state mitigate dall'apporto del detrito lavico, il quale in condizioni di pendenza modesta ha reso possibile la formazione di un suolo maggiormente ospitale per la vegetazione arborea. I valori dendrometrici del pino nero risultano più elevati nei boschi dove rappresenta la specie dominante e dove vi è la presenza di latifoglie (strato 7). Dove si trova in mescolanza con il cipresso dell'Arizona (strato 4) si ha un dg e un H inferiore, mentre l'hm è simile. Il pino nero è la specie dominante anche nello strato 3, qui però l'assenza di latifoglie preesistenti all'impianto è indicativa di condizioni stazionali più scarse. In effetti nello strato 7 il substrato, composto da argille plioceniche con arenarie e ciottoli, risulta maggiormente idoneo all'instaurarsi del bosco rispetto al substrato totalmente argilloso. Per tutti e tre gli strati con presenza di pino nero i valori di H, secondo le classi di fertilità calcolate per i popolamenti di pino nero toscani (Bernetti et al., 1969; Mondino & Bernetti, 1998), indicano una fertilità mediocre (III e IV classe). In queste stazioni i popolamenti di pino nero potrebbero rinnovarsi naturalmente e formare associazioni permanenti se liberi da specie concorrenti, tuttavia lo scopo ultimo per la gestione di questi boschi deve essere la

sostituzione con specie autoctone, trasformando in modo graduale il paesaggio (Mondino & Bernetti, 1998). Le stazioni della IV classe di fertilità svolgono un ruolo prettamente protettivo e ogni tipo di trasformazione dovrà mirare a rafforzare questa peculiarità. Potrebbero risultare opportune sottopiantagioni di latifoglie arbustive rustiche, specialmente all'interno delle stazioni della III e IV classe, in aree con erosione attiva (Mondino & Bernetti, 1998).

Cipresso dell'Arizona	G/ha (m²)	dg (cm)	hm (m)	H (m)
Strato 2	6,39	17,1	8,9	9,7
Strato 4	27,4	19,94	10,7	13,27
Strato 6	14,20	16,0	6,2	9,5
Pino nero				
Strato 3	16,36	13,4	8,4	10
Strato 4	6,8	15,75	11,7	12,14
Strato 7	39,72	19,9	11,8	15,7

Tabella 35: valori dendrometrici del cipresso dell'Arizona e del pino nero.

Nella tabella 36 si confrontano i valori dendrometrici e di densità dei boschi di Radicofani con presenza di cipresso dell'Arizona con quelli di popolamenti monospecifici toscani ed umbri noti in letteratura (Ciancio et al., 1984b). Sebbene i popolamenti della tabella 36 abbiano età differenti l'accrescimento del cipresso è particolarmente debole dopo i 30 anni e le densità, fatta salva quella di Suvereto, sono piuttosto simili. I valori di hm e dg delle cipressete su detrito lavico (Radicofani – strato 4) sono affini ai popolamenti insistenti su suoli calcareo-marnosi, mentre su substrati argillosi hm e dg risultano inferiori. Valori decisamente discostanti dalla media degli altri popolamenti si rinvencono a Guarniente nei soprassuoli di 50 anni.

Sono noti i risultati positivi ottenuti in seguito a rimboschimenti con pino laricio su vaste aree in bacini calabresi, dove si è avuto un sostanziale decremento dell'erosione a distanza di quarant'anni (Ciancio & Iovino, 1995) e sempre in Calabria, nel bacino del Fiume Trionto, Puglisi & Cinnirella (1991) evidenziano un consistente miglioramento della situazione idrologica in seguito ad un incremento del 19% della superficie forestale.

Località	Substrato	Tipo di popolamento	% <i>Cupressus arizonica</i>	Età	N. p/ha popolamento	G/ha (m ²)	dg (cm)	hm (m)
Radicofani (SI)- Strato 2	Argille del Pliocene	Misto con <i>Cupressus sempervirens</i> e pini mediterranei	29	40	973	6,39	17,1	8,9
Radicofani (SI)- Strato 4	Detrito lavico di versante	Cipressete con <i>Pinus nigra</i> e altre conifere	65	40	1396	27,4	19,9	10,7
Radicofani (SI) - Strato 6	Argille del Pliocene con arenarie e ciottoli	Cipressete di <i>Cupressus arizonica</i> con latifoglie e <i>Cupressus sempervirens</i>	45	40	1556	14,20	16,0	6,2
Suvereto (LI)	Calcereo - marnoso	Monospecifico con alcune piante di <i>Cupressus macrocarpa</i>	100	56	648	17.92	18.8	10.6
Guarniente (AR)	Calcereo - marnoso	Monospecifico	100	54	1362	30.72	16.9	11.3
Guarniente (AR)	Calcereo - marnoso	Monospecifico	100	50	1386	65.12	24.5	16.5
M. Morello (FI)	Calcereo - marnoso	Monospecifico	100	53	1369	35.93	18.3	10.2
M. Morello (FI)	Calcereo - marnoso	Monospecifico	100	53	1404	35.7	17.9	11.9
M. Subasio (PG)	Calcereo - marnoso	Monospecifico	100	48	1377	43.19	19.9	13.45

Tabella 36: valori di densità e dendrometrici dei popolamenti con presenza di cipresso dell'Arizona a Radicofani ed in altre stazioni toscane ed umbre.

Attraverso la regressione multipla si è cercata la correlazione tra le variazioni del tasso di erosione $\Delta Tu\%$ (variabile dipendente; Tab. 19) e due variabili indipendenti (Tab. 37): la variazione della superficie boscata $\Delta S_{(3.1.)}\%$ (Tab. 5) e la variazione percentuale di superficie interessata da erosione calanchiva in rapporto alla superficie totale di bacino ($\Delta Ac/A_{tot} \times 100$). Il coefficiente di correlazione (Tab. 38) evidenzia una bassa relazione tra le variabili, inoltre il valore F è minore del valore critico della distribuzione F, pertanto il modello è da

rifiutare e non c'è relazione lineare tra la variazione del tasso d'erosione e le variazioni relative all'area a calanchi e alla superficie boscata.

	Variabile dipendente	Variabili indipendenti	
Bacini	$\Delta Tu\%$	$\Delta Ac\%$	$\Delta S_{(3.1.)}\%$
Cacarello	-31,86	-6,46	17,67
Castelvecchio	-42,94	-16,90	26,22
Favorito	-59,36	-5,15	20,61
Landola	-18,89	-17,05	12,86
Perignano	-53,26	-6,45	53,61
Stiantone	-42,22	-16,39	19,12
Sucenna	-21,77	-5,31	25,14
Trucciole	-21,49	-23,27	25,14
Scalonca	-77,69	-38,03	24,01

Tabella 37 : valori delle variabili interessate dal modello di regressione multipla.

Statistica della regressione		
Coefficiente di correlazione	R multiplo	0,52
	R ²	0,27
	R ² corretto	0,03
Errore standard		19,57

Analisi della varianza						
	gradi di libertà	Somma dei quadrati	Media dei quadrati	F	Significativit à F	Valore critico F (0,95)
Regressione	2	863,77	431,89	1,13	0,38	5,14
Residuo	6	2297,83	382,97			
Totale	8	3161,60				
	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significativit à		
Intercetta	-12,66	20,57	-0,62	0,56		
Δ Ac %	0,79	0,65	1,22	0,27		
Δ S(3.1.) %	-0,66	0,61	-1,09	0,32		

Tabella 38: statistica e analisi della varianza della regressione multipla.

6. CONCLUSIONI

Dal 1954 ad oggi la superficie forestale è aumentata sensibilmente, così come la superficie interessata da attività agricola, mentre sono fortemente diminuite le aree degradate e con vegetazione scarsa o assente. Parallelamente si assiste ad una significativa diminuzione dei tassi di erosione e delle aree interessate da erosione calanchiva in tutti e nove i bacini presi in esami. Sebbene la criticità geomorfologica sembri essere stata mitigata permangono nel Comune di Radicofani estese zone affette da instabilità, in particolare l'Indice di Franosità mostra mediamente una predisposizione alla franosità maggiore nelle aree di affioramento delle argille dell'UFP con pendenza tra i 10° e i 20° e utilizzate a scopi agricoli.

Le analisi effettuate per i rimboschimenti presenti a Radicofani hanno mostrato una frammentazione piuttosto marcata evidenziata da una scarsa densità dei nuclei ogni 100 ha (0,78) e da una estensione media di poco superiore ai 4 ha. I nuclei di rimboschimento, confinando spesso con aree agricole o aree degradate, mostrano una forma piuttosto regolare e quindi una scarsa irregolarità del perimetro e un valore dell'AWMSI piuttosto basso (1,92). Questa accentuata frammentazione è dovuta soprattutto alla scelta dei siti d'impianto. Infatti la limitata presenza di aree idonee all'impianto di specie arboree ha suggerito ai selvicoltori di operare su superfici limitate e di localizzare gli interventi su substrato non proibitivo per litologia, pendenza e processi erosivi in atto. Queste scelte obbligate hanno quindi influito indubbiamente sulla frammentazione non permettendo la formazione di nuclei particolarmente estesi. I popolamenti forestali a distanza di circa 40 anni mostrano una copertura soddisfacente nonostante i valori dendrometrici indichino classi di fertilità mediocri e la rinaturalizzazione sia in atto solo in pochi nuclei. La mancanza di correlazione tra tassi di erosione e superficie forestale è da imputare quindi alla frammentazione eccessiva dei nuclei, ma anche alla bassa superficie rimboschita all'interno dei bacini in proporzione all'astensione totale. L'area di rimboschimento non supera mai il 20% dell'area totale e solo in 3 casi supera il 10% e gli effetti mitigatori del bosco si manifestano in maniera evidente se la superficie da essi occupata è consistente (Giandotti, 1916; Crivellari 1961; Ciancio & Iovino, 1995), specialmente in bacini affetti da erosione accelerata. In questi substrati argillosi sembrerebbe aver avuto maggior peso la bonifica agraria nella riduzione dei tassi di erosione, sebbene sia difficilmente quantificabile.

I rimboschimenti, oltre ad occupare una porzione consistente della superficie di bacino, devono anche essere gestiti in modo che diventino popolamenti capaci di perpetuarsi e di essere utilizzati per avere degli effetti apprezzabili sull'idrologia del bacino. Nei popolamenti

forestali artificiali occorrerà quindi facilitare l'invasione delle specie autoctone e l'affermazione delle latifoglie esistenti adottando metodologie diversificate a seconda delle condizioni stazionali e delle specie presenti, allo scopo di favorire la rinaturalizzazione e la riduzione della frammentazione dei nuclei. Si dovranno effettuare cure culturali ottenendo, oltre alla protezione del suolo, il miglioramento delle caratteristiche geopedologiche. Il conseguimento di questi obiettivi, sebbene particolarmente problematico a causa dell'instabilità geomorfologica e dell'erosività del substrato argilloso, dovrà essere ottenuto mediante diradamenti, indispensabili per la gestione dei rimboschimenti (Ciancio, 1986). Riguardo all'intensità dei diradamenti si dovrà tener conto delle condizioni geopedologiche stazionali e ovviamente della presenza di rinnovazione, la quale è sempre piuttosto scarsa e non sufficiente a garantire una celere copertura del suolo dopo il diradamento. La gestione forestale futura dovrà in ogni modo favorire un ulteriore rallentamento dei fenomeni erosivi, il recupero delle aree degradate interessate da erosione calanchiva incipiente e garantire la protezione di zone sensibili da eventi franosi.

7. RINGRAZIAMENTI

Ringrazio *in primis* il Comune di Radicofani che mi ha permesso di lavorare a questo progetto di ricerca, con particolare menzione al Sig. Giovanni Costa, Consigliere del Comune di Radicofani. Dovuti e sentiti sono i ringraziamenti al mio tutor e mentore Prof. Ugo Chiocchini per tutto quello che mi ha insegnato e tutto quello che spero continui ad insegnarmi. Per i loro impagabili suggerimenti ringrazio il Prof. Luigi Portoghesi, il Prof. Roberto Mercurio e la Dott.ssa Maria Cristina Salvatore. Non posso dimenticare tutte le persone che mi sono state vicine in questi tre anni e non solo dal punto di vista scientifico, grazie quindi al Dott. Antonello Salis per aver passeggiato nei boschi di Radicofani con me e soprattutto per la sua ormai decennale amicizia (merce rara), grazie ad Alfredo Alessandrini e ad Andrea Cavalieri per aver condiviso quotidianamente l'ottimo caffè delle macchinette, grazie a Giuliano Cipollari con il quale ho diviso l'ufficio per anni e grazie a tutti quelli che mi hanno fatto compagnia fuori dai sotterranei della Facoltà di Agraria e perché no grazie anche ai cinghiali e ai caprioli del Ristorante La Torre di Radicofani.

Ed infine grazie ai miei genitori perché loro ci sono sempre stati...sempre.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Alexander, D.E. (1982) - Difference between calanchi and biancane badlands in Italy. In: Bryan, R., Yair, A. (Eds.), *Badland Geomorphology and Piping*. Geobooks, Norwich, pp. 71–88.

Alinari F., Palazzo F. (1934) – Indagine chimico – analitiche comparative sulle formazioni argillose delle varie epoche geologiche; in “La bonifica nelle colline argillose plioceniche”. Ministero Agricoltura e Foreste, 32 – 39.

Antoni A.M. (1965) - Il paesaggio vegetale delle colline argillose dell'alta e media Val d'Orcia (Siena). *Webbia* 20 (2), 427-454.

Agnoletti M. (2007) – The degradation of traditional landscape in a mountain area of Tuscany during the 19th and 20th centuries: Implications for biodiversity and sustainable management. *Forest Ecology and Management* 249 (1 – 2): 5 – 17.

Agnoletti M., Paci M. (1998) – Landscape evolution on a Central Tuscan estate between the Eighteenth and the Twentieth centuries. In: *The ecological hystory of European forest* (Kirby K.), Watkins C. eds). CAB International, Oxon – New York, pp. 117 – 127.

Arcangeli L, Bergamaschi G., Cannavacciuolo F., D'Astore G., Dell'Abbate M. T., Dell'Orso M., Giardini G., Martelli G., Morlupi L., Sammuri P., Sansoni L. & Tardelli B. (2002) – Indagine tecnologica e applicativa sulle rocce argillose della Toscana centro – meridionale. *Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia*, 42, 9 – 64.

Avena G.C., Giuliano G., Lupia Palmieri E. (1967) – Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali. *Boll. Doc. Geol. It.* 86, 781 – 796.

Bagnaresi U. (1978) – L'utilizzazione forestale dei terreni argillosi. L'utilizzazione dei terreni argillosi dell'Appennino con particolare riguardo alle argille plioceniche, Istituto per lo sviluppo economico dell'Appennino centro-settentrionale.

Baldi P., Bertini G., Caneli G.M., Decandia F.A., Dini I., Lazzarotto A. & Liotta D. (1994b) – La tettonica distensiva post – collisione nell’area geotermica di Lardarello (Toscana meridionale). Studi Geologici Camerti, Vol. Spec., 1, 183 – 193.

Baldi P., Decandia F.A., Lazzarotto A. & Calamai A. (1974) – Studio geologico del substrato della copertura vulcanica laziale nella zona dei laghi di Bolsena, Vico, Bracciano. Mem. Soc. Geol. It., 13, 575 – 606.

Barberi F., Buonasorte G., Cioni R., Fiordelisi A., Foresi L., Iaccarino S., Laurenzi M.A., Sbrana A., Vernia L. & Villa I.M. (1994) - Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium. Mem. Desc. Carta Geologica d’Italia 49, 77-134.

Barberi F., Innocenti F., & Ricci C.A. (1971) – Il magmatismo. In: La Toscana meridionale. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, 27, 169 - 210.

Barberi F., Ferrara G., Innocenti F., Marinelli G. & Mazzuoli R. (1971) – A magmatic province of anatectic origin: the Tuscan – Latian Province (Italy). Abstract, XV U. G. C. I. Congress, Moscow.

Bernini M., Boccaletti M., Moratti G. Papani G. Sani F. & Torelli L. (1990) – Episodi compressivi neogenico – quaternari nell’area estensionale tirrenica nord – orientale. Dati di mare e a terra. Mem. Soc. Geol. Ital., 45 : 577 – 589.

Battaglia, S., Leoni, L., Sartori, F. (2002) - Mineralogical and grain size composition of clays developing calanchi and biancane erosional landforms. Geomorphology 49, 153–170.

Bernetti G., Cantiani M., Hellrigl b. (1969) – Ricerche alsometriche sulle pinete di pino nero e laricio in Toscana. L’Italia Forestale e Montana. XLIV (1): 10-33.

Bertini G., Cameli G.M., Costantini A., Decandia F.A., Di Filippo M., Dini I., Elter F.M., Lazzarotto A., Liotta D., Pandeli E., Sandrelli F. & Toro B. (1991) – Struttura geologica fra i monti di Campiglia e Rapolano Terme (Toscana meridionale): stato attuale delle conoscenze e problematiche. St. Geol. Camerti, vol. spec., 1, 155 – 178.

Bertocci R., Canuti P., Casagli N., Cheli P., D'Amato Avanzi G., Fanti R., Garzonio C.A., Sargentini M., Spicchi R., Trivellini M. & Turrini G. (2000) - Atlante dei Centri Abitati Instabili della Toscana (a cura di Canuti P., Focardi P., Nardi R. & Puccinelli A.). CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche. Stab. Poligr. Fiorentino, FI, 208 pp.

Biasini, A., Salvatore, M.C. (1993) - Fotogrammetria digitale e cartografia glaciologica. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, Pavia 113–119.

Biasini, A., Salvatore, M.C. (1995) - Fotorestituzione digitale della linea di riva: area campione del delta tiberino. Il Quaternario 8 (1), 263–266 (Napoli).

Bigazzi G., Bonadonna F. P., Grezzo C., Giuliani A., Radicati di Brozolo F. & Rita F. (1981) – Geochronological study of the Monte Amiata lavas (Central Italy). Bull. Volcan., 44, 456 – 465.

Boccaletti M., Decandia F. A., Gasperi G., Gelmini R., Lazzarotto A. & Zanzucchi G. (1987) – Carta strutturale dell'Appennino settentrionale. Note illustrative. Pubblicazione n. 429 – 1982. Consiglio Nazionale delle Ricerche – Progetto Finalizzato Geodinamica – Sottoprogetto 5 – Modello Strutturale, 203 pp.

Boccaletti M., Cerrina Feroni A., Martinelli M., Moratti A., Plesi G. & Sani F. (1994) - L'area tosco – laziale come dominio di transizione tra il bacino tirrenico ed i thrust esterni: rassegna dei dati mesostrutturali e possibili relazioni con le discontinuità del ciclo neoautoctono. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, 49, 9 – 22.

Bossard M., Feranec J., Otahel J. (2000) - CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. Technical report n. 40. European Environmental Agency.

Bossio A., Costantini A., Lazzarotto A., Liotta D., Mozzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1993) - Rassegna delle conoscenze sulla stratigrafia del neoautoctono toscano. Mem. Soc. Geol. It., 49, 17 - 98.

Branconi S., De Dominicis V., Boscagli A., Boldi L. (1979) - La vegetazione dei terreni argillosi pliocenici della Toscana meridionale. I. Vegetazione pioniera ad *Artemisia cretacea*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. Ser. B, 86, 163–183.

Buonasorte G., Cataldi R., Ceccarelli A., Costantini A., D'Offizi S., Lazzarotto A., Ridolfi A., Baldi P., Borelli A., Bertini G., Bertrami R., Calamai A., Cameli G., Corsi R., D'Acquino C., Fiordelisi A., Grezzo A. & Lovari F. (1988) – Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina (Lazio – Umbria). Boll. Soc. Geol. It., 107, 265 – 337.

Burroughs E. R., Thomas B. R. (1976) – Declining root strength in Douglas – fir after falling as a factor in slope stability. Res. Pap. INT-190, 27 pp., For. Serv., U.S. Dep. Of Agric., Ogden, Utah, 1977.

Calamai A., Cataldi R., Locardi, E. & Praturlon A. (1976) - Distribuzione delle anomalie geotermiche nella fascia preappenninica toscano – laziale. Simposio Internacional Sobre Energia Geotermica En America Latina, Città del Guatemala, 16/23 ottobre 1976. Istituto Italo – Latino Americano – Instituto Nacional de Electrificación 189 – 229.

Calamai A., Cataldi R., Squarci R. & Taffi L. (1970) – Geology, geophysics and hidrogeology of the Monte Amiata geothermal fields: I. Maps and comments. Geothermics, Special Issue, 1, 1 – 9.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (1987) – Neotectonic Map of Italy. Sheet 3. SELCA, Firenze.

Carmignani L., Decandia F.A., Disperati L., Fantozzi P.L., Lazzarotto A., Liotta D. & Oggiano G. (1994a) – Relationships between the Sardinia – Corsica – Provencal Domain and the Northern Apennines. *Terranova*, 7(2), 128 – 137.

Carmignani L., Decandia F.A., Fantozzi P.L., Lazzarotto A., Liotta D. & Meccheri M. (1994b) – Tertiary extensional tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy). *Tectonophysics*, 238, 295 – 315.

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

Cataldi R., Mongelli F., Squarci P., Taffi L., Zito G. & Calore C. (1995) - Geothermal ranking of Italian territory. *Geothermics* 24 (1), 115–129.

Chiocchini U. & Madonna S. (2006) – Geologia. In : La geologia della città di Viterbo. (U. Chiocchini ed.). Gangermi Editore, 190 pp.

Ciabatti G., Gabellini A., Ottaviani C., Perugi A. (2009) – I rimboschimenti in Toscana e loro gestione. ARSIA Regione Toscana, pp. 166.

Ciancio O. (1986) – Diradamenti: criteri generali, problemi e tecniche. *Monti e Boschi*. 6, 19 – 22.

Ciancio O., Iovino F. (1995) – I sistemi forestali e la conservazione del suolo. *Atti dell'Accademia dei Georgofili*, 1994. Giornate di studio sul “Global Change”, Il verde per la difesa ed il ripristino ambientale, 7 Dicembre 1994. Vol. XLI, 85-146.

Ciancio O., Mercurio R., Nocentini S. (1984) - Le specie forestali esotiche e le relazioni tra arboricoltura da legno e selvicoltura. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, Vol.XII, (1981): 1-106, Arezzo.

Ciancio O., Mercurio R., Nocentini S. (1984) - La sperimentazione di specie forestali esotiche in Italia risultati dopo un sessantennio. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, Vol. XIII, (1982) : 107 - 730, Arezzo.

Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E., Pugliese F. (1980) – Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali. *Boll. Soc. Geol. It.* 99, 455 – 516.

Ciccacci, S., Fredi, P., Lupia Palmieri, E., Pugliese, F. (1986) - Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters. *International Geomorphology* 2, 33–48.

Ciccacci, S., Del Monte, M., Marini, R. (2003) - Erosion and recent morphological change in a sample area of the upper Orcia River basin (Southern Tuscany, Italy). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 26, 97–109.

Ciccacci S., Galiano M., Roma M.A., Salvatore M.C. (2008) - Morphological analysis and erosion rate evaluation in badlands of Radicofani area (Southern Tuscany — Italy). *Catena* 74, 87 – 97.

Clarke, M.L., Rendell, H.M. (2006) - Process-form relationships in Southern Italian badlands: erosion rates and implications for landform evolution. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, 15–29.

Concialini P. (1954) – Consolidamento e sistemazione del dirupo sotto la Rocca di Radicofani e difesa del sottostante abitato. – Relazione illustrata circa le opere da progettarsi per ottenere il concorso dello Stato nella spesa relativa alla loro esecuzione.

Costantini A., Gandin A., Lazzarotto A. & Sandrelli F. (1979) – Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. *Prog. Fin. Geodinamica, Pubblic.* 251.

Costantini A., Gandin A., Gasparri G., Mozzanti R., Lazzarotto A. & Sandrelli F. (1980) – Neotettonica dei Fogli 111 Livorno – 112 Volterra – 113 Castelfiorentino – 119 Massa Marittima – 120 Siena – 121 Montepulciano – 126 Isola d'Elba – 127 Piombino – 128 Grosseto – 129 S. Fiora. In: *Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. Prog. Fin. Geodinamica, Pubblic.* 356, 1075 - 1086.

Costantini A., Lazzarotto A. & Sandrelli F. (1982) – Il Graben di Siena : conoscenze geologico – strutturali. In: *Rel. Finale “ studi geol. Idrogeol. Geof. Finalizzati alla ricerca di fluidi caldi nel sottosuolo”*, CNR, 11 – 33.

Crivellari D. (1961) – La tecnica dei rimboschimenti nei particolari riguardi della sistemazione dei bacini montani; in “*Atti del Congresso nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati*”, 261 – 286.

Cruciani R. & Perinti M. (1982) – Relazione sulla stabilità della parete Sud della rupe sovrastante l'abitato di Radicofani e relativo programma di intervento. Ufficio del Genio Civile di Siena – Regione Toscana.

D'Orazio M., Innocenti F., Serri G. & Petrini R. (1991) – Il vulcano di Radicofani nel quadro del magmatismo neogenico - quaternario dell'Appennino Settentrionale. Studi Geol. Camerti, 1, 79 – 92.

D'Orazio M., Laurenzi M. A. & Villa I. M. (1991) – $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of a shoshonitic lava flow of the Radicofani volcanic center (Southern Tuscany). Acta Vulcanologica, 1, 63 – 67.

Ferrara G. & Tonarini S. (1985) – Radiometric geochronology in Tuscany : results and problems. Rend. SIMP., 40, 111 – 124.

Decandia F.A., ELTER p., Lazzarotto A., Liotta D., Spallone S., & Stea B. (1994) – Structural features of the Castell'Azzara Mountains. Mem. Soc. Geol. It. 48(1), 509 – 513.

De Dominicis V. (1980) – L'evoluzione della vegetazione sui terreni argillosi pliocenici della Toscana. Nuovo Giorn. Bot. Ital. 114, 104 – 105.

De Philippis A. (1970) – La copertura forestale e la difesa del suolo. Istituto di Tecnica e Propaganda Agraria. Roma.

Del Prete, M., Bentivenga, M., Amato, M., Basso, F., Tacconi, P. (1997) - Badland erosion processes and their interactions with vegetation: a case study from Pisticci, Basilicata, Southern Italy. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 20, 147–155.

Della Seta M., Del Monte M., Fredi P., Lupia Palmieri E. (2007) - Direct and indirect evaluation of denudation rates in Central Italy. Catena 71, 21 – 30.

Disperati L. & Liotta D. (1998) - Estimating uplift of clay-filled extensional basins through the porosity-depth curve: the case of the Radicofani Basin (Italy). Annales Tectonicae, 12, n. 1 – 2, 162 - 176.

Endo T., Tsuruta T. (1968) – The effect of the tree's roots on the shear strength of soil. Ann. Rep. pp. 167- 182, Hokkaido Branch For. Exp. Stn., Sapporo, Japan, 1969.

Geri F., Giordano M., Nucci A., Rocchini D., Chiarucci A. (2008) – Analisi multi temporale del paesaggio forestale della Provincia di Siena mediante l'utilizzo di cartografie storiche. *Forest@* 5: 82 – 91.

Giacobbe A. (1961) – I rimboschimenti dei terreni argillosi; in “Atti del Congresso nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati”, 287 – 311.

Giandotti M. (1916) – Boschi e acque. Roma.

Giannini E., Lazzarotto A. & Signorini R. (1971) – Lineamenti di stratigrafia e tettonica. In: La Toscana meridionale. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, 27, 33 - 118.

Gray D. H., Megahan W. F. (1981) – Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho Batholith. Res. Pap. INT-271, 23 pp., For. Serv., U.S. Dep. Of Agric., Ogden, Utah.

Greenway D. R. (1987) – Vegetation and slope stability, in Slope Stability, Anderson and Richards eds, John Wiley & sons, N. Y.

Guasparri G. (1978) – Calanchi e biancane nel territorio senese: studio geomorfologico. *L'Universo*. 18, 97 – 140.

Gutierrez M., Sancho C., Benito G., Sirvent J., Desir G. (1997) - Quantitative study of piping processes in badland areas of the Ebro Basin, NE Spain. *Geomorphology* 20, 237–253.

Horton R.E. (1945) – Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56, 275 – 370.

INGV – MI (2004) – Definizione dello stato delle conoscenze in materia di pericolosità sismica del territorio toscano, con approfondimento su elementi ed aree particolari.

Innocenti F. (1967) – Studio chimico – petrografico delle vulcaniti di Radicofani. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia Petrologia, 13, 99 – 128.

Jacobacci A., Martelli G. & Nappi G. (1967) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000. Serv. Geol. d'It., 61 pp., La Litograf, Roma.

Lazzarotto A. (1967) – Geologia della zona compresa tra l'alta Valle del Fiume Cornia ed il Torrente Pavone (Prov. Di Pisa e Grosseto). Mem. Soc. Geol. It. 2, 151 – 159.

Lazzarotto A. & Mazzanti R. (1965) – Sulle caratteristiche di alcune strutture tettoniche frequenti nelle formazioni neoautoctone delle alti valli del fiume Cecina, Milia. Boll. Soc. Geol. It., 84 (5), 177 – 196.

Liotta D. (1994) – Structural features of the Radicofani Basin along the Piancastagnaio (Mt. Amiata) – S. Casciano dei Bagni (Mt. Cetona) cross section. Mem. Soc. Geol. It. 48(2), 401 – 408.

Liotta D. (1996) – Analisi del settore centro – meridionale del bacino pliocenico di Radicofani (Toscana meridionale). Boll. Soc. Geol. It., 115, 115 – 143.

Lupia Palmieri E. (1983) - Il problema della valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali. Atti XXIII Congresso Geografico Italiano, vol. 2 (I), 143–176.

Mancini F. (1975) – Qualche parola sull'evoluzione del suolo e la sua conservazione a seguito dei rimboschimenti. Informatore Botanico Italiano, 7.

Marinelli G. (1975) – Magma evolution in Italy. In: Geology of Italy, C. H. Squyres ed. The Earth Science Society of the Libian Arab Republic, Tripoli, 165 – 219.

Marinelli G. (1983) – Il magmatismo recente in Toscana e le sue implicazioni minerogenetiche. Mem. Soc. Geol. It., 25, 111 – 124.

Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste (1934) – La bonifica delle colline argilllose plioceniche, - Preappennino Tosco – emiliano e marchigiano. Tipografia Failli, Roma, pp. 364.

Mitrakos, K. (1980) - A theory for Mediterranean plant life. *Acta Ecologica /Ecologica Plantarum* 1(15), 244 – 252.

Mondino G. P., Bernetti G. (1998) – I tipi forestali. Boschi e macchie di Toscana. - Edizioni Regione Toscana, Firenze.

Nocentini S. (2000) - La rinaturalizzazione dei sistemi forestali: aspetti concettuali. *L'Italia Forestale e Montana*, 4: 423 – 435.

O'Loughlin C. L. (1974) – A study of tree root strength deterioration following clearfelling. *Can. J. For. Res.* 4 (1), 107 – 113.

Orlando I., Bernabini M., Bestini G., Cameli G.M. & Dini I. (1991) - Il bacino neogenico di Radicofani. *Studi Geol. Camerti, Volume Speciale* (1991/1), 199 - 205.

Pascucci V., Costantini A., Martini P. I. & Dringoli R. (2006) - Tectono – sedimentary analysis of a complex, extensional, Neogene basin formed on thrust – faulted, Northern Apennines hinterland: Radicofani Basin, Italy. *Sedimentary Geology*, 183, 71 – 97.

Pasquare' G., Chiesa S., Vezzoli L. & Zanchi A. (1983) – Evoluzione paleogeografica e strutturale di parte della Toscana meridionale a partire dal Miocene superiore. *Mem. Soc. Geol. It.*, 25, 145 – 157.

Pavari A. (1934) – Sistemazione idraulica – agraria od idraulico – forestale?; in “La bonifica nelle colline argillose plioceniche”. *Ministero Agricoltura e Foreste*, 165 – 181.

Pavari A., De Philippis A. (1941) – La sperimentazione di specie forestali esotiche in Italia. Risultati del primo ventennio. *Annali della Sperimentazione Agraria*, Vol. XXXVIII. Roma.

Peccerillo A., Conticelli S. & Manetti P. (1987) – Petrological characteristics and genesis of the magmatism of Southern Tuscany and Northern Latium. *Period. Mineral.*, 56, 157 – 172.

Phillips C.P. (1998) - The Crete Senesi, Tuscany. A vanishing landscape? *Landscape and Urban Planning*. 41, 19 – 26.

Puglisi S., Cinnirella S. (1991) – Valutazione degli effetti di interventi sistematori sull'attenuazione di eventi idrologici estremi in bacini di torrenti silani con foce allo Ionio. CNR – GNDCI. Rapporto 1989.

Raglione, M., de Simone, C., Rinaldini, L., Francia, U. (1997) - L'erosione del suolo in aree collinari. Influenza di differenti tipi di cotico e confronto tra modelli di pascolamento e seminativi. *Rivista Agronomica* 31 (1), 341–34.

Rendell, H.M. (1982) - Clay hillslope erosion rates in Basento Valley, S. Italy. *Geography Annales* 64A (3–4), 141–147.

Romeo R.W., Tiberi P. (2006) – Indagine sui rapporti esistenti tra uso del suolo e rischio idrogeologico in rapporto all'ambiente fisico, per le esigenze di protezione civile. Convenzione tra la Regione Marche e l'Università degli Studi di Urbino, D.D. n. 481/SPS.101 pp.

Reistenberg M. H., Sovonick – Dunford S. (1983) – The role of vegetation on stabilizing slope in the Cincinnati area. *Geologic Soc. of America Bulletin*, 94, pp. 504 – 518.

Scandone P. & Stucchi M. (2000) - La zonazione sismogenetica ZS4 come strumento per la valutazione della pericolosità sismica. In: *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996 - 1999)*, Galadini F., Meletti C. & Rebez A. (eds.), Consiglio Nazionale delle Ricerche - GNDT, 3 - 14.

Scrocca D., Doglioni C. & Innocenti F. (2003) – Constraints for an interpretation of the Italian geodynamics: a review. *Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, CROP Atlas, Seismic Reflection Profiles of the Italian Crust*, Scrocca D. et alii eds., 15 – 46.

SER (2004) – The SER (Society for the Ecological Restoration International Science & Policy Working Group) *International Primer on Ecological Restoration*. Society for Ecological Restoration International, Tucson, USA. <http://www.ser.org>.

Serri G., Innocenti F., Manetti P., Tonarini S. & Ferrara G. (1991) – Il magmatismo neogenico quaternario dell'area tosco – laziale – umbra: implicazioni sui modelli di evoluzione geodinamica dell'Appennino settentrionale. Studi Geologici Camerti, vol. spec. 1, 492 – 463.

Strahler A.N. (1952) – Hypsometric (Area – Altitude) analysis in geomorphic research. J. Geol. 62, 1117 – 1142.

Strahler A.N. (1957) - Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Trans. Am. Geoph. Un. 38, 913-920

USDA Soil Conservation Service (1978) – Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. USDA Agricultural Hndbk #537, Whashington, DC.

Vallauri, D. R., Aronson, J., Barbero, M. (2002) - An Analysis of Forest Restoration 120 Years after Reforestation on Badlands in the Southwestern Alps. Restoration Ecology, 10: 16–26.

Wieczorek G. F. (1996) - Landslide triggering mechanism. In: Landslides - Investigation and Mitigation. Special report 247, Transportation Research Board, National Research Council, 79 - 90.

Wu T. H. & Swanston D. N. (1980) – Risk of landslides in shallow soils and its relation to clearcutting in southeastern Alaska. For. Sci. 26 (3), 495 – 510.

Zanchi A. & Tozzi M. (1987) - Evoluzione paleogeografica e strutturale recente del Bacino del Fume Albegna (Toscana meridionale). Geologica Romana 26, 305 – 325.

FIGURE

Figura 1: rimboschimenti di cipresso dell'Arizona in area calanchiva.	5
Figura 2: aree dei bacini di drenaggio relativi ai nove torrenti analizzati.	8
Figura 3: ubicazione dell'area di studio.	13
Figura 4: nuclei di rimboschimento suddivisi per strato (Per l'identificazione degli strati vedere la tabella 1).	14
Figura 5: affioramento dell'Unità del Fiume Paglia lungo la Strada Provinciale Contignano, in alto.	17
Figura 6: log dell'Unità del F. Paglia nell'area tra il T. Formone, Radicofani e l'alta valle del F. Paglia.	18
Figura 7: ubicazione delle stazioni di misura delle fratture delle lave dell'Unità di Radicofani.	19
Figura 8: distribuzione delle fratture delle lave rilevate nelle quattro stazioni di misura.	20
Figura 9: grafico di Bagnoulus & Gaussen della stazione termo – pluviometrica di Radicofani (828 m s.l.m.).	26
Figura 10: istogramma relativo allo stress mensile da freddo (MCS) e allo stress di aridità mensile (MDS).	27
Figura 11: diagrammi a torta relativi ai valori espressi nella tabella 3.	32
Figura 12: erosine calanchiva in località Contrada Barbone (a) e paesaggio a biancane (b) nei pressi di Poggio Bandinelli.	35
Figura 13: confronto diacronico delle aree a calanchi, biancane e ad erosione accelerata nei nove bacini.	36
Figura 14: frana di scivolamento traslazionale in area calanchiva (maggio 2010).	37
Figura 15: aree in frane nel territorio di Radicofani.	37
Figura 16: istogramma relativo ai valori della tabella 8.	40
Figura 17: istogramma relativo ai valori della tabella 9.	41
Figura 18: istogramma relativo ai valori della tabella 10.	41
Figura 19: istogramma relativo ai valori della tabella 11.	42
Figura 20: istogramma relativo ai valori della tabella 13.	43
Figura 21: indice di franosità totale (IFtot).	45
Figura 22: aree con IFtot $\geq$ IFmin (rosso) e con IFtot < IFmin (verde).	46
Figura 23: calanchi nella parte alta del bacino del torrente Favorito.	49
Figura 24: il torrente Stiantone.	50
Figura 25: ubicazione delle aree di saggio nel settore settentrionale (a) e in quello meridionale (b).	55
Figura 26: area di saggio n. 3.	56
Figura 27: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 2).	58
Figura 28: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 2.	58
Figura 29: rimboschimento con cipresso dell'Arizona.	59
Figura 30: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 4).	61
Figura 31: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 4.	61
Figura 32: individuo di roverella preesistente al rimboschimento.	62
Figura 33: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 6).	63
Figura 34: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 6.	64
Figura 35: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 7).	66
Figura 36: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 7.	66
Figura 37: distribuzione diametrica suddivisa per specie (strato 3).	67
Figura 38: curve ipsometriche delle principali specie presenti nello strato 3.	67

Figura 39: bonifica dei terreni argillosi mediante canalizzazioni e briglie (a, b, c) e rimodellamento del versante con l'uso di esplosivi (d). Foto fornite dal signor Giovanni Costa (Archivio Bonifica della Val d'Orcia – Comunità Montana Amiata Val d'Orcia).	69
Figura 40: pineta monospecifica di pino nero.	72

TAVOLE

Tavola 1: Carta geologica, DEM, carta delle pendenze e carta delle esposizioni

Tavola 2: Carta dell'uso del suolo.

Tavola 3: Carta delle aree in erosione e in deposizione.

Tavola 4: Reticoli idrografici.