DIPARTIMENTO SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI AMBIENTALI

Corso di Laurea Magistrale in
Scienze Forestali, dei Suoli e del Paesaggio (LM 73)

Il mirtillo nero (*Vaccinium myrtillus* L.) in radure di faggeta dei Monti della Laga (AP)

European blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.*)* in beech forest gaps of the Laga mountains (central Italy)

Tesi di laurea di
SIMONE CIARROCCHI
S1097346

Relatore
Prof. CARLO URBINATI

Correlatori
Dott. ALESSANDRO VITALI

Dott. FRANCESCO MALANDRA

Anno Accademico 2020/2021
Sessione straordinaria Febbraio 2022

Indice generale

1. Introduzione 3

1.1. Contestualizzazione e obiettivi del lavoro 3

1.2. Il faggio e le faggete dell'Appennino Centrale 5

1.3. Le radure in foresta 6

1.4. Cenni di ecologia, biologia e etnobotanica del mirtillo nero 8

1.5. Presenza del mirtillo nero nell'Appennino Centrale 10

2. Materiali e Metodi 11

2.1. Area di studio: assetto territoriale, caratteri climatici 11

2.2. L'analisi dei cambiamenti d'uso del suolo 15

2.2.1. Pre-processamento delle immagini aeree e satellitari: ortorettifica 15

2.2.2. Processamento delle immagini: segmentazione e classificazione 18

2.3. Analisi delle variazioni di copertura forestale 20

2.4. Rilevamenti all'interno delle radure 21

2.5. Processamento dei fotogrammi per stima irraggiamento 25

3. Risultati e discussioni 27

3.1. Dinamiche di variazione della copertura forestale 27

3.2. Presenza del mirtillo nelle radure 31

3.3. La rinnovazione di faggio nelle radure 35

4. Conclusioni 39

5. Bibliografia 41

6. Sitografia 43

1. Introduzione

1.1. Contestualizzazione e obiettivi del lavoro

Gran parte delle aree montane appenniniche, soprattutto dove non c'è una consolidata vocazione turistica, sono divenute zone marginali e svantaggiate a causa di condizioni fisiografiche (pendenza, altitudine, accessibilità), produttive (clima e fertilità dei suoli) poco favorevoli, cui spesso si aggiungono vincoli ambientali che possono limitarne ulteriormente l'utilizzo. Nonostante boschi e pascoli di montagna possano offrire alcuni prodotti (legnosi e non legnosi) e numerosi servizi ecosistemici non sempre questi sono in grado di garantire sufficienti risorse economiche per le popolazioni locali, che nel tempo hanno spesso spostato altrove le loro attività lavorative e la loro residenza.

In Italia l'abbandono colturale nei sistemi silvo-pastorali ha determinato negli ultimi 70 anni significativi cambiamenti d'uso del suolo, modificando la struttura e composizione del mosaico paesaggistico, le funzioni e i processi ecologici anche a scala di area vasta (Malandra et al., 2019, Vitali et al., 2018). Anche la modernizzazione del settore agricolo ha influito significativamente nel cambiamento d'uso del suolo di determinati territori. Con lo sviluppo della meccanizzazione, ad esempio, la coltivazione si è spostata preferenzialmente in terreni meno acclivi e con superfici considerevoli, perché economicamente molto più vantaggiosi rispetto ai piccoli appezzamenti in zone marginali e spesso con pendenze notevoli.

Inoltre, gli effetti di questi cambiamenti d'uso del suolo possono essere enfatizzati da quelli climatici in atto, in grado di rendere gli ecosistemi terrestri meno resistenti e resilienti ai disturbi naturali e antropogeni.

Nell'opinione pubblica è radicato il concetto che il forte aumento della superficie forestale avvenuto nelle aree di montagna costituisca unilateralmente un processo positivo. Si pensa infatti che esso contribuisca a contrastare la distruzione di foreste anche primarie perpetrata nelle zone tropicali ma anche in Siberia. In realtà lo sviluppo incontrollato di nuove aree boscate può costituire esso stesso un problema, quale causa di numerosi impatti sociali, ambientali ed economici, tra i quali: I) la perdita di paesaggi culturali, che rappresentano la sinergia fra natura e uomo, II) le modificazioni di habitat e la diminuzione temporanea di biodiversità (es. la scomparsa delle praterie secondarie), III) lo spreco di risorse economiche e naturali, perdita di terreni agricoli produttivi, IV) la diminuzione di servizi ambientali e V)

l'aumento del rischio di dissesto idrogeologico e di altri disturbi naturali e non, come inondazioni ed incendi, oggi sempre più frequenti (Pompei 2020). Quindi la gestione attiva delle risorse agro-silvo-pastorali, con un'azione diretta e sostenibile dell'uomo sul sistema bosco favorisce il mantenimento e lo sviluppo dei servizi ecosistemici, come ad esempio l'approvvigionamento di risorse idriche, la protezione del suolo, la conservazione della biodiversità, la produzione del legname, la fruizione turistica, l'assorbimento dell'anidride carbonica, la prevenzione dei rischi naturali e la produzione di prodotti alimentari montani (Conti e Fagarazzi, 2005).

La perdita di biodiversità legata al cambiamento della copertura vegetale è una condizione frequentemente riscontrata in diverse aree montane soprattutto dove il mosaico ambientale caratterizzato da numerosi ecosistemi ed ecotoni, attraverso un processo di densificazione forestale, tende a trasformarsi in formazioni forestali chiuse e spesso poco diversificate (Malandra et al., 2019).

Le formazioni forestali chiuse, portano ad una diminuzione parziale o totale delle specie floristiche che ricoprono un ruolo fondamentale sia per la fauna selvatica, sia per la produzione di frutti utilizzati dall'uomo.

Testimonianze dirette locali hanno affermato che, in passato, sul versante marchigiano dei Monti della Laga, erano presenti molte specie selvatiche, come ad esempio il mirtillo nero, la cui presenza, negli ultimi decenni, ha subito una notevole contrazione.

L'attenzione di questo studio sul mirtillo nero (*Vaccinium mirtyllus* L.) nelle Marche deriva dalla sua presenza limitata ad una ridotta porzione del territorio del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. Nel settore abruzzese del Parco la specie è molto più diffusa, ma nelle Marche la sua unicità corrisponde alla combinazione di specifiche caratteristiche pedoclimatiche del piano montano, ovvero suoli acidofili e condizioni mesofile presenti solo sui Flysh terrigeni e sopra i 1200 m slm. In un precedente studio dell'Area Sistemi Forestali del D3A è stata evidenziata la progressiva densificazione della copertura arborea nelle faggete sia per chiusura delle radure sia per espansione delle chiome a seguito dell'abbandono colturale (Calandra, 2021). Tale dinamica potrebbe non essere funzionale alla presenza del mirtillo nero che è una specie di margine con condizioni di illuminazione intermedie sfavorita da un'eccessiva copertura. Proprio per questo anche la Regione Marche ha recentemente inserito il mirtillo nero nel repertorio regionale per la biodiversità agraria (L.R. 12/2003) con l'obiettivo di tutelarne la presenza e di consentirne la riproduzione.

Gli obiettivi di questo studio, a partire da una precedente analisi territoriale sui cambiamenti di copertura vegetale e sulle dinamiche dei gap a scala di paesaggio (Calandra 2021), sono i seguenti:

- individuare un'area del territorio marchigiano particolarmente vocata alla presenza del mirtillo nero;
- analizzarne i cambiamenti di copertura vegetale negli ultimi decenni;
- censire la presenza (abbondanza) del mirtillo nero, di altre specie erbaceo-arbustive e della rinnovazione gamica di faggio all'interno di radure;
- verificare le relazioni fra la presenza del mirtillo e la copertura arborea del piano dominante della faggeta.

Con questo studio si intende contribuire alla ricerca di soluzioni colturali che possano limitare, almeno in alcuni contesti, la scomparsa progressiva ma inesorabile delle radure e conseguentemente del mirtillo nero da queste importanti strutture ecosistemiche che aumentano l'incidenza di condizioni ecotonali, estremamente funzionali alla presenza di specie di margine come il mirtillo.

1.2. Il faggio e le faggete dell'Appennino centrale

La specie arborea dominante nell'area di studio è il faggio *(Fagus sylvatica* L) appartenente ad un genere tipico della fascia boreale europea, asiatica e nordamericana. É una specie che evidenzia preferenze per condizioni mesofile (Hofmann, 1960, 1991), tendenzialmente oceaniche da un punto di vista climatico, con piovosità annuale superiore a 1000 mm. Peraltro, la maggior parte delle faggete si riscontrano laddove le precipitazioni totali non superano i 2500 mm, poiché, oltrepassando tale livello, la lisciviazione del suolo riduce rapidamente la fertilità del suolo. Le escursioni termiche annuali devono essere inferiori ai 21 C° e rare le gelate tardive. La siccità estiva è ben tollerata solo nei suoli profondi e decalcificati delle montagne appenniniche calcaree, e nei versanti settentrionali in genere, dove la radicazione è superiore. Il faggio soffre molto laddove gli strati rocciosi sono disposti a franapoggio poiché la radicazione ne è fortemente ostacolata. La tolleranza della specie agli estremi termici è maggiore verso livelli superiori rispetto a quelli inferiori, evidenziando il carattere ancestrale subtropicale del genere. L'ottimo climatico potrebbe essere nel settore centro-meridionale del continente europeo: Cordigliera Cantabrica, Pirenei occidentali, Massiccio Centrale, Alpi occidentali, Vosgi, Giura, Carpazi, Appennini, Penisola Balcanica occidentale.

I boschi di faggio rappresentano la massima espressione del bosco montano anche lungo l'intera catena appenninica (Minelli, 2006) e sono abbastanza indifferenti al tipo di suolo vegetando sia sulle montagne calcaree che su quelle arenacee, marnose e anche su rocce vulcaniche. La massima diffusione delle faggete si ha nelle regioni Abruzzo, Emilia-Romagna e Toscana. Le fustaie sono diffuse maggiormente al sud, mentre al nord e al centro sono più frequenti i cedui, in gran parte fuori turno o in fase di avviamento all'alto fusto.
Ai limiti superiori, sopra i 1800 m s.l.m., i popolamenti sono talvolta frammentati, e si alternano a praterie primarie e secondarie o ad affioramenti rocciosi. L'altezza media dei faggi in prossimità del limite superiore del bosco raggiunge al massimo i 10-15 m, i fusti sono quasi sempre contorti e sciabolati alla base (per effetto della pressione della neve), le chiome asimmetriche e disformi per l'effetto congiunto di venti e danni da neve e ghiaccio.

1.3. Le radure in foresta

Le radure (o *gap*) sono definite come aree prive di vegetazione arborea di dimensione variabile (tra i 10 m^2 e 1000 m^2 ma anche molto di più), inserite in una matrice boscata (Calandra, 2021). É importante ricordare che le radure ai sensi del D.leg 34/2018 sono parte integrante del bosco come ha recentemente ribadito anche il Consiglio di Stato (sentenza 8242 9.12.2019).
Le radure sono solitamente il risultato di un disturbo naturale (schianto di individui per invecchiamento, fulmine, frana o valanga, ecc.) o antropico (coltura o pascolo). Brokaw (1982 a,b) definisce una radura provocata dalla caduta di alberi come un'apertura nella copertura forestale che interessa tutti gli strati di vegetazione fino ad una loro altezza media di 2 m. L'ingresso diretto o modulato della radiazione solare al loro interno attiva processi di successione secondaria che se lasciati a libero sviluppo o in assenza di fattori limitanti, conducono in tempi più o meno lunghi ad una nuova copertura arborea.
La dimensione di una radura può influenzare fortemente la crescita della vegetazione e il ciclo dei nutrienti, pertanto, la dimensione delle stesse è una caratteristica importante da tenere in considerazione. Le aperture molto grandi riducono l'ombreggiamento dagli alberi circostanti e di conseguenza favoriscono l'irraggiamento solare e l'aumento di temperatura del suolo rispetto alle aperture piccole. Queste piccole aperture tendono anche ad avere una maggiore umidità al suolo a causa di una riduzione della traspirazione. Negli studi sulle dinamiche delle radure (*gap dynamics*) è fondamentale definire le loro dimensioni. La

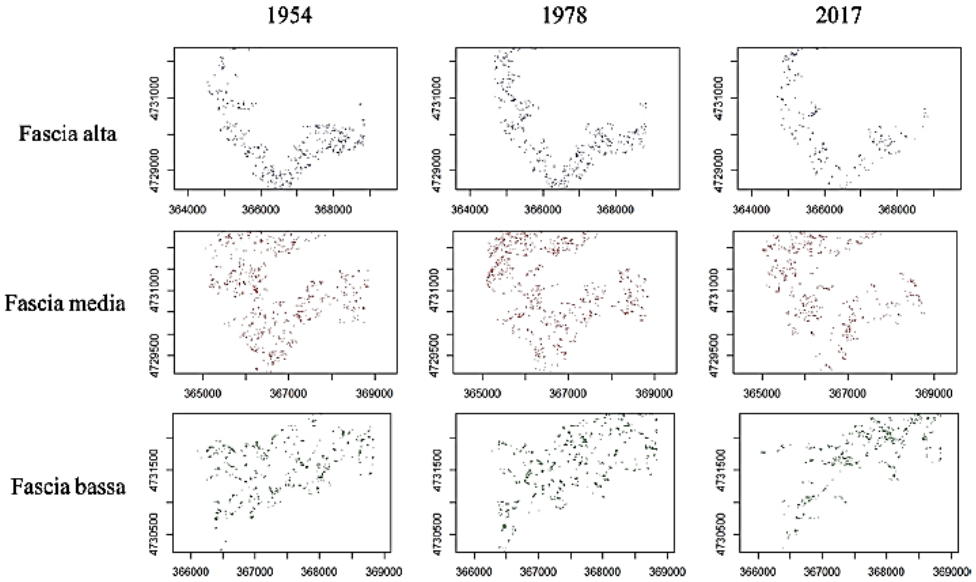
maggior parte dei metodi di misura riguarda un approccio bidimensionale che può essere applicato con tre metodi principali:

- assumere una forma ellittica uniforme ed eseguire due misurazioni lungo asse maggiore e asse minore;
- assumere una forma irregolare e prendere molte misure;
- assumere una forma irregolare e calcolare la superficie sulla base foto-topografica o fotogrammetrica.

È importante però, considerare anche l'aspetto tridimensionale, ovvero le altezze degli alberi che circondano le radure, poiché le loro proiezioni a terra possono ostacolare diversamente la quantità di luce incidente.

La precedente tesi di laurea, svolta sempre presso l'area Sistemi Forestali (Calandra 2021), sulla dinamica delle radure in un'ampia area della Laga marchigiana, aveva come obiettivo quello di dimostrare il rapporto tra l'aumento della copertura forestale e la chiusura o restringimento delle radure. È stato riscontrato un rapporto direttamente proporzionale tra l'aumento della superficie boschiva e il restringimento delle radure, soprattutto nelle fasce a maggiore altitudine dove si riscontra una parziale o totale chiusura delle stesse.

La Fig.1.1 mette in evidenza l'evoluzione della superficie boschiva, suddivisa per fasce altitudinali, dal 1954 al 2017. È riscontrabile una diminuzione graduale delle *patch* non boschive, maggiormente evidente nella fascia altitudinale alta, ovvero tra i 1350 e i 1700 m s.l.m.. Proprio in questa fascia sono state effettuati i rilievi di questa tesi finalizzata lo studio della presenza del mirtillo all'interno delle radure.



(Fig.1.1) Patch di non-bosco suddivise per anno e per fasce altitudinali (Calandra, 2021)

Lo studio è stato effettuato utilizzando ortofoto del 1954 e del 1978 e un'immagine satellitare del 2017. Il territorio è stato suddiviso in tre fasce altitudinali (< 1000 m s.l.m.; da 1000 a 1350 m s.l.m; da 1350 a 1700 m s.l.m). Nonostante alcune differenze nei dinamismi bosco - non bosco nelle diverse fasce altitudinali si osserva una diminuzione del numero di radure ad ettaro un processo di densificazione della copertura arborea e progressiva riduzione delle dimensioni delle radure (*gap*). Nella fascia tra i 1350 e 1700 m s.l.m., in cui rientra l'area di studio della seguente tesi, si conferma una generale diminuzione delle chiarie forestali, in quella intermedia è presente una situazione pressoché stazionaria, mentre nella fascia più bassa si registra addirittura un lieve aumento.

1.4. Cenni di ecologia, biologia e etnobotanica del mirtillo nero

Il nome mirtillo nero (*Vaccinium myrtillus* L., 1753*)* appartenente al genere *Vaccinium,* si pensa possa derivare dal greco "*Vakintos*", che significa "giacinto a fiore blu" in riferimento al colore delle bacche. Il nome della specie *myrtillus* secondo alcune fonti potrebbe essere il diminutivo di *Myrtus* data la somiglianza delle bacche e foglie con la pianta del mirto (*Myrtus communis* L., 1753). Il suo areale si estende in Eurasia e parte del Nord America (Fig.1.2).

(Fig.1.2) Areale di distribuzione di Vaccinium myrtillus (Vaccinium m. Ecotypes, Elsevier 2016)

In Italia, il mirtillo nero è presente sull'intero arco alpino e in gran parte degli Appennini, ad eccezione delle regioni Molise, Campania, Puglia, Basilicata e delle isole, come rappresentato in figura 1.3. (*https://www.actaplantarum.org/*).

Si tratta di una specie indicata come diagnostica per boschi appartenenti alla classe *Querco-fagetea* ordine *quercetalia roboris*, alleanza *luzolo niveae-fagenion sylvaticae*, boschi acidofili dominati da *Fagus sylvatica* delle montagne mediterranee.

(Fig.1.3) Areale di distribuzione italiano di Vaccinium Myrtillus L. (https://www.actaplantarum.org/)

In genere il mirtillo predilige climi freddi, poiché teme un eccessivo caldo estivo, mentre resiste senza timore a inverni gelidi. Non per niente è un arbusto che si trova spontaneo in alcune zone di montagna, in particolare nel sottobosco ben illuminato, prediligendo suoli con pH acido (*https://www.actaplantarum.org/*). Il mirtillo nero ha una valenza ecologica piuttosto ampia ed è diffusamente presente nelle aree di margine, radure o chiarie di peccete e faggete subalpine e montane.

Il mirtillo nero ha il portamento di un piccolo arbusto alto fino 50-60 cm, con fusti molto ramificati che hanno origine da un rizoma strisciante. La moltiplicazione delle piante in natura avviene mediante la trasformazione, lo sviluppo e la successiva radicazione di una parte della stessa pianta.

Presenta foglie alterne, ovali e dal margine finemente dentellato, con piccioli corti. I fiori sono solitari di colore bianco/rosato, sono portati da un corto picciolo e spuntano all'ascella

delle foglie, con portamento a pendulo. Il calice è diviso in 4/5 lobi, la corolla tubolare è allargata in basso e si restringe alla fauce, dove è divisa anch'essa in 4/5 lobi reclinati all'indietro. I fiori sono ermafroditi ed impollinati da api e altri insetti pronubi. La fioritura avviene in primavera inoltrata (*https://www.actaplantarum.org/*). I frutti sono delle bacche carnose di colore blu/violaceo. I frutti si raccolgono a fine estate quando raggiungono la piena maturazione. L'uso delle bacche di mirtillo è incentrato nel campo della cosmetica, grazie alle proprietà lenitive e protettive, ma anche in cucina, grazie al suo valore alimentare e nutrizionale, poiché contiene antociani, tannini, flavonoidi, acidi organici, vitamina B e vitamina C. Inoltre, il mirtillo ha proprietà antiossidanti, vasoprotettive, astringenti intestinali, rigenerante dei pigmenti della retina, purificante delle vie urinarie.

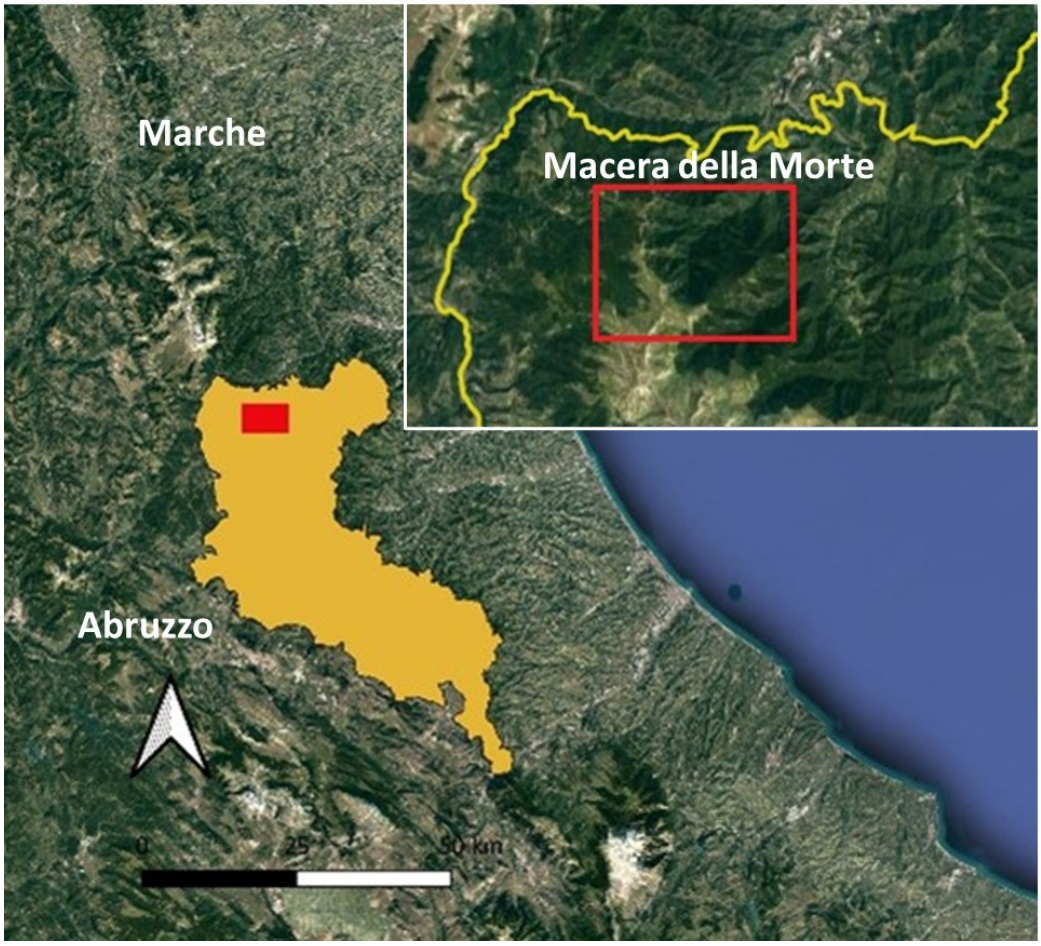
1.5. Presenza del mirtillo nero nell'Appennino Centrale

Il mirtillo nero è diffusamente presente nell'Appennino Settentrionale, come ad esempio nel versante dell'Appennino Toscano, dove le brughiere a mirtillo nero rappresentano la formazione più estesa al di sopra del limite superiore della vegetazione arborea (Ronchieri, 1997). Nelle zone delle brughiere a mirtillo puro (solo mirtillo nero) dell'Appennino Toscano, dagli anni '50 in poi si è diffuso il falso mirtillo, una specie invasiva dalle qualità organolettiche minori che ha limitato lo sviluppo e la diffusione del mirtillo nero. Un recente studio (Biserni et al., 2021) approfondisce gli effetti degli incendi invernali sui vaccinieti dell'area appenninica della Toscana e il loro ruolo nella conservazione e nel ripristino delle brughiere pure degradate dalla presenza del falso mirtillo. Dai risultati ottenuti, il mirtillo nero risulta essere una specie con una risposta post-incendio prescritto più efficace rispetto a quella del falso mirtillo sia in termini di accrescimento che di capacità riproduttiva.
Caso unico nell'Appennino Centrale, sui Monti della Laga il mirtillo nero cresce tra il bosco in bassa quota e i pascoli primari in alta quota. Si tratta di una vera e propria brughiera subalpina che caratterizza alcune cime quali il Pizzitello (2221 m s.l.m.) e il Pizzo di Sevo (2419 m s.l.m.). Nei Monti della Laga, costituiti da arenarie e marne, che determinano suoli più acidi, il mirtillo è ampiamente distribuito e ben noto alle popolazioni locali che ne raccoglievano le bacche, buone per confezionare sciroppi e confetture. Meglio conosciuto dagli abitanti del luogo con il nome di *maule* o *maulelle*, il mirtillo si rinviene nei boschi, in particolare nelle faggete, e oltre il limite della vegetazione arborea (*http://www.gransassolagapark.it/).*

2. Materiali e Metodi

2.1. Area di studio: assetto territoriale, caratteri climatici

Il territorio oggetto di studio è situato nel settore marchigiano del Parco Nazionale Gran asso e Monti della Laga (PNGSML) (Fig.2.1) a monte della frazione di Umito nel comune di Acquasanta Terme (AP).



(Fig.2.1) Area del Parco Nazionale Del Gran Sasso e Monti della Laga (in giallo) con zoom sui Monti della Laga (Macera della Morte), nel settore marchigiano (quadrato rosso).

Il parco si estende prevalentemente sul territorio di Abruzzo e marginalmente anche di Lazio e Marche, ed interessa cinque province: L'Aquila, Teramo, Pescara, Rieti e Ascoli Piceno. I Monti della Laga hanno una struttura costituita da un sinuoso asse principale orientato nord-sud lungo circa 30 km, che raggiunge i 2000 m s.l.m. poco prima della Macera della Morte (2073 m s.l.m.), toccando punte massime come di Pizzo di Sevo (2419 m s.l.m.). Dalla dorsale principale verso est si diramano a pettine creste secondarie che partono dal Monte

Scalandro e dalle altre vette della catena; quella che dalla Macera della Morte si dirige a Nord-Est per circa 25 Km, divide la Valle del Tronto da quella del Castellano, ad ovest invece ci sono piccole creste secondarie, nelle quali confluiscono brevi corsi d'acqua terminanti tutti nel fiume Tronto (*http://www.gransassolagapark.it/).*

Il territorio dei Monti della Laga è costituito da quattro piani altitudinali ognuno con determinate caratteristiche ecologiche e vegetazionali:

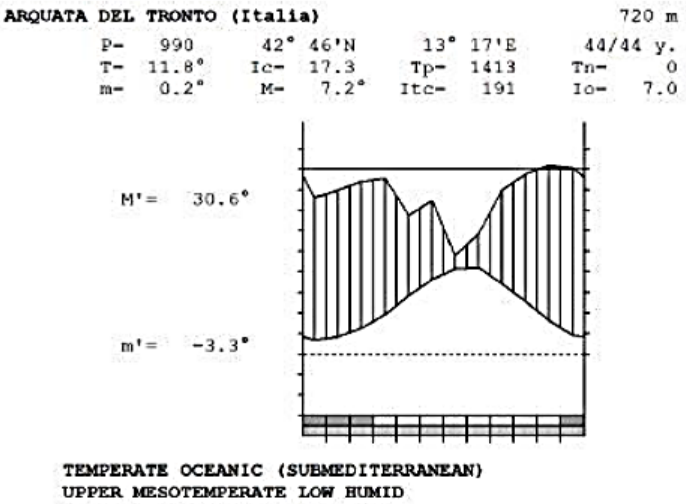
- il piano collinare che va dal fondovalle (200-300 m s.l.m.) fino ai 900-1000 m s.l.m.;
- il piano montano compreso tra i 900 ed i 1850 m s.l.m.;
- il piano subalpino, da 1850 ai 2300 m s.l.m.;
- il piano alpino che dai 2300 m s.l.m. si spinge sino alle creste dei rilievi montuosi.

Dal punto di vista geomorfologico, il complesso dei Monti della Laga è strutturato da una successione di sedimenti marnoso-arenacei denominata "Formazione della Laga". La sedimentazione nel bacino della Laga è durata fino al Pliocene inferiore, momento in cui è iniziato il processo di sollevamento che ha determinato l'emersione e la formazione della catena dei Monti della Laga.

In seguito al sollevamento della catena è iniziata l'azione di erosione selettiva che ha determinato le differenze morfologiche tra le aree caratterizzate da un diverso rapporto sabbia/argilla. In alcune zone prevalgono gli strati e banchi di arenarie, più resistenti all'erosione, qui si hanno morfologie più aspre con valli più strette ed incassate, nelle zone in cui invece sono maggiori gli spessori degli strati marnoso-argillosi, le forme del paesaggio risultano più dolci, con valli più ampie e versanti meno acclivi (Adamoli, 1991). La morfologia a gradini è infatti dovuta all'alternarsi di strati arenacei con strati marnoso-argillosi.

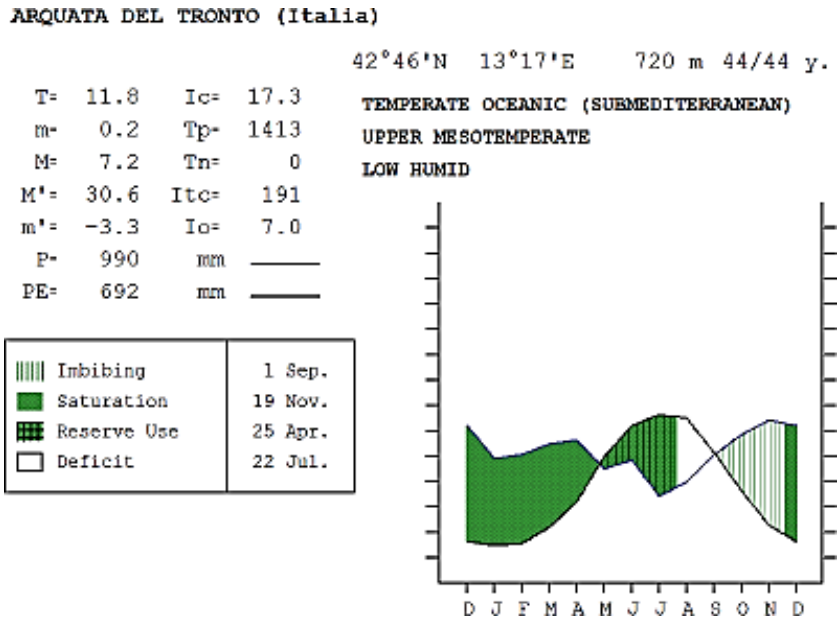
In generale il clima dei Monti della Laga è caratterizzato da una maggiore continentalità rispetto all'omologo versante occidentale degli Appennini; sono comuni forti escursioni termiche giornaliere, temperature minime basse, e massime elevate. Vi sono periodi prolungati con bassissime precipitazioni, con improvvise e abbondanti precipitazioni nevose (*http://www.gransassolagapark.it/)*.

Prendendo in esame i dati climatici raccolti dalla stazione più rappresentativa e più vicina alla Macera della Morte, ovvero la stazione meteorologica di Arquata del Tronto (720 m s.l.m.), con periodo di osservazione 1960-2003, la classificazione di Rivas-Martinez evidenzia un macroclima di tipo temperato, termotipo supratemperato superiore, ombrotipo umido inferiore. (Fig.2.2)



(Fig.2.2) Diagramma termo-pluviometrico per la stazione di Arquata del Tronto (AP) (Santini, 2012)

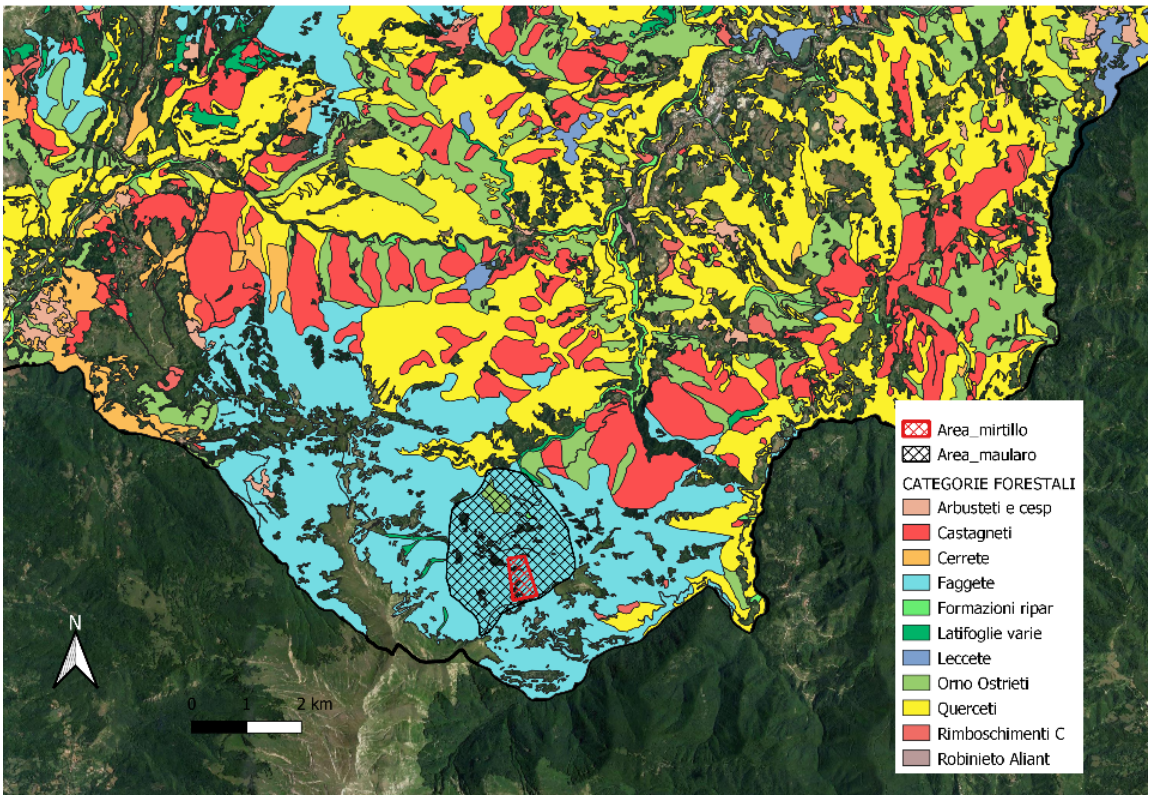
Dal grafico del bilancio idrico è possibile osservare un periodo di deficit compreso tra la metà di luglio e l'inizio di settembre, ma grazie a valori di evapotraspirazione potenziale che non superano quelli delle precipitazioni totali, non si hanno rilevanti stress idrici (Fig.2.3).



(Fig.2.3) Bilancio idrico per la stazione di Arquata del Tronto (AP) (Santini, 2012)

L'andamento delle precipitazioni mensili è tendenzialmente di tipo sub-equinoziale autunnale con valori medi annui intorno ai 1000 mm.

Dal punto di vista forestale, l'area di studio è per lo più caratterizzata da faggete acidofile che appartengono, secondo la classificazione di Rivas-Martinez, al piano bioclimatico supratemperato inferiore e supratemperato superiore. Nella carta delle categorie forestali che segue (Fig.2.4), è ben evidente come l'area di studio appartenga alla categoria: "Faggete", di colore azzurro, nella zona a nord del confine tra Marche e Abruzzo.



*(Fig.2.4) Carta delle categorie forestali della porzione meridionale delle Marche con localizzazione dell'area di studio (*I.P.L.A. 2000*)*

Le zone ad altitudine meno elevata (<1000 m), invece, sono contraddistinte dalla presenza di boschi tipici del piano bioclimatico meso-temperato quali gli Orno-ostrieti, i Querceti, ed i Castagneti (I.P.L.A. 2000).

In diverse zone sono presenti delle praterie costituite sia da graminacee spontanee che da leguminose, che svolgono un ruolo fondamentale nel consolidamento del terreno. Nelle zone più in alto, quindi in prossimità della Macera della Morte sono presenti anche praterie che vengono classificate come habitat 6210* "Formazioni secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*)" (Allegrezza et al. 2007).

Alcune graminacee come *Festuca spodicea* e *Brachypodium rupestre* ricoprono i luoghi a morfologia più aspra. Sono presenti anche le brughiere costituite da un tappeto folto, basso e arbustivo formato prevalentemente dal mirtillo nero (*Vaccinum myrtillum*) insieme all'iperico di Belleval (*Hypericus richeri)*, al falso mirtillo (*Vaccinum gaultheroides*) ed al lichene islandico (*Citraria islandica*) (Allegrezza, et al., 2007).

2.2. L'analisi dei cambiamenti d'uso del suolo

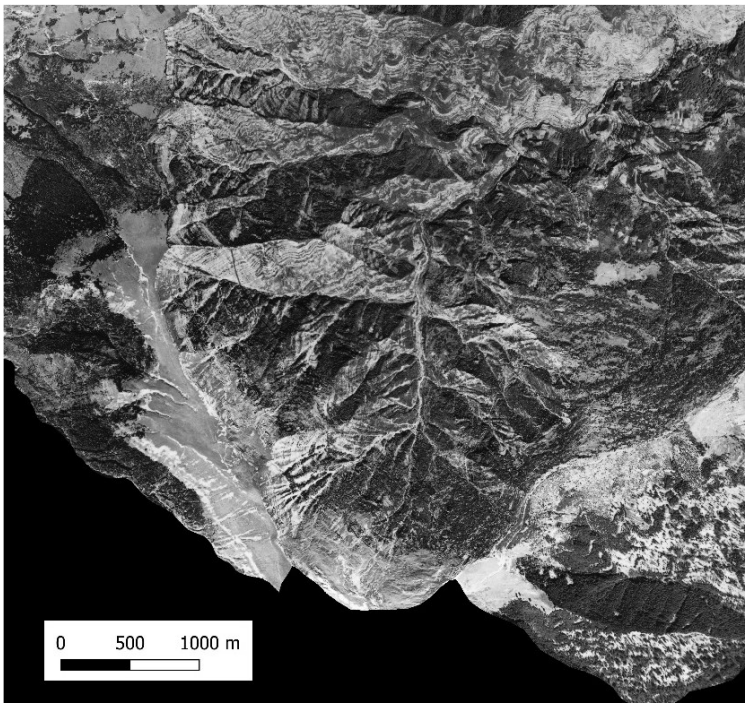
2.2.1. Pre-processamento delle immagini aeree e satellitari: ortorettifica

Questo studio di tesi si basa, in una prima fase, sui dati raccolti nel versante della Macera della Morte dal lavoro di tesi di Laurea Magistrale di Luca Calandra, utili all'analisi della variazione della copertura forestale dell'area. All'interno di questa area, è stata scelta l'area del Maularo, dove si è dapprima studiato il cambiamento di copertura e successivamente sono state realizzate le 20 aree di saggio per l'analisi del mirtillo.

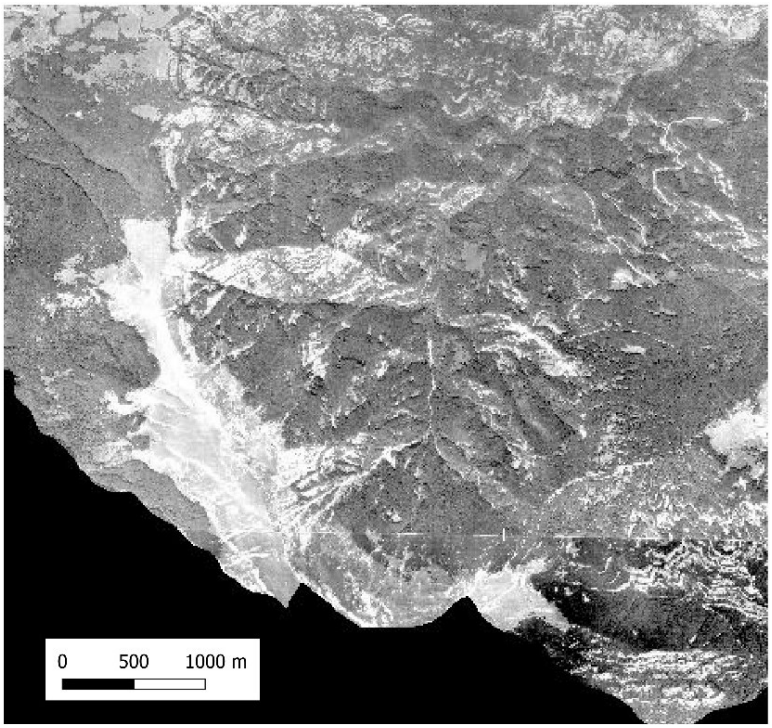
L'analisi dei cambiamenti di uso del suolo è stata realizzata con foto aeree e immagini satellitari relative ad un intervallo temporale di 64 anni (dal 1954 al 2017) utili per verificare le dinamiche di copertura del bosco. Sono state utilizzate tre immagini diacroniche: la prima è un fotogramma in formato digitale del 1954 appartenente alla raccolta "Volo GAI" (Gruppo Aereo Italiano) dell'IGMI e acquisita presso l'Istituto Geografico Militare Italiano. Questa immagine, per poter essere utilizzata in ambiente GIS, è stata ortorettificata con l'utilizzo del pacchetto *Orthoengine* del software PCI Geomatica 2012. Il processo di ortorettifica viene eseguito con l'obiettivo di rimuovere le distorsioni del sensore e quelle topografiche presenti nell'immagine e di attribuire ad ogni pixel coordinate spaziali e quota. l'immagine storica da processare è stata caricata nel software insieme ad un'altra già ortorettificata (foto recente di Google Satellite) e al DEM "Tinitaly" (Tarquini s. et al. 2007) con una risoluzione spaziale di 10 m. In seguito, sono stati posizionati manualmente 52 punti controllo a terra (GCP, Ground Control Points) in siti ben riconoscibili in entrambe le immagini. L'errore residuo medio è stato di 12.44 m, valore piuttosto contenuto ai fini dell'analisi in oggetto che ha consentito di ottenere un'immagine ortorettificata in formato .TIFF con risoluzione spaziale a 1 metro. La seconda immagine utilizzata è sempre un'ortofoto del "Volo Marche" del 1978, ottenuta dai servizi WMS della Regione Marche. Tra le varie ortofoto visionate è stata scelta questa immagine in quanto presentava una definizione adeguata alle successive operazioni di fotointerpretazione. La terza immagine è

stata ottenuta da una ripresa Google Satellite effettuata il 7 luglio 2017. Le 3 immagini sono state ritagliate sul perimetro dell'area di studio già individuata in un precedente lavoro di tesi e corrispondente al comprensorio della Macera della Morte, seguendo i confini amministrativi della regione Marche (Calandra, 2021).

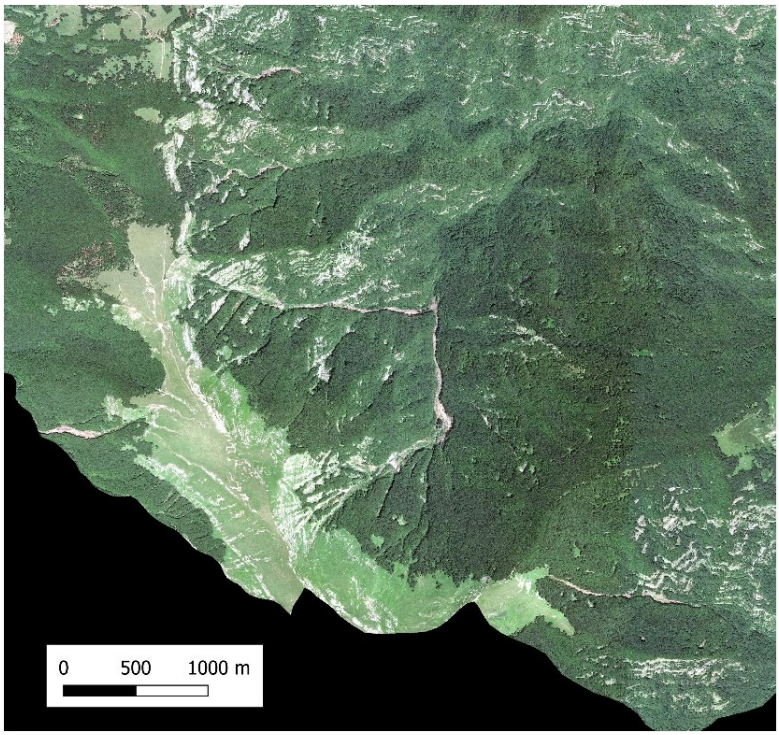
Per le successive operazioni di segmentazione e classificazione è risultato necessario avere tutte le immagini con la stessa risoluzione spaziale, quindi, attraverso l'utilizzo del software PCI Geomatica sono state tutte ricampionate ad 1 m. (Fig.2.5, 2.6, 2.7).



(Fig.2.5) Foto aerea ortorettificata Volo GAI" 1954 adattata al perimetro dell'area di studio (Calandra 2021)



(Fig.2.6) Foto aerea ortorettificata Volo Marche 1978 adattata al perimetro dell'area di studio (Calandra 2021)



(Fig.2.7) Immagine Google Satellite 2017 adattata al perimetro dell'area di studio (Calandra 2021)

2.2.2. Processamento delle immagini: segmentazione e classificazione

Le immagini sono state classificate per poter effettuare le analisi sul cambiamento di copertura del suolo nel periodo analizzato di 63 anni. È stato scelto un sistema di segmentazione automatico ed una successiva classificazione manuale (processo semi-automatico), principalmente per due motivi. Il primo riguarda la giacitura dei versanti che ha prevalentemente direzione Nord Ovest - Sud Est. Nelle foto sono presenti zone di ombra estese in cui sono presenti pixel con gradazioni di colori di difficile interpretazione, dovuti principalmente al fatto che le riprese sono state eseguite in periodi dell'anno e della giornata non idonei. Il secondo dipende dalla scarsa qualità delle immagini storiche, in cui solo l'analisi manuale è in grado di discriminare categorie apparentemente simili come le praterie e le aree con roccia affiorante. Nonostante questi problemi, l'elevata valenza informativa delle foto aeree ha consentito di eseguire le analisi di dettaglio.

Innanzitutto, è stata effettuata una segmentazione automatica delle immagini con il software *eCognition*, in grado di raggruppare in poligoni pixel con caratteristiche simili tra loro. Per far ciò è necessario effettuare un settaggio dell'algoritmo del software, indicando la scala di segmentazione ed il grado di contrasto del colore. In generale all'aumentare della scala e al diminuire del contrasto si ottengono segmentazioni più grossolane e viceversa.

Sono stati effettuati diversi tentativi a scale e contrasti differenti, e quelli che hanno reso un miglior risultato sono i seguenti (Calandra 2021):

- Immagine del "Volo GAI" del 1954 (scala 50 e colore 0,9)
- Immagine del "Volo Marche" del 1978 (scala 50 e colore 0,9)
- Immagine estrapolata da Google Satellite del 2017 (scala 35 e colore 0,9)

Ottenute le immagini segmentate in formato vettoriale, è stata eseguita la classificazione manuale.

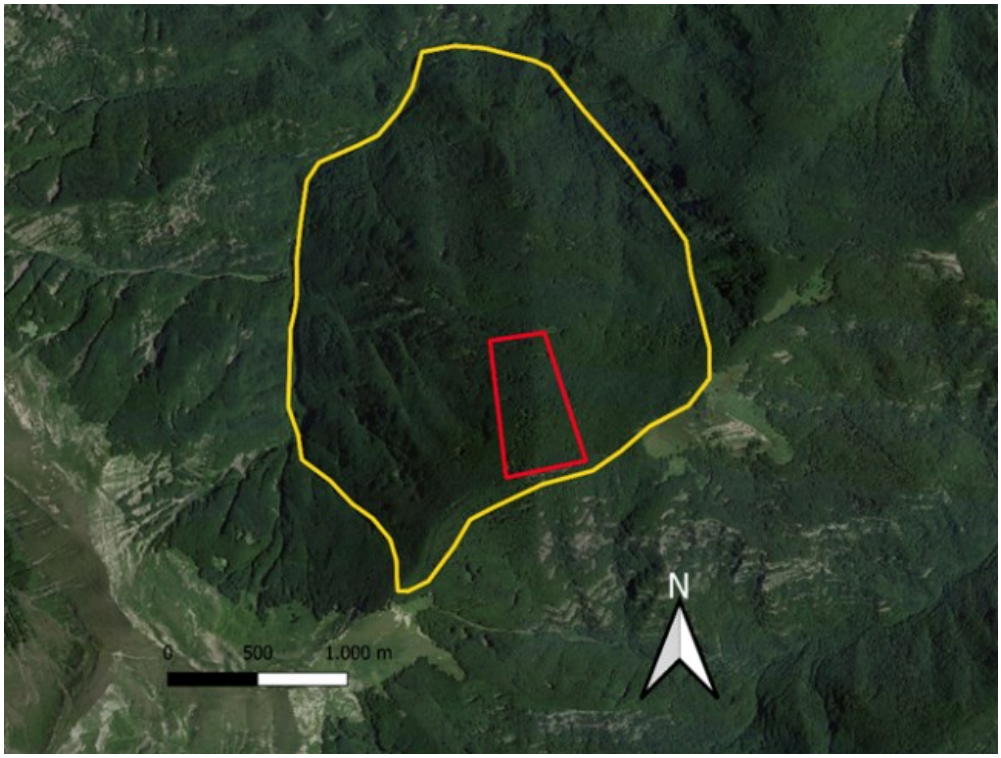
Per la classificazione manuale sono state utilizzate le classi di uso del suolo e ad ognuna è stato attribuito un numero progressivo da 1 a 5, ovvero:

1. Bosco (boschi di latifoglie e conifere)
2. Prateria (praterie primarie e secondarie, radure)
3. Coltivato (campi coltivati)
4. Non vegetato (rocce affioranti)
5. Artificiale (edifici, strade)

Definite le classi di uso del suolo, in ambiente GIS sono stati caricati e sovrapposti i file vettoriali delle immagini segmentate e le immagini aeree o satellitari relative ad ogni anno.

La classificazione è avvenuta manualmente, aprendo la tabella attributi e creando una nuova colonna in cui per ogni elemento (poligono) è stato inserito il numero relativo all'uso del suolo in essere. Questo procedimento è stato effettuato per tutti i poligoni di ciascuna immagine segmentata, ottenendo così delle carte che raffigurano gli usi del suolo negli anni analizzati.

L'analisi delle variazioni di copertura forestale è stata svolta ritagliando le 3 carte di uso del suolo (1954, 1978 e 2017) su una porzione più piccola dell'intero versante della Macera della Morte (Calandra, 2021), di superficie complessiva di 466 ettari, corrispondente a un'area maggiormente vocata per la presenza del mirtillo nero, come testimoniato anche dal fitonimo Maularo e dalle segnalazioni degli abitanti della zona. All'interno di questa abbiamo poi individuato un ampio transetto di 29 ettari, in cui sono state realizzate 20 ADS corrispondenti a 20 radure per l'analisi sul mirtillo nero (Fig.2.8).



(Fig.2.8) In giallo l'area denominata del Maularo all'interno della quale si trova il transetto per l'analisi del mirtillo nero.

2.3. Analisi delle variazioni di copertura forestale

Dai dati di base ottenuti dalla classificazione sopra descritta si è proceduto al calcolo di alcuni indici per quantificare i cambiamenti della copertura del paesaggio nell'area del Maularo, dal momento che esso è plasmato e caratterizzato dai processi ecologici che avvengono nel territorio.

I calcoli delle variazioni di copertura del suolo (*Land Cover Change*) sono stati effettuati nei seguenti anni: 1954 vs. 2017; 1954 vs. 1978; 1978 vs. 2017. Al fine di valutare la transizione di ogni porzione di territorio da una categoria di uso del suolo ad un'altra nei suddetti periodi di analisi, sono state realizzate delle matrici di transizione attraverso i seguenti passaggi.

Innanzitutto, attraverso il calcolatore raster, è stata eseguita l'intersezione tra i raster "uso del suolo" più antico ed il raster "uso del suolo" più recente attraverso la seguente formula:

LCC = (Paesaggio più antico*1000) + (Paesaggio più recente)

Nella formula, LCC si riferisce al "*land cover change*", ovvero il cambiamento di copertura del suolo. In questo modo è stato ottenuto un file raster in cui in ogni pixel ha un valore a 4 cifre in cui la cifra delle migliaia indica la categoria di paesaggio a cui apparteneva il pixel in passato, mentre le unità rappresentano la categoria a cui appartiene lo stesso pixel nel raster di copertura più recente. Ad esempio:

- 1001 = pixel di categoria 1 nel 1954 rimasto categoria 1 nel 2017 (invariato)
- 2001 = pixel di categoria 2 nel 1954 diventato categoria 1 nel 2017 (cambiato)

Così facendo è stato possibile calcolare, attraverso il tool "count raster cells" di Lecos (un plugin di QGIS), la quantità di pixel rimasti invariati, i pixel che invece sono cambiati ed inquale categoria si sono trasformati.

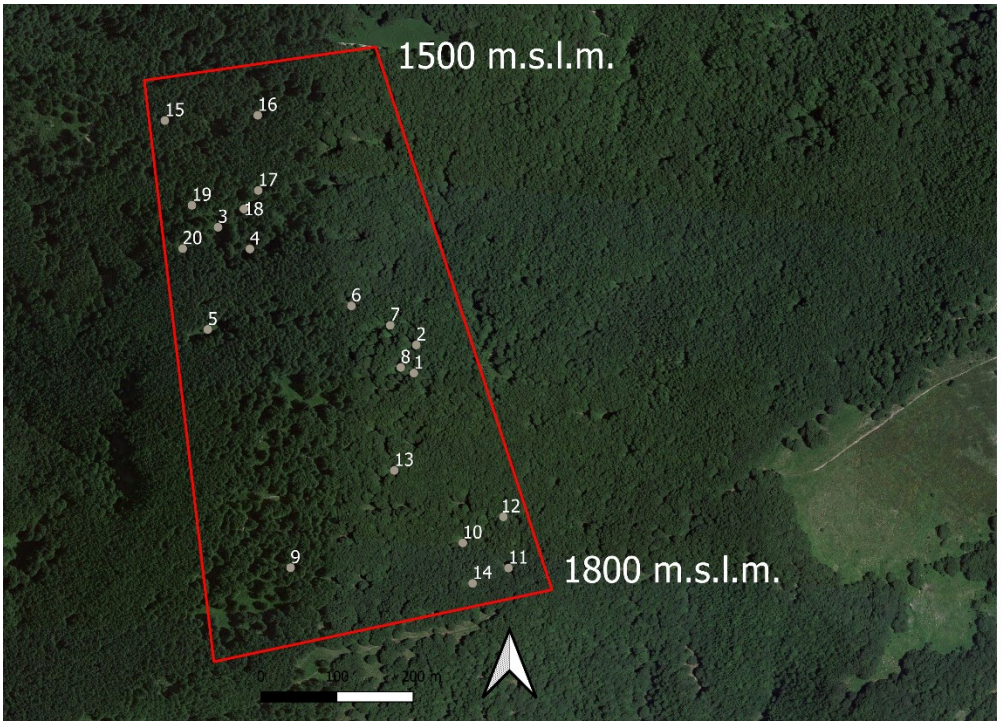
Questi dati sono stati inseriti in un foglio di calcolo elettronico e sono state realizzate le matrici di transizione, considerando che essendo i pixel di 1 m^2, il numero di pixel corrisponde anche alla superficie in metri quadri. Per comodità di calcolo la superficie è stata convertita in ettari.

2.4. Rilevamenti all'interno delle radure

Gran parte del lavoro di tesi è stato svolto in campo, effettuando rilievi in 20 aree di saggio corrispondenti a radure distribuite casualmente all'interno di un transetto altitudinale nel versante denominato del Maularo ubicato fra 1524 e 1767 m s.l.m.. Le aree di saggio hanno una pendenza media variabile tra i 13 e i 29 gradi, sono esposte a Nord e le aree variano tra i 37 e gli 810 m² (Tab 2.1). I rilievi in campo sono stati effettuati seguendo un protocollo *ad hoc* dall'area Sistemi Forestali, del D3A (UNIVPM). Tali aree corrispondono a radure più o meno estese, ovvero a discontinuità della copertura arborea dovute alla morte e alla caduta delle piante dominanti, ad affioramenti rocciosi che non permettono la formazione di un suolo sufficientemente profondo da ospitare individui arborei. In Fig.2.9 sono indicati in grigio i punti GPS delle aree di saggio all'interno di un transetto delimitato in rosso.

(Tab 2.1) Caratteristiche morfologiche delle 20 aree di saggio rilevate

ID	QUOTA (m s.l.m.)	PENDENZA (°)	AREA (m^2)
ADS 1	1681	16	60
ADS 2	1669	21	73
ADS 3	1576	17	810
ADS 4	1593	18	268
ADS 5	1631	22	742
ADS 6	1640	26	126
ADS 7	1653	29	157
ADS 8	1678	19	188
ADS 9	1756	18	111
ADS 10	1747	13	253
ADS 11	1759	21	97
ADS 12	1735	15	40
ADS 13	1724	31	93
ADS 14	1767	20	48
ADS 15	1524	17	43
ADS 16	1536	27	42
ADS 17	1575	15	83
ADS 18	1578	16	37
ADS 19	1565	19	46
ADS 20	1576	20	61

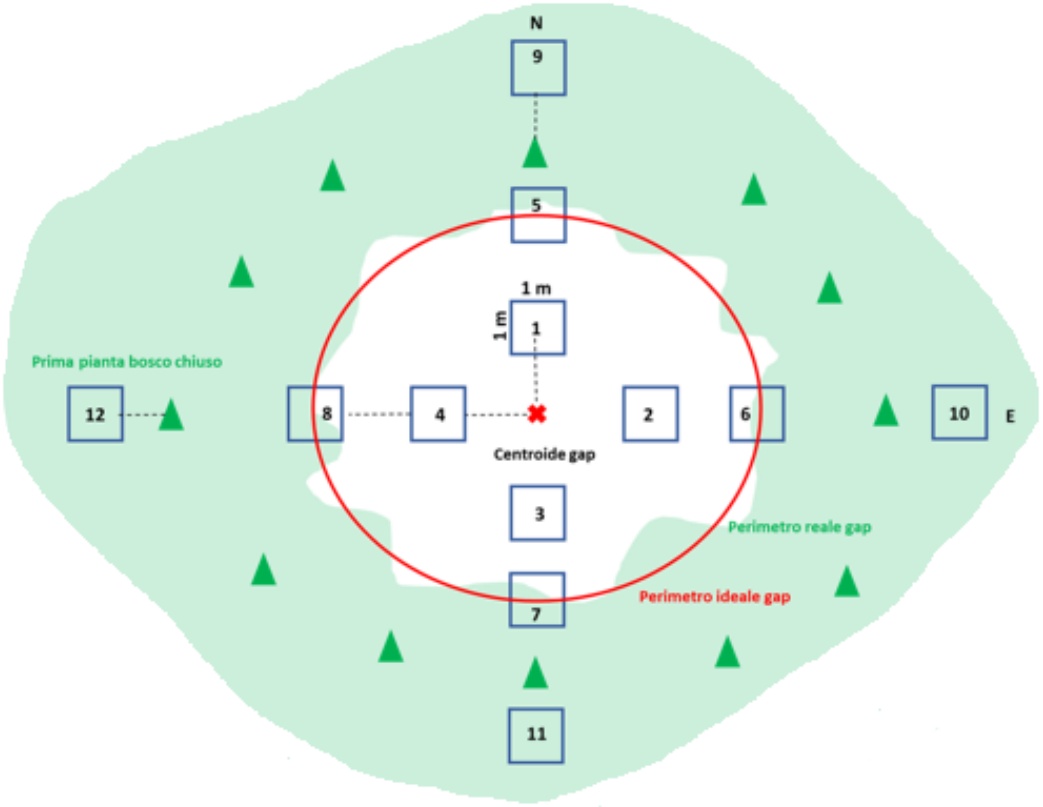


(Fig.2.9) Transetto nell'area del Maularo con 20 aree di saggio

Individuata l'area saggio da censire, sono state acquisite le sue coordinate con un ricevitore GPS Topcon HiPer SR che dialoga tramite bluetooth con un tablet TOPCON FC-5000 Atom GEO, il quale registra il punto con una precisione variabile a seconda della copertura arborea e della disponibilità di satelliti in una mappa visualizzabile sul display dello strumento stesso. All'interno di ogni area di saggio, sono stati fissati 12 plot quadrati ciascuno di 1 m², posizionati in direzione dei punti cardinali, i primi 4 ubicati al centro dell'area, in condizioni di piena luce potenziale, numerati poi in senso circolare andando verso l'esterno, altri 4 punti posizionati sul perimetro della radura (in condizioni di semi-ombreggiamento) e altri 4 sotto chioma, ovvero in condizioni di ombra (Fig.2.10). All'interno di ognuno dei 12 plot si è proceduto al conteggio manuale e con stime visive della vegetazione presente al fine di rilevare i seguenti parametri: il n. di individui di mirtillo nero

- la percentuale di copertura del mirtillo nero
- lo stato vegetativo del mirtillo (buono, discreto, scarso)
- il numero e la percentuale di copertura di altre specie erbaceo-arbustive
- il numero di semenzali di faggio
- Il diametro, l'altezza e lo stato vegetativo dei semenzali di faggio.

Durante il conteggio degli individui di mirtillo è stato osservato anche il loro stato vegetativo, classificato in 3 classi di qualità: Scadente (S), Discreto (D), Buono (B).
I dati rilevati sono stati raccolti su foglio elettronico Excel per le successive elaborazioni.



(Fig.2.10) Distribuzione spaziale dei plot di censimento del mirtillo all'interno di ogni ADS

Infine, in ogni plot con un obiettivo grandangolare (angolo di campo di 180°) è stata poi scattata una foto emisferica della copertura arborea per stimare la quantità di luce presente nei diversi punti delle ADS (Fig.2.11).

(Fig.2.11) Esempio di foto scattata con lente grandangolare

2.5. Processamento dei fotogrammi per stima irraggiamento

In laboratorio, sono stati riordinati e rinominati tutti i 240 fotogrammi corrispondenti ai singoli plot di ogni area di saggio. In seguito, con l'utilizzo dell'applicazione "GLAMA", (*Gap Light Analysis Mobile* App), sono stati analizzati tutti i fotogrammi raccolti in campo. Nell'applicazione vengono inseriti i parametri di analisi, tra cui i colori da considerare e il raggio emisferico. Viene dapprima caricata la foto da esaminare e poi impostati i vari parametri di analisi, ovvero:

- Confini dell'area emisferica
- La proiezione dell'obiettivo (polare o angolare)
- Il raggio emisferico
- La precisione
- Canale dei colori

Dopo l'impostazione dei parametri, si è proceduto con l'analisi automatica del fotogramma, ottenendo come risultato il *Gap fraction of Selected Area*. La *gap fraction* è una variabile direttamente correlata alla copertura arborea ma indirettamente si lega alla luce poiché quantifica la probabilità che ha un raggio di luce di attraversare la chioma senza incontrare ostacoli (foglie o rami) e arrivare al suolo o alla vegetazione più bassa.

Una volta elaborati tutti i fotogrammi di tutte le aree di saggio, sono state realizzate delle tabelle schematiche e riassuntive su un foglio di lavoro Excel, con dati utili a elaborazioni. In particolare, sono state analizzate eventuali correlazioni e relazioni fra presenza di mirtillo e copertura arborea (e quindi di quantità di luce incidente) a livello di plot. I dati nelle 20 aree di saggio sono stati mediati, per poi confrontare la copertura del mirtillo in termini percentuali con la percentuale di *gap fraction* estratta dall'analisi di luce dei fotogrammi, rappresentando poi il tutto in uno *scatterplot attraverso una regressione*. I dati medi riguardanti la copertura percentuale del mirtillo suddivisi per zone (luce, semi ombra e ombra), sono stati confrontati utilizzando il test statistico di Wilcoxon-Mann-Whitney sul software "R", che si basa sul confronto delle medie di due gruppi di campioni indipendenti, i cui valori non hanno una distribuzione gaussiana.

Infine, le variabili di copertura media e la *gap fraction* media dei 12 plot sono state utilizzate per effettuare un'analisi delle componenti principali (PCA). La PCA è un'analisi multivariata che ha l'obiettivo di ridurre la dimensione di un campione di osservazione per massimizzare la varianza delle variabili rappresentate lungo 2 assi principali (componenti).

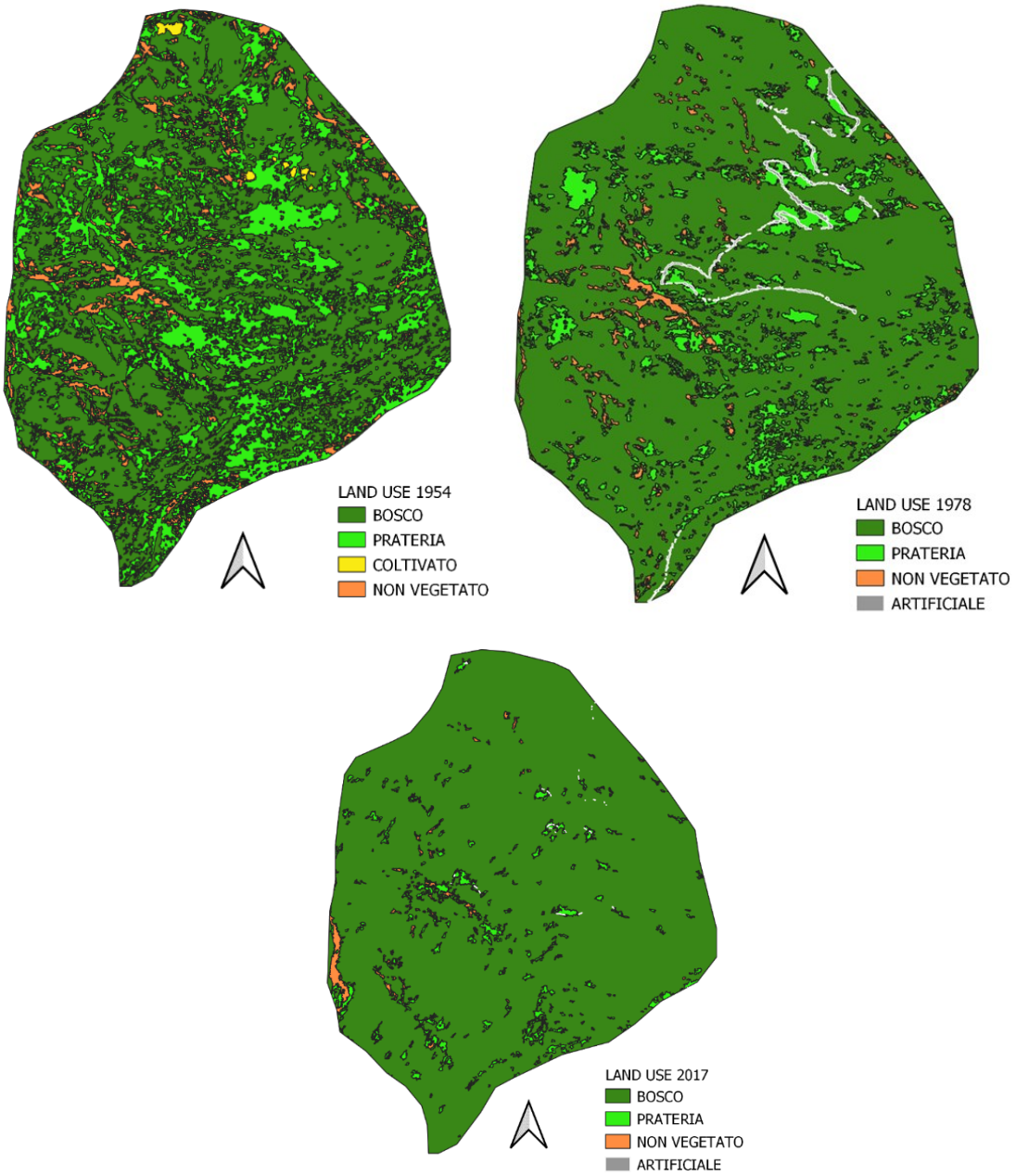
Tra le variabili in oggetto, sono state escluse dall'analisi la copertura di ortica e quella a prevalenza di *Daphne laureola* a causa della loro scarsa presenza all'interno dei plot. La PCA è stata effettuata con il software statistico PC-ORD 5. La significatività statistica dell'analisi è stata verificata con un test di Monte Carlo basato su 10000 permutazioni casuali.

3. Risultati e discussioni

3.1. Dinamiche di variazione della copertura forestale

L'immagine categorizzata del 1954 evidenzia l'elevata frammentazione del paesaggio, caratterizzato da una prevalente matrice forestale e da una diffusa presenza di aree prative (ad uso prevalentemente pastorale). Sono presenti anche delle zone non vegetate, rappresentate principalmente da affioramenti rocciosi o aree molto acclivi e poche aree coltivate (in giallo). Nell'immagine categorizzata del 1978 si nota un sostanziale incremento della matrice forestale, a scapito prevalentemente delle praterie, ed una riduzione della frammentazione del paesaggio. Sono presenti alcune aree "artificiali" facilmente riconducibile alla strada forestale che da Umito sale quasi fino al limite superiore del bosco, anche se non presenta un andamento continuo a causa della copertura boschiva in vari punti del tracciato.

Nell'immagine categorizzata del 2017, l'aumento della superficie boscata è ancor più evidente, sempre a scapito delle praterie, con una quasi completa scomparsa delle stesse, che testimonia anche la rapidità di densificazione del bosco oltre che il completo abbandono dei pascoli nella zona. Anche la presenza di un'infrastruttura come la strada è stata quasi completamente cancellata dai dinamismi forestali (Fig.3.1).



(Fig.3.1) Land Use Change dalle immagini del 1954, 1978, 2017 categorizzate per classe di uso del suolo nell'area del Maularo.

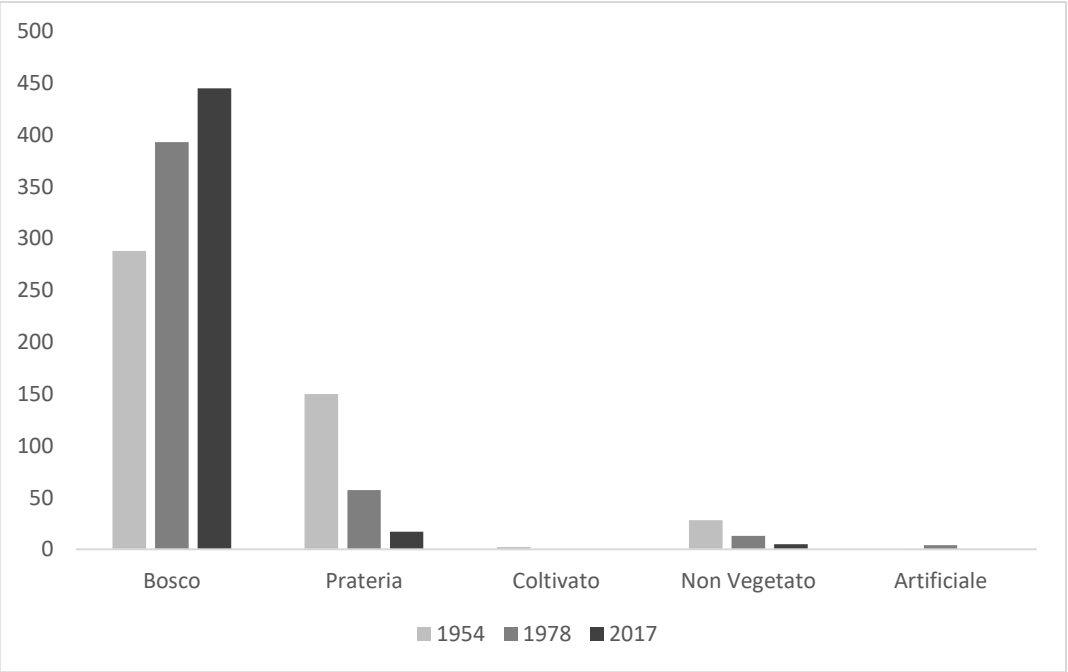
L'analisi delle variazioni di uso del suolo nell'area del Maularo nel periodo 1954, 1978, 2017, ha permesso di calcolare i valori assoluti delle singole categorie di copertura nei vari anni e i relativi tassi di variazione annua di ogni categoria (Tab 3.1). In termini assoluti le variazioni maggiori si osservano nella categoria "bosco" che passa da 288 ettari nel 1954, a 445 ettari nel 2017. La variazione media annua più alta si è registrata nella categoria "bosco", in particolare tra il 1954 e il 1978, con un valore medio di 4,4 ha/anno, molto superiore ai 2,49 ha/anno stimati tra il 1954 e il 2017. Altro valore rilevante di variazione media annua,

in questo caso negativa, si osserva nella categoria "praterie", dove la riduzione tra il 1954 e il 2017 è di circa 2 ettari all'anno, soprattutto fra il 1954 e il 1978. Sebbene poco significative, anche le altre categorie, in particolare il "coltivato" e il "non vegetato" si riducono tra il 1954 e il 2017. Non ci sono variazioni nella categoria "artificiale" tra il 1954 e il 2017, in quanto rientrano strade e piste forestali tuttora presenti nell'area.

(Tab.3.1) Superfici e variazioni d'uso del suolo osservate nell'area di studio

	Superficie (ha)			**Variazione annua (ha)**		
CATEGORIA	**1954**	**1978**	**2017**	**1954/1978**	**1978/2017**	**1954/2017**
Bosco	288	393	445	4.4	1.3	2.49
Prateria	150	57	17	-3.9	-1.03	-2.11
Coltivato	2	0	0	-0.08	0	-0.03
Non Vegetato	28	13	5	-0.6	-0.21	-0.37
Artificiale	0	4	0	0.17	-0.1	0

La Fig.3.2 con la distribuzione delle superfici suddiviso per categorie di uso del suolo e anni delle immagini mostra in maniera ben evidente la notevole diminuzione dal '54 al '17 delle praterie e dei terreni non vegetati, viceversa mostra un aumento incisivo della categoria bosco



(Fig.3.2) Distribuzione delle superfici in ettari del 1954-1978-2017

Dalla metà del Novecento ad oggi si sta assistendo ad un continuo aumento delle superfici boschive, soprattutto nelle zone montane e nei versanti più acclivi, a scapito di pascoli e praterie, causato da un sempre più continuo spopolamento e scomparsa di realtà lavorative e boschi abbandonati o non gestiti (Ispra, 2010). Lo sfalcio e il pascolo costituivano fattori di primaria importanza nell'impedire i processi di successione naturale e ricolonizzazione forestale, che infatti prendono avvio soltanto dopo che tali fattori di disturbo cessano o vengono ridotti. L'abbandono di praterie seminaturali provoca l'espansione soprattutto di formazioni arboree e arbustive nei pascoli secondari, ma anche lo sviluppo di formazioni arboree nei pascoli al di sopra della linea degli alberi, cioè nelle cosiddette praterie primarie (Chemini e Rizzoli, 2003).

Questo è ciò che sta accadendo anche nel versante marchigiano dei Monti della Laga, dove si sta assistendo ad un aumento continuo della superficie boschiva, della scomparsa di ex coltivi e la chiusura delle praterie primarie a ridosso del limite superiore della faggeta. Analizzando le ortofoto dal 1954 al 2017, si è osservato una drastica espansione della copertura forestale, con aumenti medi annuali di bosco prossimi ai 5 ettari. Ciò ha creato come risultato un paesaggio sempre più omogeneo, formato da pochissime *patch*, ovvero tasselli di paesaggio, che però hanno acquistato dimensioni rilevanti. Nell'ortofoto del 2017 si osservano sporadiche e ridotte aree prative ormai immerse in una matrice continua di bosco. La chiusura e la densificazione del bosco hanno determinato una conseguente diminuzione dimensionale delle radure, o talvolta la scomparsa delle stesse. Le radure non son si evolvono uniformemente, ma variano a seconde delle fasce altitudinali. Lo studio di Calandra 2021 ha evidenziato una dinamica di chiusura delle radure più accentuata a quote più alte, ove la presenza del mirtillo è più diffusa.

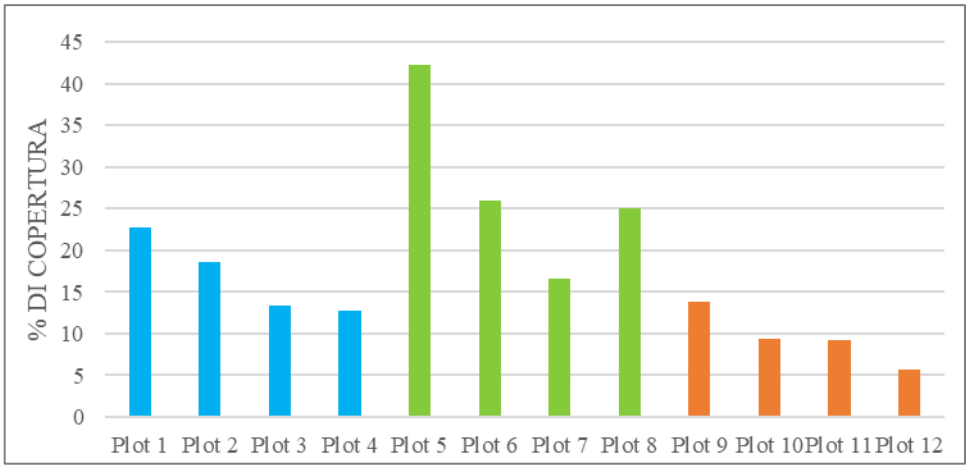
Il paesaggio, attualmente nell'area di studio, è caratterizzato da poche e piccole patch residuali non boscate, all'interno della matrice forestale, destinate in futuro a scomparire a causa dell'avanzamento naturale del bosco, in assenza di interventi mirati a limitare le dinamiche vegetazionali. È importante analizzare la presenza di mirtillo nero, specie fondamentale per l'aumento della biodiversità animale in quanto costituisce una fonte di alimentazione per la fauna selvatica (Guixe et al. 2016). La presenza di mirtillo nero è inoltre una fonte di integrazione economica per le popolazioni locali (Peura et al. 2016).

Oltre alla semplificazione del paesaggio, è probabile anche una diminuzione sostanziale della biodiversità, fattore di notevole importanza, perché rafforza la produttività di qualsiasi ecosistema, oltre che renderlo meno vulnerabile ai disastri naturali. La diminuzione di biodiversità ha un impatto diretto nella stabilità degli habitat, in quanto ciascuna specie

riveste un ruolo specifico nell'ecosistema stesso in cui vive e la perdita di specie porta di conseguenza ad uno squilibrio interno. La diminuzione della biodiversità, ma anche la stessa perdita di habitat per specie di avifauna e di mammiferi, ha un impatto diretto sulla fornitura di servizi ecosistemici (Ispra, 2010). Gli ecosistemi di montagna possiedono quindi un'importanza sia locale che globale, soprattutto perché rivestono un ruolo fondamentale per le comunità a valle, che dipendono fortemente da determinati, essenziali servizi provvisti dai territori a monte, come ad esempio le garanzie di quantità sufficienti e sicure di risorse idriche di elevata qualità e la prevenzione dei rischi naturali (Conti, Fagarazzi, 2005).

3.2. La presenza del mirtillo nelle radure

Le 20 aree di saggio censite sono tutte ubicate all'interno di radure non troppo estese in un versante con esposizione N e situate in un range altitudinale compreso fra 1530 (ADS 15) e 1770 m s.l.m. (ADS 14), in un intervallo di acclività tra 30° e 40°. Le dimensioni delle radure variano fra 38 m² della radura più piccola, e gli 810 m² della più estesa.
La presenza del mirtillo nero è stata quindi censita in 240 plot suddivisi per posizionamento nelle 20 radure (n. 1-4 al centro della radura, n. 5-8 al margine del bosco, n. 9-12 nel sottobosco) cui corrisponde una diversa quantità di irraggiamento. In fig. 3.3 si osserva che la copertura percentuale media del mirtillo è maggiore al margine, rispetto al centro della radura e sotto copertura. Infatti, la maggiore percentuale di copertura media è stata riscontrata nei plot di margine con valori medi tra il 17 e il 43 %, mentre nei plot in piena luce, i valori oscillano tra 12 e 22 % e in quelli sotto copertura arborea tra 6 e 14 %.



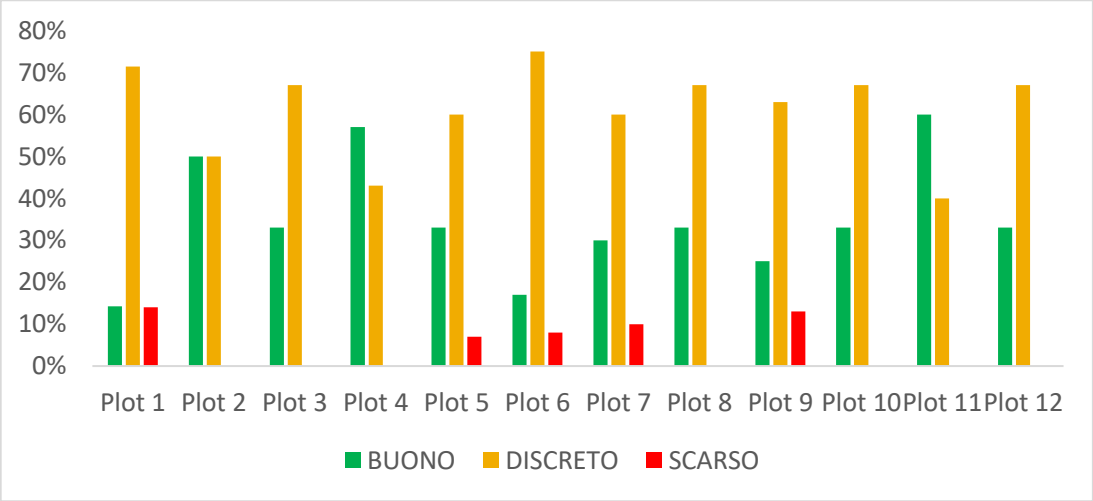
(Fig.3.3) Copertura % media del mirtillo nero suddivisa in base alla posizione dei plot (blu=piena luce, verde= margine del bosco, arancio=sottobosco)

Applicando il test statistico di *Wilcoxon-Mann-Whitney* emergono differenze significative tra le medie di copertura del mirtillo dei plot in ombra, semi ombra e luce. Il test mette a confronto i dati di copertura percentuale di mirtillo nelle 3 zone del plot. Si ottengono 3 valori di P, che evidenziano eventuali differenze significative e non tra le medie. Se P è < di 0.05, sono presenti differenze significative nella presenza media di mirtillo: il test ha evidenziato differenze significative fra i plot in piena luce e quelli in semi ombra, e i plot in ombra con i plot in semi ombra. Viceversa, valori di P > 0.05, indicano assenza di differenze significative, come evidenziato per i plot in luce e quelli in ombra (Tab.3.2).

(Tab.3.2) Confronto fra le diverse condizioni di luce e relativa significatività (P-value)

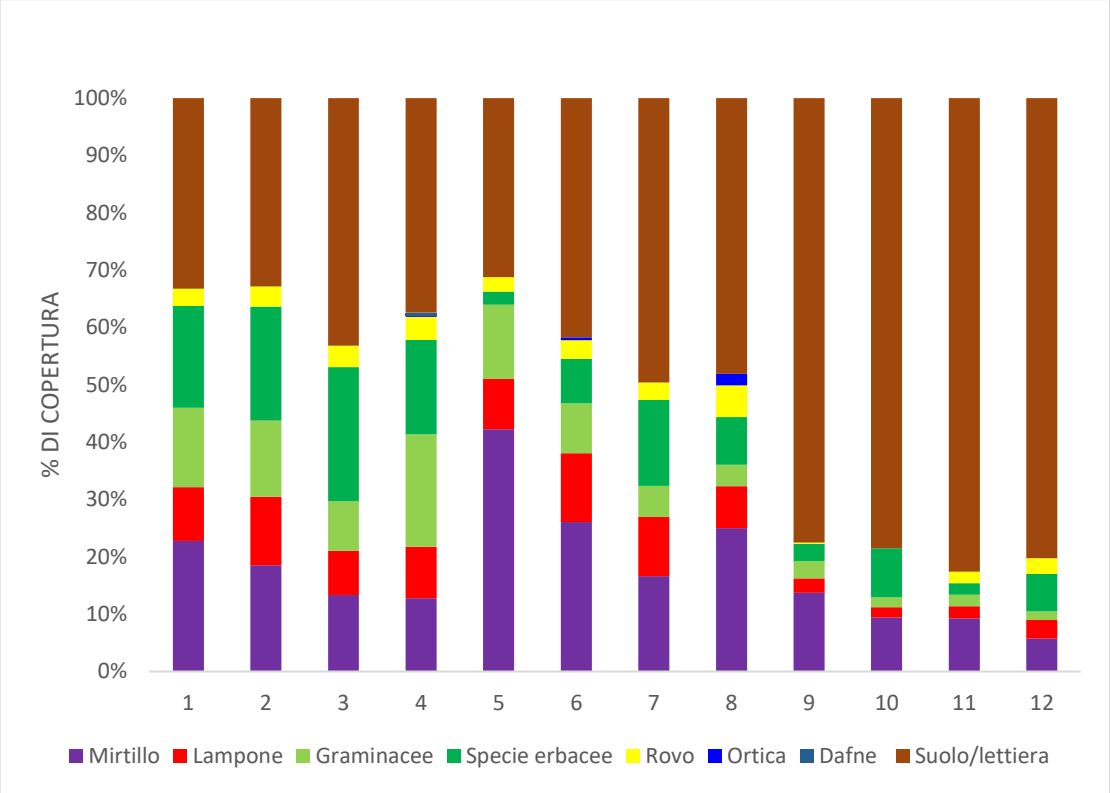
Confronto	P-value	Significatività
Luce - semi-ombra	0,008	SI
Semi-ombra - ombra	0,0001	SI
Luce - ombra	0,3401	No

Successivamente al conteggio del numero di individui di mirtillo nero all'interno dei plot, ne è stato determinato lo stato vegetativo analizzando nel dettaglio le condizioni in cui si presentavano le foglie e i fusti. Dal grafico 3.4 che segue, è possibile notare che la maggior parte delle piante all'interno dei plot presentano valori discreti, ad eccezione dei plot 4 e 11, i quali presentano una maggior percentuale di individui con stato vegetativo buono. Lo scarso stato vegetativo spesso è determinato da danni che la pianta subisce da fenomeni atmosferici o da brucature da parte di animali selvatici. Ciò indubbiamente va ad influenzare lo sviluppo, la fioritura e di conseguenza la produzione di frutti da parte della pianta colpita.



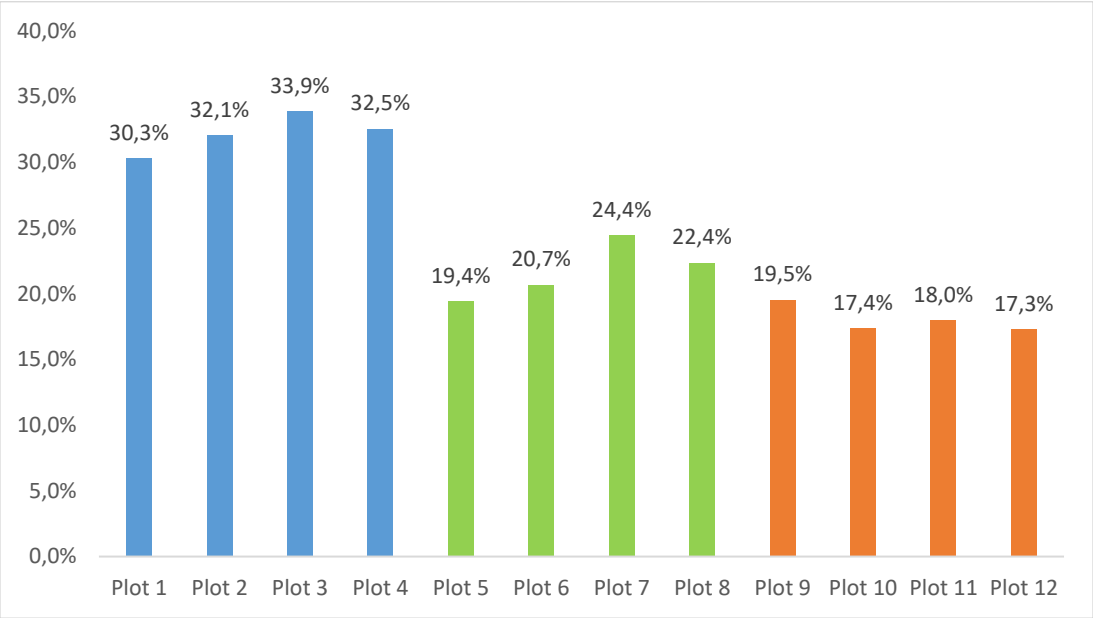
(Fig 3.4) Stato vegetativo delle piante (Buono, Discreto, Scarso) differenziato per plot

In fig. 3.5 sono riportate le percentuali medie di copertura delle principali specie presenti nelle 20 aree di saggio, suddivise per posizionamento dei plot. Oltre al mirtillo nei plot sono state censite altre presenze, sia di specie erbacee-arbustive competitrici dirette (con altezze superiori a quelle del mirtillo, come rovo, lampone ecc.) indirette (specie erbacee con altezze inferiori a quelle del mirtillo) o di aree prive di vegetazione (suolo/lettiera). Il lampone è la specie più abbondante e presente in tutte le condizioni di luce, sebbene maggiormente nelle aree in piena luce e al margine. Il R*ubus ulmifolius* è presente con percentuali costanti nei plot di luce e di semi-ombra, ma molto poco nel sottobosco. Dafne e ortica sono estremamente sporadiche mentre le altre specie erbacee (sia basse che alte) sono particolarmente abbondanti, in particolare le graminacee nelle zone centrali delle radure con molta disponibilità di luce. Le percentuali di suolo/lettiera aumentano considerevolmente al diminuire della quantità di luce soprattutto nel sottobosco, dove prevale uno strato spesso di lettiera organica.



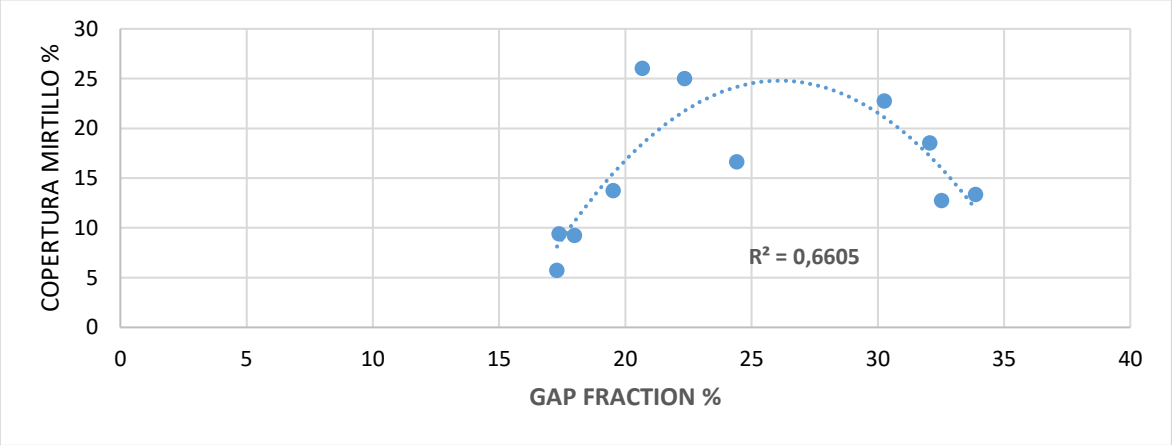
(Fig.3.5) Percentuali di composizione di copertura media nei plot (specie erbaceo-arbustive, lettiera o suolo, ecc.)

Dalle analisi dei fotogrammi dei vari plot effettuate con l'utilizzo dell'app GLAMA, si è evidenziato in tutte e 20 le aree di saggio, una sostanziale diminuzione della copertura delle chiome del soprassuolo (e quindi della luce al suolo) dal centro verso il perimetro della radura. I valori medi percentuali di *Gap fraction* di ognuno dei plot delle 20 aree di saggio hanno valori decrescenti passando da condizioni di piena luce (Plot 1-4), a quelli in situazione di margine e penombra (plot 5-8), a quelli sotto copertura in bosco (plot 9-12) (Fig. 3.6).



(Fig.3.6) GAP fraction media % per plot (blu=piena luce, verde=semi-ombra, arancio=sottobosco)

Mettendo a confronto con uno *scatterplot* la copertura media di mirtillo con la *gap fraction* media dei plot attraverso una curva di regressione, si osserva una relazione non lineare (R^2=0.66) tra le due variabili. Dai dati raccolti e dalle varie analisi effettuate, è possibile stabilire che il mirtillo nero trova le condizioni vegetazionali migliori in presenza di semi-ombreggiamento, ciò va a sostegno degli studi effettuati da Parlane et al. (2006), il quale stabilì che la copertura di mirtillo era più alta un zone delle radure con irradiazioni intermedie, il che rafforza il concetto di una vera e propria interazione tra la presenza del mirtillo stesso e la densità del popolamento soprastante (Fig. 3.7). La sua presenza, invece, è limitata in luoghi esposti al sole. Ciò può essere ricondotto al fatto che, una maggiore esposizione al sole, implica di conseguenza una maggiore esposizione alla siccità, la quale ha un impatto negativo sulla crescita e sull'espansione dei vaccinieti.



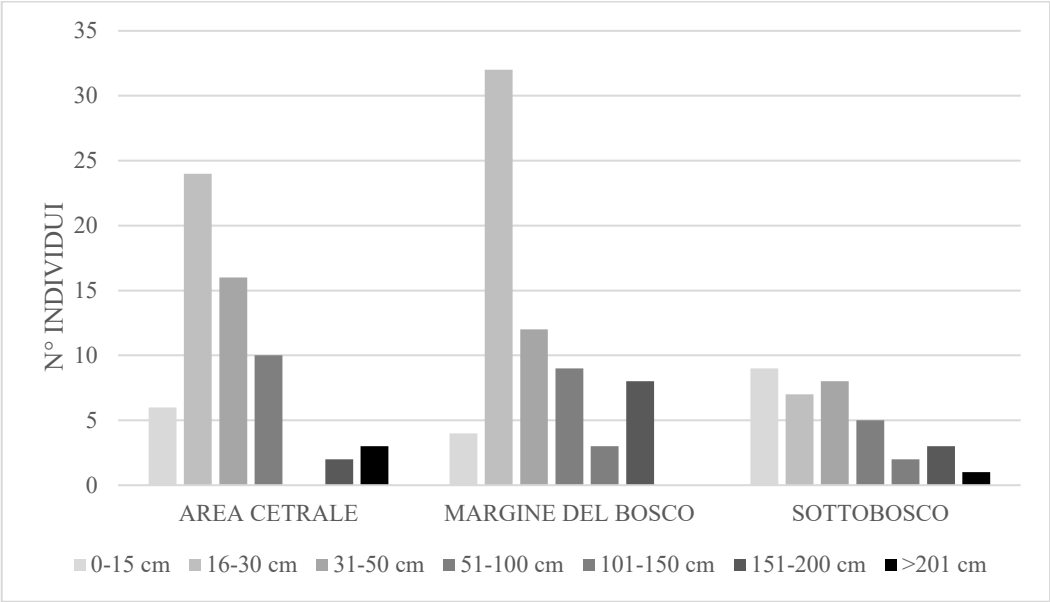
(*Fig.3.7) Relazione tra copertura del mirtillo nero e valore di GAP fraction*

3.3 La rinnovazione di faggio nelle radure

Le caratteristiche ecologiche di una radura sono molto diverse da quelle del bosco circostante, essendo più luminose e calde a causa del maggiore irraggiamento nella parte centrale. All'interno si caratterizza un microclima differenziato con effetti sulla biomassa microbica, le sue attività biologiche, nonché lo sviluppo della vegetazione presente (Grubb 1977; Denslow 1980; Whitmore 1989). Nel bosco, l'apertura di radure è il fattore principale che permette l'insediamento e lo sviluppo della rinnovazione, in grado di determinare una eterogeneità strutturale nella foresta.

A tale riguardo all'interno dei singoli plot si è proceduto a censire anche la rinnovazione naturale, in questo caso solo di faggio, unica specie presente all'interno delle aree di saggio esaminate. Nella fig 3.8 la presenza di semenzali di faggio è suddivisa per tipo di plot e per

classi di altezza. La maggior presenza si ha nelle zone di margine fra bosco e radura (68 individui) ed anche nelle aree centrali delle radure (61 individui) mentre sotto copertura forestale il numero si riduce di quasi la metà (35 individui). L'altezza dei semenzali è ancora contenuta, infatti sono pochi quelli di altezza superiore ai 200 cm, mentre prevalgono quelli delle classi comprese fra 16 e 50 cm. La presenza del faggio ha una doppia valenza negativa nei confronti del mirtillo, nel breve termine come diretto competitore per la luce, nel medio lungo termine come eventuale sostituto qualora proceda il processo di densificazione della radura.



(Fig.3.8) Distribuzione dei semenzali di faggio per classi di altezza e per tipo di plot

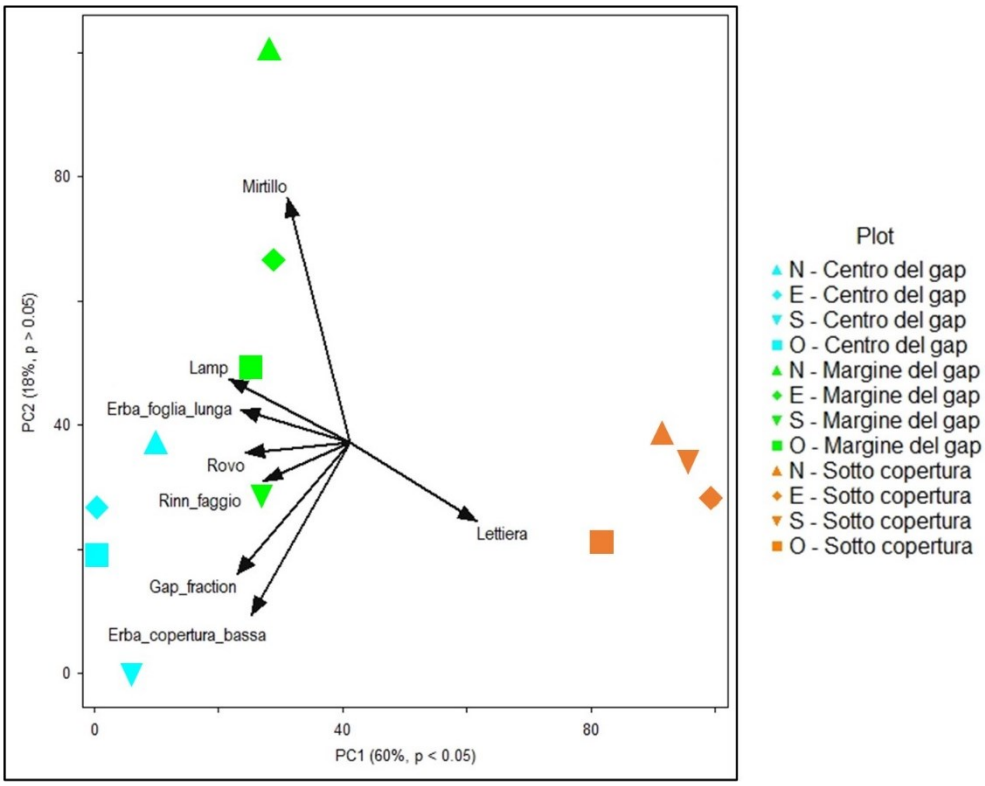
La rinnovazione rappresenta un indicatore di avanzamento del bosco, con costante diminuzione dimensionale delle radure ed eventuali scomparse delle stesse. Inoltre, la rinnovazione è la diretta competitrice per la luce nei confronti delle specie erbacee e arbustive, in quanto, date le dimensioni in termini di altezza e ombreggiamento al suolo maggiori, ostacola l'esposizione a quest'ultime, in particolare al mirtillo che, avendo altezze contenute sotto i 30 centimetri, è ostacolato dagli individui giovani di faggio molto più competitivi riguardo la luce.

L'aumento della copertura boschiva è stato riscontrato anche nel versante marchigiano dei Monti della Laga, più precisamente nella zona del Maularo. L'identificazione e la determinazione dimensionale delle radure è dunque un aspetto di rilevante importanza nelle indagini forestali di carattere ecologico, selvicolturale e gestionale.

Il mirtillo nero è maggiormente presente in condizioni di parziale ombreggiamento da parte della copertura arborea quindi lungo il perimetro delle radure. Un progressivo aumento di presenza della rinnovazione di faggio potrebbe influenzare negativamente l'accrescimento e la capacità vegetativa del mirtillo nero.

I dati mostrano che il mirtillo predilige zone al margine delle radure, in condizioni di penombra quindi non soggette a pieno irraggiamento, dove rappresenta la specie predominante in tutti e 4 i plot. Nei plot centrali, quindi in condizioni di piena luce, si ha la dominanza di specie eliofile, in particolare erbacee. Qui la copertura media del mirtillo raggiunge in media il 15% del totale, in associazione a specie erbacee e al lampone. Nelle zone di sottobosco, quindi in condizioni di ombra, la presenza del mirtillo risulta molto bassa, e predomina invece un'alta percentuale di lettiera, dovuto principalmente all'ombreggiamento delle chiome di faggio e alla densità del bosco stesso che aumenta, a causa di una sempre più bassa pressione antropica.

La figura 3.9 mostra il risultato dell'analisi PCA effettuata con le variabili di copertura, rinnovazione di faggio e *gap fraction* media. I plot vengono evidenziati con simboli mentre le variabili correlate alle due componenti principali con frecce nello spazio grafico. La componente principale 1 (PC1) spiega il 60% della varianza (con $p<0.05$) mentre la componente principale 2 (PC2) spiega il 18% della varianza (con $p>0.05$). La distribuzione dei plot medi mostra una netta separazione fra gruppi (ombra, semi-ombra e luce) nello spazio grafico: i plot in semi-ombra (colore verde) evidenziano una maggior presenza di mirtillo rispetto agli altri; i plot in ombra (colore arancione) sono caratterizzati da una prevalenza di lettiera mentre quelli collocati al centro della radura, essendo più esposti alla luce solare per una minore copertura arborea della faggeta (*gap fraction*), sono caratterizzati da alte quote di rinnovazione di faggio e di varie tipologie di erba. I plot orientati a nord, quindi quelli più esposti ai raggi solari avendo il versante stesso quella esposizione, si collocano maggiormente nello spazio superiore del grafico, evidenziando una maggiore presenza di mirtillo al loro interno.



(Figura 3.9) – Analisi delle componenti principali dei 12 plot medi. Il colore dei simboli esprime la collocazione del plot all'interno della radura: azzurro al centro della radura; verde al margine della radura; arancione sotto copertura. Il tipo di simbolo rappresenta l'orientamento del plot nella radura: triangolo per quelli collocati a nord, rombo a est, triangolo capovolto a sud e quadrato a ovest. Le frecce rappresentano le variabili in analisi e la loro direzione esprime la loro correlazione con i 2 assi principali. Le variabili medie utilizzate sono: gap fraction, copertura di rovo, erba a foglia bassa, erba a foglia lunga, rinnovazione di faggio, lettiera, lampone, mirtillo

4. Conclusioni

Il versante marchigiano della Laga, come gran parte delle aree appenniniche è caratterizzato dall'aumento della copertura forestale nell'arco temporale che va dal 1954 al 2017. È facilmente intuibile come la parte più consistente di questo cambiamento sia avvenuta nel primo intervallo temporale considerato (1954 – 1978), evidenziando valori in linea con i trend di tutte le altre aree montane in Italia (ISPRA, 2010). Ciò è dovuto al fenomeno della riduzione, sia di estensione che di numero degli ecosistemi prativi presenti. Contestualmente si è assistito alla semplificazione delle zone di margine rimaste sul territorio, le quali comportano una drastica contrazione delle ricche fasce di ecotono, anche all'interno delle radure stesse, caratterizzate da fattori ecologici di transizione tra i due ecosistemi adiacenti. Questi fenomeni si sono verificati maggiormente nella fascia altitudinale superiore ossia tra i 1500 e i 1800 m s.l.m. Di conseguenza l'abbandono delle attività antropiche, che nei secoli hanno artificialmente modificato il territorio naturale, riconduce ad una rinaturalizzazione di questi territori. Occorrerà quindi stabilire se sia meglio perdere la frammentazione del paesaggio e degli habitat, con una biodiversità maggiore, a favore di una vera naturalità oppure assicurare livelli minimi di pressione tali da permettere il mantenimento di una variabilità ambientale elevata. La presenza di molti ecosistemi di diverse dimensioni e collegati fra di loro appare tuttavia la scelta migliore per le aree studiate. Infatti, se grandi *patch* permettono una miglior tutela del territorio e possono sostenere la presenza di un numero maggiore di specie, una maggior frammentazione, associata alla buona connessione tra gli habitat tramite corridoi e collegamenti, assicura una maggior densità di specie, sia di margine che di interno, per unità di superficie (Forman 1995). Di conseguenza, il mantenimento di pratiche agronomiche e selvicolturali nelle aree montane a carattere estensivo è necessario per una corretta gestione del territorio, sensibile alla conservazione di un alto grado di biodiversità. Se da un lato infatti l'abbandono porta ad una veloce rinaturalizzazione degli ecosistemi, dall'altro comporta una semplificazione e maggiore vulnerabilità degli stessi. Occorre quindi agire concretamente a livello di pianificazione, prevedendo una gestione selvicolturale sostenibile, volta al raggiungimento di obiettivi economici e ambientali ottimali. Ciò è possibile agendo a livello di piani di assestamento, con degli interventi di modifica di uso del suolo, cercando di mantenere le radure ancora presenti, e crearne altre in luoghi strategici per la conservazione della flora, in particolare di quella più a rischio, come ad esempio il mirtillo nero. Queste operazioni andrebbero

pianificate nel contesto di un'attenta valutazione del rischio idrogeologico e volte a mantenere in ogni caso un'elevata stabilità tanto dei versanti su cui si interviene, quanto dei popolamenti forestali circostanti. Le criticità dei risultati si manifestano appieno nelle zone del Maularo, dove l'abbandono quasi totale dei pascoli sta portando ad una chiusura quasi completa di tutti gli spazi aperti più o meno estesi, ecosistemi importanti per lo sviluppo vegetativo del mirtillo stesso.

Lo studio di analisi delle condizioni ambientali di crescita del mirtillo nero è importante in quanto è una specie che sta via via scomparendo a causa del cambiamento di copertura, vale a dire dall'aumento delle superfici boscate, chiudendo o riducendo le radure, ambienti ideali di crescita del mirtillo stesso, poiché necessita durante la fase vegetativa di determinate condizioni di luce.

Alcuni studi dimostrano che i popolamenti di mirtillo nero, con un'elevata disponibilità di luce, producono più frutti (Kilpeläinen et al., 2016), il che potrebbe non essere dovuto solo alla maggiore produzione di fiori, ma anche perché l'esposizione alla luce può influenzare la riproduzione sessuale, ovvero l'impollinazione dei popolamenti e di conseguenza la produzione di frutti (Vänninen et al., 1988).

Il monitoraggio a lungo termine è quindi essenziale per valutare il comportamento degli arbusti di mirtillo nero, al variare delle condizioni di luce a seguito della dinamicità delle radure.

Dallo studio effettuato è possibile stabilire che l'ombreggiamento parziale delle chiome degli alberi presente nelle zone marginali delle radure, fornisce le condizioni di luce ottimali per il mirtillo. L'aumento dell'ombreggiamento, a causa di una maggiore densità degli alberi o copertura delle chiome, porta ad una riduzione della copertura dei mirtilli, come ad esempio nelle zone di sottobosco.

Dal punto di vista operativo sono poi necessari continui e tempestivi interventi volti al mantenimento delle radure e quindi degli ecosistemi, anche se di difficile esecuzione data la morfologia e l'estensione del versante. La cure e il mantenimento delle radure però, assieme alla produzione di beni e servizi nelle zone interessate, può portare a introiti economici per le popolazioni locali, infatti la presenza dell'uomo in montagna è possibile solo se vi sono opportunità economiche per le popolazioni e se la convivenza tra attività tradizionali e vincoli amministrativi (es. aree protette) è minuziosamente pianificata, così da valorizzare la presenza attiva ed efficace dell'uomo nelle zone montane oltre che il mantenimento e la valorizzazione dell'intero paesaggio.

5. Bibliografia

Adamoli L., (1991). *"Storia geologica ed evoluzione geomorfologica recente."* In: Alesi A., Calibani M., Palermi A. (eds.), Monti della Laga. Guida escursionistica. Società Editrice Ricerche s.a.s., Folignano (AP).

Allegrezza M., Ballelli S., Giammarchi F., (2007). *"Gli Habitat d'interesse Comunitario nell'anfiteatro montuoso della Valle della Corte (Monti della Laga - Appennino Centrale)."* Fitosociologia, 44(2): 133-140.

Biserni, Ascoli, Tonarelli (2021) "*Il fuoco nella conservazione dei vaccinieti"* SISEF.ORG

Calandra L. (2021) *Dinamismi spazio-temporali del paesaggio forestale in un versante dei Monti della Laga (AP)"* tesi di laurea magistrale in Scienze Forestali, Università Politecnica delle Marche.

Chemini C., Rizzoli A. (2003) "*land use change and biodiversity conservation in the Alps" 3-5*

Conti, G., Fagarazzi, L., 2005. *Avanzamento del bosco in ecosistemi montani: sogno degli ambientalisti o incubo per la società?"* Cause, aspetti ed impatti di una delle principali trasformazioni ambientali, territoriali e paesistiche del XX secolo in Italia.

Forman (1995) "*Some general principles of landscape and regional ecology"*

Guixe D., Camprodon J. (2016). *Canopy cover and understory composition determine abundance of Vaccinium myrtillus L., a key plant for capercaillie (Tetrao urogallus), in subalpine forests in the Pyrenees*.

IPLA, 2001. *Inventario e Carta Forestale della Regione Marche. I tipi forestali delle Marche.* Assessorato Agricoltura e Foreste Regione Marche.

Katrine Eldegard, Janneke Scholten, Jogeir N. Stokland, Aksel Granhus, Marit Lie (2019). *The influence of stand density on bilberry (Vaccinium myrtillus L.) cover depends on stand age, solar irradiation, and tree species composition*

Kilpeläinen et al.,(2016), *"Evaluation of bilberry and cowberry yield models by comparing model predictions with field measurements from North Karelia, Finland"*

Malandra F., Vitali A. et al. (2019) *Patterns and drivers of forest landscape change in the Apennines range, Italy* Regional Environmental Change 19: 1973–1985

Minelli A. (2006) "*Le faggete appenniniche – Avanguardie e relitti di foresta continentale*"

Peura M., Triviño M. (2016). "*Managing boreal forests for the simultaneous production of collectable goods and timber revenues*".

Ronchieri I., Mazzei T., 1997. Indagine sugli aspetti ecologici ed economici dei vaccinieti nell'Appennino Tosco-Emiliano. ARSIA 3/97. Agenzia Regionale per lo sviluppo e l'innovazione nel settore agricolo-forestale.

Santini E. (2012). *"Dinamismi strutturali e auxometrici in faggete dei Monti della Laga"* Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali. Dottorato di Ricerca in Scienze Agrarie. Università Politecnica delle Marche

Sarah A. Schliemann, James G. Bockheim (2011). "*Methods for studying treefall gaps: A review*"

Tristan Eckertera, Jorn Buseb, Marc Forschlerb, Gesine Pufala (2019). "*Additive positive effects of canopy openness on European bilberry (Vaccinium myrtillus) fruit quantity and quality"*

Parlane S., Summers R.W., Cowie N.R., van Gardingenc P.R. (2006) "*Management proposals for bilberry in Scots pine woodland"* Elsevier

Santini E. (2012). *"Dinamismi strutturali e auxometrici in faggete dei Monti della Laga"* Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali. Dottorato di Ricerca in Scienze Agrarie – Curriculum Gestione Sostenibile dei Sistemi Collinari e Montani. Università Politecnica delle Marche

Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. (2007) *"TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 m-cell size (Version 1.0)"* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/TINITALY/1.0.

Vanninen et al., (1988) *"Seed production of a masting dwarf shrub, Vaccinium myrtillus, in relation to previous reproduction and weather"*

Vitali A., Urbinati C. et al. (2018). *"Effects of natural and anthropogenic drivers on land- cover change and treeline dynamics in the Apennines (Italy)"* Journal of Vegetation Science 00: 1–11.

6. Sitografia

Istituto Geografico Militare Italiano. *https://igmi.org/it/geoprodotti#b_start=0* Servizi WMS della Regione Marche. *https://www.regione.marche.it/Regione-utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica-Genio-Civile/Cartografia-e-informazioni- territoriali/WMS*

Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. *http://www.gransassolagapark.it/*

Ispra: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale *https://www.isprambiente.gov.it/it*

Regione Marche: *https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Agricoltura-Sviluppo-Rurale-e-Pesca/Foreste*

Acta Plantarum: https://www.actaplantarum.org/

Parco Emilia Centrale: http://www.parchiemiliacentrale.it/

Sisef.org *https://sisef.org/*

ScienceDirect https://www.sciencedirect.com/)

https://www.ipla.org/