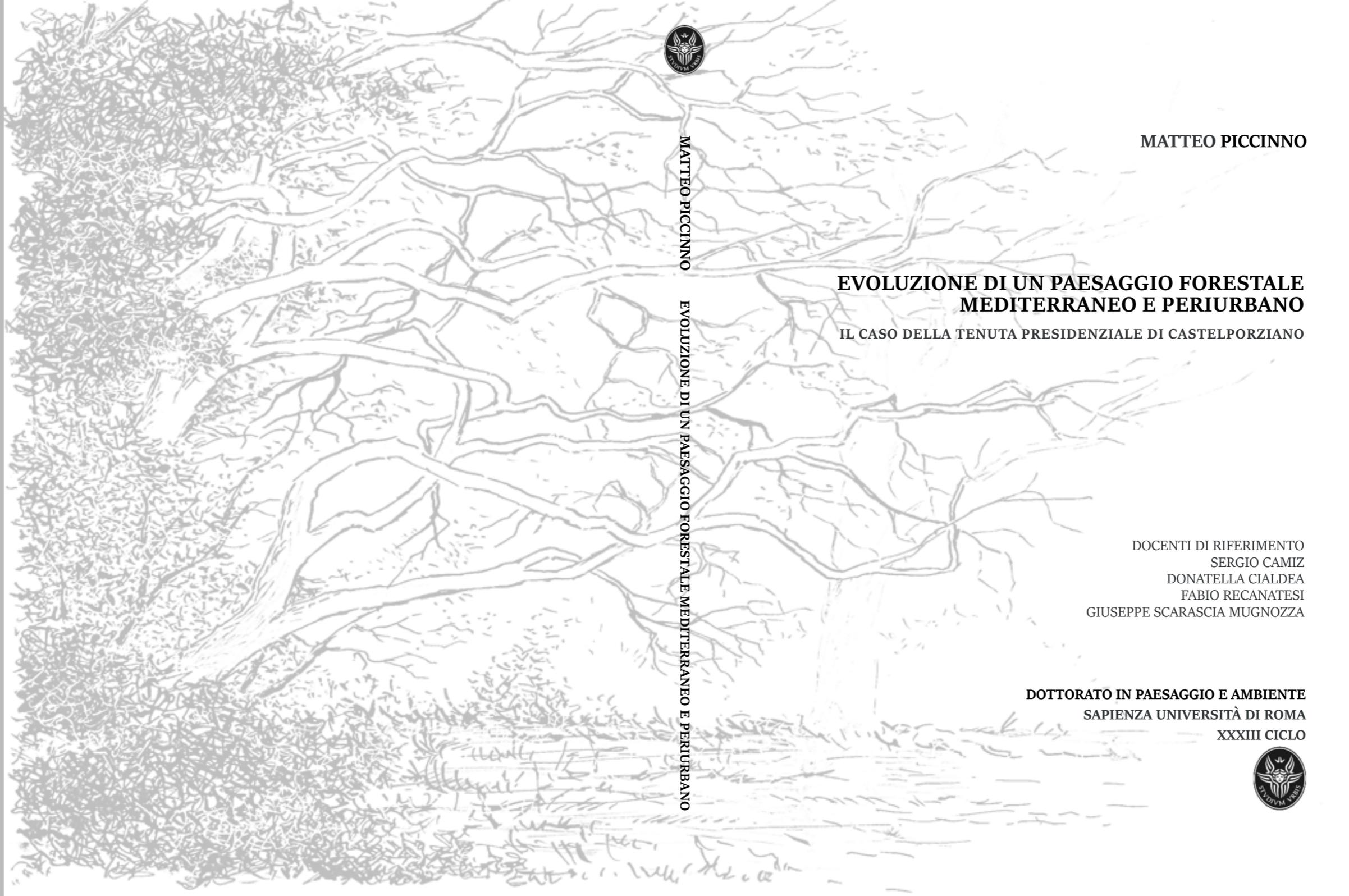


Matteo Piccinno
Dott. For. (Maglie, 1990)

Laureato con lode nel 2012 e poi nel 2014, presso l'Università degli Studi della Tuscia, in *Conservazione e restauro dell'ambiente forestale e difesa del suolo*, con dignità di stampa delle tesi inerenti la prima lo studio dell'evoluzione diacronica del paesaggio mediante foto aree storiche degli Anni Trenta e, la seconda, la sostenibilità ambientale dell'uso del suolo e la vulnerabilità del bacino idrografico del lago di Bolsena. Abilitato dal 2015 alla libera professione, è iscritto all'Ordine dei Dottori Agronomi e Forestali della Provincia di Roma. Nel 2016 ha svolto un periodo di ricerca nel Dipartimento di Ecologia del Paesaggio dell'Università di Rostock (Germania) con un progetto inerente l'erosione della costa baltica lungo la *Darss-Zingst Bodden Chain*.

Da settembre 2016 lavora, per conto dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, presso la Tenuta presidenziale di Castelporziano collaborando con la Direzione del Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, con il Consiglio Scientifico e il Comitato di Coordinamento Interistituzionale della Tenuta.



MATTEO PICCINNO

EVOLUZIONE DI UN PAESAGGIO FORESTALE MEDITERRANEO E PERIURBANO

EVOLUZIONE DI UN PAESAGGIO FORESTALE MEDITERRANEO E PERIURBANO

IL CASO DELLA TENUTA PRESIDENZIALE DI CASTELPORZIANO

MATTEO PICCINNO

DOCENTI DI RIFERIMENTO

SERGIO CAMIZ

DONATELLA CIALDEA

FABIO RECANATESI

GIUSEPPE SCARASCIA MUGNOZZA

DOTTORATO IN PAESAGGIO E AMBIENTE

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

XXXIII CICLO



Il paesaggio forestale è al centro delle politiche europee per lo sviluppo sostenibile e il contrasto dei cambiamenti climatici, ma anche della ricerca che è impegnata nel definire i principali fattori di rischio per la sua conservazione. Molti di questi ambienti sono legati a forme storiche e resilienti di paesaggio. È questo il caso dell'*Ager Laurens*, il paesaggio delle foreste laurentine conservatosi all'interno della Tenuta presidenziale di Castelporziano, come attestano le fonti storiche e cartografiche. Queste le premesse per affermare la necessità di interventi volti al suo mantenimento, in linea con gli obiettivi sanciti dai Presidenti della Repubblica.

A tal fine è stato condotto, il monitoraggio dei fenomeni di rinnovazione naturale del querceto planiziale di caducifoglie, prezioso quanto minacciato, e lo studio delle componenti ambientali e climatiche dell'area. Ne è emerso uno stato di conservazione critico che richiede interventi di gestione sostenibile integrata più incisivi e continui ...

In copertina: Piccinno, Giorgio. Illustrazione grafica di un querceto di caducifoglie con macchia mediterranea durante la stagione invernale a Castelporziano (2020).

MATTEO PICCINNO

**EVOLUZIONE DI UN PAESAGGIO FORESTALE
MEDITERRANEO E PERIURBANO**

IL CASO DELLA TENUTA PRESIDENZIALE DI CASTELPORZIANO

DOCENTI DI RIFERIMENTO

SERGIO CAMIZ

DONATELLA CIALDEA

FABIO RECANATESI

GIUSEPPE SCARASCIA MUGNOZZA

DOTTORATO IN PAESAGGIO E AMBIENTE

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

XXXIII CICLO



Università di Roma La Sapienza

Dipartimento di Architettura e Progetto

Dottorato in Paesaggio e Ambiente

XXXIII CICLO

2017-2020

Coordinatrice

Alessandra Capuano (ICAR 14)

Collegio dei docenti

Rita Biasi (AGR 03)

Lucina Caravaggi (ICAR 15)

Gianni Celestini (ICAR 15)

Donatella Cialdea (ICAR 21)

Piermaria Corona (AGR 05)

Isotta Cortesi (ICAR 15)

Elisabetta Cristallini (L-ART/03)

Fabio Di Carlo (ICAR 15)

Laura Valeria Ferretti (ICAR 14)

Cristina Imbrogliani (ICAR 15)

Davide Marino (AGR 01)

Federica Morgia (ICAR 14)

Sara Protasoni (ICAR 15)

Luca Reale (ICAR 14)

Giuseppe Scarascia Mugnozza (AGR 05)

Fabrizio Toppetti (ICAR 14)

Citazione: Piccinno Matteo (2021), *Evoluzione di un paesaggio forestale mediterraneo e periurbano. Il caso della Tenuta presidenziale di Castelporziano*. PhD Thesis, aprile 2021. Scuola di Dottorato in Paesaggio e Ambiente, Università di Roma La Sapienza (<https://iris.uniroma1.it/>).

Il presente documento è distribuito secondo la **licenza Creative Commons CC BY-NC**, attribuzione, non usi commerciali.

Finito di stampare nell'aprile 2021.

In copertina: Piccinno Giorgio, 2020. *Illustrazione grafica di un querceto di caducifoglie con macchia mediterranea durante la stagione invernale a Castelporziano*.

SINTESI

Il paesaggio forestale è al centro delle politiche europee di salvaguardia dell'ambiente e della biodiversità, in quanto contribuisce allo sviluppo sostenibile e al contrasto dei cambiamenti climatici. Ciò è riconducibile ai servizi ecosistemici che il suo capitale naturale fornisce alla società.

La ricerca si dedica perciò all'individuazione dei principali fattori di rischio per la conservazione di questi ambienti sia a scala globale, ma anche soprattutto a scala locale dove si può constatare come specifici ecosistemi siano legati a forme storiche di paesaggio.

Molti ambienti forestali del vecchio continente, infatti, si sono coevoluti con l'uomo, rispondendo a innumerevoli funzioni, ma tramandando, grazie alla loro resilienza paesaggistica, peculiari connotati identitari dei luoghi.

Un caso emblematico di tutto ciò è lo storico paesaggio laurentino dell'Ager Laurens, tra Roma e il mare, conservatosi all'interno della Tenuta presidenziale di Castelporziano e assediato dalla città che vi si è sviluppata intorno.

Studiare la storia e l'evoluzione paesaggistica dell'area, consentendo di attestare la resilienza di queste foreste negli ultimi tremila anni, grazie a fonti

storiche e cartografiche che affondano le proprie radici nella mitologia classica, è stato il presupposto per affermare la necessità di interventi volti alla sua conservazione, in linea con gli obiettivi sanciti dai Presidenti della Repubblica nel 1999 e rinnovati nel 2020.

A tal fine è stato condotto, per due anni e in una rete permanente, il monitoraggio dei fenomeni di rinnovazione naturale del querceto planiziale di caducifoglie, una delle componenti naturalistiche di maggior pregio e allo stesso tempo più minacciata nell'ambito costiero mediterraneo, ancor più se periurbano. Strumento fondamentale di approfondimento è stata inoltre la raccolta e l'analisi di dati storici presenti e quelli delle serie storiche meteo-climatiche.

Dalle analisi dei dati è emerso uno stato di conservazione critico per il querceto, sia nella senescenza degli individui adulti che nella quasi assenza di rinnovazione naturale che sopravvive al secondo-terzo anno. Ciò è correlato in primo luogo alla numerosità della fauna selvatica, seguita dall'elevata densità della copertura arborea e infine al maggiore stress idrico e richiede interventi di gestione sostenibile integrata più incisivi e costanti nel tempo.

ABSTRACT

The forest landscape is at the centre of European policies related to the protection of the environment and biodiversity, as it contributes to sustainable development and the fight against climate change. This is due to the ecosystem services that its natural capital provides to society.

The aim of the research is to identify the main risk factors for the protection of the natural environments on a global scale and, above all, on a local scale where it can be seen how specific ecosystems are linked to historical landscape.

Many forest environments of the old continent have undoubtedly co-evolved with man, responding to countless functions but simultaneously, thanks to their landscape resilience, handing down peculiar identity-related connotations of the places.

A case in point is that of the historic Laurentian landscape of Ager Laurens, between Rome and the sea, preserved within the presidential estate of Castelporziano and under threat by the city that has developed around it.

Studying the history and landscape evolution of the area, that has made it possible to attest the resilience of these forests over

the last three thousand years, and thanks to historical and cartographic sources, which have their roots in classical mythology, was the prerequisite for affirming the need for interventions aimed at its conservation, in line with the objectives established by the Presidents of the Republic in 1999 and renewed in 2020.

For that purpose, during two years and in a permanent network, was conducted the monitoring of the phenomena of natural renewal of the planitial deciduous oak forest, one of the most valuable naturalistic components and at the same time most threatened in the Mediterranean coastal area, even more if peri-urban. Furthermore, essential analyzing and study tools was the collection and analysis of historical data and climatic series.

The analysis shows that the oak forest face a critical conservation status, both on the senescence of adult individuals and the almost total absence of natural renewal that survives the second-third year. This is attributable firstly to the abundance of wildlife, followed by the high density of the tree cover and finally to the greater water stress and requires more incisive and constant integrated sustainable management interventions over time.

EXTRACTO

El paisaje forestal está en el centro de las políticas europeas de protección del medio ambiente y la biodiversidad, ya que contribuye al desarrollo sostenible y a la lucha contra el cambio climático. Esto se debe a los servicios ecosistémicos que su capital natural ofrece a la sociedad.

La investigación, por tanto, se dedica a identificar los principales factores de riesgo para la conservación de estos entornos tanto a escala global, como a escala local, donde se puede ver cómo los ecosistemas específicos están vinculados a formas históricas de paisaje.

De hecho, muchos ambientes forestales del viejo continente han co-evolucionado con los seres humanos, respondiendo a innumerables funciones y transmitiendo, gracias a su resiliencia paisajística, características peculiares identificativas de los lugares.

Un caso emblemático es el histórico paisaje laurentino de los ager laurens, entre Roma y el mar, conservado dentro de la finca presidencial de Castelporziano y asediado por la ciudad que se ha desarrollado a su alrededor.

Estudiar la historia y la evolución paisajística de la zona, que permita atestiguar la resiliencia de estos bosques

durante los últimos tres mil años, gracias a fuentes históricas y cartográficas que tienen sus raíces en la mitología clásica, fue el requisito previo para afirmar la necesidad de intervenciones destinadas a su conservación, en línea con los objetivos establecidos por los Presidentes de la República en 1999 y renovados en 2020.

Para ello, durante dos años y en una red permanente, se llevó a cabo el seguimiento de los fenómenos de renovación natural del roblel caducifolio llano, uno de los componentes naturalistas más valiosos y a la vez más amenazado del litoral mediterráneo, aún más si es periurbano. Una herramienta fundamental para el análisis fue la recopilación y análisis de los datos históricos y meteorológicos.

Del análisis de los datos surgió un estado de conservación crítico para el roblel, tanto en la senescencia de los individuos adultos como en la casi ausencia de renovación natural que sobrevive al segundo-tercer año. Esto es atribuible en primer lugar a la abundancia de vida silvestre, seguida de la alta densidad de la cobertura arbórea y finalmente al mayor estrés hídrico que requiere intervenciones de manejo sustentable integrado más incisivas y constantes en el tiempo.

INDICE

PRESENTAZIONE	11
I IL PAESAGGIO FORESTALE	19
1.1 Una sintesi di natura e cultura	20
1.2 La vulnerabilità ai cambiamenti climatici	33
1.3 L'impatto antropico e il degrado del suolo	48
1.4 I Servizi Ecosistemici e il Capitale Naturale	58
II IL PAESAGGIO LAURENTINO	71
2.1 Dall'Ager Laurens ad oggi	72
2.2 La resilienza nelle testimonianze cartografiche	97
2.3 Il Ventesimo secolo con la Città territorio	121
2.4 La fotografia aerea e lo sviluppo periurbano	127
III LE FORESTE LAURENTINE	147
3.1 Gli ecosistemi forestali di Castelporziano	148
3.2 La rinnovazione naturale dei querceti	166
3.3 Il sito di studio di Campo di Rota	177
3.4 Il progetto di ricerca	184
IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI	191
4.1 La stazione meteo di Campo di Rota	192
4.2 Le acque sotterranee	201
4.3 Interpretazione dell'andamento climatico	208
4.4 Analisi statistica delle serie storiche	212

V LA RINNOVAZIONE FORESTALE	253
5.1 Il progetto di monitoraggio permanente	254
5.2 Analisi del vigore vegetativo ed NDVI	268
5.3 I rilievi stagionali 2019 – 2020: analisi dei dati	279
5.4 La rinnovazione affermata: il censimento del 2020	311
VI CONCLUSIONI E PROSPETTIVE A SCALA PAESAGGISTICA	317
6.1 Il deperimento del querceto di caducifoglie	318
6.2 I dati storici sulla rinnovazione del querceto	330
6.3 Discussione dei risultati del progetto di monitoraggio	340
6.4 Scenari evolutivi e di conservazione del paesaggio forestale	350
ALLEGATI	367
I dati di rinnovazione 2019 – 2020 in dettaglio	368
I dati di LAI e PAR 2019 – 2020 in dettaglio	380
I dati di rinnovazione affermata nel 2020	388
I dati di copertura per le aree di saggio virtuali	394
BIBLIOGRAFIA	399
INDICE DELLE FIGURE	430
INDICE DELLE TABELLE	441

*Alla Prof.ssa
Emilia Chiancone*

Presidente Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL (2011-2018)

PRESENTAZIONE

Le ultime foreste del Mediterraneo ... sono un monumento alla sopravvivenza e fonte d'ispirazione. Dopo migliaia di anni di tagli e pulizia per l'uso agricolo, sono ancora in piedi e, seppur frammentate, hanno conservato la maggior parte delle specie animali e vegetali originarie. ... Sono rifugio per specie simbolo, protagoniste della nostra letteratura e del nostro immaginario come orsi, lupi e cervi... Ogni cittadino europeo vive ad una distanza di mezz'ora di viaggio da qualche foresta e, spesso, anche più vicino. Per Roma, la capitale d'Italia abitata da milioni di persone, c'è la foresta di Castelporziano¹.

¹ Isotti R. e Cambone A. (2019). *Il popolo Immobile. Le ultime foreste del Mediterraneo*. De Luca Editori D'Arte.

Queste sono le parole con le quali Jared Diamond² ha riassunto l'importanza che queste foreste ricoprono per il bacino del Mediterraneo, in termini di ecosistemi forestali, di biodiversità ma anche di valori socioculturali e identitari di un popolo. In considerazione del grande valore che questi ecosistemi rivestono, la scienza e la politica concorrono insieme, ormai dallo scorso secolo, alla loro conservazione dinamica, ovvero ad una gestione sostenibile dell'ambiente che ne valorizzi le funzioni naturali, culturali-paesaggistiche e socioeconomiche.

L'Unione Europea è impegnata a tal fine, grazie al monitoraggio di tutte queste funzioni da parte di Università, Istituti ed Enti di ricerca. Lo scopo principale consiste nell'individuare i principali fattori di rischio, come i cambiamenti climatici e quelli legati all'impatto antropico sull'ambiente, ma anche nel promuovere lo sviluppo di conoscenze e fattori di sviluppo, sia sociale che economico, connessi alla salvaguardia delle risorse ambientali stesse. Quantificare il capitale naturale d'un territorio e soprattutto tradurre in termini monetari i servizi ecosistemici che esso fornisce alla società rappresenta l'attuale frontiera da raggiungere in modo sistematico.

Già nel 1867 Delpino³, botanico genovese, interlocutore e anche critico di Darwin, sosteneva che la biologia vegetale permette di conoscere le funzioni di

² Professore di Geografia dell'Università della California a Los Angeles

³ Delpino Federico (Chiavari 1833 - Napoli 1905), Prof. di botanica nelle Università di Genova, Bologna e Napoli. Socio nazionale dei Lincei (1900).

È considerato un fondatore della biologia vegetale. (Treccani, Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti, 2020).

relazione degli organismi vegetali, fra di loro e con l'ambiente⁴. Da quel momento gli studi, prima rivolti esclusivamente all'analisi delle evidenze morfologiche, fisiologiche e genetiche, iniziarono a ricercare i rapporti tra i fenomeni e i fattori coinvolti, biotici e abiotici, portando alla nascita dell'ecologia. L'ordine spaziale e temporale che connota la natura ha imposto nel passato ricerche sperimentali che considerassero l'individuo dapprima come isolato (*biologia individuale*), mentre in seguito gli studi si sono orientati a considerare gli individui nel loro insieme (*biologia collettiva*), dando poi luogo allo studio degli ecosistemi. Se l'oggetto di studio specifico è il bosco, considerato fattore di regolazione e risultato della sua stessa vita, la biologia forestale consentiva di ottenere:

*un ragionato coordinamento di approfondite conoscenze relative alla struttura, alla fisiologia, all'evoluzione degli alberi forestali e, in particolare, delle collettività che essi costruiscono e costituiscono*⁵.

Oggi insieme alle indagini sperimentali di dettaglio, è possibile avvalersi di lunghe serie storiche di dati relativi a fattori ambientali o biotici, nonché a dati risultanti da telerilevamento, con immagini satellitari o rilievi laser del territorio, assieme a metodi di analisi di dati, statistiche e modelli matematici. Si tratta di strumenti potenti che consentono di ottenere informazioni ecologiche su scala maggiore, che si riferiscono ad un arco temporale più lungo e che considerano l'interrelazione tra le diverse componenti

⁴ Delpino F., 1867.

⁵ De Philippis Alessandro, 1942.

ecosistemiche. Molti ambienti forestali si sono coevoluti con la società, hanno assolto alle diverse funzioni attribuite loro dall'uomo e allo stesso tempo hanno mantenuto peculiari connotati identitari dei luoghi attraverso la loro resilienza sia ecologica che paesaggistica. In questi ambienti le forme di tutela risultano essere quindi più restrittive e gli studi volti a favorire la loro salvaguardia maggiormente necessari ma più facilmente applicabili.

Queste le tematiche generali intorno alle quali si sviluppa questa tesi, che riguarda l'evoluzione del paesaggio forestale della Riserva di Castelporziano, dai primi riferimenti storici disponibili fino alle previsioni dei possibili scenari futuri. Si sostiene, in particolare, quanto sia importante studiarne l'evoluzione, per garantirne la conservazione soprattutto nel contesto mediterraneo e periurbano in cui la riserva si trova e si sono approfonditi tutti gli argomenti che dimostrano e avvalorano il grande ruolo e il significato che paesaggi di questo tipo hanno assunto trasversalmente in campo ecologico, culturale-identitario e sociale. Nei capitoli che seguono, in effetti, è possibile individuare questi tre campi nei temi di ricerca affrontati e che, sebbene ben distinti, integrandosi fra loro forniscono una visione chiara e olistica del tema affrontato (Tabella 1).

Nel primo capitolo viene delineato lo stato attuale del paesaggio forestale in Europa e in Italia, approfondendo i benefici che esso apporta all'ambiente, al clima e alla società, i fattori di rischio per la sua stabilità, le prospettive di sviluppo, gli oneri derivanti dalle direttive europee che li

riguardano, dal sistema normativo internazionale e nazionale e dunque precisando il suo ruolo sociale e politico.

Nel secondo capitolo si contestualizza la Tenuta di Castelporziano, dotazione del Presidente della Repubblica, inserita nel territorio laurentino, a sud di Roma, che risulta essere un paesaggio forestale resiliente, di notevole importanza ecologica e storico-culturale, sfuggito in parte all'impatto antropico e a quello urbanistico non pianificato. A tal fine è stata condotta una ricerca documentaria, cartografica e fotografica, che ripercorre la storia di questo territorio fin dalle origini, quelle cioè della foresta primigenia narrata nella mitologia classica. Si è potuto porre così in risalto come nel corso dei secoli il territorio abbia conservato sempre un paesaggio forestale incorrotto e rivestito un ruolo importante per la città di Roma. Questo porta a riconoscere la resilienza e il grande valore identitario e culturale.

Nei capitoli tre e nei successivi, il fulcro diviene la foresta attuale, quella preservata nella Tenuta presidenziale di Castelporziano, territorio oggetto di tutela nazionale e unionale, descrivendone i suoi ecosistemi naturali, la sua biodiversità e introducendo i problemi connessi con l'evoluzione del paesaggio forestale, che qui dipendono in buona parte dai processi di rinnovazione del querceto di caducifoglie, l'ecosistema di maggior pregio naturalistico presente e che nel contempo è quello più minacciato nella sua sopravvivenza.

Nel capitolo quattro vengono prese in esame le componenti climatiche e ambientali che influenzano la biologia di questi ecosistemi, vengono esposti i risultati

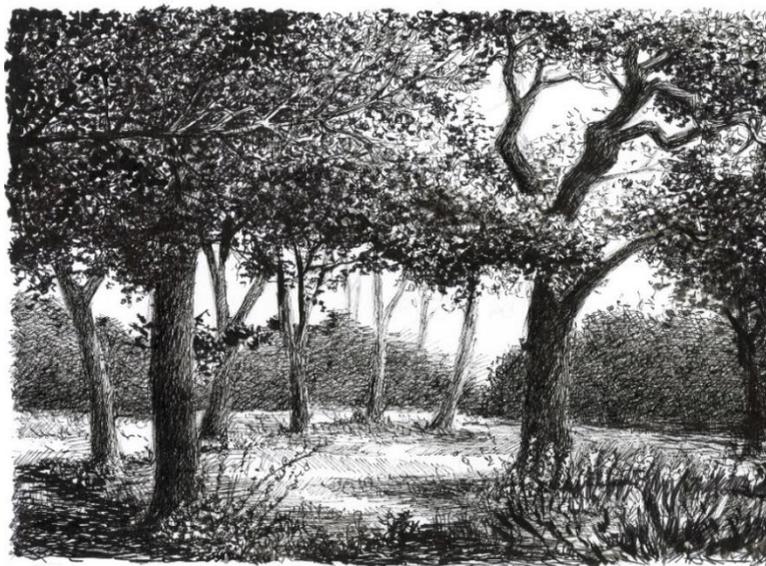
ottenuti dall'elaborazione dei dati giornalieri delle serie storiche relative alle componenti meteo-climatiche e di falda, definendone l'andamento negli ultimi decenni.

Il capitolo cinque affronta la ricerca sperimentale e di dettaglio condotta nel querceto planiziale misto di caducifoglie. A tal proposito viene descritta la rete di monitoraggio permanente allestita per monitorare i fenomeni legati alla rinnovazione naturale del bosco, legati tanto alle componenti fisiologiche della vegetazione arborea, quanto a quelle ecologiche dell'ambiente forestale e degli altri organismi coinvolti, in particolare l'influenza dei cambiamenti globali e della fauna selvatica.

Nell'ultimo capitolo viene esposta un'analisi generale sull'intera classe del querceto di caducifoglie, affrontando il tema del deperimento forestale, i dati storici recuperati e analizzati, quindi la discussione generale dei risultati emersi nella ricerca, infine il loro significato in termini di paesaggio, con riferimento anche agli obiettivi ONU dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, e le possibili azioni da intraprendere: ne risulta quindi un quadro generale e integrato.

<p>Il paesaggio forestale Cap. 1</p>	<p><i>Ricerca generale sul paesaggio forestale in Europa e in Italia, fattori di rischio, elementi di valorizzazione e tutela normativa e legislativa.</i></p>
<p>Il paesaggio laurentino Cap. 2</p>	<p><i>Ricerca storica documentaria, cartografica e fotografica che attesta la resilienza del paesaggio forestale laurentino</i></p>
<p>Le foreste laurentine Cap. 3</p> <p>Le serie storiche di dati ambientali Cap. 4</p> <p>La rinnovazione forestale Cap. 5</p>	<p><i>Ricerca inerente alle attuali foreste laurentine, quelle della Tenuta presidenziale di Castelporziano, gli ecosistemi naturali conservati, la biodiversità e le problematiche connesse con l'evoluzione del paesaggio forestale; l'elaborazione e l'analisi delle serie storiche di dati climatici e ambientali, il monitoraggio permanente e l'indagine di dettaglio sui processi di rinnovazione del querceto di caducifoglie.</i></p>
<p>Conclusioni e prospettive a scala paesaggistica Cap. 6</p>	<p><i>Il deperimento del querceto di caducifoglie; discussione dei risultati del monitoraggio della rinnovazione naturale, discussione e conclusioni generali sulle dinamiche del paesaggio forestale e sulle azioni da promuovere.</i></p>

Tabella 1 Prospetto sintetico del iter seguito nella ricerca.



I IL PAESAGGIO FORESTALE

1.1 Una sintesi di natura e cultura

L'uomo fin dall'antichità è intervenuto sul territorio plasmandolo e trasformandolo in modo da renderlo più idoneo alle proprie necessità, così come scrive Giambattista Vico nella sua opera più celebre, la *Scienza nuova*: “*procedette, che prima furon le selve, dopo i tuguri, quindi i villaggi, appresso le città, finalmente l'accademie*”⁶. Adeguaendo il suo ambiente, l'uomo crea il paesaggio, o meglio una Seconda Natura, come sosteneva Cicerone:

Terrenorum item commodorum omnis est in homine dominatus: nos campis, nos montibus fruimur, nostri sunt amnes, nostri lacus, nos fruges serimus, nos arbores; nos aquarum inductionibus terris fecunditatem damus, nos flumina arcemus, derigimus, avertimus; nostris denique manibus in rerum natura quasi alteram naturam efficere conamur.

Così di tutte le cose utili che provengono dalla terra, l'uomo è signore incontrastato: godiamo dei vantaggi delle pianure, dei monti; nostri sono i fiumi e i laghi siamo noi che seminiamo il frumento e piantiamo gli alberi, diamo fecondità alla terra con opere di canalizzazione e di irrigazione, tratteniamo i fiumi

⁶ Vico G., *La scienza nuova*, Tipografia economica, 1852, Libro Primo, LXV. L'opera fu pubblicata in prima edizione nel 1725 con il titolo completo: *Principi di una scienza nuova intorno alla natura delle nazioni per la quale si ritrovano i principi di altro sistema del diritto naturale delle genti*.

nel loro letto, ne raddrizziamo e deviamo il corso, e infine con le nostre mani tentiamo di creare in seno alla natura una specie di seconda natura⁷.

Il concetto di paesaggio è apparso però intorno alla fine del 1400, e ha subito in Europa una rapida evoluzione di significato che nel XX e XXI secolo si è resa evidente in ambito legislativo. In Italia, infatti, dopo la Grande Guerra del 1915-1918 fu emanato il Regio Decreto 3267/1923, un testo che ha esercitato la propria influenza sul territorio fino agli anni Settanta e che tutelava intere aree in funzione del rischio idrogeologico. Successivamente Benedetto Croce ha spostato l'attenzione "vincolistica" verso le bellezze paesaggistiche, portando alla legge del 1939⁸ che introduceva il vincolo puntiforme, sulle "bellezze panoramiche considerate come quadri naturali", con un criterio in primo luogo estetico ma anche "a causa del loro notevole interesse pubblico". Il paesaggio era quindi concepito in una visione idealistica, profondamente connessa alla rappresentazione artistica, dalla quale ne scaturiva anche l'interesse pubblico e sociale. Nel 1985, il vincolo da singoli beni paesaggistici, legati all'idea di "bel

⁷ Cicerone M. T., *De natura deorum* II, 60, 150-152.

⁸ Legge n. 1497/1939, Gazzetta Ufficiale n. 241 del 30 giugno 1939 Art. 1 comma 4 "le bellezze panoramiche considerate come quadri naturali e così pure quei punti di vista o di belvedere, accessibili al pubblico, dai quali si goda lo spettacolo di quelle bellezze".

paesaggio”, si estese a intere categorie⁹ di beni naturali assumendo di fatto la forma di un vincolo ambientale, di tutela di aree estese indipendentemente dal loro valore estetico. Di fatto è solo nel 2000, con la Convenzione Europea del Paesaggio¹⁰, che in Italia si sono poste le basi per una definizione giuridica di quest’ultimo. La Convenzione ha permesso di superare il concetto legato ad un’individuazione soggettiva delle bellezze panoramiche, a tratti di particolare eccezionalità, considerandolo un’espressione di caratteri specifici dei luoghi e pertanto legato all’intero territorio¹¹.

Nel 2004 il Codice Urbani ha colmato il vuoto giuridico e introdotto nella normativa nazionale la prima definizione di paesaggio¹², considerato oggi come il risultato congiunto di natura, storia e delle azioni con le quali l’uomo modifica l’ambiente in cui vive: un’idea del tutto coerente con quanto già in età romana Cicerone definiva “seconda natura”.

⁹ Legge 431/1985 recepisce integralmente il Decreto Galasso D.M. del 21/09/1984 e ne aumenta la portata vincolando intere categorie di beni come zone umide incluse nella Convenzione internazionale di Ramsar (D.P.R. 13 marzo 1976 n. 448), vulcani, aree archeologiche, aree boscate, montagne alpine oltre i 1600 metri di quota e appenniniche oltre i 1200 metri.

¹⁰ La Convenzione è stata ratificata dall’Italia nel 2004 ed è entrata in vigore dal 1° settembre 2006 con la Legge n. 14.

¹¹ Corrado G., 2012.

¹² Decreto legislativo n. 42/2004, Art. 131 integrato e sostituito dall’Art. 2 comma 1 D.Lg.vo 26 marzo 2008, n°63: “per paesaggio si intende il territorio espressivo di identità, il cui carattere deriva dall’azione di fattori naturali, umani e dalle loro interrelazioni”.

Il paesaggio si è sempre evoluto nel corso della storia e alcuni eventi, come la prima rivoluzione agricola 10.000 anni fa, quella industriale nel '700 o il progresso tecnologico del '900, hanno portato a profonde modifiche e, come affermato da Carl Sauer nel 1926, quando un gruppo culturale modella un paesaggio naturale ne origina uno culturale¹³. Tra questi, quelli "agricoli tradizionali" sono un esempio in cui l'agricoltura ha permesso di creare "paesaggi sostenibili", di grande pregio tanto ecologico-funzionale quanto estetico, apprezzato fin dal XVI secolo da viaggiatori del Grand Tour come Stendhal e Goethe. Oggi le forme di tutela e la sensibilità ecologica, diffusa trasversalmente nella società, potrebbero delineare nuove forme di paesaggi sostenibili e apprezzabili.

Quelli "agrari tradizionali" sono dei paesaggi culturali di particolare valore, innanzitutto per la loro natura irriproducibile, essendo testimonianze dell'eredità che sta alla base della loro creazione. Infatti, la forma dei luoghi che li caratterizza deriva dalle pratiche agricole storicamente tramandatesi e che ne garantiscono il mantenimento. In Geografia sono stati descritti come aventi "una struttura distinta, di alto valore naturale, culturale, estetico e che si evolvono molto lentamente o per nulla¹⁴".

¹³ Sauer C. O., 1925: "Il paesaggio culturale è forgiato da un paesaggio naturale ad opera di un gruppo culturale. La cultura è l'agente, gli elementi naturali sono il mezzo, il paesaggio culturale è il risultato".

¹⁴ Antrop M., 1997.

In Italia si distinguono dai loro corrispettivi europei per il forte carattere storico che hanno assunto nel tempo con il susseguirsi di diverse civiltà: costruzioni, specie e tecniche colturali eterogenee, dovute perlopiù a condizioni territoriali difficili oltre che all'affermazione di diverse identità sociali¹⁵. Tali paesaggi culturali si configurano come luoghi di agricoltura multifunzionale, non solo perché ne rappresentano l'identità, ma anche per il mantenimento della qualità ambientale e di un presidio stabile nelle aree rurali. La loro complessità emerge anche nel mosaico paesaggistico molto eterogeneo, con numerosi usi del suolo, composto da differenti tessere colturali intrecciate e collegate tra di loro da lembi di naturalità residua che ne assicurano l'efficacia produttiva ed ecologica. Dal punto di vista ambientale, i paesaggi agrari tradizionali sono infatti "paesaggi sostenibili" con ridotte emissioni di gas serra, tecniche di gestione volte al risparmio dell'acqua, al riutilizzo dei residui organici per preservare la fertilità del suolo, scarso uso di agro-farmaci, salvaguardia di biodiversità animale e vegetale. Un livello elevato di biodiversità è una condizione essenziale per la funzionalità degli ecosistemi e per gli innumerevoli servizi ecologici che svolge, come ad esempio il mantenimento del ciclo dei nutrienti, la regolazione del microclima, degli assetti

¹⁵ Agnoletti M., 2010.

idrologici locali, la soppressione di organismi nocivi e la detossicazione di contaminanti¹⁶.

Fino alla metà del '900 i sistemi produttivi basati su tecniche di policoltura, o in generale sull'apporto minimo di energie esterne al sistema, garantivano la conservazione della fertilità del suolo: ad esempio non si interveniva profondamente per modificare l'assetto del territorio, ma si seguiva la pendenza per le sistemazioni idrauliche, per il consolidamento dei versanti o per la coltivazione in zone acclivi con i terrazzamenti¹⁷.

Ogni intervento dell'uomo sul territorio è stato mosso da una necessità o dalla possibilità di ottenere dei vantaggi, non a caso Emilio Sereni già nel 1961 definiva il paesaggio agrario come *"quella forma che l'uomo, nel corso e ai fini delle sue attività produttive agricole, coscientemente e sistematicamente imprime al paesaggio naturale"*¹⁸.

Il paesaggio rurale (Figura 1), legato alla produzione, tanto agraria che forestale, è dinamico nel tempo poiché soggetto a fenomeni naturali fisici o biologici, all'evoluzione tecnologica, a fattori economici e sociali nonché culturali che possono modificare l'assetto generale¹⁹.

¹⁶ Altieri M. A., 1999.

¹⁷ Calcagno Maniglio A., *Conoscenza e analisi del paesaggio*, in Fondamenti culturali- Ordine degli Architetti di Roma e Provincia.

¹⁸ Sereni E., 1961.

¹⁹ Barbera G., Biasi R., Marino D., 2014.



Figura 1 Andrea Petroni *La raccolta delle olive*, rappresentazione di tecniche antiche. Sala Cavour, ex Sala dei Consigli Superiori, Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali (Foto Piccinno M.).

Su questo è emblematico il mutamento che la gestione agro-forestale italiana ha avuto negli anni Cinquanta con l'avvento di nuove tecnologie, il cambio degli stili di vita e l'esodo dalle campagne che hanno portato ad un sostanziale cambiamento nel paesaggio²⁰. Si sono così diffusi sistemi monocolturali in collina e pianura, dove era possibile un'agricoltura specializzata e meccanizzata, economicamente più vantaggiosa, mentre sono stati abbandonati i sistemi policolturali e in generale l'agricoltura nelle zone montane²¹. La gestione forestale si è avvalsa della meccanizzazione, di un'adeguata infrastruttura viaria oppure, in molte aree economicamente non più vantaggiose, ha subito un notevole rallentamento o abbandono. I processi di trasformazione hanno comportato soprattutto una riduzione della complessità dello scenario paesaggistico, una semplificazione dei processi produttivi e una riduzione delle funzioni ecologiche. I caratteri tradizionali del paesaggio agro-forestale si configurano quindi in

²⁰ Tassinari P., 2010.

²¹ Bevilacqua P., 1985.

complessità e resilienza²², quest'ultima espressione diretta della *capacità*, ovvero del grado di cambiamento che può subire senza effetti negativi²³. Da questi fenomeni storici ha avuto inizio la graduale scomparsa dei paesaggi storici della tradizione agro-pascoliva e forestale italiana, rendendo evidenti gli effetti dell'abbandono, come il degrado del suolo, e delle forme estensive di gestione del territorio, come la frammentazione ²⁴ degli ecosistemi naturali, la discontinuità degli habitat ²⁵ e la crescita delle superfici urbanizzate²⁶ principalmente su suoli agricoli²⁷.

Oggi è ormai consolidata l'importanza di questi paesaggi, che le istituzioni puntano a valorizzare e conservare in campo internazionale, per prima l'UNESCO con i Paesaggi Culturali (*Cultural Landscapes*), che rappresentano "*the combined works of nature and of man*"²⁸, oppure la FAO²⁹ che tutela paesaggi ricchi in biodiversità, di particolare interesse estetico e storico-culturale grazie alla continuità di tecniche agricole tradizionali.

²² Gibelli G., 2008.

²³ Swanwick C., 2002.

²⁴ Farina A., 2001.

²⁵ Biasi R., 2014.

²⁶ Ripa M. N., Ciapanna F., Filibeck G., Gobattoni F., Leone A., Pelorosso R., Piccinno M., Recanatesi F., 2013.

²⁷ Munafò M. (ISPRA), 2018.

²⁸ Programma UNESCO WHL (World Heritage Convention), riconosce e protegge dal 1992 i Paesaggi Culturali. Articolo 1 della Convenzione.

²⁹ Programma FAO GIAHS (Globally Important Agricultural Heritage Systems), adottato dal 2002, durante la World Summit on Sustainable Development (WSSD, Johannesburg, South Africa).

Nel contesto italiano è stato istituito il Registro nazionale dei paesaggi rurali storici³⁰, con lo scopo di censire e valorizzare questi luoghi che le attività agricole, forestali e pastorali hanno delineato nel corso della storia³¹. Si tratta quindi di aree che risultano stabilizzate, o che evolvono molto lentamente, generalmente legate all'impiego di pratiche e tecniche caratterizzate da un ridotto impiego di energie sussidiarie esterne, sia in termini di irrigazione e meccanizzazione, che di concimazioni chimiche e di agrofarmaci. Tale concetto è riferibile anche ai paesaggi forestali, i quali nel nostro Paese rappresentano il risultato di pratiche tradizionali e forme di gestione³² che hanno modificato le condizioni di densità, struttura e composizione specifica, tipiche delle formazioni naturali³³.

Non a caso per l'inclusione nel Registro vengono valutati tre aspetti: "significatività", "integrità" e "vulnerabilità". La significatività, in particolare, rimanda all' "eccezionale valore universale" descritto dalla Convenzione UNESCO, ma nello specifico si riferisce all'insieme dei valori espressi e riconducibili ai concetti di persistenza, unicità e della stessa

³⁰ Il Decreto n. 17070 del 19 novembre 2012, relativo all'istituzione dell'Osservatorio Nazionale del Paesaggio rurale, delle pratiche agricole e conoscenze tradizionali (ONPR), ha contestualmente previsto, all'articolo 4, l'istituzione del "*Registro nazionale dei paesaggi rurali di interesse storico, delle pratiche agricole e delle conoscenze tradizionali*".

³¹ Agnoletti M., 2010.

³² Moreno D., 1988.

³³ Piussy P., 1994.

integrità³⁴. L'integrità si riferisce allo stato di conservazione di tutti gli elementi che definiscono il valore storico e quindi fornisce una misura del grado di mantenimento della sua struttura.

La vulnerabilità infine non è legata alla qualità ma alla sua stabilità e, quindi, è un indicatore della possibilità che il paesaggio si mantenga integro nel futuro.

Blondel e Arason riguardo alle regioni mediterranee affermano che "a parte alcune remote regioni montane, è molto difficile trovare un metro quadrato che non sia stato ripetutamente manipolato e ridisegnato dall'uomo, dalla presenza di 300 generazioni di agricoltori"³⁵. Come è noto il territorio italiano è ricchissimo di paesaggi culturali che, come si è detto, oggi vengono individuati, definiti e tutelati, in quanto ormai legati all'identità del luogo, al modo in cui lo si rappresenta e lo si percepisce nel suo insieme³⁶. Essi sono quindi corredati da una valenza culturale, tanto estetica, sostenuta dalla percezione di chi lo vive, quanto etica poiché rappresentativa d'identità, ovvero del legame culturale tra abitanti e territorio. Tutte le istituzioni nazionali e internazionali sono concordi non solo nel tutelare i paesaggi e le tecniche gestionali di tipo tradizionale, ma di

³⁴ La persistenza riguarda la possibilità di individuare nel paesaggio contemporaneo assetti paesaggistici riconducibili ad epoche precedenti; l'unicità fa riferimento al contesto storico e territoriale e può essere relativa alla presenza di singoli elementi o alla compresenza di tutti gli elementi di un sistema agrario del passato.

³⁵ Blondel J. e Arason J., 1999.

³⁶ Antrop M., 2005.

applicare i principi della “conservazione dinamica”, cioè di sfruttare tali tecniche per uno sviluppo sostenibile delle aree interessate facendone diventare quindi il paesaggio il loro motore. Infatti, la multifunzionalità insita in questi sistemi tradizionali risulta strategica nella competitività delle attività agro-forestali, viste non più solo come volte alla produzione di beni, ma anche come mezzo di difesa dell’ambiente, di salvaguardia delle risorse naturali, di tutela del patrimonio culturale e di presidio dei luoghi³⁷. Il valore ambientale che questi sistemi tradizionali sono in grado di preservare ha assunto una maggiore centralità con la Legge n. 221/2015 che istituisce il Comitato Nazionale per il *Capitale Naturale*, in conformità agli obiettivi mondiali dettati dall’Agenda 2030 dell’ONU e dalla Strategia nazionale relative allo Sviluppo Sostenibile³⁸.

Anche il recente Testo unico in materia di foreste³⁹ riconosce il patrimonio forestale nazionale come parte del capitale naturale nazionale, come bene di rilevante interesse pubblico da tutelare e valorizzare per la stabilità e il benessere delle generazioni presenti e future (Art.1).

La maggiore consapevolezza culturale su tutto ciò che di fatto costituisce il Capitale Naturale e sulla sua centralità per la conservazione dell’ambiente, ha contribuito e

³⁷ Biasi R., 2014.

³⁸ Vedi Capitolo I, Paragrafo 1.4, pag.58.

³⁹ Decreto Legislativo 3 aprile 2018, n. 34. Testo unico in materia di foreste e filiere forestali. Gazzetta Ufficiale n. 92, Anno 159°, 20 Aprile 2018.

contribuirà a cambiare il rapporto dell'uomo con la natura, infatti come sostiene Paolo D'Angelo:

L'esperienza estetica nella natura, come l'esperienza estetica in genere, non è semplice percezione sensibile perché è anche sempre una riserva di esperienza, una dilatazione di essa, [...] un intreccio di natura e storia che si lega anche alla dimensione immaginativa⁴⁰ di esso.⁴¹

L'esperienza estetica nella natura, legata non solo alla percezione sensibile ma allo stesso tempo anche ad altri aspetti storici, culturali e scientifici, è ormai consolidata nelle normative e nelle istituzioni che tutelano il paesaggio: oggi giorno in effetti “un paesaggio inquinato non è considerato un bel paesaggio e viceversa”, oppure “l'impatto visivo o uditivo che producono i generatori eolici nella coscienza civile si associa ormai all'idea di salubrità dell'aria”⁴². Questa visione è legata all'attuale epoca storica e sarebbe apparsa incomprensibile nell'antichità greca o romana, nell'Ottocento o finanche nella prima metà del secolo scorso⁴³, quando il valore di un paesaggio era legato puramente alla bellezza in quanto “quadro naturale” indicata dalla Legge del 1939⁴⁴.

⁴⁰ Brady E., 2003.

⁴¹ D'Angelo P., 2010.

⁴² Rosenthal E., *Ancient Italian Town Has Wind at Its Back*, New York Times, 29 settembre 2010.

⁴³ D'Angelo P., 2010.

⁴⁴ Legge n. 1497/1939, Gazzetta Ufficiale n. 241 del 30 giugno 1939.

La ragione principale di questo cambiamento è sicuramente legata alle emergenze ambientali ed ecologiche⁴⁵ che hanno assunto un valore centrale nella società: probabilmente il tempo permetterà di avere anche un apprezzamento puramente estetico che prescindendo dall'idea, o meglio dalla memoria storica di un luogo⁴⁶.

Le comunità scientifica e politica italiane ricoprono quindi un ruolo centrale nel definire le strategie di buon governo del territorio, garantendo la tutela dell'ambiente e allo stesso tempo la conservazione dinamica dei luoghi, in funzione della sostenibilità ecologica e della salvaguardia del paesaggio⁴⁷, secondo quanto stabilito dalla Costituzione Italiana⁴⁸.

⁴⁵ Della Tutela, Ministero dell'Ambiente, e del Territorio, e del Mare. *La strategia Nazionale per la Biodiversità*, 2010.

⁴⁶ Venturi Ferriolo M., 2004.

⁴⁷ Tollì M., Recanatesi F., Piccinno M., Leone A., 2016.

⁴⁸ Costituzione della Repubblica italiana, Senato della Repubblica. Roma, 2012. Art. 9 "La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione".

1.2 La vulnerabilità ai cambiamenti climatici

È ormai acclarato, dalle discipline più trasversali, quanto i cambiamenti climatici, per via diretta o indiretta, stiano esercitando una pressione sugli ecosistemi del nostro pianeta e dunque sui paesaggi che ne conseguono.

La valutazione dei cambiamenti climatici, grazie a studi sia sul clima che sulla circolazione atmosferica locale, permette di evidenziare anche gli effetti sulla vegetazione, sulla fauna, sullo stato idrogeologico del suolo, anche in conseguenza della variazione dei tassi di inquinamento legati alle attività antropiche.

Il cambiamento climatico causato dall'uomo è il risultato di emissioni di gas serra⁴⁹ dovute alle attività antropiche. L'Unione Europea cerca di promuovere gli sforzi globali per combattere il cambiamento climatico e ridurre le emissioni di gas serra. L'obiettivo centrale dell'Accordo di Parigi sul cambiamento climatico, entrato in vigore il 4 novembre 2016, è quello di mantenere l'aumento della temperatura globale al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali e proseguire gli sforzi per limitare l'aumento di temperatura a 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali.

⁴⁹ Gli stati europei segnalano annualmente all'UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change* ovvero la Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici) in appositi inventari le emissioni di origine antropica di sei gas serra. I sei gas serra, disciplinati dal protocollo di Kyoto del 1997, sono il biossido di carbonio (CO₂), il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O), gli idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) e esafluoruro di zolfo (SF₆).

In UE gli inventari dei gas serra degli Stati membri sono raccolti dall'Agenzia Europea dell'Ambiente⁵⁰, per conto della Commissione Europea, Direzione Generale per il Clima. Eurostat contribuisce alla convalida degli inventari dei gas serra e ad analisi statistiche.

Nel 2016 le emissioni totali di gas serra sono state di 4.4 miliardi di tonnellate di CO₂ mentre erano 5,7 miliardi di tonnellate nel 1990, con un decremento di 1,3 miliardi tonnellate, o il 22%⁵¹. L'UE è riuscita a raggiungere l'obiettivo di una riduzione del 20% prevista per il 2020. L'obiettivo per il 2030, di una riduzione delle emissioni di gas serra di almeno il 40% rispetto ai livelli del 1990, implica che questa tendenza al ribasso debba essere mantenuta e aumentata. Tuttavia, non è scontato che si riuscirà a garantirla dato che le emissioni negli ultimi 3 anni dal 2014 al 2017 sono in lieve aumento⁵² (Figura 2).

Le emissioni di gas serra riportate nei grafici sono tutte dovute alle attività umane. Quindi, si potrebbe affermare che esse siano direttamente proporzionali al numero di abitanti e alle attività economiche per produrre beni e servizi. In realtà, mentre le emissioni di gas serra per persona sono diminuite del 22% negli ultimi 20 anni (1995-2016), la popolazione è aumentata del 6%⁵³.

⁵⁰ Agenzia Europa per l'Ambiente o, in inglese, European Environment Agency (EEA).

⁵¹ Banca dati Eurostat, codice online: *env_air_gge*.

⁵² Eurostat, Climate change – driving forces Statistics Explained, Agosto 2018.

⁵³ Eurostat, Climate change – driving forces Statistics Explained, Agosto 2018. (<https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/>)

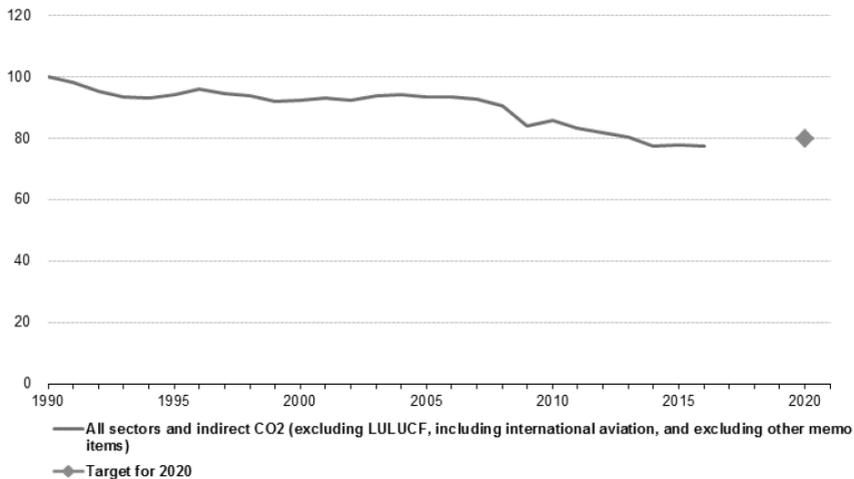


Figura 2 Emissioni di gas a effetto serra, EU-28, 1990-2016 (indice 1990 = 100). Fonte: EEA, Eurostat.

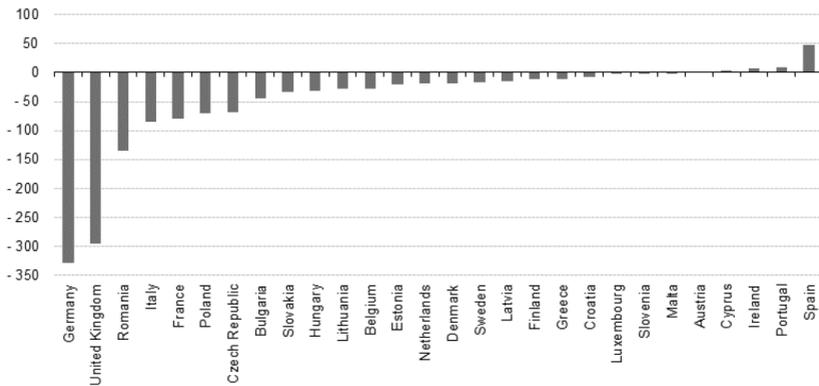


Figura 3 Emissioni di gas serra per paese, variazione assoluta 1990-2016 (milioni di tonnellate). Fonte: EEA, Eurostat.

Il forte calo delle emissioni di gas serra nel corso del 2009 è sicuramente correlato alla recessione economica, ma il calo generale nell'andamento delle emissioni di gas serra non può essere attribuito principalmente a un calo dell'attività economica. Infatti, i cambiamenti devono essere stati nelle modalità con cui queste attività antropiche sono state svolte, poiché anche con una quasi continua crescita economica e un aumento della popolazione, le emissioni di gas serra si stanno riducendo (Figura 3).

Il Gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici⁵⁴, ha definito le emissioni di gas serra ripartite in relazione ai settori di origine (Figura 4).

Oltre i tre quarti delle emissioni di gas serra sono dovuti alla combustione di carburante: ciò include la combustione per generare elettricità e calore, produrre beni, costruire infrastrutture e per il trasporto di merci e persone. Tra i carburanti, il contributo maggiore alle emissioni di gas serra è dovuto alla combustione di quelli di origine fossile.

⁵⁴ IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change è il principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici. È stato istituito nel 1988 dalla World Meteorological Organization (WMO) e dall'United Nations Environment Program (UNEP) come uno sforzo da parte delle Nazioni Unite per fornire ai governi di tutto il mondo una chiara visione scientifica dello stato attuale delle conoscenze sul cambiamento climatico e sui suoi potenziali impatti ambientali e socioeconomici.

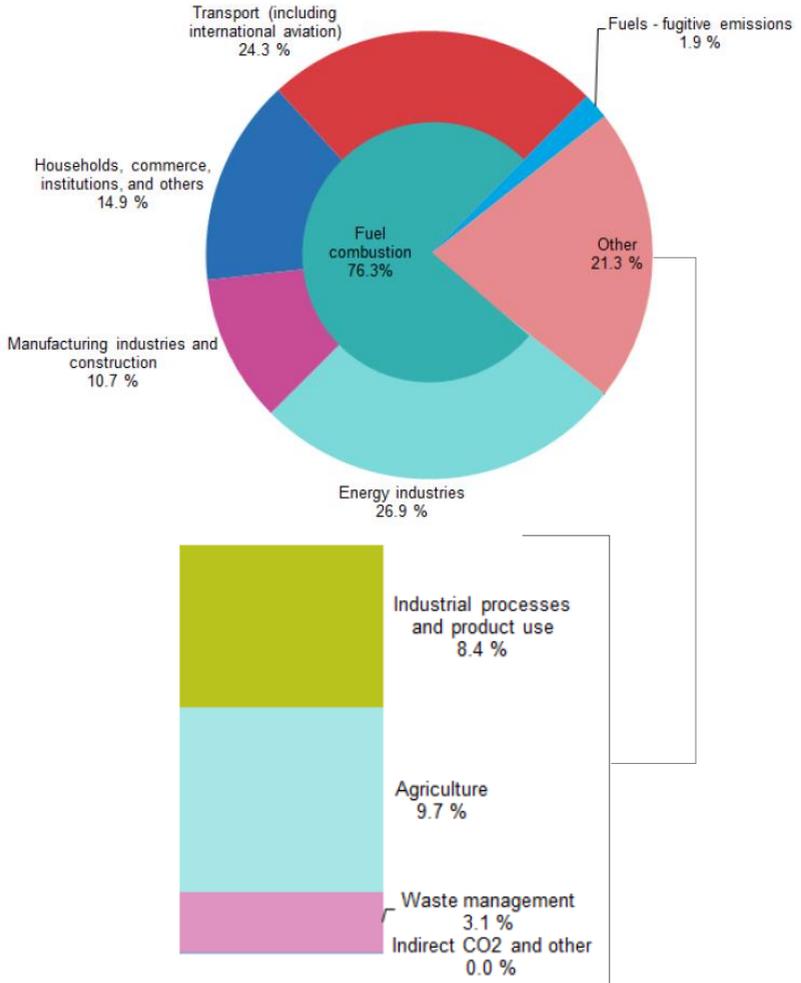


Figura 4 Emissioni di gas serra per fonte, UE-28. (Pubblicato da Eurostat, IPCC, 2016).

Nel complesso le emissioni di gas serra sono in calo e ciò vale per la maggior parte dei settori di origine, ad eccezione dei trasporti, inclusa l'aviazione, che hanno avuto un aumento delle emissioni di 223 milioni di tonnellate, pari al 26%, rispetto al 1990. Il più grande calo delle emissioni invece si è verificato nella combustione di carburante da parte delle industrie energetiche.

L'Agenzia Europea per l'ambiente calcola le emissioni di gas serra⁵⁵ anche per un ambito in cui esse assumono un valore negativo, ovvero vengono rimosse dall'atmosfera. Questo ambito è chiamato *Uso del suolo, cambiamento dell'uso del suolo e selvicoltura*⁵⁶, comunemente indicato con l'acronimo inglese LULUCF. La selvicoltura è la ragione per cui le emissioni sono negative. A seconda dello scopo, queste emissioni sono incluse o escluse dai rapporti sulle emissioni globali. Solo dal 14 maggio 2018 è entrato in vigore il regolamento per l'inclusione di queste emissioni di gas serra nel quadro europeo su clima ed energia per 2030. Il principio è quello del debito zero: le emissioni derivanti dall'uso del suolo dovranno essere compensate dalla rimozione di anidride carbonica dall'atmosfera per mezzo di azioni in questo stesso settore. Nella proposta sull'integrazione di LULUCF nella politica climatica dell'UE, la probabile eccedenza media annua di rimozione di emissioni di CO₂ nel settore LULUCF senza misure aggiuntive, si stima sia limitata a meno di 20 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno a livello di UE-28 su terreni

⁵⁵ Le emissioni di questi gas sono ricalcolate ed espresse come equivalenti di CO₂.

⁵⁶ In inglese: Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF)

agricoli. Si stima che quest'accumulo aumenterà ad oltre 90 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente all'anno se saranno intraprese azioni aggiuntive su terreni agricoli e politiche di rimboschimento. Nel settore LULUCF si è avuta in media una riduzione delle emissioni di gas serra del 6%, dal 4,5% nel 1990 al 7,2% nel 2014.

Dei diversi usi del suolo, l'unico serbatoio⁵⁷ (*sink*) di gas serra nell'inventario europeo è la foresta. Per *serbatoio* s'intende qualunque elemento presente nell'ambiente, che svolge un ruolo importante per assorbire una parte dell'anidride carbonica (CO₂) generata dalle attività umane. Pozzi naturali di assorbimento o *carbon sink* sono la vegetazione, il suolo e gli oceani. Questi ultimi sono in grado di assorbire fino a un terzo di tutte le emissioni di CO₂ presenti nell'atmosfera. La capacità di assorbimento dei pozzi naturali è condizionata dall'attività antropica, che può ridurla (l'aumento delle temperature sta alterando in misura negativa le capacità di assorbimento degli oceani) o aumentarla (azioni di imboschimento e di gestione forestale). Le foreste, quindi, in particolare i prodotti raccolti dalla filiera del legno, svolgono un ruolo importante nella mitigazione delle emissioni di gas serra. Per tutti gli altri usi del suolo, come terreni coltivati, pascoli, zone umide e insediamenti, si registrano valori positivi di emissioni, anche

⁵⁷ Per serbatoio di carbonio (*carbon sink*) si intende la riserva di CO₂ assorbita e immagazzinata dal terreno e dagli oceani con la normale attività connessa sia alla fotosintesi che ad attività di altro tipo (Giuffrida R., 2012).

se pascoli e zone umide lasciati indisturbati possono diventare un *serbatoio*⁵⁸.

La strategia forestale dell'Unione Europea 2014-2020 mira a promuovere il concetto di gestione forestale sostenibile, con lo scopo di salvaguardare e raggiungere lo sviluppo equilibrato delle funzioni delle foreste e l'uso efficiente delle risorse. In questo modo si sostiene il ruolo delle foreste nelle diverse priorità dell'UE, tra cui la politica di sviluppo rurale, le politiche ambientali e sul clima (in particolare la biodiversità e la mitigazione dei cambiamenti climatici), la fornitura di servizi ecosistemici (come acqua e aria pulita, o il controllo dell'erosione), la crescita sostenibile e il lavoro nelle zone rurali⁵⁹.

Questa strategia UE invita gli Stati membri a dimostrare come intendono aumentare il potenziale di mitigazione, la capacità di adattarsi e la resilienza delle proprie foreste.

La gestione delle foreste e i diversi usi del legname raccolto svolgono un ruolo cruciale nella regolamentazione della concentrazione di CO₂ atmosferica. Le analisi statistiche sulle foreste rilevano come l'area forestale totale all'interno dell'UE-28 è aumentata dal 1990 al 2015.

Considerando che le foreste (Figura 5) sono giunte a coprire nel 2015 oltre il 40% della superficie terrestre dell'UE (215'267'000 ha in Europa e 160'931'000 ha nell'Unione

⁵⁸ Eurostat, Climate change – driving forces Statistics Explained, Agosto 2018.

⁵⁹ Council of the European Union, New EU Forest strategy, 9944/14, 19 May 2014, Brussels.

Europea)⁶⁰ e sono tutte gestite, è indiscutibile il ruolo della silvicoltura nella mitigazione dei cambiamenti climatici.

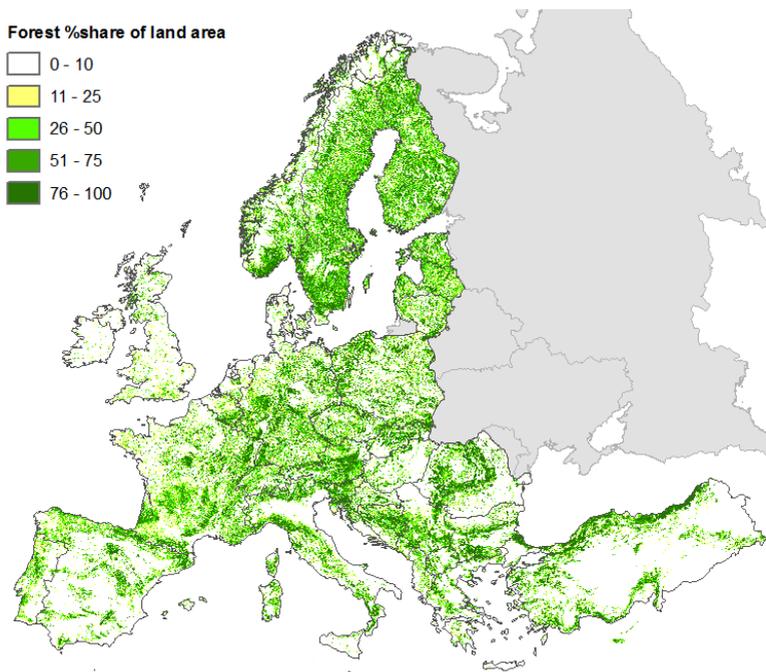


Figura 5 Mappa della copertura delle foreste in Europa del EC Joint Research Centre⁶⁵ della Commissione Europea (Kempeneers et al. 2011).

Le foreste in Europa rimuovono fino al 10,4% delle emissioni totali di gas serra dell'UE ogni anno e, quando si aggiunge anche il carbonio immagazzinato nei prodotti legnosi raccolti, fino all'11,1%⁶¹. Il serbatoio di carbonio correlato alle foreste gestite dipende dal bilancio tra le

⁶⁰ FOREST EUROPE, 2015: State of Europe's Forests 2015. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe.

⁶¹ Eurostat, Forestry and climate change. Statistics Explained, September 2018.

utilizzazioni forestali e i tassi di incremento (accumulo di carbonio nella biomassa forestale come risultato della crescita dell'albero). Nel 2030, si prevede un aumento delle utilizzazioni forestali dai 516 milioni di m³ del 2005 a 565 milioni di m³, a causa della crescente domanda di legno come materiale e come fonte di energia. Insieme all'invecchiamento delle foreste dell'UE (che riduce la capacità delle foreste di sequestrare carbonio), si prevede che gli incrementi diminuiranno da 751 milioni di m³ nel 2005 a 725 milioni di m³ nel 2030. Di conseguenza, il tasso di accumulo di carbonio e quindi il principale componente del *serbatoio* delle foreste gestite diminuirà del 32% fino al 2030. Questo dovrebbe essere parzialmente compensato dall'aumento della rimozione di carbonio per via dei rimboschimenti e da una riduzione delle emissioni conseguenti alla deforestazione, stimata da 63 MtCO₂ e nel 2005 a 20 MtCO₂ e nel 2030⁶².

La regione mediterranea può essere considerata un caso studio ideale per il cambiamento climatico, giacché vi si riscontrano anomalie di piogge a lungo termine, di eventi estremi di precipitazione, di riscaldamento locale e ondate calde ricorrenti. Secondo gli scenari di Sala et al. (2000), gli ecosistemi di questa regione subiranno il maggior cambiamento in biodiversità. Le ricerche hanno già riscontrato un aumento di aridità, soprattutto in primavera ed estate⁶³.

⁶² European Environment Agency, *Trends and projections in Europe 2018. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets*. EEA Report 16/2018, ISSN 1977-8449.

⁶³ Salvati et al., 2015.

Ai cambiamenti climatici è profondamente connesso il fenomeno della desertificazione, ovvero *“il degrado delle terre aride, semi-aride e sub-umide secche attribuibile a varie cause tra cui le variazioni climatiche e le attività umane”*⁶⁴. Secondo l’ultimo Atlante mondiale sulla desertificazione elaborato dal *Joint Research Centre* dell’UE⁶⁵, essa interessa l’8% del territorio europeo, circa 14 milioni di ettari. Questo fenomeno colpisce tredici Stati membri: oltre all’Italia, Bulgaria, Cipro, Croazia, Grecia, Lettonia, Malta, Portogallo, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna e Ungheria. Nel 2019, in occasione della Giornata mondiale per la lotta alla desertificazione⁶⁶, è stato riconfermato che questo fenomeno colpisce un quinto del territorio nazionale, quasi il 21 %, il 41% del quale si trova nelle regioni meridionali come Molise, Campania, Basilicata, Puglia, Sardegna e Sicilia, ma interessa anche regioni come l’Emilia-Romagna, le Marche, l’Umbria

⁶⁴ Articolo 1, comma A, UNCCD (United Nations Convention To Combat Desertification), Convenzione per la Lotta contro la Desertificazione delle Nazioni Unite.

⁶⁵ Il Joint Research Centre, o Centro comune di ricerca, è il servizio scientifico interno della Commissione europea. Fornisce un supporto al processo decisionale dell’UE mediante consulenze scientifiche indipendenti e basate su prove concrete.

⁶⁶ Il 17 giugno è la Giornata mondiale per la lotta alla desertificazione, indetta nel 1995 dalle Nazioni Unite per ricordare l’adozione a Parigi il 17 giugno 1994 della Convenzione per la Lotta alla Desertificazione. L’Italia ha ratificato la sua adesione alla Convenzione nel 1997, in veste di paese sia donatore che affetto dalla desertificazione. Il Comitato Nazionale di Lotta alla Siccità e alla Desertificazione (CNLSD) è stato istituito nel 1997 dal Ministero dell’Ambiente con il compito di coordinare l’attuazione della Convenzione in Italia, mentre il Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica (CIPE) nel 1999 ha adottato il Programma di azione nazionale per la lotta alla siccità e alla desertificazione.

e l'Abruzzo. Tra le cause sono state individuati i cambiamenti climatici, ma anche il progressivo consumo di suolo e la mancata valorizzazione dell'attività agricola nelle aree più difficili⁶⁷: in 25 anni in Italia è scomparso oltre un quarto della terra coltivata (-28%) per colpa della cementificazione e dell'abbandono, riducendo la superficie agricola utilizzabile a soli 12,8 milioni di ettari. Dalle ricerche condotte dal *Centro Euro-mediterraneo per i Cambiamenti Climatici*⁶⁸, entro la fine del XXI secolo in Italia la temperatura potrà aumentare tra 3 e i 6 gradi centigradi con una maggiore frequenza di eventi estremi, insieme a precipitazioni violente alternate a periodi di aridità.

Analisi condotte sui dati meteorologici delle stazioni di rilevamento del Lazio hanno valutato le variazioni climatiche avvenute nel cinquantennio 1951-2000, consistenti in una diminuzione delle piogge medie annuali nell'intera regione, ma con maggiore intensità lungo la fascia costiera. Le precipitazioni presentano non solo una diminuzione della quantità totale ma anche un cambiamento nella modalità con cui si verificano: infatti, per quanto

⁶⁷ ANSA, *Giornata mondiale della desertificazione, anche l'Italia colpita*, 17 giugno 2019.

⁶⁸ Il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici è una struttura di ricerca scientifica che si prefigge lo scopo di approfondire le conoscenze sulla variabilità climatica, su cause ed effetti, attraverso lo sviluppo di simulazioni con modelli a scala globale e regionale, in particolare per l'area del Mediterraneo. È stato fondato nel 2005 su iniziativa del Ministero dell'istruzione, dell'università e della ricerca (MIUR), del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATM), del Ministero delle politiche agricole e forestali (MIPAAF) e del Ministero delle finanze (MEF). La sede centrale si trova a Lecce e le altre sedi operative a Bologna, Capua, Milano, Sassari, Venezia e Viterbo.

riguarda l'intensità del fenomeno, sono diminuiti i giorni con precipitazioni mentre è aumentato il totale di precipitazioni registrato in giorni successivi, segno di un incremento degli episodi di forte precipitazione. Allo stesso tempo aumenta la frequenza di periodi secchi, ovvero di giorni consecutivi con precipitazioni inferiori a soglie di precipitazione bassa. In particolare, il numero dei giorni piovosi⁶⁹ è diminuito nell'arco degli ultimi anni, e tale riduzione è più evidente nella stagione invernale, ovvero nella stagione che dovrebbe registrare normalmente i maggiori apporti piovosi. Per quanto riguarda le temperature si è osservato un aumento delle temperature massime ed allo stesso tempo una diminuzione degli eventi di gelata determinato da un innalzamento delle temperature minime⁷⁰.

Conseguentemente alle variazioni climatiche, con prolungati periodi di siccità ed aumento delle temperature medie ed estreme, sono avvenuti importanti cambiamenti nello stato delle risorse idriche: aumento delle temperature delle acque delle falde superficiali, progressivo abbassamento dei livelli piezometrici e avvio di processi di salinizzazione della falda costiera, dovuti a fenomeni di ingressione marina. Il deficit idrico potenziale è un indicatore del grado di aridità di un territorio che influenza anche i suoli e i sottosuoli e quindi gli organismi vegetali e animali che ci vivono. Questi fattori influenzano negativamente i regimi di umidità del suolo e, di

⁶⁹ Si definiscono giorni piovosi i giorni con precipitazione maggiore o uguale a 1 mm.

⁷⁰ Moretti R. et al., 2017.

conseguenza, la stabilità e la permanenza di ecosistemi naturali e semi-naturali sia in ambiente urbano che periurbano e forestale.

Le dinamiche spaziali e temporali degli ecosistemi sono strettamente correlate alle fluttuazioni del clima e alle strategie di competizione di singole piante per risorse diverse. Il clima influenza la distribuzione delle specie attraverso specifiche soglie fisiologiche di tolleranza di temperatura e potenziale idrico del suolo. Secondo dati a lungo termine sia su organismi terrestri che marini, risposte specifiche delle singole piante ai cambiamenti climatici possono modificare le loro interazioni con altri tipi di piante. Gli ecotoni, ovvero le zone di transizione tra i biomi⁷¹, sono tra le regioni con la più alta sensibilità ai cambiamenti climatici. In queste regioni, i limiti degli ecosistemi sono correlati a come il clima regola la mortalità delle piante e le strategie delle singole specie per occupare le aree lasciate libere dalle piante che muoiono, la longevità di ogni pianta e le loro strategie di dispersione dei semi⁷².

È ancora poco studiato il ruolo della topografia sulle dinamiche di distribuzione e coesistenza delle piante, nonostante l'azione centrale svolta su acqua, nutrienti, distribuzione dell'energia e, in particolare negli ambienti

⁷¹ Per bioma è da intendersi il complesso di comunità biologiche climax, cui si affiancano altre comunità a vari stadi della successione ecologica, mantenuto dalle condizioni ambientali di una regione ed esteso su vaste aree geografiche; i b. terrestri vengono identificati in base alle specie vegetali proprie del climax dominante; quelli acquatici sono generalmente distinti in base alle specie animali più frequenti (Treccani, 2020).

⁷² Caracciolo D. et al., 2014.

semiaridi, l'influenza sull'umidità del suolo e quindi sulla produttività della pianta.

I cambiamenti climatici, insieme ad altri fattori di stress, rappresentano una minaccia per i sistemi forestali, con le conseguenti alterazioni nella composizione e diffusione di specie, come sta accadendo negli Stati Uniti: infatti le foreste dell'area orientale hanno subito cambiamenti negli ultimi tre decenni. Alcuni generi (*Acer*, *Fraxinus*, *Pinus*, e *Prunus*) si sono maggiormente diffusi e altri invece (*Carya*, *Nyssa*, *Quercus* e *Ulmus*) hanno ridotto la propria presenza numerica. In particolare, dagli studi condotti sui dati derivanti dagli Inventari Forestali Nazionali è emersa la correlazione negativa tra tolleranza agli incendi e all'ombra di alcuni generi esaminati (*Acer* e *Quercus*). Le variazioni nella composizione di specie forestali a scala di singolo Stato hanno rilevato infatti come per questi generi i Paesi con un elevato numero d'individui tolleranti agli incendi abbiano avuto il maggior cambiamento di composizione verso specie tolleranti all'ombra. La sostituzione di una specie può causare gravi conseguenze, soprattutto alterando i servizi ecosistemici, il funzionamento degli ecosistemi e la loro conservazione⁷³. Perciò, si è resa indispensabile un'analisi integrata della biodiversità associata alle risposte forestali nell'ambito dei cambiamenti climatici⁷⁴.

⁷³ Knott J.A. et al., 2019

⁷⁴ Augustynczik A. L. D. et al., 2019.

1.3 L'impatto antropico e il degrado del suolo

Oltre ai cambiamenti climatici anche l'azione dell'uomo incide sullo stato e sulla perpetuazione di un determinato paesaggio.

L'uso del suolo infatti è, insieme all'orografia, uno degli elementi fondamentali che concorre in maniera significativa alla definizione del paesaggio, risultato delle interazioni di fattori naturali e umani, in accordo con la definizione espressa nella Convenzione Europea sul Paesaggio del 2000 a Firenze. Il suolo rappresenta un elemento fondamentale per il corretto funzionamento degli ecosistemi: ad esso sono infatti legati il rischio di contaminazione dell'acqua e dell'aria, la riduzione della biodiversità, il dissesto idrogeologico e sulla sicurezza fisica dell'uomo. Il cambiamento nell'uso del suolo rappresenta secondo l'IPBES, l'*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*⁷⁵, la causa principale della perdita di biodiversità e di servizi ecosistemici in Europa e Asia centrale⁷⁶.

Una tra le maggiori minacce è quella del *consumo di suolo*, definito come "una variazione da una copertura non artificiale (suolo non consumato) a una copertura artificiale

⁷⁵ *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES). È un organismo intergovernativo indipendente, istituito dagli Stati membri nel 2012 con l'obiettivo di rafforzare il confronto tra scienza e politica riguardo al tema della conservazione della biodiversità e dei servizi ecosistemici per il benessere umano e lo sviluppo sostenibile (www.ipbes.net).

⁷⁶ IPBES, 2018.

del suolo (suolo consumato)”. Il fenomeno comporta quindi la perdita di una risorsa ambientale, una superficie originariamente agricola o naturale, dovuta alla costruzione di nuovi edifici, insediamenti o infrastrutture⁷⁷.

La quantificazione del consumo di suolo è determinata in termini di impermeabilizzazione delle superfici, contaminazione, perdita di biodiversità e aumento della vulnerabilità nei confronti della desertificazione. L'impermeabilizzazione del suolo, con la riduzione di zone umide e terreni permeabili, hanno un impatto diretto sulle risorse idriche e sui bacini idrografici, aumentando il rischio sia di inondazioni che di processi erosivi, causati dal cambiamento climatico. I dati sul consumo di suolo in Italia sono forniti da parte del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) sulla base della cartografia realizzata da ISPRA⁷⁸. Il consumo di suolo può essere quantificato in una perdita di superficie di circa 70 ha al giorno. A livello Nazionale⁷⁹ si è passati dal perdere il 2,9% di suolo negli anni Cinquanta, al 7,3% nel 2012, si evince dunque che il suolo intaccato è pari a circa 22.000 Km² (Tabella 2).

	1950	1989	1996	1998	2006	2009	2012
Suolo consumato (%)	2.9%	5.4%	5.9%	6.1%	6.8%	7.0%	7.3%
Suolo consumato (Km ²)	8.7	16.2	17.7	18.3	20.3	21.2	21.9

Tabella 2 Stima del suolo consumato a livello Nazionale (%) e in km² per anno (Munafò M., 2014).

⁷⁷ Munafò M. (ISPRA), 2017.

⁷⁸ Munafò M. (ISPRA), 2018.

⁷⁹ Munafò M. (ISPRA), 2014.

L'Europa e le Nazioni Unite richiedono la tutela del suolo, del patrimonio ambientale, del paesaggio, il riconoscimento del valore del capitale naturale⁸⁰ e chiedono di azzerare il consumo di suolo netto entro il 2050, di allinearli alla crescita demografica e di non aumentare il degrado del territorio entro il 2030⁸¹. Nell'ambito dell'Agenda Globale per lo sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite e nei relativi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (obiettivo 11) sono state definite alcune soglie di densità da considerare per le aree urbane (>50%), suburbane (10-50%) e rurali (<10%).

Nel nostro Paese il processo di consumo di suolo interessa soprattutto le aree agricole limitrofe ai centri abitati e, insieme all'urbanizzazione diffusa, annulla la separazione tra città e campagna, modificando il territorio. Nello specifico il 57% di cambiamenti sono avvenuti in un contesto artificiale a media/bassa densità, mentre il 34% del consumo di suolo nazionale è avvenuto in contesto artificiale assente o rado. Emerge quindi come la densità del contesto urbano sia un fattore di rischio per il fenomeno del consumo di suolo: le aree a bassa densità sono maggiormente a rischio per varie cause, tra cui la predisposizione alla trasformazione delle aree libere rimaste incluse nelle aree

⁸⁰ Nel Primo Rapporto, il Capitale Naturale, di seguito abbreviato in CN, è stato definito, seguendo l'esempio del Regno Unito (UK NCC, 2013), come: *“l'intero stock di asset naturali-organismi viventi, aria, acqua, suolo e risorse geologiche-che contribuiscono a fornire beni e servizi di valore, diretto o indiretto, per l'uomo e che sono necessari per la sopravvivenza dell'ambiente stesso da cui sono generati”*.

⁸¹ Comitato Capitale Naturale, 2017, 2018.

urbanizzate o comunque in territori che hanno già perso il carattere di diffusa naturalità. Tra il 2016 e il 2017 inoltre sono stati consumati anche circa 84 ettari (+0,11%) all'interno di aree protette, come parchi nazionali e regionali, aree naturali e riserve.

I Parchi occupano oggi, a livello globale, una superficie superiore all'11% delle terre emerse. In Italia sono presenti circa tre milioni di ettari di superficie di terra, e altrettanti nel mare, tra Aree naturali protette, Parchi nazionali, Riserve naturali statali. Negli ultimi dieci anni l'Italia è stato uno dei paesi che ha dato il maggior contributo in Europa allo sviluppo di un sistema di aree protette, passando dal 3% ad oltre il 10% di territorio tutelato⁸².

Più in generale, altri fattori di degrado del suolo, legati a fenomeni naturali e riconducibili alle attività antropiche sono:

- *L'erosione*, fenomeno di asportazione del terreno da parte dell'acqua e del vento, attraverso azioni meccaniche e chimiche. L'erosione è un complesso fenomeno influenzato da vari fattori quali il clima, il suolo, la morfologia, l'idrologia, la vegetazione, l'eccessiva antropizzazione del territorio e quindi l'uso e la copertura del suolo. Nel corso del XX secolo l'erosione è molto aumentata, soprattutto dopo la fine della Seconda guerra mondiale, a causa del massiccio impiego della meccanizzazione, provocando una riduzione del 17% della produttività delle colture e determinando circa l'85% del degrado del suolo al mondo⁸³.

⁸² Duprè E. et al., 2013.

⁸³ Oldeman L. R. et al, 1991.

- *L'impovertimento dei suoli di materia organica* e contenuto di carbonio, causata dalla ridotta presenza di organismi in decomposizione o dall'aumento della velocità di decomposizione determinata da alterazioni dei fattori naturali o antropogenici. A livello globale, il suolo contiene circa il doppio del carbonio presente in atmosfera e tre volte quello trattenuto dalla vegetazione⁸⁴.
- *La contaminazione*, ovvero il fenomeno di alterazione della composizione chimica del terreno. I principali inquinanti sono rifiuti solidi, acque di scarico, metalli pesanti, prodotti fitosanitari e fertilizzanti. La causa maggiore è spesso da ricondurre all'agricoltura⁸⁵ a causa non solo dell'uso di fertilizzanti, pesticidi, fanghi, compost ma anche dalle stesse pratiche agricole che favoriscono il rilascio dei citati prodotti nell'ambiente⁸⁶.
- *La perdita di biodiversità*, a causa dell'uso incontrollato delle risorse, alla frammentazione degli ecosistemi e all'introduzione di specie esotiche. Dallo scenario di riferimento dell'Unione Europea per la biodiversità del 2010 emerge che il 25% delle specie animali europee si sta estinguendo e il 65% degli habitat più importanti a livello di UE si presenta in uno stato di conservazione insoddisfacente, soprattutto a causa delle attività umane⁸⁷.
- *La salinizzazione*, ovvero l'accumulo nel suolo dei sali, tipico degli ambienti costieri. L'agricoltura di tipo

⁸⁴ CRA, 2008.

⁸⁵ Hoorman J. et al, 2008; Leone A. et al, 2008.

⁸⁶ Leone A. e Marini R., 1993.

⁸⁷ Commissione Europea, COM (2015) 478.

intensivo, unitamente al consumo di suolo, riveste un ruolo importante nella diffusione del processo che oggi costituisce un problema mondiale, con milioni di ettari di territorio coinvolti secondo le valutazioni della FAO e dell'UNESCO nel 1999.

- *Le frane e le alluvioni*. Il contributo che genera l'uomo in questi eventi è classificato in due categorie: le alterazioni di tipo attivo, come incisive modificazioni della morfologia dei suoli e disboscamenti, quelle di tipo passivo come l'abbandono delle terre e delle pratiche agricole che innescano processi degenerativi del suolo.
- *La desertificazione*, definita nel 1994 dall'UNCCD (*United Nations Convention to Combat Desertification*⁸⁸) come "il degrado del territorio nelle zone aride, semi-aride e sub-umide secche attribuibile a varie cause fra le quali le variazioni climatiche e le attività umane". La desertificazione è quindi la conseguenza di varie attività umane, come deforestazione, consumo di falde acquifere fossili, depauperamento dei mari, e dei cambiamenti climatici, con l'intensificarsi di eventi meteorici estremi, prolungati

⁸⁸ La Convenzione delle Nazioni Unite per combattere la desertificazione (*United Nations Convention to Combat Desertification*, UNCCD), istituita nel 1994 a Parigi, è l'unico accordo internazionale giuridicamente vincolante che collega l'ambiente e lo sviluppo alla gestione sostenibile del territorio. La Convenzione si rivolge in particolare alle zone aride dove si trovano alcuni degli ecosistemi e delle popolazioni più vulnerabili. Il nuovo quadro strategico UNCCD 2018-2030 intende raggiungere la neutralità della degradazione del suolo al fine di ripristinare la produttività di vaste distese di terra degradata, migliorando il sostentamento di oltre 1,3 miliardi di persone coerentemente con l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile (www.unccd.int).

periodi siccità intervallati da brevi periodi di forti precipitazioni⁸⁹. Il fenomeno colpisce zone aride e semi-aride in tutto il mondo ed anche nei paesi del Mediterraneo tale rischio si manifesta come una riduzione della produttività ecologica degli ecosistemi, delle terre coltivate, il deterioramento delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche del suolo e la perdita di vegetazione naturale. In Italia il 21% del territorio nazionale è interessato da tale fenomeno, secondo quanto dichiara il WWF ⁹⁰, soprattutto nelle regioni centro meridionali. La lotta alla desertificazione può instaurarsi secondo due approcci: reattivo, consistente nell'intensificazione delle misure di lotta quando il degrado degli ecosistemi è già evidente, o proattivo, cioè di prevenzione dei fenomeni di degrado con misure specifiche. Nella lotta alla desertificazione le misure forestali hanno sempre rappresentato uno strumento per contrastare i fenomeni di degrado e la perdita di fertilità dovuti ad un utilizzo incontrollato delle risorse⁹¹.

Il degrado del suolo è un fenomeno diffuso in tutte le terre emerse e per il quale l'IPBES, nel rapporto *Land degradation and restoration* del 2018, individua le principali cause antropiche dirette e indirette. Tra quelle dirette sono inserite:

⁸⁹ Ciancio O. in Corona P. et al., 2009.

⁹⁰ WWF Italy, 2017.

⁹¹ Corona P. et al., 2006.

- *La gestione dei pascoli, delle aree coltivate, agro-forestali e delle foreste* provocano variazioni nell'estensione, nei regimi rotativi e nell'irrigazione, possono causare la frammentazione della vegetazione autoctona, perdita di biodiversità, compattazione del suolo, alterazioni del contenuto di nutrienti nel suolo e nei sistemi di drenaggio, l'invasione di specie aliene, alterazioni nell'impatto degli incendi e variazioni nello stoccaggio del carbonio e nelle deposizioni atmosferiche.
- *L'estrazione di risorse naturali non legnose e lo sviluppo dell'industria estrattiva* causano variazione nella composizione ed abbondanza delle specie, nella biomassa e nella struttura della vegetazione, inquinamento del suolo e compattazione; alterano le riserve idriche, il deflusso superficiale e l'inquinamento atmosferico.
- *L'introduzione di specie aliene*: determina variazione nella composizione delle specie, sia animali che vegetali, nella struttura della vegetazione, nel regime degli incendi.
- *La variazione nel regime degli incendi* provoca cambiamenti nella loro frequenza, intensità, stagionalità e durata, determinando così variazioni a livello di specie, di struttura della vegetazione, nel deflusso e nei nutrienti del suolo.
- *Lo sviluppo industriale e l'urbanizzazione* causano cambiamenti nell'uso del suolo, impianti idroelettrici, strade, infrastrutture: causano inquinamento del suolo, compattazione, contaminazione delle acque, alterazione

del deflusso e delle infiltrazioni, inquinamento atmosferico.

Tra le cause antropiche indirette di degrado del suolo sono invece annoverati i fattori:

- *Demografici*: tasso di crescita della popolazione, migrazioni, mobilità verso le città, classi d'età della popolazione
- *Economici*: domanda e consumi, povertà, commercio, urbanizzazione, finanza
- *Scientifici e tecnologici*: istruzione, investimenti, accesso alla tecnologia, innovazioni, comunicazione
- *Istituzionali e politici*: Politiche pubbliche con normative e incentivi, diritti di proprietà, certificazione, accordi e convenzioni internazionali
- *Culturali*: visione mondiale, valori, religione, comportamento dei consumatori⁹².

Emerge chiaramente la complessità del fenomeno e dunque la conseguente difficoltà nell'individuare delle procedure condivise per valutarlo. Il Segretariato permanente della Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla desertificazione (UNCCD) nel 2017 ha individuato tre indicatori generali di degrado del suolo (*la copertura e cambiamenti del suolo, la produttività del suolo, il contenuto in carbonio organico*) da integrare con altri specifici per ogni singola Nazione. In Italia ISPRA ha valutato, per il periodo 2012- 2018, la percentuale del territorio nazionale (tn) in cui

⁹² IPBES, 2018.

è stato registrato un aumento del degrado del suolo con sei indicatori:

1. *Cambiamenti di copertura del suolo*: 1194 km², 0.40 % tn;
2. *Perdita di produttività*: 9420 km², 3.12 % tn;
3. *Perdita di carbonio organico*: 670 km², 0.22 % tn;
4. *Perdita di qualità degli habitat*: 33.977 km², 11.26 % tn;
5. *Erosione del suolo*: 8.77 t/ha/anno, mentre la media europea è di 2.46 t/ha/anno
6. *Altri fattori legati alla copertura artificiale e alla presenza di aree percorse dal fuoco*: Frammentazione (44.259 km², 14.68% tn); consumo di suolo (409 km², 0.14% tn); densità coperture artificiali (951 km², 0.32% tn); l'incremento degli spazi non consumati inferiori a 1.000 m² (14 km², 0.005% tn); aree percorse dal fuoco (2374 km², 0.8 % tn).

A parte l'erosione del suolo, che risulta essere oltre tre volte la media europea, per gli altri indicatori purtroppo non risultano dati di confronto, perché ai vari paesi è lasciata la possibilità di individuare quelli più idonei al proprio contesto territoriale. Tuttavia, si può dire che l'aumento di superficie degradata di 80079 km² in sei anni, ovvero nel 26.5 % del territorio italiano, sia un dato allarmante, quindi con la necessità di intraprendere provvedimenti in meritò⁹³.

⁹³ Munafò M., 2019.

1.4 I Servizi Ecosistemici e il Capitale Naturale

Tutti i fenomeni trattati in precedenza, connessi ai cambiamenti climatici o all'azione dell'uomo, in particolare la frammentazione, il cambiamento dell'uso del suolo e le specie invasive, rappresentano dei fattori di criticità, ovvero costituiscono elementi di vulnerabilità per i sistemi forestali. Possono infatti innescare processi di degrado che si manifestano in un declino dell'efficienza funzionale degli ecosistemi⁹⁴, con conseguenti alterazioni nella composizione e diffusione delle specie, e quindi anche nei *servizi ecosistemici* che forniscono⁹⁵.

In bibliografia sono presenti numerose definizioni di servizi ecosistemici⁹⁶. Tuttavia, il riferimento più consolidato a livello internazionale è quanto proposto dal progetto *Millennium Ecosystem Assessment* delle Nazioni Unite: pertanto, traducendo letteralmente *Ecosystem Services*, essi rappresentano *“i benefici multipli che il genere umano può ottenere dagli ecosistemi”*⁹⁷. Il progetto fu realizzato per conto delle Nazioni Unite, in particolare dello *United Nations Environmental Programme* (UNEP), con l'obiettivo di

⁹⁴ Corona et al., 2009.

⁹⁵ Knott J.A. et al., 2019.

⁹⁶ “I Servizi Ecosistemici sono i benefici che la popolazione umana deriva, direttamente od indirettamente, dalle funzioni ecosistemiche” (Faber et al, 2002). “I benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano” (Assessment Millennium Ecosystem, 2005). “I Servizi Ecosistemici sono componenti naturali direttamente godute, consumate od usate per produrre benessere umano” (Boyd e Banzhaf, 2007).

⁹⁷ Assessment, Millennium Ecosystem, 2005.

approfondire l'impatto delle attività umane in relazione all'evoluzione degli ecosistemi del pianeta, le ripercussioni sulle condizioni generali di benessere e quindi identificare strategie di intervento per uno sviluppo sostenibile. Secondo il *Millennium Ecosystem Assessment* i servizi ecosistemici associati alla "Vita sulla Terra- Biodiversità" si possono distinguere in quattro grandi categorie, in relazione alla tipologia di beneficio ad essi associato:

1. *Supporto alla Vita* (es. produzione primaria, ciclo dei nutrienti, formazione del suolo);
2. *Approvvigionamento* (es. di cibo, acqua, legno, combustibili);
3. *Regolazione* (es. controllo di clima, erosione, inondazioni, purificazione delle acque);
4. *Valori Culturali* (es. estetici, spirituali, morali, ricreativi).

Inoltre, nel progetto delle Nazioni Unite sono stati definiti i flussi che dai Servizi Ecosistemici si dipartono per sostenere direttamente o indirettamente il benessere delle diverse componenti del pianeta. Nel principio fondamentale così definito, ovvero la diretta correlazione tra i Servizi Ecosistemici ed il benessere della società, risulta centrale il riferimento alla percezione da parte della comunità: questo legame differenzia i Servizi Ecosistemici dalla "funzione ambientale", la quale si riferisce all'impatto connesso alla sola presenza di risorse ambientali⁹⁸. L'affermazione di questo principio ha reso difficile la misura, in termini fisici ed economici, del servizio ecosistemico.

⁹⁸ Giupponi C. et al., 2009

Diversi studi in campo internazionale hanno rilevato la diretta connessione tra biodiversità e servizi ecosistemici⁹⁹. La biodiversità rappresenta infatti sia una componente importante negli ecosistemi, quindi fonte di Servizi Ecosistemici, sia il risultato di altri Servizi Ecosistemici, come il fornire condizioni di vita adeguate a piante e animali¹⁰⁰. Costanza¹⁰¹ ha stimato che una variazione dell'1% nella biodiversità ne determina una dello 0.5% nel valore dei Servizi Ecosistemici. Inoltre, da uno studio sugli interventi di ripristino degli ecosistemi è risultato come il ripristino generi un aumento del 44% nella biodiversità e del 25% nella fornitura di Servizi Ecosistemici¹⁰².

La Strategia Europea per la Biodiversità¹⁰³ infatti ha assunto come obiettivo generale dell'UE per il 2020:

Porre fine alla perdita di biodiversità e al degrado dei Servizi Ecosistemici nell'UE entro il 2020 e ripristinarli nei limiti del possibile, intensificando al tempo stesso il

⁹⁹ Costanza R. et al., 1997.

¹⁰⁰ Bastian O., 2013.

¹⁰¹ Costanza R. et al. 2007.

¹⁰² Rey Benayas J.M. et al., 2009.

¹⁰³ Strategia adottata dalla Commissione Europea a maggio 2011 che definisce il quadro d'azione al fine di conseguire l'obiettivo per il 2020 in materia di biodiversità fissato dai leader europei nel marzo 2010. La strategia si articola in sei obiettivi e indica per ognuno di essi una serie di azioni legate a scadenze temporali e di altre misure di accompagnamento. La Strategia permette all'UE di contribuire a livello mondiale rispettando gli impegni a favore della biodiversità assunti a Nagoya (Giappone) il 29 ottobre 2010 in occasione della Decima Conferenza delle Parti sulla Diversità Biologica (<https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf>).

contributo dell'UE per scongiurare la perdita di biodiversità a livello mondiale.

Ma anche una Visione dell'UE per il 2050:

Entro il 2050 la biodiversità dell'Unione Europea e i Servizi Ecosistemici da essa offerti — il capitale naturale dell'UE — saranno protetti, valutati e debitamente ripristinati per il loro valore intrinseco e per il loro fondamentale contributo al benessere umano e alla prosperità economica, onde evitare mutamenti catastrofici legati alla perdita di biodiversità.

Nel quadro d'azione della Strategia sono previsti 6 obiettivi e 20 Azioni che, considerate le cause primarie di perdita di biodiversità, sono finalizzati a ridurre le principali pressioni esercitate sulla natura e sui Servizi Ecosistemici nell'UE. In particolare, l'Obiettivo 2, "Ripristinare e mantenere gli ecosistemi e i relativi servizi", all'Azione 5 prevede:

Gli Stati membri, con l'assistenza della Commissione, effettueranno un esercizio di mappatura e di valutazione dello stato degli ecosistemi e dei relativi servizi nei rispettivi territori nazionali entro il 2014, valuteranno il valore economico di tali servizi e promuoveranno l'integrazione di detti valori nei sistemi di contabilità e rendicontazione a livello unionale e nazionale entro il 2020¹⁰⁴.

Una volta quantificati e mappati, i Servizi Ecosistemici devono quindi essere integrati in sistemi di contabilità che consentono di misurarne benefici, costi ambientali e sociali

¹⁰⁴ Commissione Europea, COM (2011) 244.

connessi. L'attribuzione di un valore alle risorse naturali non è un'operazione semplice, in quanto queste spesso corrispondono a beni pubblici non di mercato. Tuttavia, a livello internazionale si è sviluppata una letteratura di riferimento sulle tecniche di valutazione monetaria e sulla loro integrazione con i conti biofisici non monetari¹⁰⁵.

A livello globale si è stimato che il valore dei Servizi Ecosistemici per il benessere umano sia approssimativamente di 33 trilioni di dollari all'anno, ovvero 33 miliardi di miliardi di dollari¹⁰⁶. Ne consegue un'estensione del concetto di "conservazione della biodiversità" sia in termini di contenuti che in senso territoriale, ovvero la si lega ai benefici, diretti e indiretti di carattere socioeconomico, da "conservare" o da riqualificare¹⁰⁷.

Nel 2015, la *Revisione intermedia della Strategia*¹⁰⁸ ha definito i progressi raggiunti rispetto allo scenario di riferimento del 2010. Nel complesso la perdita di biodiversità e il degrado dei Servizi Ecosistemici nell'UE sono continuati, in linea con le tendenze mondiali, mentre a livello locale si sono registrati molti risultati positivi. È stato inoltre stimato che il costo-opportunità del mancato raggiungimento dell'obiettivo della Strategia per il 2020 potrebbe raggiungere 50 miliardi di euro l'anno e la perdita di biodiversità a livello mondiale potrebbe comportare perdite

¹⁰⁵ Martínez-Alier J., 2002; Gómez-Baggethun E. et al., 2010.

¹⁰⁶ Costanza R. et al., 1997.

¹⁰⁷ Marino D. et al., 2017.

¹⁰⁸ Relazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio, *Revisione intermedia della Strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020*, COM (2015) 478 final; Bruxelles, 2.10.2015.

annuali nei Servizi Ecosistemici pari al 7% del PIL mondiale, con maggiori ripercussioni sulle nazioni più povere e le popolazioni delle zone rurali. Per quanto riguarda l'Obiettivo Due sono state condotte azioni per il miglioramento delle politiche e delle conoscenze, ma tuttavia non è stata interrotta la tendenza al degrado di ecosistemi e servizi.

La perdita di biodiversità dovuta alle azioni antropiche può essere utilizzata come un indicatore del degrado degli ecosistemi che influisce, a sua volta, su altri servizi ecosistemici. Le principali minacce alla biodiversità sono rappresentate dalla perdita di habitat (in particolare dovuta all'estensione urbana incontrollata, all'intensificazione agricola, all'abbandono dei terreni agricoli e alla gestione intensiva delle foreste), dall'inquinamento, dal sovrasfruttamento (in particolare della pesca), dalle specie esotiche invasive e dai cambiamenti climatici. Tutto ciò causa la perdita di specie, di habitat, il degrado degli ecosistemi e quindi l'indebolimento della loro resilienza¹⁰⁹.

Considerata la capacità della biodiversità di fornire servizi ecosistemici, è fondamentale integrare le politiche di pianificazione del territorio con specifici obiettivi di conservazione e tutela¹¹⁰, come l'istituzione delle aree protette¹¹¹.

In Italia, come in molti altri Stati dell'Unione Europea, i SE sono stati tutelati anche nel passato con strumenti di

¹⁰⁹ Commissione Europea, COM (2015) 478

¹¹⁰ Cervelli E. et al., 2017.

¹¹¹ Costanza R. et al., 1997.

regolamentazione fino agli anni '80: ad esempio la normativa vincolistica, le procedure di autorizzazione e la tassazione. Negli anni '90 si sono aggiunti incentivi e compensazioni ad adesione volontaria per l'adozione di misure agro-ambientali e forestali associate alla riforma della Politica Agricola Comunitaria (PAC) del 1992. A fine degli anni '90 si afferma il principio del condizionare l'aiuto pubblico al rispetto di minimi standard di tutela ambientale e nasce la Rete Natura 2000 con misure di compensazione ai gestori delle aree tutelate¹¹².

Attualmente l'interesse è nella quantificazione economica dei servizi ecosistemici e nella loro valorizzazione con sistemi per pagamenti ambientali come i pagamenti per servizi ecosistemici (*Payment for Ecosystem Services*, PES). Alla base dei PES vi è la creazione di un vantaggio economico per il soggetto che potenzialmente può offrire specifici Servizi Ecosistemici, in grado di determinare la sua adesione volontaria ai meccanismi d'incentivazioni proposti da un'istituzione competente. L'implementazione di PES comporta dunque la trasformazione dei beni e servizi pubblici in nuovi prodotti di mercato, incentivando quindi comportamenti virtuosi per l'ambiente e la società¹¹³.

I Servizi Ecosistemici, più in generale, rientrano nei benefici forniti da quello che è stato definito *Capitale Naturale* (CN) di una nazione, ovvero:

L'intero stock di beni naturali - organismi viventi, aria, acqua, suolo e risorse geologiche - che contribuiscono a

¹¹² Giupponi C. et al., 2009.

¹¹³ Mayrand K., & Paquin M., 2004.

*fornire beni e servizi di valore, diretto o indiretto, per l'uomo e che sono necessari per la sopravvivenza dell'ambiente stesso da cui sono generati*¹¹⁴.

In altri termini il CN include tutte le componenti ecosistemiche, abiotiche e biotiche, che forniscono non solo beni e servizi, ma anche benefici indispensabili per la vita dell'uomo.

L'Unione Europea ha riconosciuto la centralità della conservazione del Capitale Naturale nel Settimo Programma d'azione per l'Ambiente (PAA) in cui il primo tra i nove obiettivi prioritari da conseguire entro il 2020 corrisponde a *"Proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale dell'Unione"*¹¹⁵:

La prosperità economica e il benessere nell'Unione dipendono dal suo capitale naturale, vale a dire la sua biodiversità, compresi gli ecosistemi da cui trarre beni e servizi essenziali, il suolo fertile e le foreste multifunzionali, i terreni e i mari produttivi, le acque dolci di buona qualità e l'aria pura, l'impollinazione, la regolazione del clima e la protezione dalle catastrofi naturali.

Secondo il *Millennium Ecosystem Assessment* la crescita economica negli ultimi cinquant'anni ha comportato il degrado degli ecosistemi e dei loro servizi poiché il valore economico e sociale da essi prodotto in passato non è stato mai contabilizzato nelle decisioni pubbliche e private.

¹¹⁴ UK Natural Capital Committee (2013), *The State of Natural Capital* (2013): Towards a framework for measurement and valuation. First Report.

¹¹⁵ Legge 354/174, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, 28.12.2013.

In Italia, ogni anno il Comitato per il Capitale Naturale, presieduto dal Ministro dell'Ambiente, rispondendo a quanto previsto dall'Art. 67 della Legge 221/2015 che lo istituisce, trasmette:

[...] al Presidente del Consiglio dei ministri e al Ministro dell'economia e delle finanze un rapporto sullo stato del capitale naturale del Paese, corredato di informazioni e dati ambientali espressi in unità fisiche e monetarie, seguendo le metodologie definite dall'Organizzazione delle Nazioni Unite e dall'Unione europea, nonché di valutazioni ex ante ed ex post degli effetti delle politiche pubbliche sul capitale naturale e sui servizi ecosistemici¹¹⁶.

È stato dunque definito il percorso metodologico per la valutazione biofisica degli ecosistemi e per la misurazione monetaria del flusso di Servizi Ecosistemici prodotti dal Capitale Naturale.

Tuttavia, in Italia non è ancora presente una rendicontazione generale ed estesa del Capitale Naturale, ma solo di alcune componenti misurate spesso solo in termini di flusso, come ad esempio i flussi di materia utilizzati nelle attività economiche¹¹⁷.

Nel Primo Rapporto sul Capitale Naturale in Italia è stato analizzato e definito il CN classificato in base alla fonte:

- Suolo (foreste, flora e fauna, ecc.);
- Sottosuolo (minerali, combustibili fossili);
- Acqua (fiumi, laghi, oceani, falde sotterranee, flora e fauna marine);

¹¹⁶ Legge 221/2015, Art. 67, Capo XI *Disposizioni varie in materia ambientale*. Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 13, 18 gennaio 2016.

¹¹⁷ Comitato Capitale Naturale, 2017.

- Atmosfera (aria ed elementi del clima).

In particolare, dal 1990 al 2013 si conferma l'espansione del bosco e della superficie urbanizzata soprattutto a scapito delle superfici agricole. Per quanto riguarda le temperature il 2015 in Italia è risultato l'anno più caldo dal 1961, con un incremento della temperatura media (+1,58 °C) superiore a quella mondiale sulla terraferma (+1,23 °C). L'estrema complessità dell'orografia della penisola ha poi favorito l'elevata variabilità delle precipitazioni cumulate sul territorio, con medie annue superiori a 2000 millimetri all'anno nelle aree alpine, prealpine del Friuli-Venezia Giulia e in Liguria orientale; valori compresi tra 1200 e 1800 mm/anno su tutta la dorsale appenninica e aree con precipitazioni più scarse, comprese tra 400 e 600 mm, in Sicilia, Puglia, Sardegna e anche Valle d'Aosta e Alto Adige. Nel decennio 2001-2010, si è registrato un lieve aumento nelle risorse idriche rispetto al trentennio di riferimento, con tuttavia una consistente variabilità stagionale e territoriale.

In termini di biodiversità terrestre e marina, l'Italia costituisce uno dei Paesi europei più ricchi, con una flora vascolare di oltre 6.700 specie (il 50% delle specie presenti in Europa), di cui il 20,4% endemiche, cioè presenti allo stato spontaneo solo nel territorio italiano. La fauna include invece oltre 58.000 specie, con un'elevata incidenza, attorno al 30%, di endemismi¹¹⁸.

Per quanto riguarda lo stato di conservazione degli ecosistemi, il grado di conoscenza di dettaglio raggiunto consente di esprimere propriamente una valutazione sulla

¹¹⁸ Comitato Capitale Naturale, 2017.

loro idoneità a fornire beni e servizi, mentre la quantificazione dei Servizi Ecosistemici è ancora a livello di stime. In particolare, nella valutazione effettuata a livello nazionale, parametro fondamentale per la stima dello stato di conservazione degli ecosistemi è la *copertura reale* degli ecosistemi all'interno degli ambiti di Vegetazione Naturale Potenziale (VNP), ovvero di *“ambiti territoriali che per fattori climatici, litologici, morfologici e biogeografici sono potenzialmente occupati da uno stesso tipo di vegetazione matura (spesso di tipo forestale) a meno delle modificazioni indotte da disturbi naturali e/o da attività umane”*¹¹⁹. Il rapporto tra copertura reale e copertura potenziale degli ecosistemi permette infatti di valutare se l'estensione di un ecosistema è tale da garantirne la conservazione¹²⁰.

La valutazione ha stimato la presenza di 19 ecosistemi ad alto stato di conservazione, 18 a medio e 36 a basso. In particolare, tra quelli a basso stato di conservazione sono presenti *gli ecosistemi forestali a dominanza di querce caducifoglie in ambito pianiziale e collinare sia nel settore alpino e prealpino sia nel settore peninsulare*¹²¹.

In Italia, in ragione della sua posizione geografica al centro del Mediterraneo e del consistente gradiente altimetrico determinato dalle catene montuose che l'attraversano, le foreste rappresentano l'ecosistema terrestre più esteso e a maggior grado di naturalità. Secondo i dati

¹¹⁹ Blasi C. et al., 2014.

¹²⁰ Il rapporto tra copertura reale e potenziale viene considerato alto per gli ecosistemi maturi se superiore al 25%, basso se inferiore al 10%. Per gli ecosistemi non maturi alto se superiore al 10% e basso se meno del 5% della superficie.

¹²¹ Comitato Capitale Naturale, 2017.

dell'inventario forestale nazionale¹²², la superficie forestale italiana è di 11 milioni di ettari, ovvero il 36% del territorio nazionale, valore raddoppiato dal dopoguerra ad oggi per via dell'abbandono e dello spopolamento delle aree interne.

Gli ecosistemi forestali, costituiti per il 70% da latifoglie, rappresentano dunque una componente rilevante del Capitale Naturale italiano, fornendo beni e servizi alla collettività: ad esempio prodotti legnosi da opera o combustibile, prodotti non legnosi del bosco, ma anche un flusso continuo di servizi come l'assorbimento e l'immagazzinamento del carbonio atmosferico, il controllo del regime e la depurazione delle acque dolci, la conservazione del paesaggio e dei valori culturali, la difesa del territorio dal dissesto idrogeologico, assolvono funzioni turistico-ricreative e di educazione ambientale¹²³. Tuttavia, i lunghi cicli forestali rendono difficile determinare le relazioni economiche, i consumatori dei prodotti legnosi non sempre coincidono con i consumatori dei beni e servizi ambientali e le aree forestali vengono considerate non solo risorse naturali, ma anche patrimonio storico-culturale del paese¹²⁴.

¹²² INFC, 2005.

¹²³ Comitato Capitale Naturale, 2017.

¹²⁴ Giupponi C. et al., 2009.



II IL PAESAGGIO LAURENTINO

2.1 Dall’Ager Laurens ad oggi

Il paesaggio laurentino è un caso emblematico in Italia che consente di osservare e approfondire le più importanti dinamiche legate all’evoluzione di un territorio: un paesaggio forestale resiliente dal valore non solo storico-culturale ma finanche dalle origini avvolte nel mito, un’area vulnerabile alla crescita della popolazione ed all’espansione urbana, con la metropoli capitolina che s’incunea in queste aree e ne accerchia le ultime testimonianze. Qui si rivelano anche le conseguenze che le bonifiche agrarie, l’antropizzazione del territorio ed il consumo di suolo determinano sul paesaggio a scala più vasta. A questo si aggiungono le naturali pressioni evolutive che l’area mediterranea subisce in seguito a fenomeni globali ambientali, quali i cambiamenti climatici e la diffusione di specie alloctone invasive.

Le foreste presenti nella Tenuta di Castelporziano e quindi di Capocotta sono considerate la parte residua delle *selve* dell’ager *Laurens* che occupavano tutta la pianura costiera laziale e le aree alluvionali del delta del Tevere. Questa è infatti l’area delle grandi foreste alle quali si lega l’origine di Roma: a Nord del Tevere la *Silva Naevia* e la *Silva Maesia*, a sud l’ager *Solonius* lungo la via Ostiense fino al territorio laurentino¹²⁵. Fulco Pratesi la definisce una “*Pompei*

¹²⁵ Beni culturali e Ambientali, Ministero. Castelporziano III, Campagne di scavo e restauro 1987-1991, 1998.

vegetale”, una testimonianza di quanto resta dell’ambiente costiero naturale ormai caratterizzato da edifici, villaggi turistici, stabilimenti balneari¹²⁶.

Diecimila anni fa, al termine dell’ultima glaciazione, in quest’area retrostante il cordone dunale, erano presenti grandi aree paludose e più all’interno la selva primigenia con esemplari di querce caducifoglie, come rovere, farnia, farnetto, cerro, nei luoghi più elevati miste a querce sempreverdi, leccio e sughera, con arbusti della macchia mediterranea.

Innumerevoli le fonti storiche che, nel corso dei secoli, descrivendo questi territori, ne hanno connotato non solo l’importante valore storico-culturale, legato alle origini di Roma che sfociano nel mito, ma anche quello paesaggistico di luogo selvaggio, *lucus ingens*, improduttivo, poco abitato se non dalla fauna selvatica. Queste antiche testimonianze, unite alle descrizioni dei secoli successivi fino ad oggi portano a considerare anche l’importante valore legato alla resilienza del paesaggio dei luoghi.

Virgilio, immaginando lo sbarco di Enea alla foce del Tevere, descrive un ambiente forestale ricco di uccelli *canori* lungo le rive del fiume, negli ambienti palustri e boscati:

*“atque hic Aeneas ingentem ex aequore lucum
prospici, hunc inter fluvio Tiberinus amoeno
verticibus rapidis et multa flavus harena
in mare prorumpit. variae circumque supraque*

¹²⁶ Presidente onorario di WWF Italia. In Pratesi F., 2014.

*adsuetae ripis volucres et fluminis alveo
aethera mulcebant cantu lucoque volabant*¹²⁷

In epoca romana, in quest'area ricadeva il territorio dell'antica città di Laurentum, così chiamata per un grande Laurus (alloro) che fu trovato nell'erigere le mura della reggia di Pico, re di Alba Longa e fondatore della città come si legge nell'Eneide: "*Tectum nugustum ingens centum sublime eolumnis Urbe fuit summa laurentis regia Pici*"¹²⁸. Per secoli l'esatta posizione di questa città, esistita fino ai primi secoli dopo Cristo, è stata oggetto di diatribe tra gli archeologi, concordi tutti che sorgesse tra Ostia e Lavinio, oggi Pratica di Mare. Per molto tempo si è ritenuto che Laurento sorgesse nelle pianure di Tor Paterno, poi dalla ricostruzione di Antonio Nibby si è ritenuto fosse collocata tra il territorio di Castelporziano e di Capocotta¹²⁹, in un'area ancor oggi denominata *Pantan di Lauro* vicino appunto ad una palude. In effetti Virgilio, poneva questa città in cima ad un'altura, cinta di alte mura e vicina ad una vasta palude: "*Atque hinc*

¹²⁷ Virgilio, Eneide, Lib. VII. Vers. 29-24: "Qui la terra mirando, il padre Enea / Vede un'ampia foresta, e dentro, un fiume / Rapido, vorticoso e queto insieme, / Che per l'amena selva, e per la bionda / Sua molta arena si devolve al mare. / Questo era il Tebro, il tanto desiato, / Il tanto cerco suo Tebro fatale: / A le cui ripe, a le cui selve intorno, / E di sopra volando, ivan le schiere / Di più canori suoi palustri augelli". Traduzione di Annibale Caro, XVI secolo, pag. 301-302, vers. 42-51.

¹²⁸ Virgilio, Eneide, Lib. VII vers. 170-172: "Palazzo augusto, enorme, alto di cento colonne, / la reggia del Laurente Pico fu sulla cima della città, / terribile per i boschi e il culto degli antenati".

¹²⁹ Minetti G. *Cenni storici sulla baronia di Castel Porziano proprietà di sua eccellenza il sig. D. Pio Duca Grazioli corredati di autentici documenti*. Salviucci, 1865.

*vasta palus, fiinc ardua moenia cingimi*¹³⁰, con ampie radure che si affiancavano alle zone boschive.

Più tardi Plinio il Giovane, nella sua lettera a Gallo, spiegando i motivi che lo portano ad amare la terra laurentina, descrive così il paesaggio:

*“Varia hinc atque inde facies; nam modo occurrentibus silvis via coartatur, modo latissimis pratis diffunditur et patescit; multi greges ovium, multa ibi equorum boum armenta, quae montibus hieme depulsa herbis et tepore verno nitescunt”*¹³¹.

Lungo la costa invece sorgevano numerose ville, i cui resti sono oggi visibili lungo la via Severiana¹³², dove si può ammirare anche ciò che resta del *Vicus Augustanus*, piccolo borgo di età romana rinvenuto presso la moderna località di Grotte di Piastra¹³³, o della monumentale *Villa imperiale*, nata in età augustea (27 a.C. – 14 d.C.) in località Tor Paterno.

¹³⁰ Virgilio - Eneide. Lib. XII vers. 745: “e di qui una vasta palude, di là cingono le ardue mura”.

¹³¹ Plinio Il Giovane, Ep. II, XVII. “*Vario qua e là il paesaggio; giacché a tratti il cammino è stretto a cagione dei boschi che ti vengono incontro, a tratti si attarda e si allarga in vastissime praterie; molte greggi ovine, molte mandrie di cavalli e armenti bovini, che cacciati dai monti dall’inverno si ingrassano in quei pascoli al tepore della primavera*”.

¹³² Antico tracciato retrodunale che collegava la città di Portus, odierna Fiumicino, con Terracina e incrociava la via Ostiense che portava a Roma. L’avanzamento della costa per via dei sedimenti trasportati dal Tevere colloca oggi questa strada a circa 1 km dalla costa e in parte all’interno della Tenuta di Castelporziano.

¹³³ Il Vicus, scavato tra il 1865 e il 1913, è una città romana in miniatura, progettata nella prima metà del I secolo d.C. su impianto stradale regolare, tra l’antica via costiera (Via Severiana) e la spiaggia. Nel II secolo d.C. l’insediamento subì ampie ristrutturazioni e continuò a svilupparsi nel III

Nel terzo secolo dopo Cristo la città di Laurento era in decadenza come le altre città della costa, Ostia e Lavinio, per via della crescita della metropoli di Roma prima e la traslazione dell'Impero poi. La popolazione nel luogo, quindi, diminuì e iniziarono le invasioni di altri popoli.

Le notizie relative al periodo del basso impero e degli inizi del medioevo sono scarse. Procopio nella Guerra Gotica¹³⁴, trattando di quelle zone del Lazio nel 540 d.C. circa afferma che la strada verso Roma da Ostia fosse coperta di selve impenetrabili, poco abitate, soggette a stragi e devastazioni dei barbari che non riuscirono ad entrare a Roma. In un'omelia papa Gregorio I affermò:

"Ubique luctus aspiciamus, undique gemitus audiamus. Destructae urbes, eversa sunt castra, depopulati agri, in solitudine terra redacta est. Nullus in agris incola, pene nullus in urbibus habitator remansit. [...] Ipsa autem quae aliquando mundi domina esse videbatur qualis remanserit Roma conspiciatis. Immensis

e IV secolo. Il complesso urbanistico, rimesso parzialmente in luce a partire dalla metà dell'800 fino ai primi anni del '900, è costituito da edifici pubblici, sacri e privati articolati intorno ad un foro. Durante gli scavi del Vicus Augustanus, tra il 1908 e 1910, fu rinvenuto un grande mosaico, esempio unico nell'ambito della produzione musiva del II secolo in Italia per le grandi dimensioni e la ricchezza iconografica. Unica è la presenza di due motivi compositivi, *venatio* e *thiasos*, ovvero della caccia, di satiri e ninfe (Pagliardi, M. e Cianetti M., 2012).

¹³⁴ Di Cesarea Procopio. La guerra gotica, a cura di D. Comparetti, Roma, 1985, 187. Libro I, Cap. 36.

doloribus multipliciter attrita, desolatione civium, impressione hostium, frequentia ruinarum"¹³⁵.

Il Tomassetti assegna nel V secolo il territorio di Castelporziano al possesso della Basilica di S. Croce in Gerusalemme¹³⁶.

Nel 750 papa Zaccaria fondò tre *domus cultae*, ovvero colonie, lungo il litorale: *Antius*, *Formiae* e *Laurentum*: quest'ultima indubbiamente doveva includere ampie porzioni dell'attuale territorio di Castelporziano. Quello delle *domus cultae* fu un sistema, ripreso dai suoi successori, per porre questi possedimenti sotto il controllo diretto della Chiesa romana, senza necessità di cederli in affitto, e poter quindi disporre di derrate alimentari per la corte papale e il clero di Roma, ma anche per il mantenimento dei servizi urbani attuando un intensivo sfruttamento fondiario. La forma prevalente di gestione del territorio è stata l'attività di caccia, l'utilizzo della macchia e del bosco, le coltivazioni agrarie in piccole superfici.

Con il declino dell'impero bizantino nel corso del terzo e quarto decennio dell'VIII secolo, aumentarono

¹³⁵ Omelia VI, In Ezechielem, Lib. 2, 22: "Dappertutto scorgiamo lutti, ovunque udiamo lamenti. Le città sono state distrutte, gli accampamenti sono stati devastati, i campi spopolati, la terra ridotta a deserto. Non è rimasto nessun contadino nei campi, quasi nessun abitante nelle città. Osservate cos'è rimasto persino di quella Roma che un tempo sembrava essere padrona del mondo: logorata più volte da immensi dolori, dalla rovina dei suoi cittadini, dall'assalto dei nemici, dal gran numero dei disastri".

¹³⁶ Tomassetti G., 1896.

notevolmente le azioni politiche dei pontefici, soprattutto in virtù delle grandi proprietà fondiarie che la diocesi di Roma aveva accumulato fin dalla tarda antichità.

Sul finire del IX secolo e nel X s'intensificarono anche le scorrerie dei Saraceni che non potendo entrare nella Città, si concentrarono nelle campagne romane al punto che il Muratori affermava "*si divoravano tutte le rendite delle terre pontificie*"¹³⁷. Le devastazioni delle continue incursioni portarono all'abbandono di queste terre da parte della popolazione, alla scomparsa delle vestigia degli antichi monumenti e alla avanzata del bosco lungo le vie consolari e le aree agricole dismesse. Si tentava di coltivare solo in alcune aree, fornite di una torre o di un castello difensivo.

Nell'area laurentina esisteva già Castelporziano, noto allora come Castel di Decimo e appartenente alla famiglia Crescenzo, donato nel 1074 al Monastero di San Paolo¹³⁸, luogo fortificato e sicuro che ha ospitato più volte papa Gregorio VII. L'area di Tor Paterno¹³⁹ rientrava nelle proprietà donate dall'Imperatore Costantino a papa

¹³⁷ Muratori, Annali d'Italia, Tomo V, parte 2, Anno 880 in Minetti G., 1865.

¹³⁸ Secondo la Bolla del Pontefice Gregorio VII del 13 marzo 1074, riportata da Margarini nel Bullarium Cassinense, Tom. 2, pag. 107. Nella bolla facendo riferimento alle Chiese appartenenti al Castellum Decimi, è nominata "*Ecclesiam Ssmi Salvatori in Decimo*", e tutt'ora esiste non distante da Castelporziano la Chiesa del SS. Salvatore. Quello che viene chiamato "Casal di Decimo" e oggi Decima-Malafede era storicamente noto come "*Castrum Pontis Decimi*", appartenente ai Monaci di S. Alessio e così indicato nelle bolle del 1218 di Papa Onorio III.

¹³⁹ Cit. Anastasio Bibliotecario, Vita di S. Silvestro, pag. 22, in Minetti G., 1865.

Silvestro I e dal IX secolo di pertinenza del Monastero di San Paolo. Un piccolo appezzamento nelle terre di Tor Paterno apparteneva invece al Monastero di San Sabba, come si legge in una bolla di Gregorio VII del 1074¹⁴⁰. Non si conosce poi quando il Monastero di S. Sabba riunì nei propri possedimenti non solo l'attuale Tenuta di Castelporziano, ovvero il *Castellum Decimo*, con il fondo di Tor Paterno che già possedeva, ma anche il *Castrum Pontis Decimi*, chiamato Casale di Decimo e precedentemente appartenuto ai monaci di S. Alessio, nonché infine un altro Casale, denominato di Castel Romano.

Con la fine del XV secolo i documenti riguardanti l'area diventano più dettagliati e si inizia a disporre di riferimenti cartografici di cui si tratterà in seguito. Gli "*Statuta Castris Porciliani*", risalenti al 1489 sotto il pontificato di Innocenzo XIII, rappresentano un testo fondamentale per la comprensione della situazione socioeconomica e ambientale del periodo, indicando le norme di garanzia per la cospicua comunità lì residente.

Nel 1561, con la soppressione del Monastero di S. Sabba da Pio IV, la Rev. Camera Apostolica divenne

¹⁴⁰ Dalla citata Bolla del Pontefice Gregorio VII del 13 marzo 1074 si evince anche come Tor Paterno fosse stata donata da Papa Pasquale I intorno all'817 al monastero di San Paolo, eccetto un piccolo appezzamento di proprietà del Monastero di S. Sabba: "*Fundum vero Paterni, cum terris pantanis hortis, aquimolis terris cultis vel incultis, et cum omnibus suis pertinentiis et omnibus terminibus, sicuti concessum est Monasterio tuo a Papa Paschali praedecessore nostro, excepta terra parva, quam ibidem detinet S. Sabas*".

proprietaria delle tre Tenute aggregate, sino all'11 marzo 1562 quando lo stesso papa volle che fossero cedute a titolo oneroso¹⁴¹ all'Archiospedale di S. Spirito.

Nel 1568 Bernardino Cirillo Precettore dell'Archiospedale di S. Spirito, ritenendo insufficienti gli utili ricavabili da quei possedimenti, chiese e ottenne il permesso di vendita, dal papa Pio V con un suo *motu proprio*.

Il 21 febbraio 1568 l'intero possedimento della baronia di Castel Porziano, con le Tenute di Decimo e Castel Romano, fu venduto a tre acquirenti: Agostino Del Nero, nobile di Firenze, Tommaso Guidacci, anche fiorentino domiciliato a Roma, e Gondisalvo Alvaro, un cittadino romano. I tre acquirenti già il 19 febbraio avevano sottoscritto privatamente un accordo sulla suddivisione dei fondi. È importante riflettere sulla vastità di questi fondi nel XVI secolo di oltre 3500 rubbia¹⁴², di cui 2102 di pertinenza del fondo di Castel Porziano¹⁴³. Vale a dire che l'intero fondo venduto aveva un'estensione di oltre 6440 ettari e quello di Castelporziano di oltre 3868 ettari.

¹⁴¹ Fu stabilito un deposito massimo, denominato Monte di S. Spirito, fino a Centomila scudi, da raggiungere con le quote di chiunque avesse voluto investire, fino alla suddetta somma, rimanendo a carico dell'Archiospedale l'obbligo di corrispondere a ciascun depositante il corrispettivo annuo dell'otto per cento sulla somma immessa.

¹⁴² Unità di misura di superficie agraria negli antichi Stati pontifici, equivalente a 18.480 m².

¹⁴³ Minetti G., Cenni storici sulla baronia di Castel Porziano proprietà di sua eccellenza il sig. D. Pio Duca Grazioli corredati di autentici documenti. Salviucci, 1865.

Il 25 febbraio 1568 Tommaso del Nero, in rappresentanza del padre Agostino, prese possesso del Castello e fu investito di tutti i diritti baronali “*super ipsius Castri vassallis*”¹⁴⁴, inclusa la giustizia amministrativa, dando inizio al lungo dominio della famiglia Del Nero, che continuò fino al 1823. In questi due secoli i diritti baronali hanno permesso di ospitare nella Baronìa, oltre ai nativi del luogo, anche delinquenti e rifugiati per garantire la gestione dei fondi e il trasporto di legna, fascine e ogni genere di bene ricavato dai boschi fino a Roma.

Dal Catasto Piano del 1783 si evince che l’assetto prevalentemente boschivo è stato mantenuto e per Castelporziano, durante il dominio dei Del Nero, dei 3885 ettari complessivi, ben 2772 ettari erano costituiti da bosco e macchia, mentre i pascoli permanenti coprivano 521 ettari, con un anno di semina e tre di riposo. L’area annualmente seminata non superava quindi i 148 ettari. Tali proporzioni rimangono le stesse nel successivo Estimo Catastale di Pio VII del 1801 e nel Catasto Gregoriano del 1818¹⁴⁵.

Tra la fine del Settecento e il secolo successivo, quest’area diviene meta di viaggiatori e ricercatori, provenienti da tutta l’Europa, che si inseriscono nel fenomeno generale del *Grand Tour*. Il desiderio di esplorare anche questi luoghi, di studiarli e descriverli nasce nell’esaltazione dell’Italia, nella nostalgia per il mondo

¹⁴⁴ Trad. “Vassalli dello stesso Castello”.

¹⁴⁵ Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Piano di Gestione della Tenuta presidenziale di Castelporziano, 2010.

antico e per la mitologia. Il territorio laurentino, infatti, viene considerato il luogo dove possono essere rinvenute le testimonianze archeologiche della città di Laurentum da cui si era giunti alla fondazione di Roma. Sono dunque numerosissime le testimonianze scritte inerenti questi ambienti dell'epoca del Grand Tour, come tanti e diversi, per formazione e paese d'origine, sono i viaggiatori: Pietro Marquez, Nicola M. Nicolai, Charles V. De Bonstetten, Louis Simond, Johannes H. Westphal, William Gell, Antonio Nibby, Luigi Canina, Octavian Blewitt, Giuseppe Robello, Alfred Driou, Giovanni Minetti, Augustus J.C. Hare, Gaston Boissier¹⁴⁶.

Nell'opera *Memorie, Leggi ed osservazioni sulle campagne e sull'annona di Roma* di Nicolay¹⁴⁷ emerge come tutta l'area laurentina fosse organizzata in un sistema continuo di tenute e aree naturali, come evince in alcune descrizioni dei confini:

"[...] TOMMOLETO SPINERBA: quantunque una volta fra di loro distinte, e separate, presentemente però formano un sol Corpo, ed una sola Tenuta, che nomasi Castel Fusano confinante colla Spiaggia del Mare, e colle Tenute di Porcigliano, Trafusina, Malafede, e Palocco, e col Territorio d'Ostia [...]. PORCIGLIANO: Di pertinenza del Signor Baron del Nero confinante colla Spiaggia del Mare, e colle

¹⁴⁶ Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica e Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, a cura di Elena Gajeri, (2017).

¹⁴⁷ Nicolai Nicola Maria (1756-1833), storico, antiquario e archeologo, economista e agronomo. Fiscale della Reverenda Fabbrica di San Pietro, Prefetto dell'Annona e dal 1817 Presidente della Pontificia Accademia Romana di Archeologia.

Tenute di Fusano, Trafusa Millini, Decima, Tor de' Cenci, Trafusina, e Campo Ascolano, o Capocotta. Estensione totale nella maggior parte macchiosa, ed in parte larga sodiva r. 2102[...]. CAPOCOTTA: Di pertinenza di S. E. il Signor Principe Borghese confinante colla Spiaggia del Mare, e colle Tenute di Campoascolano, Petronella del Signor Marchese Nari, Castel Romano, Monte di Leva, e Porcigliano [...]”.

L'attività principale era quella selvicolturale per la produzione di fascine e dell'allevamento di bufali come scrive Nicolai:

“Queste Tenute fanno tutto un corpo, che ora prende il nome dalla principal Tenuta detta Fusano [...]. Il nome di Spinerba si dice dal Volpi esser derivato dagli spini, e dall'erba, onde questo terreno è imboschito. Di fatti non si fa quasi altro uso di queste Tenute, che per pascolo de' bufoli, e per le fascine, le quali si tagliano dalle selve quivi esistenti, e si trasportano per il Tevere a Roma, ad oggetto di provvedere la materia di fuoco pe' forni¹⁴⁸”.

Bonstetten¹⁴⁹ nella sua opera *Voyage sur la scène des six derniers livres de l'Énéide, suivi De quelques observations sur le Latium modernedel* 1805 così descrive il territorio laurentino:

¹⁴⁸ Memorie, leggi, e osservazioni sulle campagne e sull'annona di Roma, opera di Nicola Maria Nicolaj. Parte prima. Del catasto annonario delle tenute della campagna romana sotto Pio VI con note storico-antiquarie. Roma, Stamperia Pagliarini, 1803, 154, 157-158, 162-163. In Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica e Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, (2017).

¹⁴⁹ Charles Victor de Bonstetten (1745-1832). Magistrato, scrittore e viaggiatore svizzero.

L'emplacement de ces lieux une fois déterminé, l'intérêt que l'on prend au paysage en devient plus vif. Les hommes, les villes, les nations, ont passé, mais la nature est restée la même. Tout ce qui appartient à l'homme se déforme, et coule comme l'eau, tandis que la marche lente et imposante de la nature, ressemble à l'immobilité¹⁵⁰.

Una volta determinata la posizione di questi luoghi, l'interesse che si prova per il paesaggio diventa ancora più vivido. Gli uomini, le città, le nazioni sono passati, ma la natura è rimasta la stessa. Tutto ciò che appartiene all'uomo si deforma e scorre come l'acqua, mentre la marcia lenta e maestosa della natura assomiglia all'immobilità.

Per Castelporziano, con gli ultimi possessori della famiglia Del Nero iniziò un periodo di degrado, soprattutto a carico degli edifici, e la popolazione era quasi del tutto scomparsa. Ciò spinse la marchesa Ottavia Guadagni, vedova ed erede del baron Gerbone Del Nero, a vendere il 20 settembre 1823 la baronia di Castelporziano al duca Vincenzo Grazioli. Il degrado dell'area è così documentato da Marocco nella relazione topografica del 1835:

“Due luoghi si conoscono nello Stato Papale così denominati, uno esistente sotto il distretto di Rieti e compreso nell’

¹⁵⁰ Charles V. de Bonstetten. Viaggio sulla scena dei sei ultimi libri dell'Eneide: seguito da alcune osservazioni sul Lazio moderno. Genève, J. J. Paschoud, Anno XIII [1804-1805]. In Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica e Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, (2017).

*Abazia di Farfa d'anime 241, l'altro per andare verso Ostia, e vicino a Pratica da Roma distante miglia quattordici costituente una tenuta perchè venne distrutto, tuttora veggendosi le rovine di una torre, e di un palazzo. Fu signoreggiato questo castello dalla fiorentina famiglia del Nero, ed in sua vicinanza esisteva una villa della gente Porzia romana di cui diversi scrittori parlarono. Ora è luogo desolatissimo*¹⁵¹.

I nuovi proprietari si impegnarono da subito a migliorare le condizioni della Tenuta e renderla fruttifera. Non solo Vincenzo Grazioli volle migliorare e ampliare il castello, rendendolo una residenza signorile, ma avviò una gestione volta a migliorare i pascoli e le foreste e quindi l'aspetto paesaggistico.

Castelporziano si avviò ad assumere un ruolo di rappresentanza, con adunate arcadiche, riunioni ippiche e numerosissime caccie aperte agli ospiti romani e ai personaggi stranieri: nel 1839 Alessandro II, imperatore di Russia, il 15 ottobre 1845 Gregorio XVI e il 28 aprile 1859 Pio IX che, per ringraziare il duca Pio Grazioli, concesse con *motu propiu* che la baronia divenisse luogo di caccia riservata per il barone e i suoi successori. Successivamente nel 1862 visitarono la Tenuta le altezze reali Francesco Di Paola e Maria Isabella, conti di Trapani e principi del Regno delle Due Sicilie e il 3 giugno 1863 Francesco II, re delle Due Sicilie.

¹⁵¹ Marocco G., *Monumenti dello Stato pontificio, Lazio e sue memorie*, Tomo VII, Tipografia Boulzaler, 1835.

Le aree destinate a coltivazione furono ampliate, anche in seguito alle prescrizioni dettate dalla legislazione pontificia.

Nel 1864, per questo motivo, i Grazioli acquistarono le due tenute confinanti di *Trafusa Millini* e *Trafusina degli Orfani*, costituite in massima parte da seminativi e pascoli, portando così l'estensione complessiva della baronia a 4658 ettari¹⁵².

Gli interventi di miglioramento interessarono anche la parte forestale con tagli regolari di piante mature, anche se la produzione prevalente rimase quella delle fascine e del carbone e la finalità principale quella della caccia, da cui sorse la necessità di lasciare ampie porzioni della macchia e del bosco per il ricovero della selvaggina.

Nel 1872 il Governo italiano, con il ministro Quintino Stella, acquistò dai duchi Grazioli le tenute di Castelporziano, Trafusa e Trafusina, che furono assegnate in dotazione alla Corona per offrire al sovrano un luogo facilmente raggiungibile dove praticare la caccia (Figura 6). Il Regio Decreto del 17 marzo 1861 aveva istituito la carica del Gran Cacciatore ed elencato le tenute e le riserve di caccia Reali. Il Gran Cacciatore Ettore Bertolè Viale gestì l'annessione di Castelporziano nel 1872 al patrimonio dello Stato e quindi, in qualità di Ministro del Consiglio della Real Casa, si impegnò a promuovere la gestione faunistico-venatoria. Così la caccia divenne l'attività primaria della

¹⁵² Per Minetti G. con le nuove tenute annesse l'estensione raggiunge le 2519 rubbia, ovvero 4635 ettari.

Tenuta consentendo di compiacere la famiglia reale e i loro invitati.¹⁵³



Figura 6 Il Re Vittorio Emanuele III e la Regina Elena dinanzi ad una carbonaia a Castelporziano, Anni Trenta (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica).

Nel 1892 la Real Casa acquistò privatamente dal principe Paolo Borghese la confinante tenuta di Capocotta (1060 ettari). Sulla storia di questa tenuta non si sa molto: le prime notizie risalgono alla fine del 1440, quando era

¹⁵³ Giuntini A. e Landucci G., 2010.

proprietà della famiglia Capranica che indebitati dovettero venderla a Giovanni Battista e Pompilio Luraghi di Como¹⁵⁴. In seguito durante il XVII secolo era divenuta proprietà dei Borghese.

Successivamente nel 1898 i Savoia affittarono dai Principi Chigi le Tenute di Campo Bufalaro (439 ha) e di Castel Fusano (2236 ha). In questo modo fu costituito e amministrato dalla Real Casa un unico comprensorio esteso per oltre 8500 ha. All'attività venatoria e di rappresentanza, con le annuali battute di caccia (Figura 7), si affiancano iniziative volte alla bonifica fondiaria, al miglioramento delle coltivazioni e all'impianto di nuove aree boscate. I rimboschimenti riguardano soprattutto nuove pinete che si aggiunsero al piccolo nucleo creato dai Grazioli. Al 1939 risale il progetto di sistemazione idraulico forestale della Reale Tenuta di Castelporziano, realizzato dall'Ing. Riccardo Gramigna e del Dott. Venerosi Pesciolini per conto del Ministero della Real Casa. Questi lavori, per il costo di 12.162.000 Lire, interessarono l'assetto della Tenuta nel suo complesso, dalle sistemazioni forestali, alle costruzioni rurali, alle recinzioni e alla viabilità interna (Figura 8).

¹⁵⁴ Ashby T., La Campagna Romana al tempo di Paolo III. Mappa della Campagna Romana del 1547 di Eufrosino della Volpaia riprodotta dall'unico esemplare esistente nella Biblioteca Vaticana. Danesi, 1914

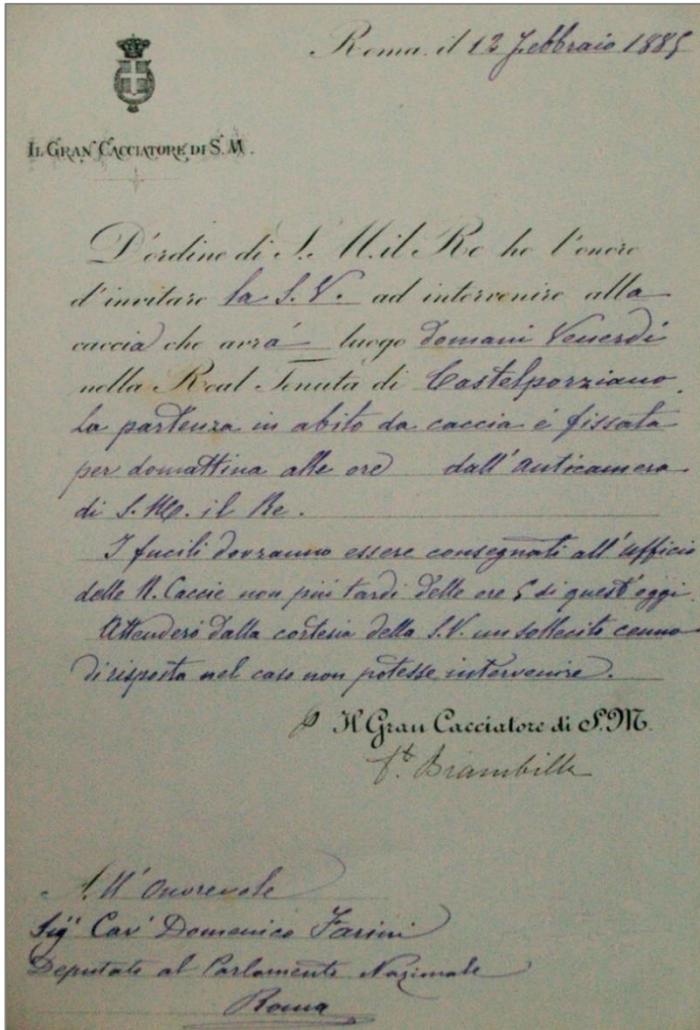


Figura 7 Invito del Gran Cacciatore alla caccia del 13 febbraio 1889, per il deputato Cav. Domenico Farini, Senatore del Regno, più volte Presidente della Camera dei deputati e del Senato del Regno d'Italia (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica, Foto Piccinno M.).

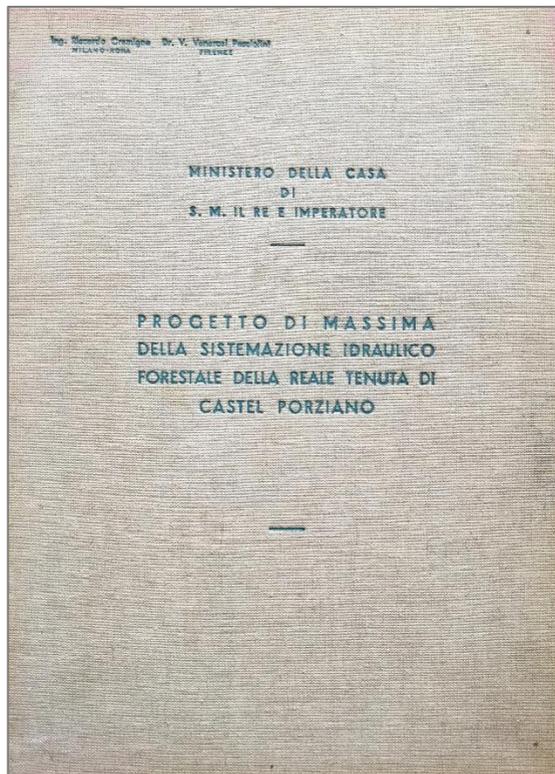


Figura 8 Ministero della Real Casa e si S.M. il Re e Imperatore, *Progetto di sistemazione idraulico forestale della Reale Tenuta di Castelporziano*. Relazione, allegati e cartografie, 16 febbraio 1939 (Foto Piccinno M.).

Dopo il secondo conflitto mondiale l'area laurentina si presentava in condizioni desolanti a causa delle devastazioni della guerra: abbattimenti incontrollati, gravi danni provocati dagli incendi su oltre 850 ettari di bosco¹⁵⁵, un'occupazione tedesca prolungata sull'area. Nel 1948 le

¹⁵⁵ Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Piano di Gestione della Tenuta presidenziale di Castelporziano, 2010.

Tenute di Castelporziano, Trafusa e Trafusina vennero assegnate al Presidente della Repubblica, mentre una parte della Tenuta di Castel Fusano, per complessivi 129,73 ettari, tra il 1947 e il 1948 era stata acquistata dalla Cooperativa Casa Mia¹⁵⁶ che avviò l'opera di lottizzazione edilizia che ha portato alla nascita del quartiere dell'Infernetto. Nella planimetria dell'epoca (Figura 9) si vede chiaramente che le opere di lottizzazione e di costruzione delle strade che portarono alla nascita di questo quartiere, interrompono la continuità territoriale e paesaggistica delle aree fino ad allora integrate nella Riserva di Castel Fusano, quest'ultima gestita da sempre in maniera conforme alle Tenute circostanti.

Nel 1947 il comitato veneziano dei profughi istriani aveva chiesto al governo la cessione della Tenuta di Castelporziano per realizzare una città da chiamare Pola¹⁵⁷.

Dato il suo alto valore naturalistico e ambientale, nel 1954 viene sottoposta al vincolo paesaggistico sulle bellezze naturali (Legge 29 giugno 1939, n. 1947), mantenendo comunque la sua funzione di riserva di caccia fino al 1976, anno in cui viene introdotto il silenzio venatorio.

¹⁵⁶ La cooperativa edilizia "Casa Mia s.c.r.l." acquistò con atti notai Zanghi e Pastore il 20 gennaio 1947 280000 m², il 13 marzo 1947 279.776 m², il 5 maggio 1947 253.424 m², il 6 giugno 1947 229.109 m², il 10 luglio 1947 58.760 m², il 3 maggio 1948 196.200 m². La cooperativa lottizzò i suddetti terreni in unico comprensorio destinando delle zone a lotti edificabili e nel 1966 effettuò la voltura catastale dei beni alla comunione dei lottisti.

¹⁵⁷ Il Messaggero, 23 febbraio 1947, p. 1

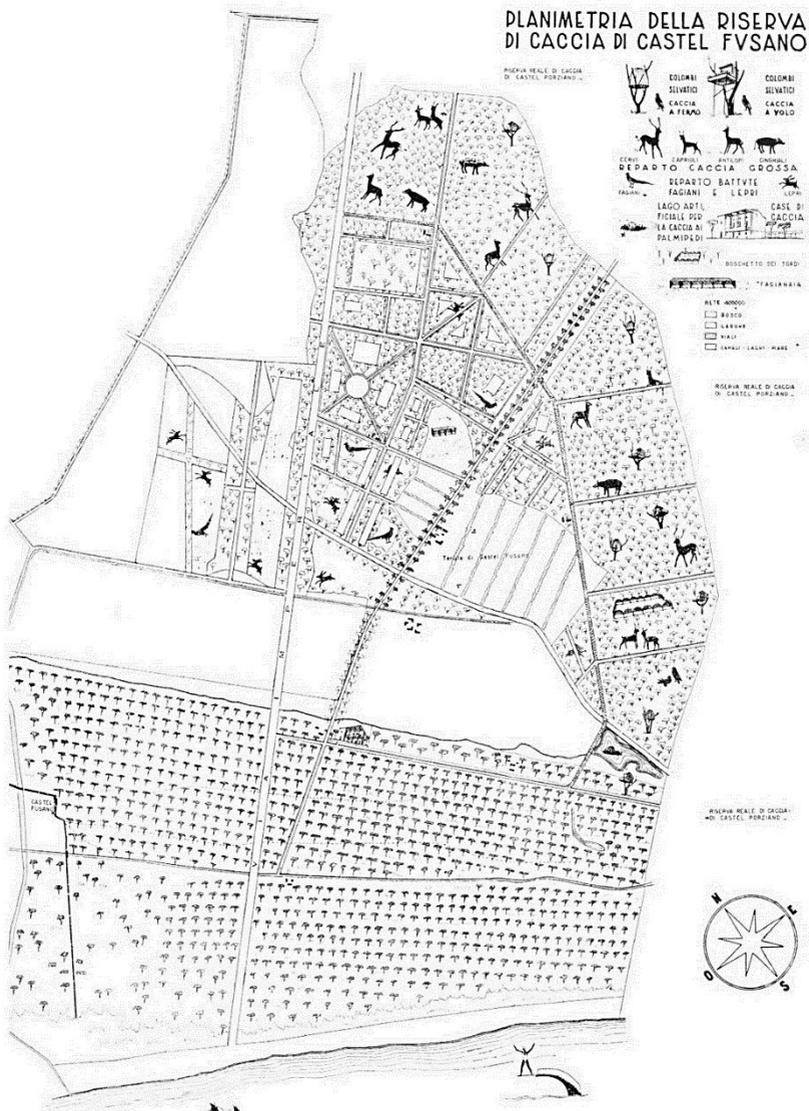


Figura 9 Planimetria riserva di caccia di Castel Fusano e opere di lottizzazione, Anni Quaranta.

Anche con la Repubblica, Castelporziano mantenne la funzione istituzionale di luogo di rappresentanza già avviata con i Duchi Grazioli e con la Corona subito dopo (Figura 10). La Tenuta è infatti anche luogo di incontro per le alte cariche dello Stato, i Corpi diplomatici, gli ambasciatori, i politici e i giornalisti durante le annuali battute di caccia (Figura 11, Figura 12). Nel 1965 una parte del litorale (circa 2 Km) viene ceduto al comune di Roma per destinarlo ad uso pubblico (Figura 13).

La Tenuta di Capocotta restò a Iolanda di Savoia e alla fine degli anni Sessanta divenne in gran parte di proprietà della società denominata Marina Reale che avviò un piano di lottizzazione¹⁵⁸. Nel 1985 fu espropriata, assegnata alla Presidenza della Repubblica e annessa a Castelporziano.

Figura 10 Visita del Presidente degli Stati Uniti Lyndon B. Johnson (a sinistra) al Presidente della Repubblica Italiana Giuseppe Saragat (a destra) nella Tenuta di Castelporziano, 23 dicembre 1967 (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica).

Figura 11 Castelporziano. Alti funzionari dello Stato, Corpo diplomatico, senatori e alti gradi dell'esercito partecipano ad una battuta di caccia, 19 gennaio 1961 (Fonte: Archivio Storico Presidenza REPUB.).

Figura 12 Battuta di caccia al cinghiale, 19 gennaio 1961 (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica).

Figura 13 Il Presidente della Repubblica Giuseppe Saragat incontra Amerigo Petrucci, sindaco di Roma per la cessione di parte del litorale di Castelporziano al Comune di Roma, 14 luglio 1965 (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica).

¹⁵⁸ Il querceto reso privato avrebbe ospitato 1700 ville di lusso per oltre 2,2 milioni di metri cubi.

II IL PAESAGGIO LAURENTINO





Con il Decreto Presidenziale n. 136/N del 5 maggio 1999 la Tenuta presidenziale di Castelporziano è stata assoggettata al regime di tutela e di gestione, secondo criteri che si richiamano alle disposizioni della Legge 6 dicembre 1991, n.394 riguardanti le aree naturali protette. Quindi il 12 maggio 1999 il Ministero dell’Ambiente la dichiara Riserva Naturale Statale¹⁵⁹.

Nel XXI secolo l’enorme espansione edilizia della metropoli di Roma nell’area a sud fino ad Ostia ha portato alla perdita di ampie superfici forestali. Oggi le aree naturali sopravvissute sono inserite in uno stretto regime di tutela costituendo la Riserva Naturale del Litorale Romano, la Riserva Naturale di Decima Malafede e la Riserva Statale di Castelporziano che di fatto rappresenta l’ultimo lembo di foresta planiziale costiera mediterranea.

Il 17 gennaio 2020 con il Decreto Presidenziale 69/N il Presidente Sergio Mattarella ha adeguato le disposizioni e gli obiettivi di gestione della Tenuta di Castelporziano con la moderna legislazione ambientale nazionale ed europea, in particolare valorizzando la conservazione del capitale naturale, dei servizi ecosistemici, del paesaggio e *mantenendo la connettività ecologica anche in considerazione del contesto urbanistico e delle relazioni con la città.*

¹⁵⁹ Decreto 447 Ministero dell’Ambiente 12 maggio 1999.

2.2 La resilienza nelle testimonianze cartografiche

Il territorio laurentino in età post-classica e nei secoli successivi è rimasto sostanzialmente un ambiente boscato, in cui solo aree di estensione limitata sono state coltivate, mentre venivano largamente praticate la pastorizia, l'allevamento del bestiame e soprattutto la caccia. Oltre ai documenti e agli atti storici di cui si è trattato, anche le rappresentazioni cartografiche dell'area lasciano emergere una continuità e resilienza paesaggistica nel corso della storia.

La Carta della Campagna Romana di Eufrosino della Volpaia del 1547 è la prima riproduzione cartografica dell'area, definita dal Tomassetti *“la prima per tempo e anche la più preziosa di tutte”*¹⁶⁰ (Figura 14). Ashby riferisce di una carta del 1513 citata da Mattei in *“Memorie storiche del Tuscolo”* ma questa carta non è più stata citata da nessun altro storico, né da Tomassetti né da Lanciani. La Carta di Eufrosino della Volpaia¹⁶¹ rappresenta la città di Roma e la campagna fino ai Castelli durante il pontificato di Paolo III (Figura 15).

¹⁶⁰ Ashby T., *La Campagna Romana al tempo di Paolo III. Mappa della Campagna Romana del 1547 di Eufrosino della Volpaia riprodotta dall'unico esemplare esistente nella Biblioteca Vaticana*. Danesi, 1914, pp. 4-10.

¹⁶¹ La Carta di Eufrosino della Volpaia è incisa su sei fogli di rame (0.413 per 0.556 metri ciascuno) per una dimensione complessiva di 1.239 per 1.112 m. La scala è di 1: 41000. È stata realizzata seguendo le linee dei punti cardinali e delle strade, rappresentando a vista d'uccello gli spazi intermedi senza diminuirne la grandezza.

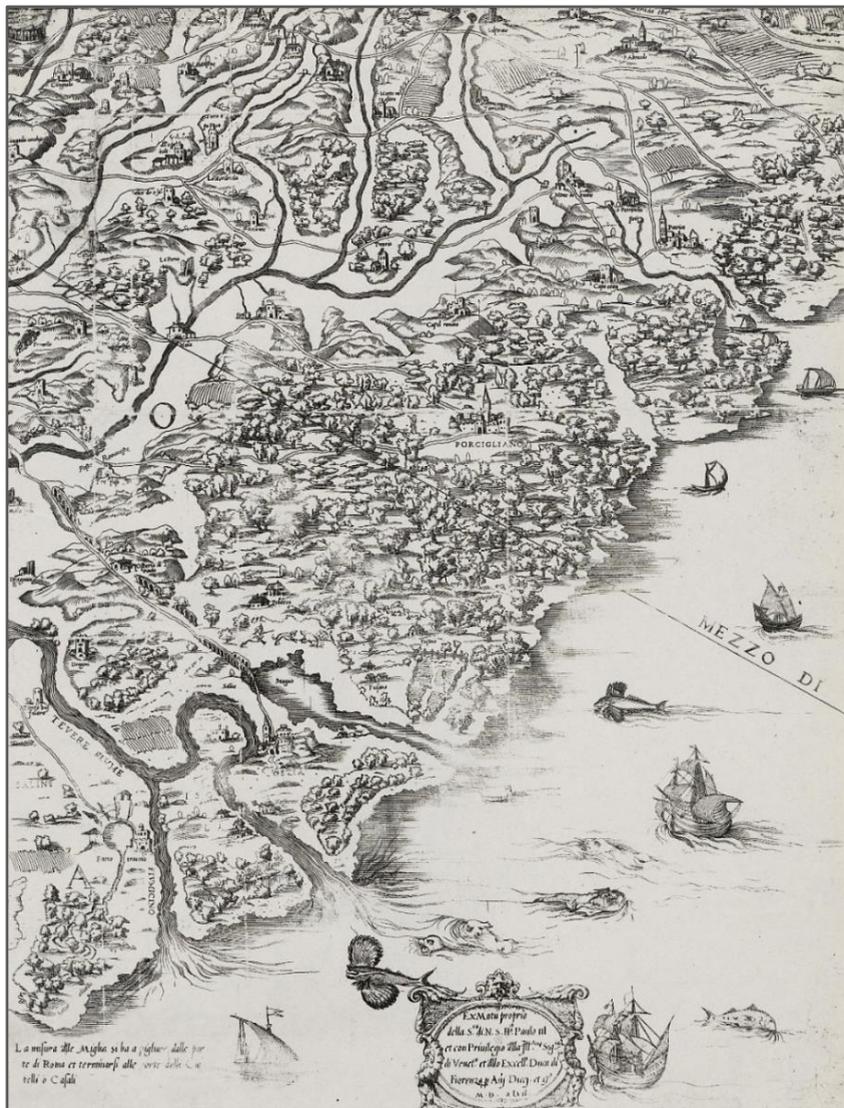


Figura 14 Particolare della Mappa della Campagna Romana del 1547 di Eufrosino della Volpaia.



Figura 15 Particolare Carta di Eufrosino della Volpaia, commissionata da Paolo III nel 1547.

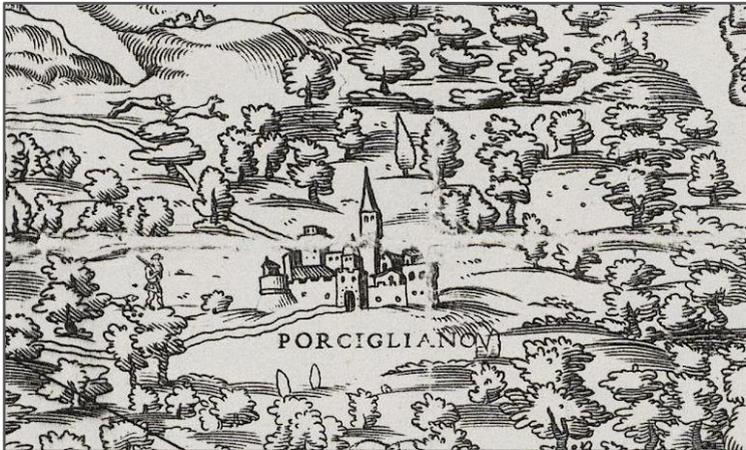


Figura 16 Particolare del castello di Porcigliano, sulla sinistra un cacciatore immerso nei querceti.

Dalla Carta si può osservare un castello, *Porcigliano*, immerso in una fitta selva che dalla foce del Tevere arriva fino a Pratica (odierna Pratica di Mare). A sinistra del castello di può osservare un uomo armato di fucile, che suggerisce la vocazione alla caccia nei boschi di querce, come emerge anche dalla rappresentazione degli alberi (Figura 16). Rispetto al medioevo, in questo periodo il territorio agricolo di Roma si era accresciuto verso nord, giungendo a comprendere Palo e Ceri, mentre verso sud esso si estendeva sino a Pratica e Ardea. Compresi fra i cento e i cinquecento ettari, i casali erano interamente votati alla cerealicoltura e all'allevamento ¹⁶². L'estrema varietà delle componenti colturali del 1200 era stata sostituita da un'alternanza di seminativi e pascoli, interrotta solo da zone a bosco e palude¹⁶³.

Del 1557 è invece la carta "Paese di Roma", redatta sotto il pontificato di Paolo IV, che riprende la carta del 1547, ma molto meno dettagliata data la dimensione ridotta. L'autore è ignoto e la rappresentazione giunge fino a Spoleto, Ceprano e Civitavecchia. Negli anni successivi, di questa carta sono state effettuate diverse ristampe con ampliamenti e modifiche.

Del 1557 è anche la pianta parziale della Campagna di Ostia¹⁶⁴, riprodotta sempre dalla Carta di Volpaia con l'aggiunta delle fortificazioni erette ad Ostia, in difesa dall'attacco del duca d'Alba con l'armata spagnola, e che fu

¹⁶² Passigli S., 2012.

¹⁶³ Carocci S. e Vendittelli M., 2004.

¹⁶⁴ Ashby T., 1914, cit.

assediate dal 18 novembre 1556 al 23 gennaio 1557 come riportato in legenda sulla mappa. In alto a destra, a nord della via Ostiense si può osservare un'area boscata, in gran parte coincidente con la pineta di Castel Fusano (Figura 17).

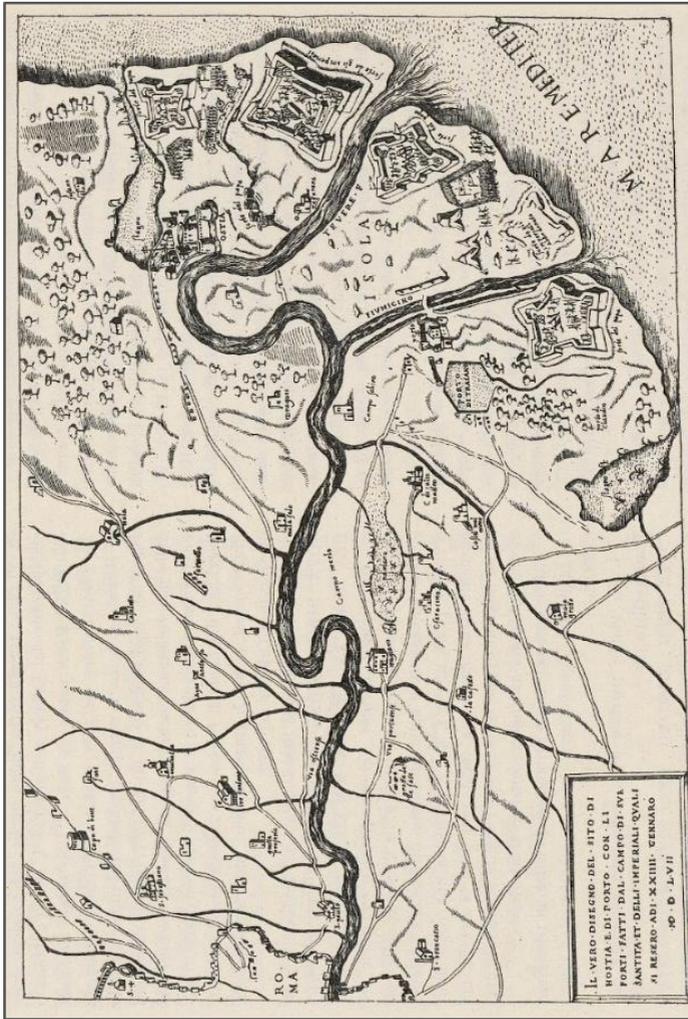


Figura 17 Carta di Ostia, 1557.

Successivamente è stata realizzata la Carta del Territorio di Roma, realizzata da Giovanni Malombra e della quale sono seguite numerose ristampe. Rappresenta un ulteriore adattamento della Carta del 1556, con la sola aggiunta di alcune località ovvero Bellitri ol. Velitre, C. Lavinia, Ardea. Nell'immagine che segue la versione pubblicata dall'Ortelius¹⁶⁵ nel *Theatrum Orbis Terrarum* del 1570 (Figura 18) e il dettaglio sulle foreste di Porcigliano e Capocotto (Figura 19).

Figura 18 Carta del Territorio di Roma, pubblicata da Ortelius, *Theatrum Orbis Terrarum*, 1570.

¹⁶⁵ Abraham Ortel, più noto come Ortelius, nacque ad Anversa nel 1528, e qui avviò un'attività come commerciante di libri e "pittore di mappe". Nel 1564 pubblicò la Mappa del Mondo in otto fogli e nel 1570, in una stessa scala, la sua collezione di mappe sotto il titolo di *Theatrum Orbis Terrarum*, opera che di fatto costituì il primo esempio di atlante sistematico, sebbene il termine stesso verrà usato per la prima volta da Mercator venti anni più tardi. Il *Theatrum*, le cui mappe furono incise per lo più da Frans Hogenberg, ottenne un successo immediato e conobbe ben 42 edizioni in varie lingue fino a quella definitiva del 1612, inclusa l'Appendix, pubblicata di tanto in tanto, con le ultime scoperte dell'epoca. Ortelius fu anche il primo a citare le sue fonti menzionando i nomi dei cartografi. Inoltre, compilò una serie di mappe storiche col titolo *Parergon Theatri*. L'opera, contenente anche una riproduzione della Tabula Peutingeriana, edita per la prima volta nel 1579, fu pubblicata sia separatamente sia come parte integrante del *Theatrum*. Nel 1570 Ortelius ottenne il privilegio per gli atlanti: una sorta di monopolio che impedì per un certo periodo ad altri cartografi di pubblicare i propri lavori.





Figura 19 Dettaglio Carta del Territorio di Roma, area di Porcigliano e Capocotto.

Nel 1585 Gerardo Mercatore ¹⁶⁶ iniziò la pubblicazione del proprio Atlas, con le carte relative a

¹⁶⁶ Gerard de Cremer (1512 - 1594), noto con il cognome latinizzato Mercator (Mercatore in italiano), fu con Ortelius il massimo esponente della cartografia fiamminga cinquecentesca. Nato a Rupelmonde nel 1512, dopo gli studi classici, si specializzò nella tecnica dell'incisione su rame. Iniziò la sua attività cartografica con una mappa della Palestina (1537). Le sue carte geografiche ottennero un grande successo in tutta Europa, grazie al nuovo sistema di proiezione cilindrica che introdusse nelle mappe nautiche, e che consentiva di rappresentare i paralleli ed i meridiani mediante un reticolato cartesiano di rette tra di loro ortogonali. Nel 1538 pubblica il Mappamondo cordiforme, utilizzando per la prima volta il nome geografico AMERICA in riferimento sia all'America Settentrionale che a quella Meridionale. Mercator fu inoltre il primo a usare sulle mappe geografiche il carattere corsivo italico migliorandone la leggibilità. In seguito all'accusa di eresia, nel 1552 si trasferì a Duisburg dove continuò la sua attività dedicandosi alla riproduzione di mappe e alla preparazione di una raccolta di mappe in tre volumi alla quale, per la prima volta, venne applicato il termine di "Atlas" ovvero

Francia e Germania, e nel 1590 quelle della penisola italiana, tra le quali si trova la carta del *Latium nunc Campagna di Roma* (Figura 20, Figura 21). Nel corso del 1600 sono state pubblicate diverse ristampe e altre mappe di derivazione diretta da quelle di Mercatore, come la carta del *Patrimonio di S. Pietro, Sabina e Campagna di Roma, olim Latium* del 1626 sotto il pontificato di Urbano VIII, o la carta di Innocenzo Mattei del 1666 “*Tavola esatta dell’antico Latio e nova Campagna di Roma*”.



Figura 20 Particolare Carta di Mercatore, area di Porcigliano e Fufano.

Atlante (*Atlas sive cosmographicae meditationes de fabrica mundi et fabricati*), in riferimento all’omonimo titano che della mitologia greca reggeva il mondo sulle sue spalle. Le prime due parti dell’atlante vennero pubblicate nel 1585 e nel 1589 e la terza nel 1595, ad opera del figlio Rumold, un anno della morte del padre.

Dopo una seconda edizione completa nel 1602, le lastre delle mappe vennero acquistate da Jodocus Hondius nel 1604 il quale, con i figli, Jodocus II and Henricus, pubblicò edizioni ampliate dello stesso, che dominarono il mercato della cartografia per i successivi trent’anni.

II IL PAESAGGIO LAURENTINO



Figura 21 Carta di Mercatore, Latium nunc Campagna di Roma 1590.

Tra il 1657 e il 1667 il papa Alessandro VII Chigi realizzò il Catasto e volle avviare i lavori per realizzare una carta topografica di tutte le Tenute dell'Agro Romano sotto una stessa scala ¹⁶⁷. L'opera, affidata all'Ufficio della Presidenza delle Strade, organismo che esisteva fin dagli inizi del 1400 all'interno della Camera Apostolica, fu interrotta dalla morte del Pontefice, e ultimata nel 1696 con Innocenzo XII. Alessandro VII aveva conferito a diversi topografi e agronomi l'incarico di formare il Catasto dell'Agro Romano e al gesuita Francesco Eschinardi il compito di dirigere la parte cartografica. Quest'ultimo commissionò all'agronomo Giovanni Battista Cingolani da Urbino e poi Giacomo Filippo Ameti, geografo romano, la realizzazione delle carte per il catasto dell'Agro Romano¹⁶⁸.

La carta del Cingolani (Figura 23) in sei fogli di 0.654 X 0.456 m ciascuno, fu pubblicata nel 1692, con dedica ad Innocenzo XII e titolo: "Topografia Generale dell'Agro Romano, ovvero la misura pianta, e quantità di tutte le tenute, e casali della Campagna di Roma; con le città, terre e castelli confinanti ad esse tenute; le strade fiumi fossi acquedotti et altre cose principali, e memorabili si antiche come moderne misurate, e delineate con tutta esattezza da Giovanni Battista Cingolani Dalla Pergola, a beneficio

¹⁶⁷ Il corpus Alessandrino, se non un vero e proprio catasto, rappresenta una prima collezione sistematica di piante per l'intero territorio dell'Urbe: è composto da trecento settantasette piante contenenti il rilevamento delle quattrocento ventiquattro tenute allora presenti nell'Agro Romano

¹⁶⁸ Fonte carta:

<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530390973/f1.item.zoom>.

pubblico et al mantenimento dell' abbondanza di Roma, dell'annona, e di tutto esso Agro Romano"¹⁶⁹.

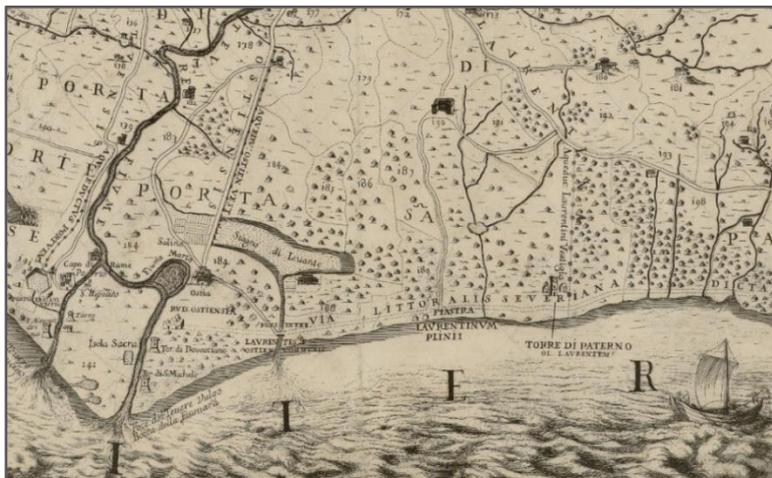


Figura 22 Particolare, area laurentina. Giovanni Battista Cingolani: Topografia geometrica dell'Agro Romano, 1692.

Figura 23 Giovanni Battista Cingolani: Topografia geometrica dell'Agro Romano, 1692. Pagina seguente.

¹⁶⁹ La Topografia Geometrica dell'Agro Romano di Cingolani della Pergola si basava sul Catasto Alessandrino del 1660. Il catasto aveva scopo annonario: diviso in 10 strade che partono dalle principali porte della città e percorrono l'Agro fino ai confini dello Stato, descriveva tutto ciò che s'incontrava: osterie, torri, monumenti e tenute, delle quali venivano forniti dimensioni e proprietari. Papa Alessandro VII avrebbe voluto racchiudere tutto in un'unica grande carta. Dopo la sua morte, il progetto fu realizzato dal cartografo marchigiano nel 1692. La Carta Cingolana resterà fondamentale fino alla metà dell'Ottocento.



L'opera dell'Ameti, pubblicata nel 1693, è composta da due carte, di quattro fogli ciascuna, realizzate con tecnica ad acquaforte e bulino. Si basa sostanzialmente sulla carta che Innocenzo Mattei¹⁷⁰ realizzò nel 1674, aggiungendo la raffigurazione di diverse piccole località, specialmente nella zona costiera, la rete stradale antica e moderna, la toponomastica dettagliata come l'idrografia (Figura 24).

Nella Carta del Cingolai¹⁷¹ (Figura 22) e in quella dell'Ameti (Figura 25) può ancora constatarsi la continuità ambientale dell'area laurentina. In particolare, nella carta del Lazio di Ameti sono indicati toponomi legati alle antiche popolazioni del territorio, come *Laurenti*, *Aborigeni*, *Volsci*. Nell'area laurentina è indicata la *Macchia di Porcigliano* e la *Macchia di Capocotta*.

Oggetto delle rappresentazioni nel 1600 erano quindi le proprietà fondiarie che occupavano interamente il territorio di pertinenza dell'Urbe. In quegli anni si andò delineando la definizione di Agro Romano, ovvero ancora oggi il più esteso dei territori comunali italiani. L'origine dell'Agro è ritrovabile nell'insieme delle tenute che si erano diffuse intorno ai casali medievali.

Figura 24 Giacomo Filippo Ameti: Il Lazio con le sue più Cospicue Strade Antiche e Moderne e' principali Casali e Tenute di esso, 1693. Pagina seguente.

¹⁷⁰ Innocenzo Mattei (1626-79), geografo pontificio sotto Clemente X, realizzò nel 1666. La *Tavola esatta dell'antico Latio e Nova Campagna di Roma*.

¹⁷¹ Fonte gallica.bnf.fr/ Bibliothèque nationale de France.

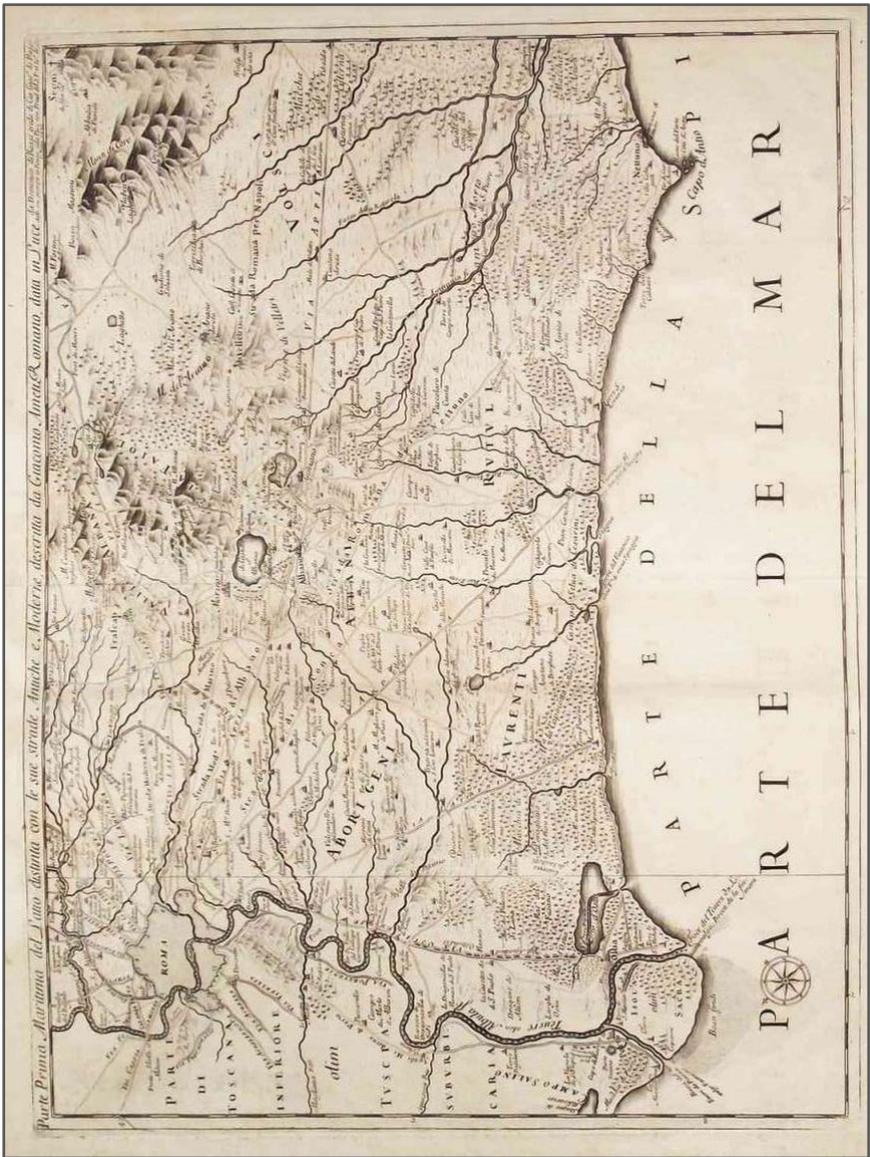




Figura 25 Particolare area laurentina. Giacomo Filippo Ameti: Il Lazio con le sue più Cospicue Strade Antiche e Moderne e' principali Casali e Tenute di esso, 1693.

Nel 1755 i gesuiti Maire e Boscovich¹⁷² realizzarono la carta intitolata *Nuova carta Geografica dello Stato Ecclesiastico* utilizzando il metodo della triangolazione¹⁷³: “tracciarono in tre fogli una nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico, nella quale veggonsi determinati positivamente con osservazioni

¹⁷² Boscovich Ruggero Giuseppe (1711-1787) è stato un astronomo, matematico, fisico, gesuita, filosofo. Christopher Maire era un confratello del Boscovich nel Collegio Romano. La collaborazione nacque grazie all'incarico affidato a Boscovich da Benedetto XIV.

¹⁷³ Metodo di rilievo per determinare le coordinate planimetriche di punti del terreno. Ideato nel 1617 dal geodeta olandese Willebrordus Snellius, si fonda sul concetto geometrico che tre punti del terreno possano considerarsi vertici di un triangolo. I tre angoli planimetrici dei vertici del triangolo devono soddisfare la condizione geometrica di chiusura e cioè la loro somma deve essere pari a 180°.

astronomiche vari punti"¹⁷⁴. La carta non risulta ricca di particolari, ma è importante per il metodo innovativo e perché fissa quindi in maniera definitiva il reticolo idrografico principale, la rete stradale e le località abitate nel territorio.

Tra il XVIII e il XIX secolo furono prodotte diverse carte: la *Nuova pianta topografica dell'Agro Romano (1802)* di Andrea Alippi, per l'aggiornamento del catasto annonario dell'Agro Romano di derivazione da quella del Cingolani ma poco dettagliata; la *Carta della Campagna di Roma (1802)* di Bernardino Olivieri, nel 1811 la carta di Friederich Karl Ludwig Sickler, realizzata senza scala ma con indicazioni precise dal punto di vista orografico e geologico¹⁷⁵.

La Carta dell'Olivieri (Figura 26), incisore¹⁷⁶ a Roma presso la Calcografia Camerale¹⁷⁷, riporta il territorio romano dall'area a nord-est di Tivoli fino a sud-ovest di Terracina con una rappresentazione dettagliata della rete stradale con le principali vie di comunicazione tra le varie località' anche minori.

¹⁷⁴ Nibby A., 1837.

¹⁷⁵ Friederich Karl Ludwig Sickler (1773-1836) fu un archeologo ed egittologo tedesco. Nel 1811 realizzò la carta e nel 1814 un'edizione corredata all'opera *Plan topographique de la Campagne de Rome considérée sous le rapport de la géologie et des antiquités, dessiné et expliqué par F. CH. L. Sickler D. à l'usage des voyageurs*.

¹⁷⁶ Lo Sardo E., 1987.

¹⁷⁷ Il 3 marzo 1738 si conclude la vendita alla Camera Apostolica delle matrici, stampe e stigli della bottega di Filippo De Rossi "alla Pace". Termina l'attività della più grande, ultracentenaria calcografia privata romana e nasce la Calcografia Camerale, divenuta poi Regia e in seguito Nazionale.

Nella area laurentina in questa carta (Figura 27) viene indicato il toponimo *Porciliano*, e la vegetazione indicata come *Macchia del Fusano*, *Macchia di C. Romano* e *La Capocotta*.



Figura 26 Bernardino Olivieri, Carta della Campagna di Roma (1802).



Figura 27 Particolare, Bernardino Olivieri, Carta della Campagna di Roma (1802).

Nel XIX secolo Nibby iniziò a pubblicare una serie di descrizioni su Roma e la campagna romana. Nel 1818 pubblicò l'Itinerario istruttivo di Roma antica e moderna [...] e delle sue vicinanze del cavaliere M. Vasi antiquario romano, riveduta, corretta e accresciuta da A. Nibby, nel 1819 il Viaggio antiquario ne' contorni di Roma, riguardante la campagna romana e i suoi "luoghi celebri", descritti con un criterio che tiene conto dei principali assi viari. La pratica del viaggio a Roma e nelle località limitrofe era molto diffusa tra gli studiosi dell'epoca, in quanto rientrava nell'usanza secolare del Grand Tour. Nel 1827, dopo uno studio approfondito delle carte esistenti, delle imprecisioni e di ciò che non era stato ancora realizzato, pubblicò il risultato dei cinque anni di sopralluoghi da lui condotti e di misurazioni

elaborate dal Gell: *la Carta de' dintorni di Roma secondo le osservazioni di Sir William Gell e del Prof. A. Nibby*. Quest'opera aveva lo scopo secondo Nibby "di offrire una guida sicura a coloro, che essendo amanti delle memorie antiche vanno in traccia delle vestigia sparse nel circondario di Roma"¹⁷⁸. Nibby nel 1837 pubblicò *l'Analisi storico-topografico-antiquaria della Carta de' Dintorni di Roma*, redatta a commento della carta pubblicata la prima volta con Gell nel 1827 e giunta alla quarta edizione, sempre disegnata da Gell e incisa da Filippo Trojani.

La *Carta de' dintorni di Roma* (Figura 28, Figura 29) è una rappresentazione tanto accurata da essere considerata la prima carta del Lazio che impiega rigorosamente il metodo della triangolazione. L'idea era di realizzare un'opera analoga a quella pubblicata nel 1811 da Sickler a corredo del suo *Plan topographique de la Campagne de Rome*¹⁷⁹. L'opera ha avuto molta influenza per la topografia moderna grazie non solo ai metodi di rappresentazione ma anche all'approccio filologico e all'integrazione di fonti letterarie, epigrafiche, analisi toponomastica e storica dei luoghi¹⁸⁰. L'area d'indagine si estende dai territori del Patrimonio di San Pietro a nord alla Campagna romana a sud. In particolare, la carta nella parte alta comprende tutti i territori che si estendono da Magliano fino a M. Carpinetta, nei pressi del

¹⁷⁸ Nibby A., *Analisi storico-topografico-antiquaria della carta de' dintorni di Roma*, vol. 1-2-3, Roma, 1837.

¹⁷⁹ Sickler Friederich Karl Ludwig archeologo ed egittologo tedesco disegnò nel 1811 una carta archeologica della Campagna romana che fu inserita nel volume intitolato: *Plan topographique de la Campagne de Rome considerée sous le rapport de la géologie et des antiquités dessiné et expliqué par F. Ch. Sickler D. à l'usage des voyageurs* (Roma, Imprimé chez François Bourlié, 1811).

¹⁸⁰ Gallia A. e Masetti C., 2016.

Sacro Speco di Subiaco; nella parte bassa la linea di costa si allunga da Pyrgo S. Severa fino al Porto d'Anzio antico¹⁸¹.

Nibby utilizza il toponimo *Sylva laurentina* (Figura 28) per indicare in maniera unitaria e continua tutte le formazioni forestali presenti nell'area tra il Tevere e Pratica/Lavinium, e ricadenti all'interno di svariate Tenute come di può leggere nelle descrizioni pubblicate nell'*Analisi storico-topografico-antiquaria della Carta de' Dintorni di Roma del 1837*.



Figura 28 Particolare Sylva laurentina. Antonio Nibby, Carta de' dintorni di Roma, 1827.

¹⁸¹ Antonio Nibby, *Analisi storico-topografico-antiquaria della carta de' dintorni di Roma*, Vol. I, Discorso Preliminare, 1837.



Figura 29 Antonio Nibby, Carta de' dintorni di Roma secondo le osservazioni di Sir William Gell e del Prof. A. Nibby, 1827. (Pag. seguente).

Rodolfo Lanciani (1845-1929) nella sua opera divulgativa *Wanderings in the Roman Campagna*, pubblicata nel 1909 a Londra, Boston e New York, annunciò che avrebbe realizzato una grande carta archeologica della Campagna Romana. Anche Giuseppe Tomassetti, nel primo volume de *La Campagna romana antica, medioevale e moderna*, nel 1910, confermava l'elaborazione da parte di Lanciani di una pianta archeologica e storica dei dintorni di Roma. L'opera, nella quale si sarebbero dovute condensare le innumerevoli ricerche di Lanciani, purtroppo rimase incompiuta, allo stato di frammenti abbozzati, dai quali emerge il grande valore

documentario e metodologico che avrebbe avuto. Pietro Amato Frutaz nel 1972 pubblicò alcuni stralci nella sua opera *Le Carte del Lazio*, ma in particolare lo stesso Lanciani aveva inserito nella sua opera del 1903, *Le antichità del territorio Laurentino nella reale tenuta di Castelporziano*¹⁸², il “frammento” di carta archeologica relativa al territorio compreso tra Roma e il Litorale meridionale. Da questa carta abbozzata (Figura 30), l’archeologo indica in rosso l’antico sistema insediativo con la sua fitta rete stradale, evidenziando come la campagna della Roma imperiale fosse un territorio vitale, strutturato con insediamenti e percorsi, diversamente dalla condizione di arretratezza che emerge nelle rappresentazioni cartografiche della fine dell’Ottocento. Lo scopo della grande carta archeologica della Campagna Romana di Lanciani era infatti quello di ritrovare nella Campagna Romana d’inizio Novecento le antiche tracce degli insediamenti e delle infrastrutture, prima che potessero essere distrutte dalle incombenti trasformazioni idrogeologiche e dalle bonifiche¹⁸³.

Da questa carta emerge come all’interno della Tenuta di Castelporziano siano presenti notevoli testimonianze archeologiche, come il *Vicus Augustanus*, le Terme Imperiali, nonché come sia attraversata dalla *Via Severiana* e dal sistema di Ville costiere. Tutte queste opere si trovano unite indissolubilmente alla componente naturale e ambientale che si è evoluta inglobando i resti e rendendo necessaria oggi forme di tutela reciproche.

¹⁸² Lanciani R., 1903.

¹⁸³ Impiglia Claudio, 2017.

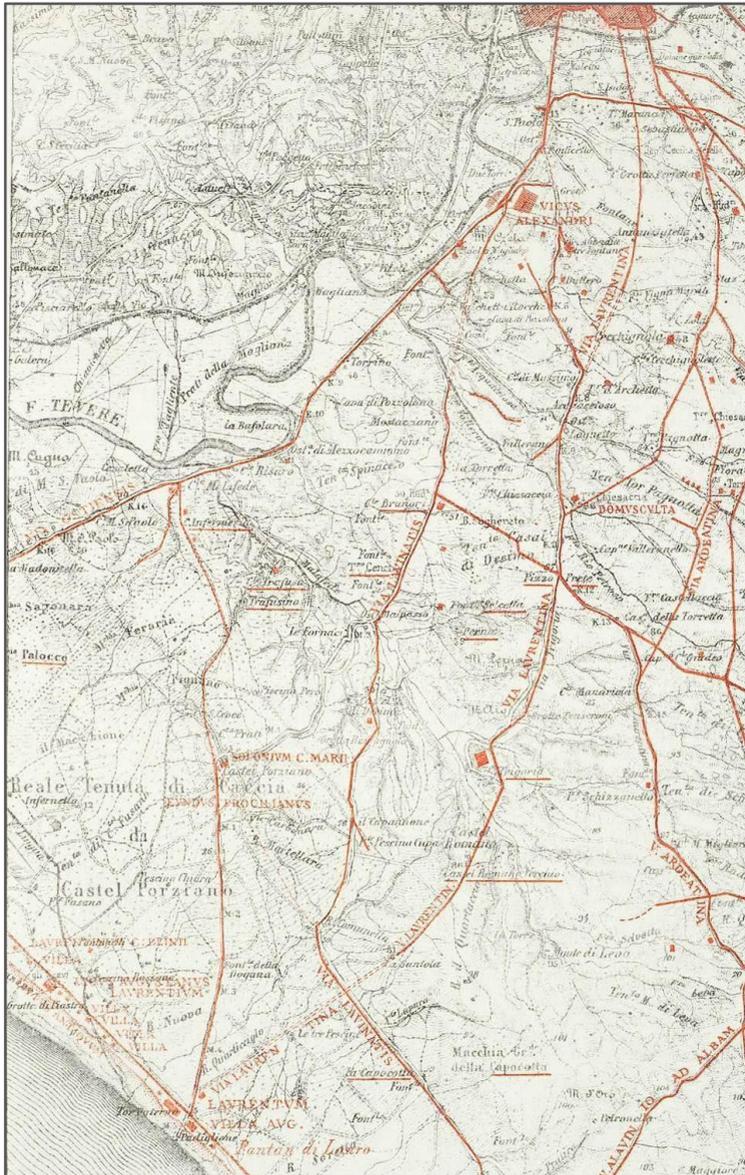


Figura 30 Rodolfo Lanciani, Planimetria del territorio Laurentino con l'antico sistema degli insediamenti e della viabilità, 1903.

2.3 Il Ventesimo secolo con la Città territorio

In Europa durante la seconda metà del XX secolo, si verificano alcuni degli eventi socioeconomici che hanno maggiormente contribuito ad un radicale cambiamento culturale della società: fattori socioeconomici di sviluppo e innovazione tecnologica hanno generato processi di specializzazione e d'intensificazione nei territori più produttivi, ma anche determinato il conseguente abbandono delle aree agricole meno redditizie di collina e montagna¹⁸⁴. Nei decenni tra la Prima Guerra Mondiale e i primi anni Novanta, definiti dallo storico inglese Eric J. Hobsbawm il "secolo breve", si sono avuti i connotati del Novecento e la transizione da città moderna a contemporanea. L'aumento della popolazione urbana, l'espansione delle metropoli, la globalizzazione, la conseguente continuità e concentrazione nelle città hanno generato "lo scontro tra città e campagna"¹⁸⁵.

Tutto questo ha prodotto un cambiamento nel paesaggio tradizionale, fino ad allora connotato dai tipici caratteri dell'ambiente rurale, verso quello di una società sempre più industrializzata e, di conseguenza, urbanizzata. Si assiste ad un'espansione degli spazi aperti, in particolare pubblici, alla dismissione di luoghi e edifici, ad un maggior grado di benessere e ad una crescente mobilità individuale che portano alla dispersione e al decentramento di numerose funzioni con l'affermazione della città diffusa e dell'edificato

¹⁸⁴ Caporali F., 1995; Ewert F. et al. 2005; Rounsevell M.D.A. et al. 2005.

¹⁸⁵ Secchi B., 2000.

sparsa (*sprawl*). I cambiamenti del paesaggio sono molto più evidenti in prossimità dei centri urbani, dove la forte pressione antropica ha molto spesso determinato una frammentazione del paesaggio in tutte le tipologie di copertura del suolo. L'analisi della frammentazione del paesaggio è un tema fondamentale di tutela dell'ambiente, in quanto i cambiamenti della copertura del terreno, per un periodo di tempo sufficiente ad influenzare il sistema ecologico, alterano la proporzione e la distribuzione delle specie negli habitat¹⁸⁶.

Anche in Italia è solo dopo la Seconda guerra mondiale che si assiste alle maggiori trasformazioni urbanistiche e territoriali, tali da determinare un cambiamento complessivo della fisionomia dei luoghi e nei modelli culturali della società. Le città, infatti, si accrescono oltre i vecchi limiti amministrativi per via della rapida industrializzazione e per la rivoluzione dei trasporti.

Per quanto riguarda Roma e quindi tutto il territorio limitrofo alla Capitale, in particolare le aree a Sud verso il mare, possono essere individuate quattro fasi determinanti nell'espansione urbana¹⁸⁷.

Dapprima, tra il 1900 e il 1930, si concretizza l'idea della *Città Giardino*, ovvero quella di poter integrare al suo interno i vantaggi offerti dalla campagna, escludendone gli inconvenienti. Il pensiero di origine inglese s'ispira alla città Medievale, ai Comuni, e propone un ideale di armonia collettiva e civica, con un'architettura irregolare e alternata di strade, piazze e spazi verdi (esempi sono il quartiere

¹⁸⁶ Olsen L.M. et al., 2007.

¹⁸⁷ Cassetti R., 2008.

Garbatella e ciò che rimane della città giardino di Monte Sacro).

Dal 1928, con la Carta di Atene, si diffonde l'idea della *Città funzionale* e delle quattro funzioni alle quali la città deve assolvere: *Lavorare, Abitare, Ricreare corpo e mente, Circolare*. L'avviato processo d'industrializzazione permette di intensificare le produzioni e di avviarne di nuove generando, grazie anche alla motorizzazione diffusa, intensi flussi migratori dagli ambienti rurali alle grandi città. In meno di trent'anni, per via di queste innovazioni, cambia totalmente l'aspetto della città e del territorio intorno, e allo stesso tempo si ha lo svuotamento delle campagne. La città abbandona l'assetto policentrico ottocentesco, diffondendo una struttura che prevede la concentrazione e la suddivisione delle funzioni rilevanti, creando un distacco tra il centro, ricco di servizi, e la periferia, esclusivamente residenziale. Il modello urbano che si realizza si definisce "*a gradienti*": al centro le sedi decisionali, gli edifici di rappresentanza, verso l'esterno le abitazioni di medio livello e le attività professionali, nelle periferie edifici residenziali e i grandi impianti produttivi. La città, pur mantenendo un fulcro centrale, si estende fino ai comuni limitrofi con la realizzazione di nuovi tratti ferroviari e la diffusione dei mezzi privati. Le campagne iniziano ad essere occupate da nuclei residenziali e produttivi e anche il paesaggio rurale, con l'avvento della meccanizzazione, si modifica e si semplifica in forme colturali permanenti e più estensive.

Negli anni '70 si verifica il passaggio nell'*epoca del post-industriale* con grandi cambiamenti per la Capitale, che vede la dismissione di numerose fabbriche, per mancanza di

spazio, ed il loro trasferimento in periferia. Nella società diviene meno rilevante la distinzione fra le classi sociali mentre i bisogni dell'individuo divengono centrali rispetto a quelli della collettività. Questo determina un assetto urbano più articolato, con servizi e funzioni anche in periferia, mentre inizia a connotarsi un nuovo ambiente, quello del periurbano. Si assiste infatti ad un incremento edilizio senza precedenti, di carattere diffuso, oltre l'area metropolitana, lungo una struttura viaria secondaria insufficiente, creando una connessione critica tra campagna e città.

La quarta ed ultima fase è definita *Città territorio*, in quanto si assiste alla fusione tra le città, alla nascita di vere e proprie regioni urbane che annullano la contrapposizione tra città e campagna: i terreni coltivati infatti sono immersi nella matrice urbana insieme a foreste, monti e laghi. I centri storici subiscono le conseguenze della notevole espansione periferica della città, ovvero un degrado in primo luogo funzionale, con alcune delle attività rilevanti trasferite in periferia.

Roma adottava la forma a scacchiera in tutte le città conquistate, con un quadrato di 2.400 passi (circa 710 m) come base dimensionale su cui fondare lo sfruttamento agricolo e controllare un territorio di vaste dimensioni. La città moderna nella seconda fase dimostra una certa coerenza tra forma, posizione delle funzioni e distribuzione delle attività: al centro le istituzioni, le residenze di maggior pregio e gradualmente verso la periferia le attività meno rare e gruppi sociali meno ricchi. Nella città contemporanea al

contrario le caratteristiche dominanti sono: frammentarietà, eterogeneità e dispersione¹⁸⁸.

Nel 1971 l'UNESCO con il progetto *Man and Biosphere* ¹⁸⁹, ha avviato un programma scientifico intergovernativo finalizzato a migliorare le relazioni tra le persone e il loro ambiente integrando componenti biotiche e abiotiche, le scienze naturali e sociali, l'economia e l'istruzione. Il progetto, riconoscendo nelle città una crescita caotica e incontrollata, promuove uno sviluppo economico socialmente e culturalmente appropriato e sostenibile dal punto di vista ambientale. Contestualmente, nello stesso periodo nasce il concetto di *marginalità*, ovvero di instabilità biologica delle aree in particolare peri-urbane rispetto all'equilibrio del sistema urbano. Il secondo concetto che si diffonde è quello del *sistema del verde*, come insieme dei rapporti che si instaurano tra le singole porzioni di spazio libero dall'edificato e occupato dalla vegetazione.

Nel 1996 l'urbanista Bernardo Secchi, riguardo all'importanza della relazione tra città e territorio specifico, affermò che:

Nelle dimensioni più minute e specifiche del locale sono riflessi, come in altrettanti specchi deformanti, i grandi temi che hanno attraversato il mondo occidentale negli ultimi

¹⁸⁸ Cassetti R., 2008.

¹⁸⁹ Il programma *Man and Biosphere* promuove la cooperazione internazionale, con condivisione di conoscenze e lo sviluppo di pratiche, attraverso l'istituzione di una rete mondiale di riserve, la *World Network of Biosphere Reserves*, che attualmente conta 701 siti di eccellenza in 124 paesi in tutto il mondo, inclusi 21 siti transfrontalieri, rappresentando uno dei principali strumenti per promuovere approcci di sviluppo sostenibile in svariati contesti (www.unesco.org).

decenni, la formazione della città-regione, delle periferie metropolitane, della città diffusa, del recupero, del rinnovo e riqualificazione di intere parti della città esistente, della ridefinizione del loro ruolo e della loro funzione, del rapporto tra conservazione ed innovazione, della renovatio urbis degli ultimi due decenni.

Secondo Secchi quindi intere parti di città devono essere recuperate e rinnovate, ma anche lo “spazio tra le cose” della città diffusa deve essere qualificato dalla molteplicità di usi e significati che può assumere e non deve essere ridotto ad area residuale¹⁹⁰. L’attenzione inizia a rivolgersi, dunque, anche alle aree abbandonate e degradate, a spazi caratterizzati dall’assenza di attività antropica. Questi luoghi saranno definiti da Gilles Clément del “terzo paesaggio”¹⁹¹ e apriranno la strada a nuove filosofie d’intervento sul territorio come quella della rigenerazione urbana, con la quale diviene fondamentale il coinvolgimento delle popolazioni nel progetto e resta centrale la conoscenza della storia dei luoghi con la ricerca di documenti in grado di fornire elementi di cui altrimenti non si sarebbe venuti a conoscenza¹⁹².

¹⁹⁰ Gregotti V., 2014.

¹⁹¹ Gilles Clément, 2004. Manifesto del Terzo Paesaggio: “Se si smette di guardare il paesaggio come l’oggetto di un’attività umana subito si scopre [...] una quantità di spazi indecisi, privi di funzione sui quali è difficile posare un nome. [...] Tra questi frammenti di paesaggio, nessuna somiglianza di forma. Un solo punto in comune: tutti costituiscono un territorio di rifugio per la diversità. [...] Questo rende giustificabile raccogliarli sotto un unico termine. Propongo Terzo Paesaggio, terzo termine di un’analisi che ha raggruppato i principali dati osservabili sotto l’ombra da un lato, la luce dall’altro”.

¹⁹² Cialdea D., 2010.

2.4 La fotografia aerea e lo sviluppo periurbano

Uno strumento indispensabile per l'analisi della fisionomia di un territorio, delle sue peculiarità e dei cambiamenti avvenuti nelle città nel corso dell'ultimo secolo, sia per quanto riguarda aspetti quantitativi che qualitativi, è costituito dalla fotografia aerea. Le prime foto aeree di successo si devono a *Gaspar Felix Tournachon*, detto *Nadar* e risalgono al 1855¹⁹³. Nel 1909, Wilbur Wright produsse in Italia, a Centocelle, la prima foto a bordo di un aereo, nel corso di voli dimostrativi, portando alla nascita della moderna fotografia aerea. Le prime immagini da satellite risalgono invece agli anni Settanta, giacché il primo satellite per il telerilevamento, Landsat, fu lanciato nel 1972.

Per l'area romana sono stati innumerevoli i voli aerei di ricognizione fotografica realizzati nel corso del XX secolo a scopi tanto militari, dalla RAF (*Royal Air Force*) inglese nel 1943 e dall'aeronautica Militare Italiana, quanto topografici e catastali da parte di società private, come la S.A.R.A. Nistri¹⁹⁴, che realizzò, già negli Anni Trenta (Figura 31), il

¹⁹³ Nadar nella sua autobiografia scrive: "*poiché il caso volle che fossi io il primo fotografo a esser stato sollevato da un pallone, a me toccò un primato che, in condizioni analoghe, sarebbe potuto appartenere a chiunque altro.*" L'evento raccontato dovrebbe collocarsi nel 1855 e, insieme al brevetto relativo alla fotografia aerostatica richiesto da Nadar definisce la data di nascita della fotografia aerea. Nel 1858 riuscì a fotografare, a bordo di una mongolfiera, il villaggio di Petite Becetre, da un'altezza di circa 80 metri, in seguito divenne il primo uomo a fotografare Parigi dall'alto (Nadar, 2010).

¹⁹⁴ La S.A.R.A. (Società per Azioni Rilevamenti Aerofotogrammetrici) fu fondata nel 1921 dai fratelli Ingegneri Umberto e Amedeo Nistri, dopo

primo rilievo di Mappe Catastali con il metodo aerofotogrammetrico¹⁹⁵.

OTTICO MECCANICA ITALIANA
E RILEVAMENTI AEROFOTOGAMMETRICI
ROMA VIA FRANCESCO NEGLI 11

S.A.R.A.
SEZIONE AUTONOMA RILEVAMENTI AEROFOTOGAMMETRICI

METODO NISTRI

Rilievo N. _____
Lastra N. 2561
Zona _____
Quota _____

Macchina da presa N. _____
Obbiettivo _____
Filtro _____

Figura 31 Fondo Nistri, rilevamenti aerofotogrammetrici 1935-38. Custodia di una lastra, 13x18 cm. Archivio di Stato, Viterbo (Foto Piccinno M.).

Le fotografie aeree storiche costituiscono quindi la più importante fonte d'informazioni e di dati circa le evoluzioni e le dinamiche del paesaggio estremamente

aver progettato e costruito i primi strumenti restitutori su brevetto internazionale dell'Ing. Umberto Nistri, topografo e matematico. I due Nistri svolsero numerosi lavori tra cui il primo rilievo delle Mappe Catastali con il metodo aerofotogrammetrico (Provincia di Viterbo – 1935-38 per conto del Ministero delle Finanze), il Piano Regolatore del Comune di Roma e di Milano, oltre al rilievo aerofotogrammetrico dello Stato di San Paolo del Brasile. L'attività della Società fu interrotta dallo scoppio della Seconda Guerra Mondiale. Nel dopoguerra fu rifondata e, tutt'oggi disponendo di una moderna strumentazione, la S.A.R.A. realizza cartografia aerofotogrammetrica (www.saranistri.com).

¹⁹⁵ Piccinno M., 2012.

diverso da quello odierno¹⁹⁶, consentendo lo sviluppo di molti studi al riguardo, anche nell'area a Sud di Roma e in particolare a Castelporziano (Figura 38, Figura 39, Figura 40, Figura 41).

Uno studio condotto nell'ambiente periurbano a Sud di Roma¹⁹⁷ ha permesso di approfondire l'evoluzione paesaggistica nel corso del Novecento e l'impatto ambientale indotto sul territorio dalle trasformazioni d'uso del suolo. È stata infatti condotta un'analisi diacronica dell'uso del suolo su differenti scenari temporali: 1954, 2000 e 2012. L'ambiente preso in esame, oggi periurbano, ha un'area di 265 Km², secondo il limite a scala di bacino idrografico definito dalla zonizzazione del Piano Regolatore Generale di Roma (2006), e include il comprensorio di Acilia, Casal Palocco, Infernetto e la Riserva Naturale Statale di Castelporziano.

Gli scenari diacronici hanno permesso di definire l'evoluzione urbana avvenuta per la città di Roma nell'area adiacente alla Tenuta di Castelporziano. Le immagini aeree antecedenti agli anni '50 testimoniano la completa assenza di elementi antropici sul territorio: infatti l'ambiente dentro e fuori la Tenuta mostra una totale continuità naturale. Nello scenario proposto dalla Carta di Uso del Suolo (CUS) del CNR-Touring Club del 1954 il territorio si mostra piuttosto omogeneo in termini di distribuzione delle classi d'uso del suolo, con seminativi asciutti, grandi sistemi forestali, pascoli e incolti produttivi. L'insediamento residenziale si presenta compatto e localizzato solo lungo la costa (Ostia). All'interno dei confini della Tenuta di Castelporziano la

¹⁹⁶ Ripa M.N. et al., 2013.

¹⁹⁷ Giuliani C. et al., 2015.

superficie è equamente divisa tra soprassuoli forestali, seminativi, pascoli e incolti produttivi. Lo scenario della fine degli anni '60 pone invece in risalto l'espansione urbana di Roma oltre i confini storici, aumentando il numero degli insediamenti lungo la costa e nelle aree adiacenti Castelporziano, in alcuni casi invadendo la fascia perimetrale di rispetto imposta lungo i confini della Tenuta. Nello scenario del 2000 è chiaramente visibile l'intensificazione del processo urbano iniziato negli anni Sessanta e Settanta per l'area Sud-Ovest della Tenuta e la saturazione della lottizzazione avvenuta negli stessi anni per le zone a Nord-Ovest. Anche all'interno della Tenuta di Castelporziano la superficie dei seminativi semplici, che prima occupava circa la metà dell'estensione totale, si riduce drasticamente in favore di una compattazione dei soprassuoli forestali probabilmente promossa dalle politiche di gestione interne all'Area Protetta. Altro sostanziale aumento riguarda il tessuto residenziale localizzato a Nord della Cristoforo Colombo e a Sud di essa, in prossimità dei confini della Tenuta. Lo scenario del 2012 non si mostra particolarmente diverso da quello del 2000. All'interno dell'Area Protetta la conformazione territoriale rimane invariata e si conserva l'omogeneità dei soprassuoli forestali.

Per l'ambiente interno alla Tenuta anche lo studio di *Grignetti*¹⁹⁸ fornisce informazioni sull'evoluzione del soprassuolo. Sono state analizzate le foto aeree del 1943-44 (*volo RAF*), del 1954-55 (*Volo Base*), del 1959 e del 1969 (*Aeronautica Militare*), del 1980 (*volo S.A.R.A. Nistri*) e

¹⁹⁸ Grignetti A. et al., 1999.

un'immagine LANDSAT del 1995. Dall'interpretazione e lo studio delle immagini è emerso che l'estensione dei querceti presenta una piccola ma costante diminuzione, provocata dai tagli forestali, tranne nell'ultimo periodo, tra il 1980 e il 1995, per via di evidenti rimboschimenti e per un aumento dovuto all'evoluzione della macchia mediterranea verso le formazioni forestali più mature. La macchia mediterranea è caratterizzata da un aumento costante nelle aree aperte e prive di vegetazione. Le pinete aumentano la propria estensione, arrivando al 13% della Tenuta nel 1980, per poi ridursi al 7% nel 1995. L'unità territoriale maggiormente trasformata è stata quella dei pascoli e delle aree agricole. Per l'esigenza di un'attività agricola più estesa, molti terreni sono stati convertiti in coltivi fino a raggiungere l'estensione massima del 20% del territorio nel 1954. Successivamente queste aree sono state via via ridotte con rimboschimenti, dapprima di pinete, per arrivare al 14% del territorio negli anni Novanta.

Dallo studio di Recanatesi¹⁹⁹ si hanno invece le informazioni relative alle variazioni avutesi nel paesaggio della Tenuta nel XXI secolo, con la fotointerpretazione e l'elaborazione di Carte di Uso del Suolo da immagini aeree del 1930 e del 2010. Il confronto tra le due cartografie relative alla copertura del suolo mostra un aumento generale della frammentazione del paesaggio, anche a causa di due nuove classi di copertura del suolo assenti nel 1930. La diminuzione più significativa è stata osservata per la macchia mediterranea e le aree aperte, soprattutto come conseguenza

¹⁹⁹ Recanatesi F. et al., 2011.

dell'espansione dei querceti. Per le altre classi di copertura del suolo non si sono verificati significativi cambiamenti di superficie. L'aumento più significativo è stato nella classe delle pinete (+ 8,8%) grazie ai rimboschimenti della prima metà del ventunesimo secolo. La superficie della costa è diminuita principalmente per via della colonizzazione della macchia mediterranea che ha contribuito positivamente alla protezione dall'erosione del mare: infatti la linea di costa è rimasta invariata per 80 anni senza subire fenomeni erosivi come nel tratto di costa adiacente. È visibile, tuttavia, una frammentazione della copertura, riconducibile all'impatto antropico degli anni Ottanta, con lo sviluppo dell'infrastruttura stradale principale che ha più che raddoppiato la lunghezza complessiva dei tracciati.

Secondo Pezzi²⁰⁰ il paesaggio è *“uno spazio geografico ed ecologico dotato di una sua peculiare strutturazione, ma sempre in costante trasformazione”*. Le dinamiche derivano dalla concomitanza di processi antropici e naturali e comportano un rinnovo continuo delle strutture esistenti che porta alla trasformazione del paesaggio. Negli ultimi cinquant'anni il paesaggio italiano, come quello del resto d'Europa, è stato soggetto a dinamiche e trasformazioni del territorio sempre più rapide²⁰¹.

Questi studi confermano invece che il paesaggio della Riserva Naturale di Castelporziano non è stato colpito dal forte incremento dell'urbanizzazione nelle aree circostanti, arrivando a rappresentare oggi un luogo depositario di

²⁰⁰ Pezzi G. et al., 2005.

²⁰¹ Cialdea D., 2019.

elementi paesaggistici del passato, come i querceti misti planiziali che occupano il 60% dell'intero territorio.

Osservando ad una scala più vasta il contesto territoriale in cui s'inserisce Castelporziano, si può immediatamente cogliere come esso sia legato all'area metropolitana di Roma, nello specifico a quella che viene denominata *la Coda della Cometa*²⁰². Questa espressione, coniata nel 1935 da Gustavo Giovannoni e poi ripresa nel Piano Regolatore del 1942, indica la conurbazione che si sviluppa in direzione nord-est/sud-ovest lungo il Tevere tra il Grande Raccordo Anulare e la costa tirrenica (Figura 33).

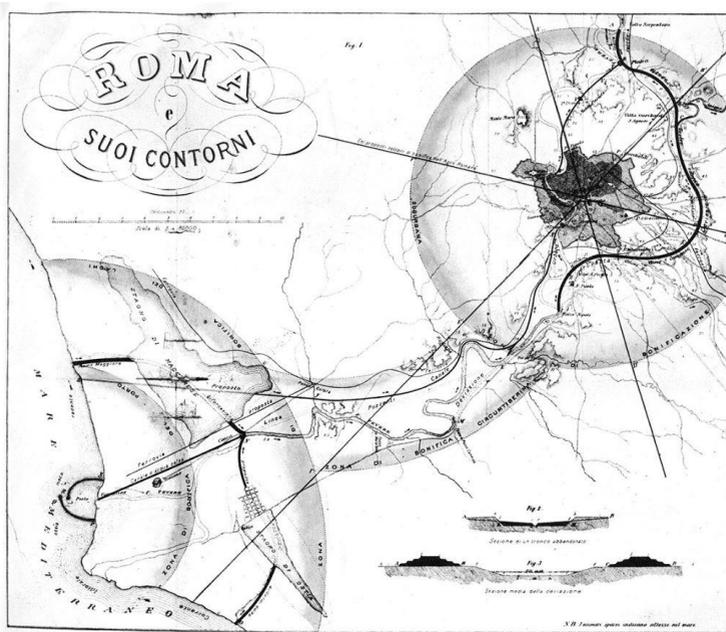


Figura 32 Progetto Roma e i suoi contorni, Alfredo Baccharini, 1875.

²⁰² Carpenzano O. e Rossi P. O., 2019.

Quest'idea di sviluppo urbano di Roma era stata già avanzata da Alfredo Baccarini nel 1875 con un progetto sostenuto anche da Giuseppe Garibaldi (Figura 32).

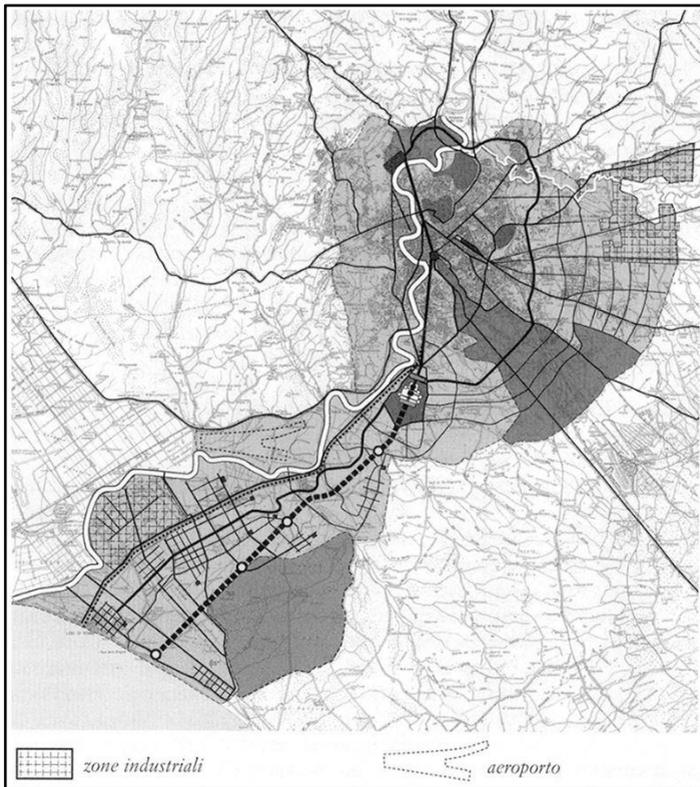


Figura 33 Variante Generale, 1942 (Ricostruzione di Vieri Quilici).

Oggi gli insediamenti, con una superficie di circa 260 km² e 300.000 abitanti, corrispondono amministrativamente al X Municipio, alla parte meridionale dell'XI e ad un'area del Comune di Fiumicino. Quando Roma fu proclamata Capitale del Regno d'Italia nel 1870, era divenuta centrale la necessità di regolare il regime del Tevere per limitare il rischio di inondazioni, ma anche di intervenire sulle

134

condizioni di miseria dell'Agro a sud di Roma e di rispondere alle ipotesi di sviluppo di un porto sul Mar Tirreno per la Capitale. Per questo motivo, data il ruolo nodale dell'area per lo sviluppo della città, tra il 1884 e il 1892 fu condotta la bonifica dell'Agro alle foci del Tevere (Ostia, Isola Sacra, Campo Salino e Maccarese), nel 1924 fu inaugurata la ferrovia Roma-Lido e nel 1928 l'Autostrada Roma-Ostia. Lo sviluppo di Roma in direzione mare fu previsto con la Variante al Piano Regolatore del 1942, con la realizzazione quindi dell'E42 (EUR), destinato ad ospitare l'Esposizione Universale del 1942. Avviandosi quindi l'effettiva espansione di Roma verso sud, assunsero un ruolo centrale le direttrici di sviluppo presenti: da un lato le Vie Portuense, Magliana, l'Autostrada per Fiumicino e la Ferrovia Regionale Fiumicino-Orte, dall'altro le Vie Ostiense, del Mare, Colombo e la Ferrovia Roma-Lido. Nel dopo guerra proseguì il processo di urbanizzazione dell'area con la realizzazione di Vitinia (1948), di Villaggio S. Francesco (1950), del complesso INA-Casa di Casal Bernocchi e di Acilia (1958), quindi di Casal Palocco (1962). Roma ha quindi assunto una struttura non centripeta, con un centro e una periferia a questo correlata, il cui carattere riflette direttamente la distanza da esso, bensì una forma policentrica, compatta ma anche ricca di spazi vuoti potenzialmente continui ²⁰³ nel sistema urbano diffuso (*sprawl*). In questo contesto, la Coda della Cometa si presenta come una conurbazione a bassa densità edilizia e con un elevatissimo consumo di suolo. In effetti, insieme alle

²⁰³ Cialdea D., 2018.

superfici urbane, frutto di un'urbanizzazione rapida e incontrollata, esistono estese formazioni ambientali e forestali, come la Riserva di Decima- Malafede, la Tenuta di Castelporziano e la pineta di Castel Fusano, nonché l'immenso patrimonio archeologico presente lungo la linea di costa dell'Antica Roma, il tracciato delle vie Flavia e Severiana, il complesso di *Portus*, Isola Sacra, Ostia, e del *Vicus Augustanus*.

Dalle foto aeree del XX secolo si può facilmente constatare il processo di urbanizzazione del confinante quartiere dell'Infernetto, che fino agli Anni Cinquanta costituiva un'area di continuità del paesaggio forestale. Negli Anni Quaranta state realizzate le infrastrutture stradali e la lottizzazione della superficie (Figura 34) e in seguito si è avviata la costruzione degli edifici, presenti già in gran numero negli Anni Sessanta (Figura 35) e in crescita nei decenni successivi (Figura 36, Figura 37). Si stima che la superficie urbana sia passata da circa 200 ettari nel 1954 a oltre 1500 nel 2018 ²⁰⁴.

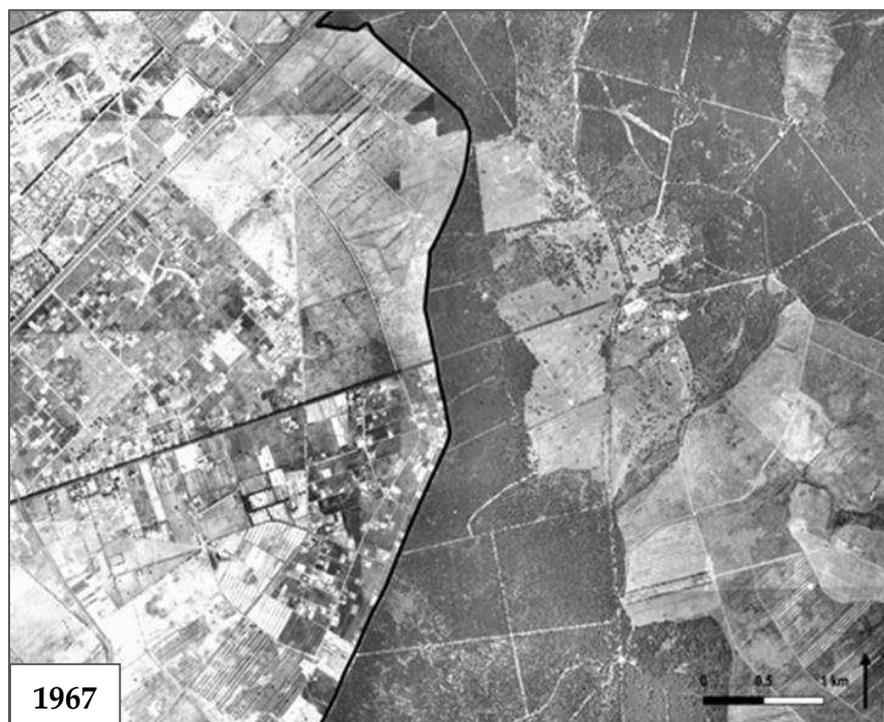
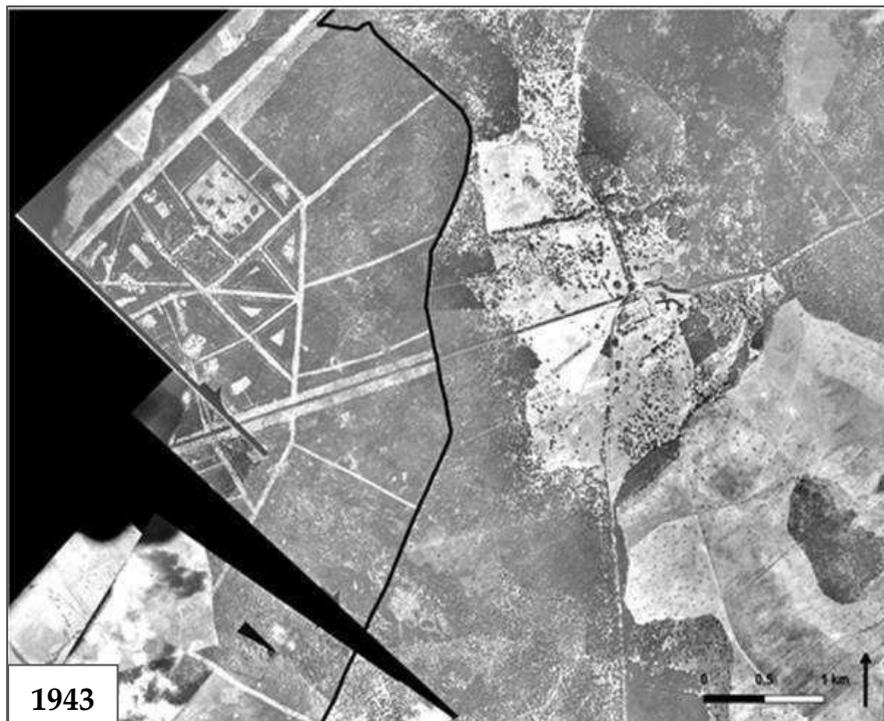
Figura 34 Margine, confine (linea nera) tra la Tenuta di Castelporziano e il nascente quartiere dell'Infernetto nel 1943 (Piccinno M., Elaborazione Immagini Volo RAF).

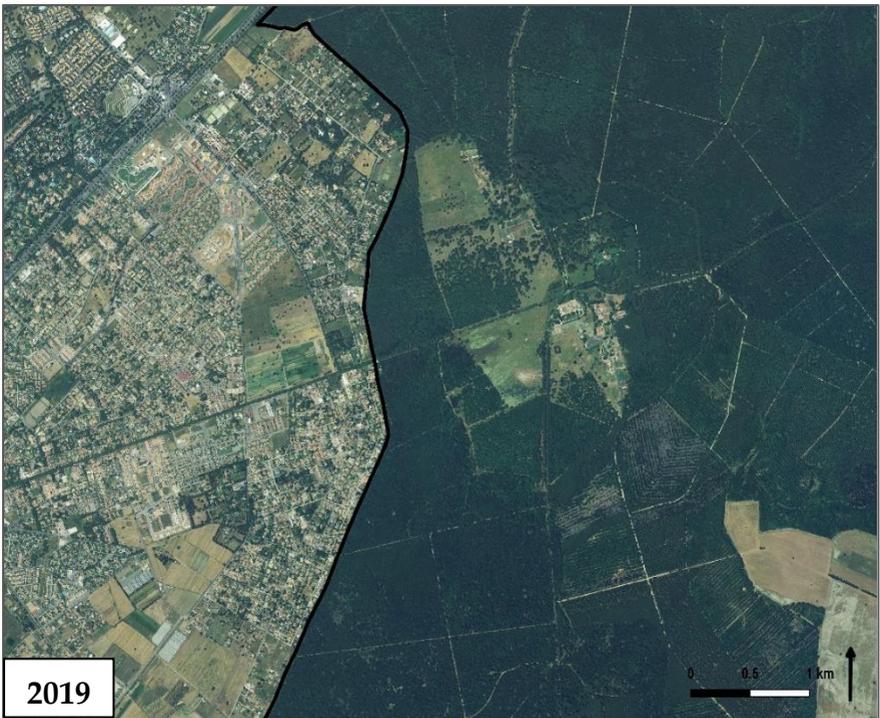
Figura 35 Margine, confine (linea nera) tra la Tenuta e il quartiere dell'Infernetto nel 1967 (Piccinno M., Elaborazione Immagini Volo SARA Nistri).

Figura 36 Margine, confine (linea nera) tra la Tenuta e il quartiere dell'Infernetto nel 1985 (Piccinno M., Elaborazione Immagini Volo SARA Nistri).

Figura 37 Margine, confine (linea nera) tra la Tenuta e il quartiere dell'Infernetto nel 2019 (Piccinno M., Elaborazione Immagini Aeree).

²⁰⁴ Recanatesi & Petroselli, 2020.





Paradossalmente si può osservare che, se nel corso del 1900 era la città che con l'urbanizzazione diffusa interrompeva la continuità paesaggistica e naturale del territorio laurentino, oggi è Castelporziano, insieme ad altre limitate realtà naturali protette, ad interrompere la continuità urbana ²⁰⁵ della area metropolitana di Roma (Figura 42). L'urbanizzazione diffusa, non è certamente priva di effetti sui vicini ecosistemi naturali, giacché i cambiamenti di uso del suolo rappresentano la prima causa di perdita di servizi ecosistemici e influenzano anche lo scorrimento superficiale delle acque nei bacini idrografici di pertinenza. Questo avviene anche per le aree periurbane di Roma, come i quartieri confinanti con la Tenuta, dove il consumo di suolo determina un problematico aumento del rischio idraulico, in particolare in seguito ad eventi di precipitazioni estive che si verificano dopo un periodo siccitoso e quindi in condizioni di suolo arido. In questo contesto il ruolo degli ecosistemi naturali diviene anche quello di contribuire a ridurre il rischio connesso con tale impermeabilizzazione dei terreni ²⁰⁶. Dalla disamina delle fonti documentali, insieme alle cartografie storiche e alle foto aeree, risulta la peculiare resilienza del paesaggio forestale di Castelporziano, uno degli ultimi territori laurentini che conservano da secoli la loro fisionomia. L'area naturale di Castelporziano ha preservato la sua integrità fino ad oggi, grazie al suo ruolo di Riserva Reale e poi Presidenziale nonché per la sua gestione da parte dello Stato. Infatti, la gestione statale ha aumentato l'attenzione verso la

²⁰⁵ Cialdea D., 2017.

²⁰⁶ Recanatesi & Petroselli, 2020; Recanatesi et al., 2017.

salvaguardia del paesaggio approfondendo la conoscenza delle cause e degli effetti del degrado, della salvaguardia delle conseguenze del cambiamento dell'uso del suolo, nonché l'influenza dei processi biotici e abiotici sul paesaggio²⁰⁷.

Per un lungo periodo, nei piani di sviluppo, la questione ambientale veniva affrontata solo distinguendo aree da tutelare, cioè da sottrarre ai processi di trasformazione, e aree destinate allo sviluppo. Purtroppo, questa netta distinzione ha prodotto gravi squilibri, giacché non si era considerato il funzionamento strutturale del territorio, ossia i legami e gli scambi che intercorrono tra le diverse parti adiacenti, che condividono aria, acqua e suolo²⁰⁸. A tal proposito diviene rilevante approfondire sia le dinamiche globali, come l'andamento climatico della zona, che quelle locali, naturali e antropiche, per sapere come possano influire sulla conservazione di questi ecosistemi naturali. Questi ecosistemi, fra i pochi testimoni d'ambienti antichi, per la loro storia e resilienza, hanno bisogno di particolari attenzioni e tutele, per permettere alla collettività di godere degli innumerevoli benefici derivanti dalla loro presenza, ovvero di quelli che, come si è in precedenza trattato²⁰⁹, vengono definiti *servizi ecosistemici*²¹⁰.

²⁰⁷ Etter A. et al. 2006.

²⁰⁸ Calzolari V., 1999.

²⁰⁹ Vedi Capitolo I, Paragrafo 1.4, pag.58.

²¹⁰ Da *ecosystem services*, rappresentano “*i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano*” (Assessment, Millennium Ecosystem, 2005).



Figura 38 Immagini aeree 1943, Volo RAF (Royal Air Force)

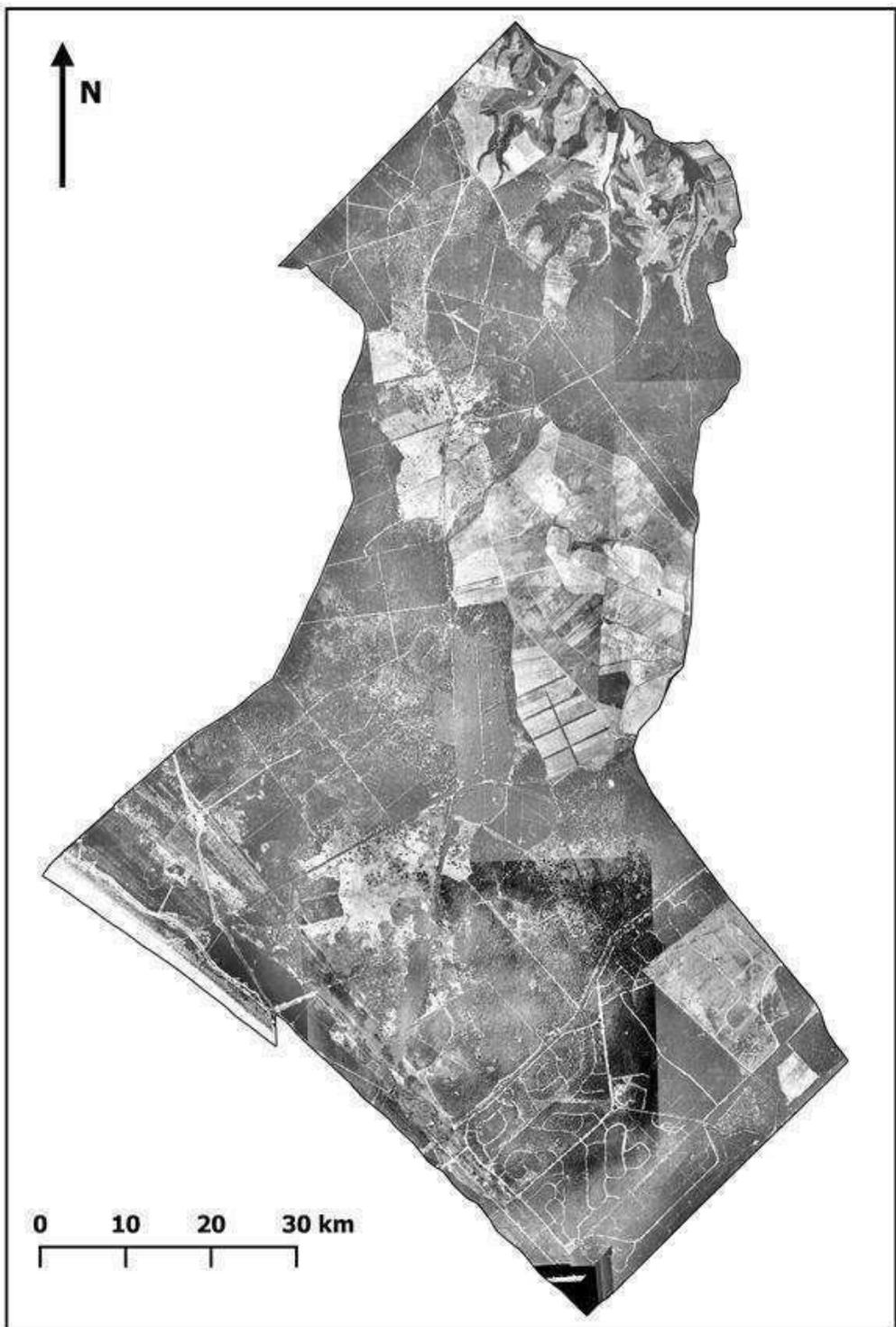


Figura 39 Immagini aeree 1967, Volo S.A.R.A. Nistri



Figura 40 Immagini aeree 1985, Volo S.A.R.A. Nistri

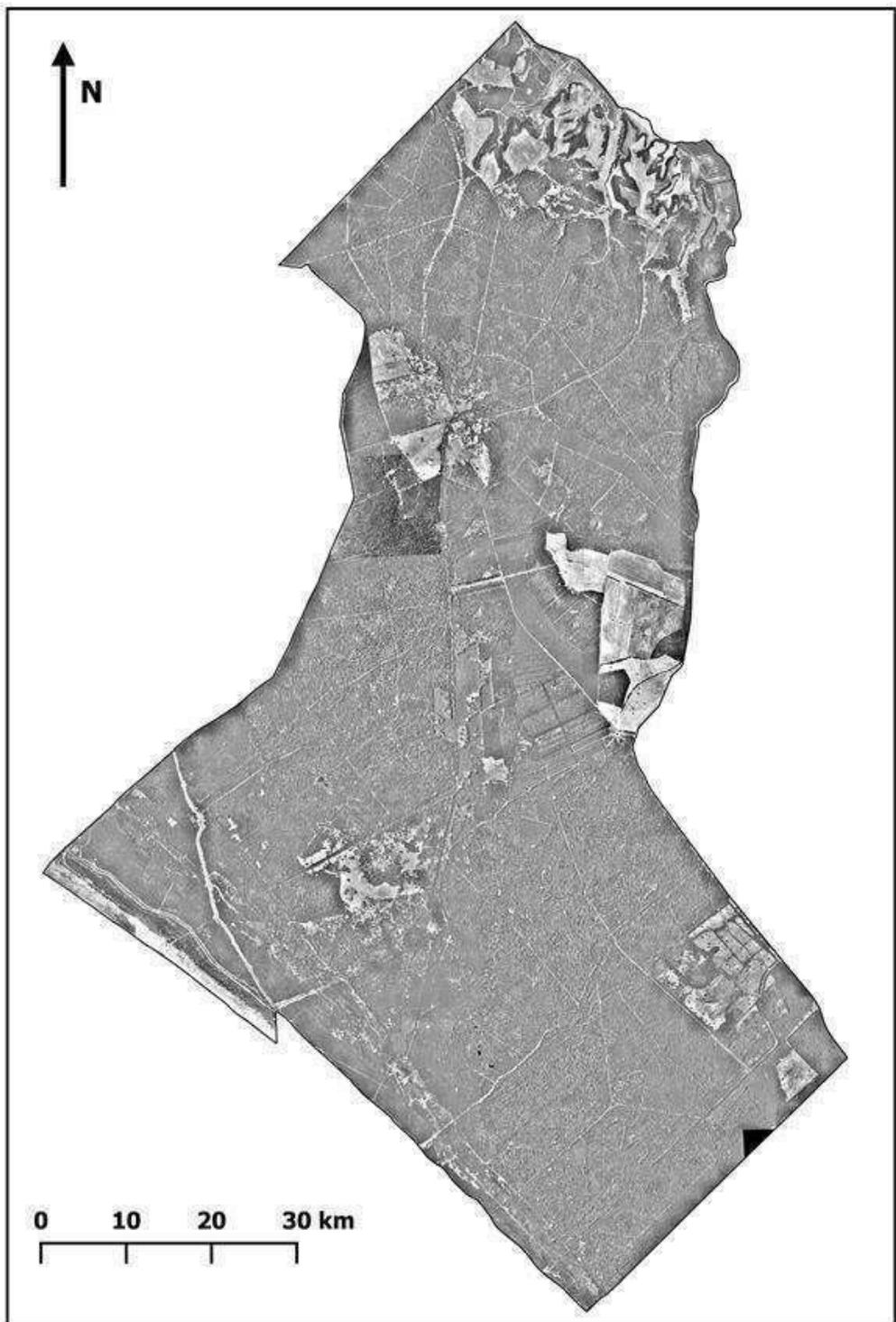


Figura 41 Immagini aeree 1998, Volo S.A.R.A. Nistri

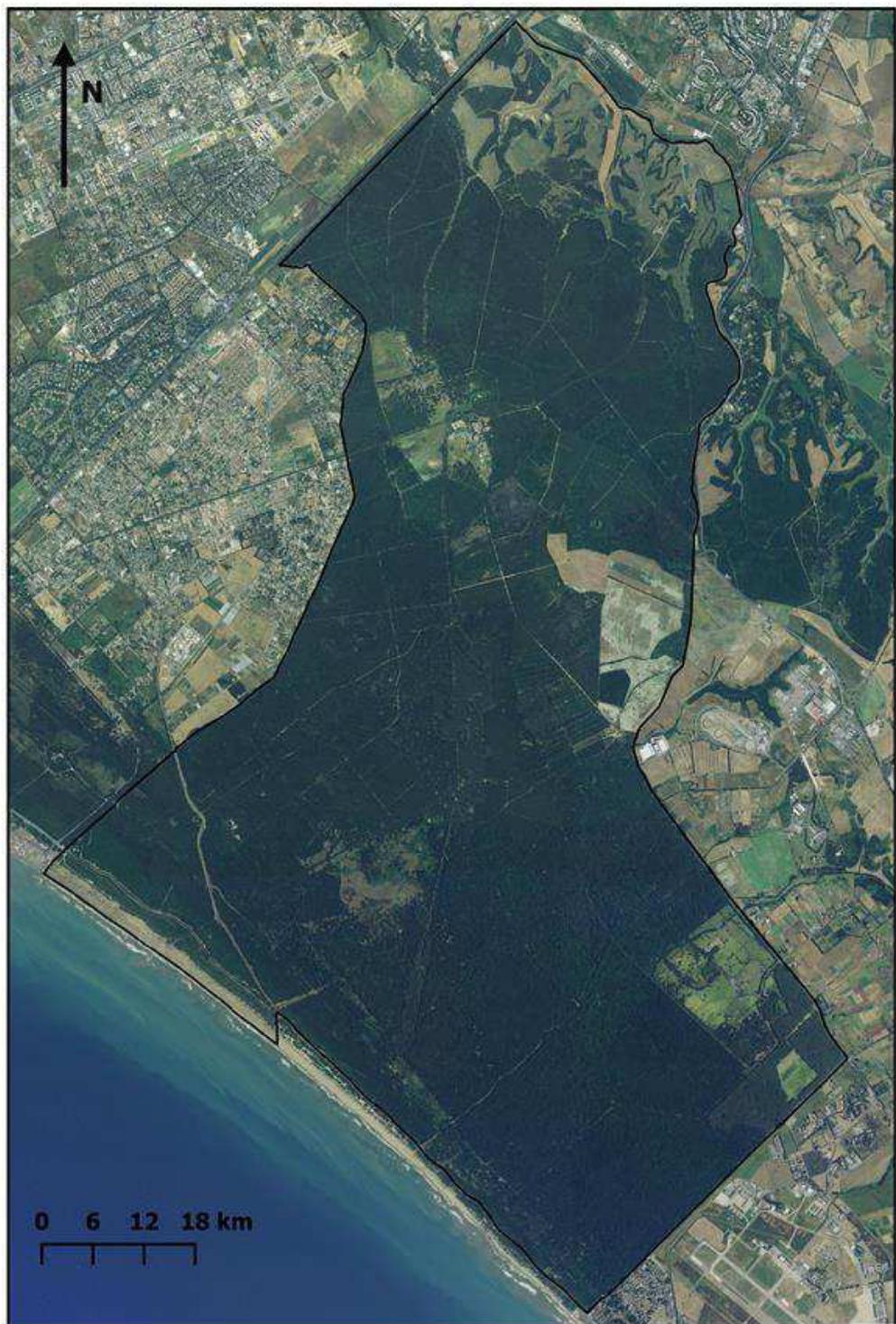
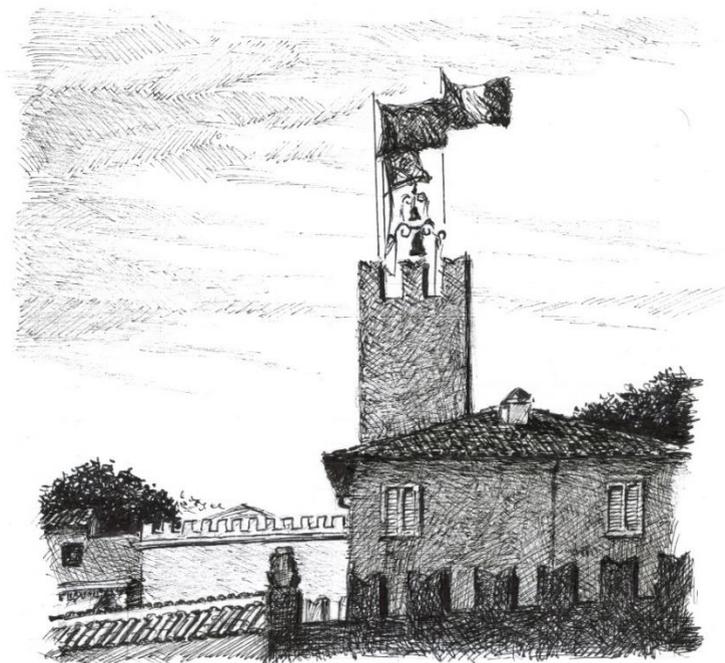


Figura 42 Castelporziano oggi, immagine aerea 2010



III LE FORESTE LAURENTINE

3.1 Gli ecosistemi forestali di Castelporziano

L'ampia copertura boschiva che occupa attualmente gran parte della Tenuta di Castelporziano rappresenta la componente residua del grande sistema forestale che si estendeva per tutta la pianura costiera laziale e che occupava il delta del Tevere e le zone adiacenti²¹¹. L'area coincide in gran parte con l'antico territorio Laurentino, che Virgilio descrive nell'Eneide come caratterizzato da ampie radure destinate al pascolo brado, costeggiate da zone boschive ed estese fino alle vaste zone acquitrinose "*palus Laurentina*"²¹². Sono presenti oltre 3000 ettari di bosco caratterizzato da querceti misti, in gran parte caducifogli, ma anche di querce sempreverdi quali il leccio (*Quercus ilex* L.) e la sughera (*Quercus suber* L.)²¹³.

I querceti dell'Italia, soprattutto centro meridionale e insulare, risultano particolarmente importanti per tutto il continente europeo, poiché studi sul DNA materno dei cloroplasti²¹⁴ hanno dimostrato come alcuni tra gli aplotipi, ovvero tipologie di DNA cloroplastico, che hanno colonizzato il vecchio continente si sono originati proprio in queste regioni ²¹⁵. Anche le analisi sui pollini fossili

²¹¹ Vedi Capitolo II.

²¹² Aen. X,709.

²¹³ Macuz A. et al., 2001.

²¹⁴ Organulo caratteristico delle cellule vegetali, collocato nelle parti delle piante esposte alla luce. I cloroplasti hanno una origine endosimbiontica e possiedono un proprio DNA. Al loro interno vengono prodotti le proteine e i pigmenti di clorofilla necessari alla fotosintesi (Trecani).

²¹⁵ Il progetto europeo ("*Synthetic maps of gene diversity and provenance performance for utilization and conservation of oak genetic resources in*

suggeriscono come l'Italia peninsulare e insulare abbia svolto un ruolo di rifugio²¹⁶ consentendo la conservazione delle querce durante le fasi glaciali e poi la loro successiva migrazione²¹⁷. Si stima inoltre che l'espansione delle piante forestali sia stata molto rapida, in particolare per le querce con un tasso di migrazione di 500 metri all'anno²¹⁸.

Dal punto di vista ecosistemico, l'area laurentina si inserisce all'interno dell'ecoregione Mediterranea Tirrenica: Divisione mediterranea, Provincia Tirrenica, Sezione nord-centro tirrenica, sottosezione Area romana. Per ecoregione s'intende un'ampia area della superficie terrestre ecologicamente omogenea al cui interno specie e comunità naturali interagiscono con i caratteri fisici dell'ambiente. In Italia sono state descritte due divisioni, Temperata e Mediterranea, con 7 Province, 11 Sezioni e 33 sottosezioni. La *Provincia Tirrenica* si caratterizza per una vegetazione potenziale dominante costituita da boschi di *Quercus ilex* e querceti misti di *Quercus suber*, foreste decidue e querceti termofili con *Q. cerris* e/o *Q. frainetto*, foreste mesofile con *Fagus sylvatica* e *Ilex aquifolium*²¹⁹.

Europe", CT-FAIR1 PL95-0297) ha coinvolto dodici Paesi, compresa l'Italia.

²¹⁶ Per rifugio glaciale si intende un'area in cui, durante l'alternanza fra fasi fredde o glaciali e fasi temperate, una determinata specie animale o vegetale si conserva e sopravvive. Al termine dell'ultimo periodo glaciale, terminato in Europa 13000 anni fa, gli organismi sia animali che vegetali hanno dato luogo a dinamiche di migrazione dalle aree rifugio alle zone più settentrionali del continente (Fineschi S. et Vendramin Giovanni G., 2004).

²¹⁷ Fineschi S. et Vendramin G., 2004.

²¹⁸ Le Corre V. et al., 1997.

²¹⁹ Blasi C. et al., 2014.

La Tenuta presidenziale di Castelporziano si estende alla periferia occidentale della Capitale sul sistema dunale compreso tra Ostia e Pratica di Mare a circa 20 Km dal centro di Roma (Figura 43) e presenta confini ben definiti²²⁰.

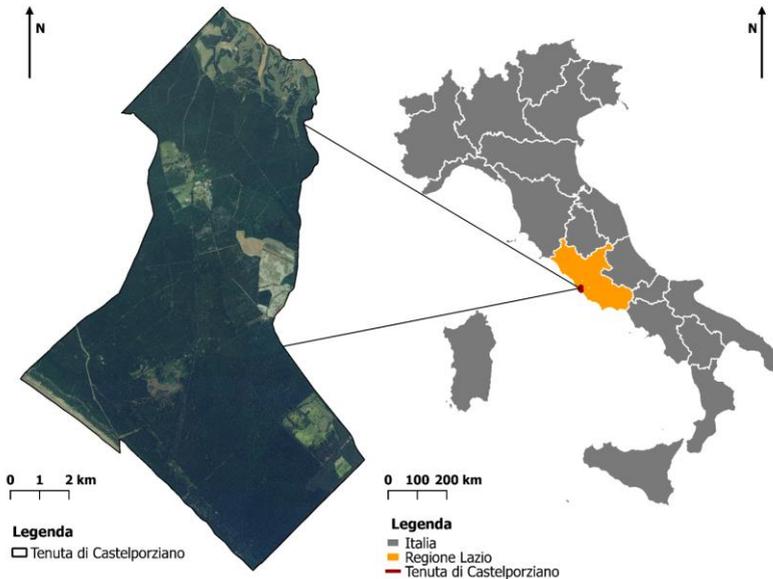


Figura 43 Tenuta presidenziale di Castelporziano e inquadramento geografico: l'Italia e nella Regione Lazio.

Al suo interno si possono osservare ambienti ben diversificati: cordoni dunali, macchia mediterranea, dune stabilizzate in boschi a prevalenza di leccio (*Quercus ilex*), dune antiche con prevalenza della lecceta e dei boschi planiziali a cerro e farnetto con *facies* a carpino orientale, querceti misti a dominanza di sughera, pinete, fondivalle

²²⁰ I suoi ingressi principali si trovano in Località Malafede, sulla via Cristoforo Colombo, in Località Malpasso, su una deviazione della S.S. n. 148 Pontina e in Località Infernetto, su via di Castelporziano.

prevalentemente destinati alle coltivazioni agricole. Il territorio è una testimonianza della straordinaria sopravvivenza fin ai giorni nostri di una copertura residuale di foresta mediterranea quasi completamente eliminata dai territori limitrofi e dalla maggior parte delle zone costiere dell'intera penisola. È quindi osservabile il fenomeno della persistenza di forme di vegetazione di tipo temperato all'interno della biocora mediterranea costiera, quale relitto di epoche climatiche più fresche rispetto all'attuale.

La mappatura degli Habitat forestali ²²¹ ha individuato 9 Habitat (Tabella 3), ai sensi della Direttiva 92/43/CEE, di cui 2 prioritari: Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* (99.89 ha, Cod. 2270) e Matorral arborescenti di *Laurus nobilis* (63.54 ha, Cod. 5230).

Codice	Habitat
2270*	Dune con foreste di <i>Pinus pinea</i> e/o <i>Pinus pinaster</i>
5210	Matorral arborescenti di <i>Juniperus</i> spp.
5230*	Matorral arborescenti di <i>Laurus nobilis</i>
91B0	Frassineti termofili a <i>Fraxinus angustifolia</i>
91F0	Foreste miste riparie di grandi fiumi a <i>Quercus robur</i> , <i>Ulmus laevis</i> e <i>Ulmus minor</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> o <i>Fraxinus angustifolia</i> (<i>Ulmion minoris</i>)
91L0	Querceti di rovere illirici (<i>Erythronio- Carpinion</i>)
91M0	Foreste Pannonico-Balcaniche di <i>Quercus cerris</i> e <i>Quercus petraea</i>
9330	Foreste di <i>Quercus suber</i>
9340	Foreste di <i>Quercus ilex</i> e <i>Quercus rotundifolia</i>

Tabella 3 Habitat forestali presenti nella Tenuta presidenziale di Castelporziano ai sensi della Direttiva 92/43/CEE.

²²¹ Spada F., Agrillo E., 2018.

L'area è compresa tra le quote di 85 m s.l.m. e 0 m s.l.m.; s'individua una linea spartiacque che passa nelle aree di Spagnoletta di Sopra (62.9 m s.l.m.), Macchia Ponteguidoni (79.8 m s.l.m.) e Farnete (85 m s.l.m.), la quale divide la Tenuta in due ampie zone, quella a Nord con caratteristiche geomorfologiche diverse e più movimentate rispetto alla parte a Sud, che si presenta complessivamente pianeggiante con una pendenza media del 5 % verso il mare (Ovest).

Dal punto di vista morfologico e del paesaggio il territorio in esame si può considerare giovane. Infatti, risente sostanzialmente di due fattori che hanno agito in tempi relativamente recenti: il primo è il vulcanismo, che livellando con i suoi prodotti la morfologia precedente, ha ringiovanito tutto il paesaggio, il secondo è quello fluviale, che con la sua dinamica di erosione e deposizione ha creato quella vasta zona, che va da Ladispoli a Torvaianica, a forma di losanga su cui si sono sovrapposte altre dinamiche quali quella eolica e quella costiera. Il territorio può essere suddiviso in sei unità geomorfologiche, dalla più recente alla più antica si osserva: *I Unità della spiaggia attuale e del primo cordone dunale*, *II Unità delle alluvioni recenti*, *III Unità della duna recente*, *IV Unità della duna antica*, *V Unità delle vulcaniti* e *VI Unità dei depositi deltizio-palustri*. La duna antica si sviluppa, per circa 6 - 7 km di ampiezza, dall'unità della duna recente a quella delle vulcaniti, occupando oltre i 4/5 della superficie dell'intera Tenuta, con una morfologia prevalentemente pianeggiante²²².

²²² Biondi F.A. et al., 2001.

La superficie complessiva risulta di 5979,3 ettari, ricoperti in prevalenza da boschi (4578 ettari pari al 75,7 %), costituiti nello specifico da querceto misto di latifoglie (circa 2306,5 ettari pari al 38%) e da querceto e macchia mediterranea a prevalenza di leccio (circa 816,1 ettari pari al 13,5%). Le pinete occupano 752 ettari (12,4 %), le sugherete 461,5 ettari (7,6 %), la macchia mediterranea 132,5 ettari (2,2 %), le piantagioni speciali 72,6 ettari (1,8 %) e le formazioni igrofile 36,9 ettari (0,6 %). La restante superficie è rappresentata da pascoli (112,6 ettari), zone agrarie (453 ettari) e zone naturali aperte (praterie aride 662,6 ettari), mentre le aree con funzioni residenziali e di servizio occupano circa 173 ettari²²³. È interessante segnalare come nei querceti misti di caducifoglie vi sia una prevalenza del *Quercus cerris* (cerro). La ragione non è riconducibile solo al miglior adattamento di questa specie all'ambiente, bensì alla presenza storica di popolazioni numerose di *Sus scrofa* (cinghiale) per i quali la ghianda di questa specie è meno appetibile delle altre. Inoltre, nelle cenosi forestali sono molto presenti gli ibridi tra le varie querce, costituendo delle popolazioni con una distribuzione abbastanza continua di caratteri tra le varie specie. Quest'abbondanza di forme intermedie è maggiore probabilmente in funzione dell'ambiente mediterraneo che, presentando una notevole variabilità spaziale, rende gli individui ibridi più competitivi degli individui puri²²⁴.

²²³ Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Piano di Gestione Tenuta presidenziale di Castelporziano, 2010.

²²⁴ Perrella P., 1992.

Tra i valori naturalistico-ambientali va sottolineata la presenza di aree umide di elevato valore ecologico, come le 169 zone umide naturali chiamate “piscine”, 118 temporanee e 41 permanenti, che in maggioranza si trovano associate a specie tipicamente igrofile come pioppi, frassini e salici²²⁵. Si tratta di habitat di primaria importanza per la biodiversità animale e vegetale. Il modello di distribuzione delle fitocenosi e dei paesaggi è infatti particolarmente condizionato dalle condizioni nutrizionali e dipendente dalla profondità della falda acquifera e dalle qualità edafiche dei suoli.

La zonizzazione del territorio di Castelporziano ha definito le *unità ambientali* presenti, ovvero aree caratterizzate da omogeneità lito-geomorfologica, geoidrologica, biologica e biodinamica e da attualità e potenzialità vegetazionali, legate in alcuni casi alla presenza dell'uomo²²⁶. La classificazione delle Unità Ambientali si basa sulla gerarchia paesaggistica che prevede quattro diversi livelli:

1. *Regione di territorio*, definita sulla base del macroclima;
2. *Sistema di territorio*, definito sulla base delle caratteristiche litologiche;
3. *Sottosistema di territorio*, definito in relazione all'eterogeneità fisiografica, morfologica e dei tipi climatici di maggiore dettaglio;
4. *Unità ambientale*, definita in base all'omogeneità litogeomorfologica, bioclimatica e alla potenzialità vegetazionale.

²²⁵ Tinelli A. et al., 2012.

²²⁶ Blasi C. et al., 2006.

Nella Tenuta sono state individuate quindi una *regione di territorio* (Mediterranea), tre *sistemi*, cinque *sottosistemi* e diciotto *unità ambientali* (Tabella 4).

SISTEMA		Sistema dei depositi alluvionali e marini costieri (Substrato prevalentemente sabbioso-ghiaioso).
I	SOTTOSISTEMA	Sottosistema della duna recente a Clima Mesomediterraneo subumido / Termomediterraneo secco.
1	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Complesso catenale di vegetazione psammofila costiera Sabbie incoerenti e cordoni dunali non stabilizzati</i>
2	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Ginepro a ginepro coccolone e macchia mista a sclerofille Cordoni dunali semi-stabili e stabilizzati</i>
3	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Formazioni alto-arbustive e boschi a prevalenza di leccio e vegetazione delle depressioni interdunali Cordoni dunali stabilizzati e depressioni interdunali.</i>
4	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Complesso catenale di vegetazione mesoigrofila e igrofila delle piscine maggiori.</i>
II	SOTTOSISTEMA	Sottosistema della duna antica a Clima Mesomediterraneo subumido / Termomediterraneo secco.
5	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Boschi a prevalenza di leccio. Pianura litoranea su suoli prevalentemente sabbioso-franchi.</i>
6	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Boschi planiziali costieri a cerro e farnetto. Pianura litoranea su suoli francosabbiosi, piuttosto eccessivamente ben drenati.</i>
7	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Boschi planiziali costieri a cerro, farnetto e farnia con facies a carpino orientale. Pianura litoranea su suoli franco sabbiosi, moderatamente ben drenati.</i>
8	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Comunità a farnia, pioppi e frassini (a mosaico con lembi di macchia). Depressioni umide.</i>
9	<i>Unità Ambientale</i>	<i>Complesso catenale di vegetazione mesoigrofila e igrofila delle piscine.</i>
III	SOTTOSISTEMA	Sottosistema della duna antica interna e dei terrazzi costieri a Clima Mesomediterraneo subumido / Termomediterraneo subumido.

10	Unità Ambientale	<i>Querceti misti a dominanza di sughera, cerro e farnetto, con locali presenze di roverella. Versanti di raccordo della duna antica con i terrazzi costieri.</i>
11	Unità Ambientale	<i>Querceti misti a dominanza di sughera, cerro e farnetto. Terrazzi costieri.</i>
12	Unità Ambientale	<i>Complesso catenale di vegetazione mesoigrofila e igrofila delle depressioni umide.</i>
SISTEMA		Sistema dei rilievi collinari (Substrato prevalentemente argilloso-sabbioso-ghiaioso ricoperto e intercalato con piroclastiti).
IV	SOTTOSISTEMA	Sottosistema dei rilievi collinari a Clima Mesomediterraneo subumido / Termomediterraneo subumido.
13	Unità Ambientale	<i>Querceti misti a dominanza di sughera, cerro e farnetto. Pianori sommitali.</i>
14	Unità Ambientale	<i>Querceti misti a dominanza di cerro e farnetto. Versanti da moderatamente acclivi ad acclivi.</i>
15	Unità Ambientale	<i>Boschi misti a dominanza di carpino, alloro e cerro. Forre.</i>
SISTEMA		Sistema dei fondivalle (Substrati prevalentemente colluviali e alluvionali).
V	SOTTOSISTEMA	Sottosistema dei fondivalle a Clima Mesomediterraneo subumido / Termomediterraneo subumido.
16	Unità Ambientale	<i>Boschi a farnia, olmo e cerro. Depositi alluvio-colluviali.</i>
17	Unità Ambientale	<i>Complesso catenale ripariale comprendente le comunità a salici e pioppi. Fondovalle alluvionale del fosso di Malafede.</i>
18	Unità Ambientale	<i>Complesso catenale di vegetazione mesoigrofila e igrofila delle depressioni umide.</i>

Tabella 4 Sistemi, sottosistemi e Unità Ambientali definite all'interno della Tenuta di Castelporziano.

La gestione forestale di Castelporziano, Riserva Naturale Statale dal 1999 ²²⁷, è improntata a principi naturalistici volti alla salvaguardia dell'ecosistema affinché si possa preservare integro e ricco di diversità biologica. In particolare, l'estensione assolutamente non trascurabile ha garantito un'efficienza funzionale ed ecosistemica in termini biologici, storico-culturali, ecologici, e biogeografici²²⁸. Tutta l'area di Castelporziano, con D.M. del 3 aprile 2000, ai sensi della Direttiva 79/409/CEE è individuata come ZPS (Zona Protezione Speciale IT6030084) e al suo interno sono stati identificati due SIC (Siti d'Importanza Comunitaria IT6030027 "*Castelporziano fascia costiera*" e IT6030028 "*Castelporziano querceti igrofili*") che con D.M. del 2 agosto 2017 sono stati riconosciuti ZSC (Zone Speciali di Conservazione) per una superficie complessiva di circa 755 ettari. Con questi tre siti, l'area di Castelporziano rientra interamente nella Rete Natura 2000 (Figura 44).

²²⁷ Ministro dell'Ambiente, Decreto 447 del 12 maggio 1999.

²²⁸ Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Piano di Gestione della Tenuta presidenziale di Castelporziano, 2010.



Figura 44 Delimitazione dei tre Siti Natura 2000 presenti (Piccinno M.).

Le attività forestali rappresentano il nucleo centrale della pianificazione nella Tenuta e sono finalizzate al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Compatibilità strutturale e funzionale dei sistemi presenti, in relazione alla collocazione nell'area metropolitana romana e nel rispetto degli obiettivi derivanti dalla partecipazione del nostro paese alle direttive comunitarie e alle convenzioni internazionali (Rio de Janeiro, Kyoto, Helsinki, etc.);
- Individuazione e verifica di modelli di gestione coerenti con l'obiettivo della conservazione funzionale e strutturale dei sempre più rari sistemi forestali costieri, fortemente condizionati dall'urbanizzazione e dai cambiamenti climatici;

Conservare i caratteri paesaggistici dell'area anche tramite il mantenimento e la gestione delle pratiche agricole tradizionali.

In termini di biodiversità²²⁹ a Castelporziano sono stati segnalati fino ad oggi 6129 *taxa* così distribuiti nei

²²⁹ Per biodiversità si intende “*la variabilità degli organismi viventi, di qualsiasi origine, compresi inter alia gli ecosistemi terrestri, marini ed altri ecosistemi acquatici, ed i complessi ecologici di cui fanno parte: ciò include la diversità nelle specie, tra le specie e degli ecosistemi*” (Art. 2 Convention on Biological Diversity o CBD, Rio de Janeiro, 1992). Nella Convenzione, in seguito a questa definizione, vengono considerati tre livelli di biodiversità: *livello genetico*, inteso come la totalità dei geni e delle caratteristiche genetiche degli individui di ciascuna specie; *livello ecosistemico*, inteso come varietà di ecosistemi presenti sul pianeta; *livello di specie*, inteso come complesso delle specie che attualmente vivono sul pianeta. L'Italia ospita un numero di specie animali, vegetali e di habitat tra i più alti d'Europa. Questo è dovuto alla sua forma peninsulare, alla collocazione al centro del Mediterraneo che la rende un ponte intercontinentale tra Africa ed Europa, alla varietà di condizioni

diversi Regni: 3424 Animalia (di cui 2878 appartengono alla classe Insecta), 1215 Plantae, 1408 Funghi, 51 Protozoa, 31 Chromista, 8 Bacteria. In percentuale Animalia corrisponde al 55.6% delle segnalazioni, seguito dal Regno Funghi con il 23% e da Plantae con il 19.5%.



Figura 45 Giovani daini nelle aree aperte a Castelporziano (Foto Mastroiacono M.).

Di tutte le specie censite, solo lo 0.75 %, ovvero 46 specie sono alloctone e classificate come aliene dalle liste nazionali. Per quanto riguarda le specie di interesse unionale e internazionale sono state rilevate 623 specie: 482 specie presenti nelle liste rosse dello IUCN (7.8%), 43 specie di Direttiva Habitat 92/43/CEE (0.7%) e 98 specie di avifauna (1.6%) inserite nella Direttiva Uccelli 2009/409/CE. Nel

bio-geografiche, geo-morfologiche e climatiche. Si stima che in Italia vi siano oltre 57.000 specie animali, secondo il Quinto Rapporto Nazionale per la CBD del 2015. Le specie vegetali sono 8.195 (Bartolucci F. et al., 2018) di queste 1708, il 20,8% del totale, sono endemiche, cioè sono esclusive del territorio italiano.

complesso si tratta del 10% delle specie presenti e in particolare del 40% dell'avifauna stanziale o migratoria nell'area. Le specie oggetto di Direttiva Habitat sono classificate con il seguente Stato di Conservazione in Europa: Favorevole (FV): n° 18, Inadeguato (U1): n° 23, Cattivo (U2): n° 2, Sconosciuto (XX): n° 1. La specie presente a Castelporziano e che risulta in uno stato di conservazione critico è il *Rhinolophus ferrumequinum* Schreber 1774 (pipistrello, Ferro di cavallo maggiore)²³⁰.

Nella biodiversità animale vanno segnalate le specie che hanno l'influenza maggiore sugli ecosistemi e sul paesaggio della Tenuta, ovvero le popolazioni dei quattro grandi ungulati: il *Cervus elaphus* L. (cervo), *Dama dama* L. (daino), *Sus scrofa* L. (cinghiale) e *Capreolus capreolus* ssp. *italicus* (capriolo italico). La mancanza di predatori naturali rende le popolazioni degli ungulati uniformemente diffuse sul territorio, a differenza della fauna ornitica più rara a Capocotta, rispetto a Castelporziano, forse a causa dell'azione di disturbo dell'adiacente aeroporto di Pratica di Mare. Il cervo predilige i boschi di latifoglie, ma penetra anche in quelli di pino e nelle aree aperte o con radure. Il daino (Figura 45), che non è una specie autoctona ma introdotta a partire dal XIX secolo, predilige le zone pascolive e le radure, esercitando un importante impatto negativo sulla rinnovazione. Il cinghiale di Castelporziano (Figura 46) è uno degli ultimi nuclei di ecotipo maremmano. All'interno della Tenuta, il cinghiale colonizza i boschi fitti e densi di querce e di macchia, è onnivoro e ha un importante

²³⁰ Piccinno M. & Rosati I., 2020.

impatto sul suolo e sulla rinnovazione. Anche per il capriolo, il fenomeno dei rifugi glaciali ha permesso che si sviluppassero diverse sottospecie e a Castelporziano ne è presente una, il capriolo italico²³¹, riconoscibile anche dal punto di vista genetico, che sopravvive in popolazioni relitte dell'Italia centro meridionale.



Figura 46 Giovani esemplari di cinghiale (*Sus scrofa*) (Foto Mastroiacono M.).

Dai censimenti degli ungulati svolti dall'ISPRA²³² nella Tenuta di Castelporziano, nel 2020 si stimano tra le quattro specie di grandi erbivori presenti, circa 5345 animali, con un intervallo fiduciale tra 4164 e 7010. In Figura 47 è stato ricostruito, dai valori indicati nei rapporti annuali,

²³¹ Apollonio M. et al., 2016.

²³² Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ente pubblico di ricerca, istituito con la legge n. 133/2008, e sottoposto alla vigilanza del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

l'andamento delle popolazioni dei tre ungulati monitorati (cinghiali, daini e cervi) negli ultimi dieci anni (Tabella 5). Per il capriolo invece, seppur con un'elevata incertezza di stima, si conosce la consistenza solo per il 2020 (523, intervallo fiduciale 376-727). Dal grafico si evince come negli ultimi due anni tutte e tre le specie stiano nuovamente aumentando in numero, mentre nel decennio, nonostante i prelievi stagionali sia cinghiali che daini hanno mantenuto una densità pressoché costante, nonostante alcuni anni di maggiore riduzione. I cervi, invece, dopo un prelievo maggiore del 2011, sembrerebbero avere mantenuto una densità molto più bassa fino ad oggi. Nel 2020 è stata stimata anche la popolazione di capriolo italico in 523 animali (limiti fiduciali 376-717).

	Consistenza Ungulati		
	n	min	max
2010	5005	3830	6574
2011	4621	3871	5582
2012	4339	3252	6058
2013	3940	3086	5180
2014	4099	3284	5262
2015	4410	3377	5964
2016	4567	3413	5546
2017	2854	2012	4140
2018	3388	2408	4871
2019	4363	3096	6324
2020	4822	3788	6283

Tabella 5 Stima della consistenza annuale complessiva delle tre specie di ungulati (cinghiali, daini, cervi), dal 2010 al 2020.

III LE FORESTE LAURENTINE

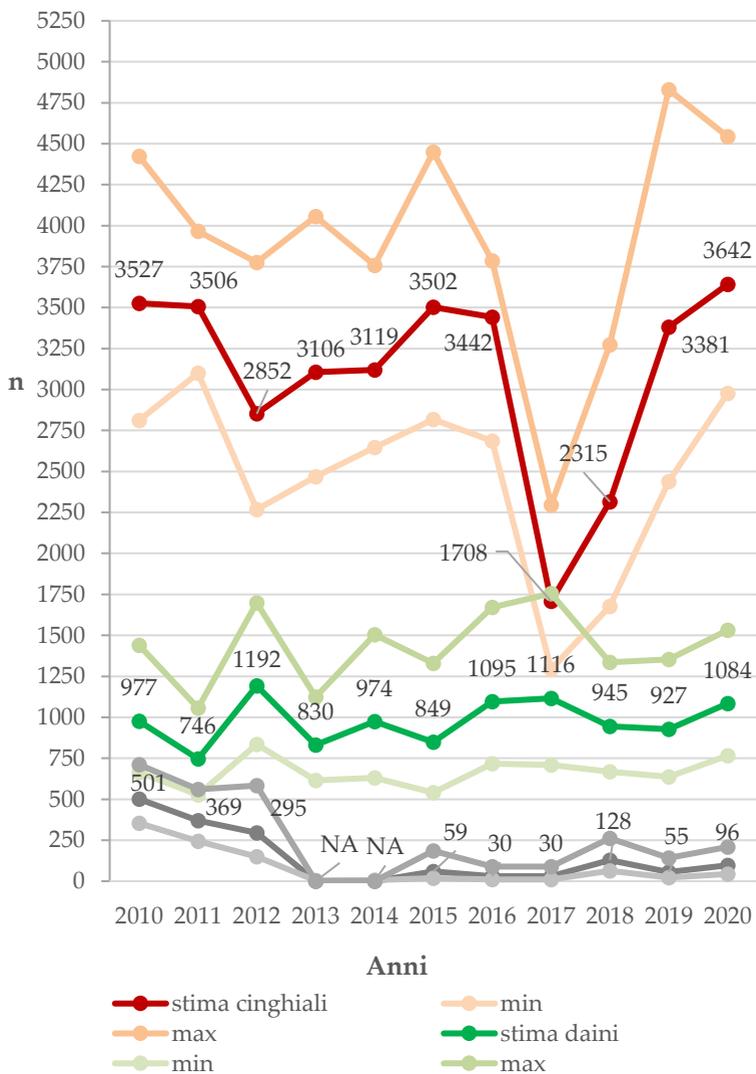


Figura 47 Consistenza stimata, con intervallo fiduciale, delle popolazioni di cinghiali, daini e cervi dal 2010 al 2020.

Gli specchi d'acqua sia perenni che temporanei sono localmente denominati "*piscine naturali*" e generalmente presentano modeste dimensioni e immerse nell'ambiente boschivo. Le piscine fanno parte degli ecosistemi naturali di Castelporziano e sono di particolare importanza per l'elevata presenza di biodiversità. La genesi delle piscine naturali costiere o retrodunali è legata quasi sempre all'affioramento, per intersezione con il profilo topografico, della falda acquifera. Le aree umide denominate "*piscinali*" sono, invece, porzioni di bosco allagate che rimangono sommerse dall'acqua per la maggior parte dell'anno. Gran parte di questi ambienti umidi a Castelporziano si trovano nel querceto misto di caducifoglie con altre specie come il Leccio, la Sughera, i Pioppi, i Frassini, gli Ontani, gli Aceri e i Carpini. In alcuni casi, intorno all'invaso si possono trovare fitti canneti e al centro anche fioriture di piante acquatiche. Dal punto di vista idrologico è possibile distinguere due comprensori, caratterizzati da piscine alimentate prevalentemente da acque di falda: l'uno nella parte settentrionale della Tenuta (*Ortaccio, Malpasso, Ponte Ruffo*) e l'altro comprendente le depressioni interdunali litoranee e le zone umide di Tor Paterno. Tutta la parte centrale della Tenuta è invece caratterizzata principalmente da piscine alimentate da acque meteoriche. In quest'ultimo caso, si tratta di depressioni interdunali della Duna Antica in cui l'argilla alluviale ha occluso i fori degli orizzonti profondi sia per lisciviazione verticale che obliqua²³³.

²³³ Tinelli A. et al., 2012.

3.2 La rinnovazione naturale dei querceti

Il processo di rinnovazione naturale (Figura 49) svolge un ruolo preminente per la dinamica delle popolazioni arboree poiché, in sua assenza, possono verificarsi fenomeni di regressione destinati ad indebolire l'efficienza di tutte le componenti dell'ecosistema. L'esito di questo processo dipende da una serie di fattori: la quantità, la vitalità e la dimensione del seme²³⁴, la presenza e il relativo carico di fauna che possa danneggiare o consumare i semi e/o le plantule²³⁵, la competizione per la luce, l'acqua e gli elementi nutritivi con le specie del sottobosco e dello strato erbaceo, nonché la densità della copertura arborea: le querce, ad esempio, sono generalmente intolleranti dell'ombra nel corso di tutta la loro esistenza²³⁶.

I cambiamenti sul territorio possono inevitabilmente incidere sulla rinnovazione del bosco: un problema ecologico di notevole importanza dal momento che da essa dipende la stabilità del sistema forestale e con esso il paesaggio che ne consegue²³⁷.

Tra le formazioni forestali presenti nella Tenuta, il bosco planiziario misto a prevalenza di querce caducifoglie, che rappresenta la componente di più elevato valore, è anche quella maggiormente instabile dal punto di vista ecologico e strutturale. Tale instabilità è il risultato di una serie di cause,

²³⁴ Ramos S. et al., 2013.

²³⁵ Herrera, 1995; Arosa M.L. et al., 2015.

²³⁶ Harmer R., 1995; Macuz A. et al., 2001.

²³⁷ De Lillis M. et al., 2001.

tra cui, dall'analisi del vigente Piano di gestione forestale²³⁸ emergono dei fattori limitanti in termini di rinnovazione naturale dei querceti caducifoglie:

- *Pressione della fauna selvatica;*
- *Disponibilità idrica;*
- *Senescenza e densità molto elevate.*

Per quanto riguarda la pressione della fauna selvatica, s'intendono più esattamente le attività di pabulamento delle plantule e del grufolamento tipici dei cinghiali, che scalzano le giovani piantine e smuovono il terreno. La presenza di un notevole carico di ungulati selvatici sul territorio sfavorisce le specie quercine, con il risultato dell'assenza di giovani individui, essenziali per compensare la scomparsa delle piante più vecchie e preservare il bosco nel tempo.

In uno studio condotto nei Paesi Bassi²³⁹ circa gli effetti della presenza dei cinghiali in bosco è stata riscontrata una correlazione negativa tra la rinnovazione naturale di *Quercus robur*, *Quercus petraea* e *Quercus rubra*, e la frequenza di grufolamento degli animali. Ricerche condotte per un ampio periodo in un bosco misto della fascia alpina bavarese, hanno rilevato che senza l'attività di brucamento, l'accrescimento e la composizione specifica della rinnovazione naturale sono dipendenti dalle condizioni di luce determinate dai differenti trattamenti selvicolturali; mentre l'impatto degli ungulati altera totalmente la situazione attraverso una forte selezione a svantaggio delle

²³⁸ Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Piano di Gestione della Tenuta presidenziale di Castelporziano, 2010.

²³⁹ Groot Bruinderink & Hazebroek, 1996.

specie più appetite²⁴⁰. Dagli studi condotti emerge infatti come la megafauna²⁴¹, quindi i grandi mammiferi, influenzi i processi di rinnovazione e, nel lungo periodo, la composizione specifica del bosco. In Norvegia, ad esempio, è stato dimostrato come le sempre più numerose popolazioni di cervi e caprioli (*Cervus elaphus* L. e *Capreolus capreolus* L.) determinino l'affermazione di un maggior numero di individui di abete rosso (*Picea abies* L. H. Karst.) a discapito dell'abete bianco (*Abies alba* Mill.): ciò potrebbe causare in futuro la sostituzione di una specie con l'altra, alterando le naturali dinamiche di successione ecologica²⁴².

A Castelporziano nel 2019 è stato condotto un monitoraggio dell'impatto sugli ecosistemi forestali delle quattro specie di ungulati selvatici utilizzando il metodo delle fototrappole, ovvero con l'utilizzo di sensori a infrarossi e della fotografia digitale²⁴³. In questa ricerca sono stati individuati 40 siti di campionamento, distribuiti casualmente sull'intera Riserva in modo da rappresentare le sei tipologie ambientali (*querceto di caducifoglie, querceto sempreverde, pineta, bosco misto, prateria e radura*) in cui è stata suddivisa l'area. Per ogni specie oltre alla frequenza di cattura, definita come il numero di avvistamenti indipendenti per giorno, è stata calcolata la probabilità di rilevamento, per evitare l'influenza sull'analisi della diversa dimensione della popolazione di ciascuna specie. Con oltre

²⁴⁰ Ammer, 1996.

²⁴¹ La definizione di megafauna varia tra le discipline. Studi recenti riferiscono il termine a mammiferi tra 10 e 100 kg (Berzaghi F. et al., 2018).

²⁴² Bernard M. et al., 2017.

²⁴³ Apollonio M., 2020.

6000 video registrati in presenza di un mammifero, in 5113 video era presente un ungulato e, confermando i dati dei censimenti annuali, il cinghiale (*Sus scrofa* L.) è risultata la specie più abbondante. Per quanto riguarda la distribuzione nei vari tipi d'ambiente non è emersa alcuna differenza significativa, in altri termini gli ungulati utilizzano tutti gli habitat presenti allo stesso modo. Dall'analisi delle conseguenze sulla vegetazione legate all'alimentazione, il daino (*Dama dama* L.) e il capriolo (*Capreolus capreolus* ssp. *italicus*) sono state le specie con maggior impatto sul sottobosco, mentre il cinghiale (*Sus scrofa* L.) quella con il maggior impatto sul suolo e sulla rinnovazione forestale, in quanto è l'unica specie osservata anche in comportamenti di scavo del terreno (*rooting*).

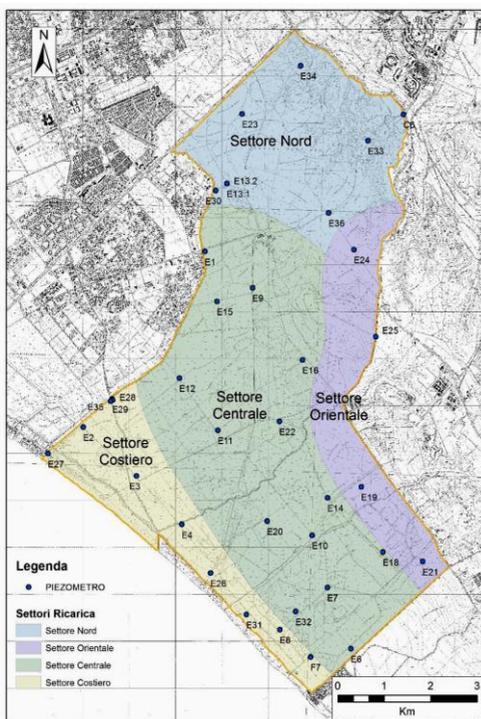
La disponibilità idrica in generale nella regione Mediterranea è il fattore principale che condiziona la crescita delle piante e i processi di rinnovazione forestale²⁴⁴. Il territorio di Castelporziano ha visto negli ultimi decenni l'abbassamento della falda, un allungamento dei periodi di siccità e del loro effetto²⁴⁵.

Per quanto riguarda la profondità della falda, all'interno della Tenuta vengono distinte quattro zone (Figura 48) in cui i livelli freaticometrici mostrano variazioni omogenee nel tempo. Considerando i dati dell'ultimo decennio, solo i settori settentrionale e orientale denotano un aumento del livello di falda. I settori centrale e costiero, invece, mostrano un depauperamento della falda. Emerge inoltre la corrispondenza diretta tra le precipitazioni di un

²⁴⁴ Kouba Y. et al., 2012; Pulido & Diaz, 2005.

²⁴⁵ Gómez A. L. et al., 2008; Gimeno et al., 2009; Recanatesi et al., 2020.

determinato anno e i valori di livello medio di falda misurati l'anno successivo. Solo il settore orientale, ovvero la parte alta del bacino di cui fa parte la Tenuta, risente con un ritardo di due anni degli effetti della ricarica; con chiara influenza anche di apporti esterni al territorio della Tenuta²⁴⁶.



Appare dunque evidente come le oscillazioni del livello di falda dipendono direttamente dagli andamenti meteo climatici e quindi dalle precipitazioni locali; mentre le variazioni nel lungo periodo sono influenzate da fattori esterni alla Tenuta quali le variazioni di livello di bacino a scala regionale

Figura 48 Distribuzione dei quattro settori omogenei per variazioni nella profondità di falda all'interno della Tenuta di Castelporziano (Petitta M., 2019).

(Acquifero dei Colli Albani) e l'impatto antropico iniziato dapprima con le bonifiche del secolo scorso, poi con l'urbanizzazione diffusa

²⁴⁶ Banzato, F. et al., 2019; Petitta, M., 2019.

e dunque aggravato dagli emungimenti nelle aree urbanizzate adiacenti alla Tenuta²⁴⁷.

Un'analisi condotta analizzando una serie temporale di 32 anni, dal 1981 al 2012, relativa all'Indice di Aridità mensile per Castelporziano ²⁴⁸, mostra una tendenza verso una maggiore aridità, sia a livello stagionale, soprattutto in primavera e in estate, che annuale, con periodi più aridi negli anni 1988-1989, 2003 e 2006-2007. Dalle ricerche svolte a Castelporziano è stato confermato che le trasformazioni sull'assetto territoriale e paesaggistico, determinate dalle bonifiche, hanno ridotto le risorse idriche disponibili, in particolare quelle superficiali e dei primi strati di suolo, e reso più precarie le condizioni vegetative sia delle piante adulte che delle plantule²⁴⁹. Allo stesso tempo, uno studio finalizzato a determinare l'impatto antropico degli insediamenti urbani afferenti al medesimo bacino idrografico della Tenuta ha stimato in circa dieci milioni di metri cubi il quantitativo degli emungimenti, a scopo ricreativo e d'irrigazione, da maggio a settembre ²⁵⁰ di ciascun anno.

Dal punto di vista ecofisiologico, il notevole invecchiamento che caratterizza ampie porzioni del querceto di caducifoglie, è spesso associato a densità molto elevate delle piante, con la presenza consistente sul territorio di alcune specie della macchia mediterranea in competizione con le querce per spazio ed elementi nutritivi. Inoltre, la

²⁴⁷ Recanatesi & Petroselli, 2020; Recanatesi et al., 2017.

²⁴⁸ Salvati L. et al., 2015.

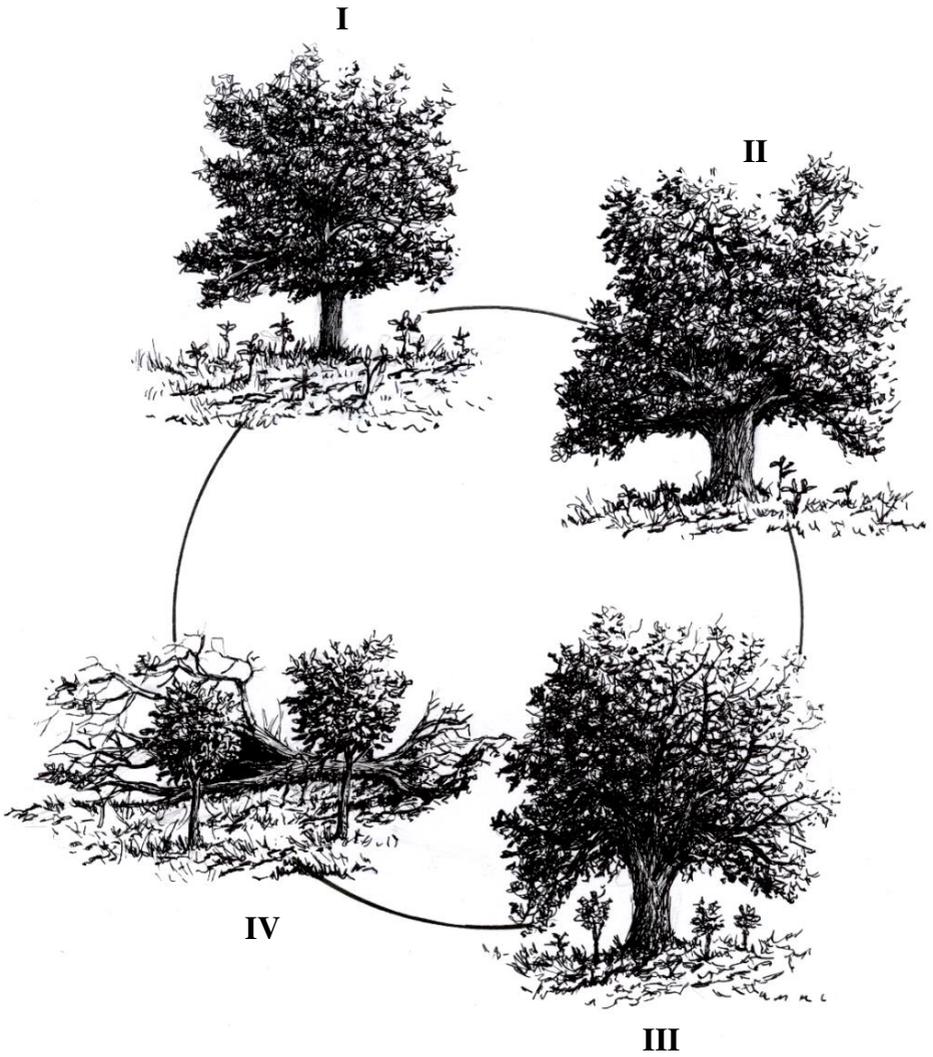
²⁴⁹ Lo Sterzo, 1992.

²⁵⁰ Giuliani, 2015.

produzione di ghiande, tipica per ogni specie assume un andamento variabile con picchi di produzione maggiore solo ogni due-cinque anni: quando è abbondante, le cosiddette annate di pasciona, i semi germogliano in grandi quantità e per numerosi nuclei di semenzali²⁵¹. Nel complesso la capacità di rinnovazione delle querce caducifoglie, soprattutto cerro e farnetto, è scarsa o spesso mancante, e potrebbe portare alla progressiva scomparsa del querceto vetusto, probabilmente, con una maggior diffusione della più competitiva macchia mediterranea.

Figura 49 Ciclo di rinnovazione naturale di un querceto. Fase I: La quercia nella fase di maturità ha iniziato a produrre semi e al di sotto della chioma compare la prima coorte di plantule nate dalla germinazione delle ghiande prodotte. Fase II: La quercia adulta, nel pieno vigore vegetativo, ogni anno dissemina e genera un elevato numero di plantule. Di queste, alla fine di ogni stagione vegetativa, ne sopravvive un numero limitato. Al di sotto della chioma si possono quindi osservare plantule appartenenti a coorti diverse e quindi aventi età differenti. Fase III: La quercia senescente inizia a manifestare sintomi di deperimento come in alcuni apici secchi o in intere branche morte. Fase IV: La quercia deperiente e vulnerabile, è soggetta ad attacchi parassitari che ne indeboliscono la struttura e che, insieme a cause accidentali e meteorologiche, portano alla caduta della pianta. L'apertura della volta arborea in ambiente forestale, quindi l'ingresso della luce, favorisce la crescita molto più rapida delle giovani piante fino a quel momento rimaste sottoposte (Disegno Piccinno G.).

²⁵¹ Perrella, 1992.



Queste premesse consentono di considerare Castelporziano un ambiente in parte antropizzato, modificato dall'intervento dell'uomo nei secoli, dove oggi si vorrebbe ripristinare e conservare una parte di querceto misto di caducifoglie con rinnovazione naturale.

L'impegno nel garantire la conservazione degli ambienti naturali della Tenuta, direttamente connessi alle dinamiche della rinnovazione naturale, fu sancito già nel 1999 con un decreto del Presidente O. L. Scalfaro²⁵² nel quale si afferma che:

“Nell'assoluto rispetto della specifica destinazione della Tenuta di Castelporziano quale compendio conferito in dotazione al Presidente della Repubblica è parimenti primario e indispensabile dovere quello di promuovere e garantire la conservazione dell'inestimabile patrimonio naturale inerente a quell'area”.

L'articolo 2 dello stesso Decreto stabiliva obiettivi quali:

“La conservazione delle caratteristiche ecologiche, vegetazionali, faunistiche, geomorfologiche e naturalistico-ambientali; la gestione degli ecosistemi con modalità idonee a realizzare un'integrazione tra uomo ed ambiente naturale, anche mediante la salvaguardia dei valori antropologici, archeologici, storici e architettonici e delle attività agro-silvo-pastorali e tradizionali”.

²⁵² Decreto presidenziale n. 136/N, 5 maggio 1999.

Il 17 gennaio 2020 il Presidente Mattarella ha emanato un nuovo decreto, a vent'anni dal precedente²⁵³, confermando come:

“La tutela, la conservazione e la gestione si conformano agli obiettivi globali, europei e nazionali riguardanti lo sviluppo sostenibile, la conservazione della biodiversità, il contrasto al cambiamento climatico e alla desertificazione, la promozione dell’equità e del benessere sociale” (Art. 1).

Tra gli obiettivi da conseguire nella Riserva di Castelporziano, in linea con le direttive europee e internazionali, è interessante menzionare:

“La conservazione, il ripristino e la valorizzazione del capitale naturale, in termini di biodiversità di habitat, di specie e di risorse genetiche, assicurando la fornitura di servizi ecosistemici e il mantenimento della connettività ecologica anche in considerazione del contesto urbanistico e delle relazioni con la città” (Art.2, comma a);

“La salvaguardia del paesaggio e del capitale culturale archeologico, storico-artistico e architettonico, nonché la promozione dei valori antropologici legati al mantenimento delle pratiche e delle conoscenze tradizionali” (Art.2, comma d).

Il presente studio, in considerazione delle criticità enunciate per la rinnovazione naturale dei querceti e in linea con i principi di conservazione degli ecosistemi della Tenuta, sanciti dai decreti presidenziali, intende contribuire alle ricerche condotte sul tema con la realizzazione di un

²⁵³ Decreto presidenziale n. 69/N, 17 gennaio 2020.

monitoraggio permanente e auspicabilmente di lungo periodo. Lo scopo di tale monitoraggio è di valutare la resilienza del paesaggio forestale della Tenuta e il grado di stabilità dei querceti di caducifoglie nei confronti dell'andamento meteo-climatico, della gestione selvicolturale e dell'impatto della fauna selvatica. Monitorare questi fattori permette di conoscere l'andamento della rinnovazione e quindi prevedere, con il perpetuarsi di simili condizioni ambientali, il futuro assetto paesaggistico e territoriale. Ne consegue quindi la possibilità di pianificare interventi e promuovere una gestione volta alla salvaguardia del paesaggio, del capitale naturale della Riserva (Figura 50), ma anche delle risorse genetiche naturali che per i querceti, come si è detto, sono all'origine delle specie che oggi sono diffuse in tutto il continente europeo.



Figura 50 Castelporziano, Viale di Malafede (Foto Piccinno M.).

3.3 Il sito di studio di Campo di Rota

È stata individuata un'area sperimentale nella quale effettuare osservazioni puntuali e ripetute nel tempo di tipo selvicolturale ed ecofisiologico: il querceto igrofilo di Campo di Rota, un bosco misto planiziale della Duna Antica.

Il bosco misto a querce caducifoglie rappresenta la comunità forestale più estesa della Tenuta di Castelporziano e una delle più interessanti dal punto di vista ecologico selvicolturale: si tratta infatti di un lembo relitto di vegetazione forestale termofila²⁵⁴. Si tratta di un ecosistema forestale costituito nel piano dominante da alberi monumentali e vetusti di *Quercus cerris*, *Quercus robur*, *Quercus frainetto*, *Quercus ilex* e *Quercus suber*. Il piano dominato è costituito, quando presente, da *Carpinus*, *Phyllirea*, *Erica*, *Myrtus*, *Arbutus*, *Genista* e *Cytisus*. In località Campo di Rota è installata dal 2011 una delle quattro recinzioni forestali presenti nei querceti di Castelporziano (Figura 51) per un'area di riserva integrale di 12 ettari, che esclude l'ingresso della fauna selvatica (Figura 52).

In quest'area sono stati eseguiti nel corso dei secoli interventi selvicolturali e di gestione forestale. Di seguito sono elencati quelli relativi al XXI secolo:

- 1895/96 Taglio ordinario su ceduo²⁵⁵.

²⁵⁴ Giordano et al., 1995.

²⁵⁵ Ceduo, bosco: bosco che si taglia periodicamente per la legna, lasciando i ceppi da cui si origineranno nuovi polloni. I boschi c. sono costituiti da latifoglie che producono buona legna da taglio, quali querce, carpini, faggi. In Italia occupano le pendici più basse delle Alpi e degli

- 1910/11 Taglio ordinario su ceduo con rilascio di matricine²⁵⁶.
- 1922/23 Taglio ordinario su ceduo con rilascio di matricine.
- 1931/32 Estrazione ciocco d'erica.
- 1935/35 Taglio ordinario su ceduo con rilascio di matricine.
- 1988/89 Diradamento selettivo su piano dominante e ripulitura piano dominato²⁵⁷.
- 2013 Diradamento selettivo differenziato in tre aree (Figura 53) con diverse intensità di prelievo: nella superficie A (6 ha), B (4 ha) e C (2 ha), è stato diradato rispettivamente il 70%, 90% e 0% del piano dominato, costituito soprattutto da macchia mediterranea²⁵⁸.

Appennini, per un'estensione pari al 55% dell'intera area forestale, cioè circa 3 milioni di ettari (Enciclopedia Treccani).

²⁵⁶ Matricina, in selvicoltura: albero che nei boschi cedui viene risparmiato durante il taglio e si alleva ad alto fusto per favorire il rinnovamento del bosco e sostituire le ceppaie più vecchie. Nelle pratiche correnti, in un ettaro si conservano mediamente da 20 a 30 matricine (Enciclopedia Treccani).

²⁵⁷ In selvicoltura un bosco viene generalmente suddiviso in quattro strati:
1. Piano dominante, composto dalle specie arboree che sono cresciute in altezza più di tutte le altre e quindi "dominano" dall'alto le altre specie;
2. Piano dominato, composto da specie arboree che sono cresciute ad altezze inferiori rispetto a quelle del piano precedente, per via della loro natura intrinseca, oppure per condizioni contingenti;
3. Piano arbustivo, composto da piante con portamento arbustivo;
4. Piano erbaceo, quello delle specie erbacee.

²⁵⁸ Recanatesi F., Giuliani C., Piccinno M., Cucca B., Rossi C.M., Ripa M.N., (2020).

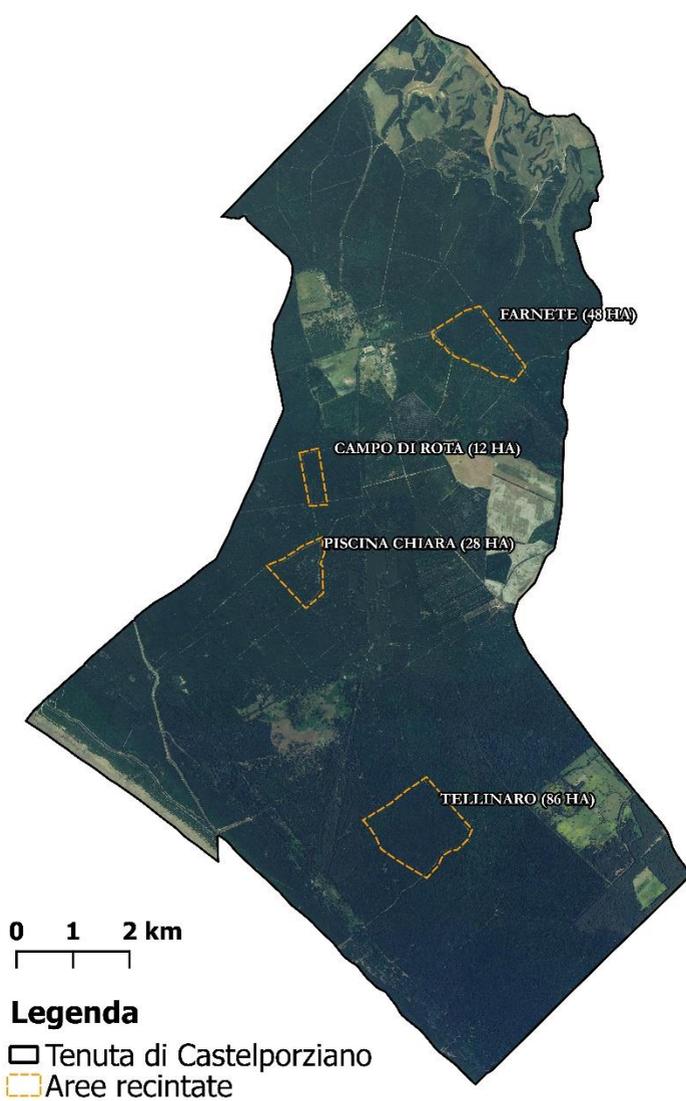
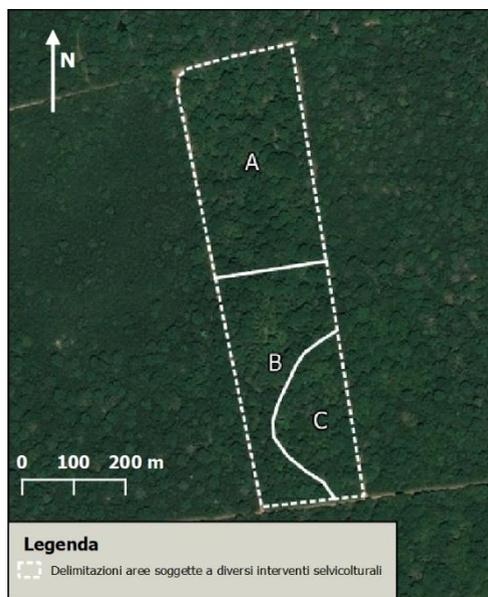


Figura 51 Aree forestali recintate.

Figura 53
Delimitazione
delle tre aree
sottoposte ad una
diversa tipologia
d'intervento
selvicolturale.

Figura 52 La
recinzione forestale
di Campo di Rota in
corrispondenza
dell'ingresso Nord
(Foto di Piccinno M.).



La composizione specifica del soprassuolo (Figura 54), con piante di circa 120-150 anni e una densità inferiore a 50 ad ettaro, indica come la componente quercina del bosco sia rappresentata principalmente da *Q. ilex* (leccio) (37%), *Q. frainetto* (farnetto) (24,8%) e *Q. cerris* (cerro) (19,7%), cui si associano la *Q. robur* (farnia) (11,3%), la *Q. suber* (sughera) (6,5%) e la *Q. petrea* (rovere) (0,6%). Nell'ambito delle specie arboree e arbustive censite compaiono anche: pioppo tremolo, olmo comune, melo selvatico, carpino orientale, corbezzolo, fillirea, erica arborea e mirto. Una così elevata biodiversità è possibile grazie alla coesistenza di specie caducifoglie mesofile e specie sempreverdi della macchia mediterranea più xerofile e rustiche.

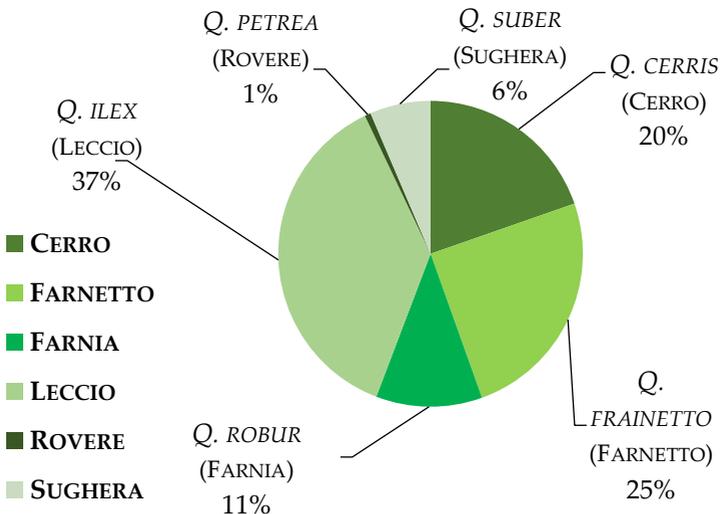


Figura 54 Composizione specifica (valori %).

	<i>Q. cerris</i>	<i>Q. frainetto</i>	<i>Q. robur</i>	<i>Q. ilex</i>	<i>Q. petrea</i>
D 5-25	2	1	0	16	0
D 30-60	4	11	1	19	1
D 65-150	15	13	10	1	0

Tabella 6 Distribuzione percentuale tra le specie del genere *Quercus* presenti nell'area recintata di Campo di Rota ripartita fra tre classi di diametro del tronco in centimetri (Fonte Banca Dati Tenuta presidenziale di Castelporziano).

Osservando la distribuzione dei diametri del popolamento studiato (Tabella 6), si evidenzia come la distribuzione delle specie quercine sia estremamente ampia e senza soluzione di continuità, a partire dalla classe 5 cm fino a quella di 135 cm; tale circostanza rivela come nel complesso la componente quercina sia riuscita a rinnovarsi costantemente nel tempo. Dai dati si rileva come la porzione di piante più grandi presenti nel bosco (classe 65-150 cm) sia rappresentata principalmente da cerro (15%), farnetto (13 %) e farnia (10%), cui si accompagnano sporadiche sughere (5%) e rari lecci (1%). Tale composizione si modifica già fortemente nella classe intermedia (diametro 30-60 cm): la farnia, il cerro e la sughera subiscono una forte riduzione e rappresentano ora rispettivamente 1%, 4% e 1% della composizione specifica, il farnetto si mantiene sostanzialmente costante, mentre, il leccio incrementa fortemente la sua presenza rappresentando ora il 19% degli individui quercini censiti. La situazione nella classe diametrica 5-25 cm, che corrisponde agli individui di minori dimensioni e più giovani, conferma la riduzione della presenza delle querce caducifoglie e la prevalenza del leccio (16%) nell'ambito del gruppo delle querce. Alla progressiva

riduzione della presenza di querce caducifoglie, nell'ambito della composizione delle classi diametriche inferiori, si aggiunge anche la scadente condizione vegetativa che caratterizza gli individui più vecchi.

La densità di querce nell'area appare modesta, con una media generale di 38 piante ad ettaro, mentre, considerando solamente le piante adulte con diametro superiore a 37.5 cm la densità scende a 26 piante /ha. Anche considerando le piante con diametro compreso tra 2.5 cm e 37.4 cm si rileva una modesta densità delle querce che si attesta a 12 piante/ha.

La bassa frequenza delle piante più giovani è riconducibile ad una serie d'ipotesi:

- Il modesto numero di piante adulte e mature capaci di disseminare sufficientemente;
- La presenza di un piano dominato del bosco (rappresentato da *Phillyrea angustifolia*, *Carpinus orientalis*, *Erica arborea*, *Myrtus communis*, *Arbutus unedo*) che concorre fortemente con le giovani querce per luce ed elementi nutritivi, favorendo specie sciafile che meglio tollerano l'ombra;
- La presenza di una cospicua componente di animali selvatici che contribuiscono alla scomparsa delle ghiande e dei semenzali in fase di levata;
- Il peggioramento delle condizioni climatiche e ambientali microstazionali con conseguente difficoltà di rinnovarsi delle piante ecologicamente più esigenti.

3.4 Il progetto di ricerca

Fin dagli Anni '90 sono state condotte ricerche per comprendere l'evoluzione dei querceti e individuare i possibili interventi selvicolturali e ambientali necessari a garantirne la rinnovazione naturale²⁵⁹. Studi condotti in quest'area hanno rilevato che la densità dei semenzali dipende dalla tipologia di bosco e subisce una riduzione nel corso dei primi anni. Una coorte del 1989 monitorata nei primi cinque anni ha mostrato una riduzione da 230.000 semenzali ad ettaro nel primo anno a 110.000 nel terzo per poi mantenere una densità di 10.000 semenzali nei due anni successivi e giungere a 5400 nel sesto anno²⁶⁰.

Quest'analisi approfondita e prolungata nel tempo, dei fenomeni connessi con la rinnovazione naturale dei querceti, ha permesso di definire delle metodologie da adottare nello studio.

La vegetazione è un complesso sistema dinamico risultato delle interazioni tra organismi viventi e fattori chimico-fisici dell'ambiente. In particolare, essa è influenzata dalle condizioni microclimatiche, dalla dinamica dei nutrienti e dall'attività degli erbivori²⁶¹.

La regione mediterranea è considerata una regione con un elevato grado di vulnerabilità per il cambiamento

²⁵⁹ Giordano E. et al., 1995; 1996; 1997; 1998; 1999; Macuz A. et al., 2001; 2006; Manes F. et al., 1997; 1998; Fanelli G. et al., 2006; De Lillis M. et al., 1997.

²⁶⁰ Giordano E. et al., 1996.

²⁶¹ Feoli E. e Orloci L., 1991.

climatico: infatti, i regimi meteorologici sempre più variabili determinano anomalie a lungo termine nelle piogge, eventi estremi di precipitazione, riscaldamento locale e ondate di calore. Questi fattori influenzano negativamente i regimi di umidità del suolo, un parametro fondamentale per la crescita e la produttività della vegetazione e quindi per la stabilità degli ecosistemi naturali e seminaturali²⁶². A tal fine sono state elaborate e analizzate le serie storiche di dati disponibili sia meteorologici, dal 2005 al 2019, relativi alla stazione presente all'interno degli ecosistemi forestali di *Campo di Rota*, sia delle variazioni della risorsa idrica del suolo analizzando l'andamento della falda freatica dell'area, dal 1998 al 2019. In particolare, sono stati utilizzati due metodi che forniscono una conoscenza analitica dei dati considerati: l'Analisi della Componente Principale (*Principal Component Analysis* o PCA) e la Classificazione Gerarchica Fattoriale (*Hierarchical Factorial Classification* o HFC).

Dopo aver individuato, nel querceto di caducifoglie, l'area di Campo di Rota come rappresentativa e documentata, sono state selezionate delle querce portaseme²⁶³ e, al di sotto di esse, sono state delimitate delle superfici da studiare nel corso del tempo. Queste piante ricadono in parte all'interno di un'area recintata, in parte all'esterno, ovvero in assenza e in presenza di ungulati selvatici.

Nell'ambito della rete di monitoraggio, gli individui oggetto di studio sono stati caratterizzati nel loro vigore

²⁶² Salvati L. et al., 2015.

²⁶³ In agraria pianta che si lascia in posto fino alla produzione del seme (Treccani).

vegetativo grazie ai dati dell'indice vegetazionale NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)²⁶⁴ relativi al querceto di Castelporziano, monitorato a partire dal 2015 con immagini telerilevate del satellite Sentinel-2²⁶⁵.



Figura 55 Primavera 2019, fase di "levata" delle plantule del querceto di Campo di Rota (Foto Piccinno M.).

È stato quindi condotto, nel corso del 2019 e del 2020, il monitoraggio mensile della produzione di ghianda, dell'andamento della rinnovazione naturale tra le stagioni (Figura 55). Nel 2020 è stata inoltre stimata la rinnovazione "afferzata" media ad ettaro (quindi con altezza minima di

²⁶⁴ Recanatesi F. et al., 2018.

²⁶⁵ Recanatesi F., Giuliani C., Piccinno M., Cucca B., Rossi C.M., Ripa M.N., 2020.

25 cm²⁶⁶) con delle aree campione all'interno e all'esterno della recinzione.

Per ognuna delle querce monitorate, sono state eseguite misure di dettaglio di tipo ecofisiologico: per quantificare l'influenza della struttura forestale e della luce, in termini di area fogliare (LAI)²⁶⁷ e di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR)²⁶⁸, sulla densità, sulle caratteristiche morfofisiologiche dei semenzali e sulla disponibilità idrica. Tra le caratteristiche strutturali e funzionali della vegetazione, infatti, la quantità di foglie e la luce rappresentano fattori fondamentali per la produzione primaria (fotosintesi), quindi per l'assimilazione del carbonio, per la traspirazione, per gli scambi energetici e per altri processi fisiologici²⁶⁹.

Confrontando i dati ottenuti si è voluto caratterizzare l'entità della rinnovazione, la mortalità e l'accrescimento delle piante, ma anche l'incidenza della fauna selvatica, delle sollecitazioni ambientali ed ecofisiologiche sul querceto maturo.

È stata condotta inoltre una ricerca bibliografica e d'archivio per recuperare i dati storici inerenti ai fenomeni di rinnovazione naturale per l'area esaminata. Sono stati

²⁶⁶ Santana J. et al., 2011; Debussche, M., et al., 2001.

²⁶⁷ In inglese LAI, Leaf Area Index, definito come metà dell'area fogliare totale (tutte le facce fogliari) per unità di superficie (Watson D.J., 1947; Smith N.J., 1991; Myneni R.B. et al., 1997). Vedi Capitolo V, Paragrafo 5.1, pag. 265.

²⁶⁸ La Radiazione Fotosinteticamente Attiva (in inglese P.A.R., Photosynthetic Active Radiation) è una misura dell'energia della radiazione solare intercettata dalla clorofilla nelle piante (McCree, K. J., 1972). Vedi Capitolo V, Paragrafo 5.1, pag. 267.

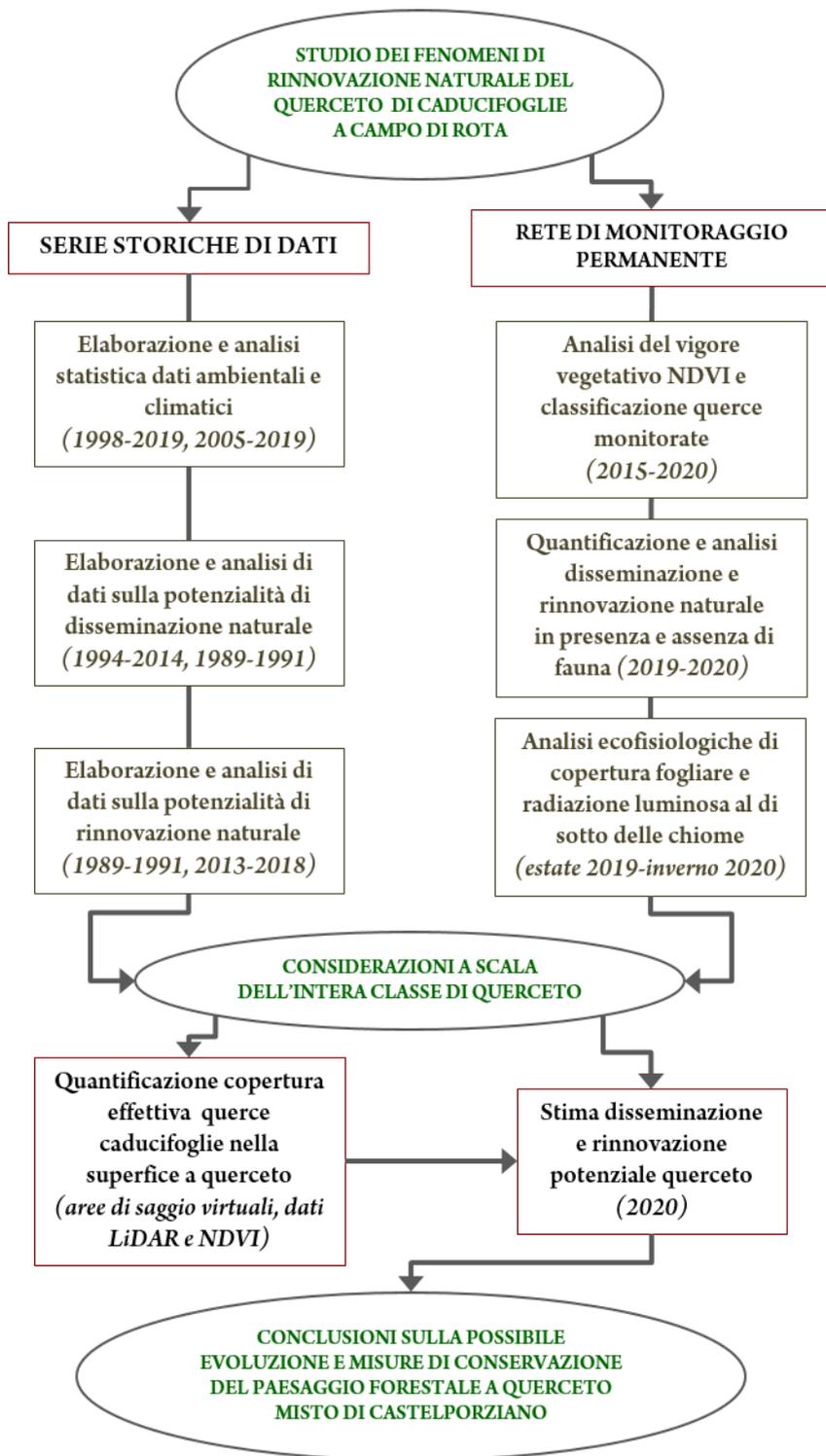
²⁶⁹ Watson D.J., 1947; Zhu Z. et al., 2013; Kim M.S. et al., 1994.

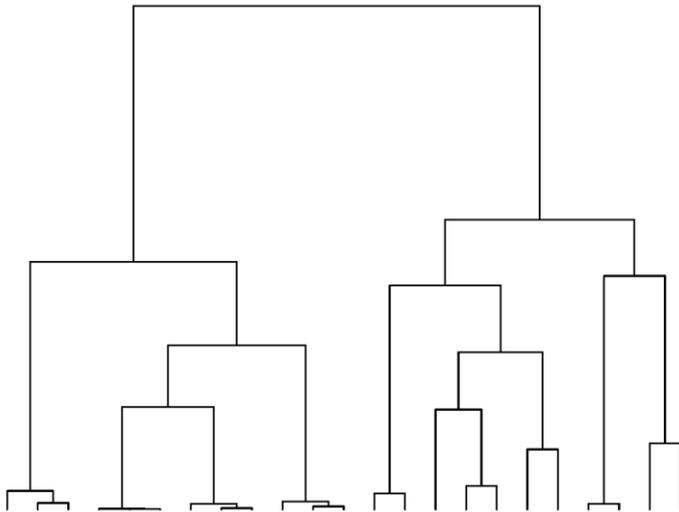
quindi digitalizzati ed elaborati i dati sulla rinnovazione del 1989-1991, l'andamento della disseminazione in generale per il querceto del 1989-1991 e 1994-2014, la rinnovazione dal 2014 al 2018.

Per ottenere informazioni ecologiche, di copertura e di densità, generali sui querceti di caducifoglie della Riserva, sono state condotte delle analisi da remoto sfruttando dati satellitari, indice NDVI e dati LiDAR. Attraverso aree di saggio virtuali è stata quantificata la copertura effettiva di querce caducifoglie per ogni ettaro all'interno delle superfici di querceto misto a Castelporziano. Ciò ha consentito di stimare l'entità della disseminazione e della rinnovazione naturale per l'intera classe del querceto di Campo di Rota (Figura 56), ovvero quella degli "*Altofusti di querce caducifoglie con macchia mediterranea*", la più estesa con 663.98 ettari secondo quanto indicato nel SIFTeC ²⁷⁰ (Sistema Informativo Forestale Tenuta di Castelporziano).

Figura 56 Schema riassuntivo dei materiali e metodi utilizzati nel progetto di monitoraggio.

²⁷⁰ Scrinzi G. et al., 2020.





IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI

4.1 La stazione meteo di Campo di Rota

Una prima fase di studio è consistita nella ricerca, nella raccolta e nell'elaborazione dei dati sul monitoraggio ambientale presenti e specifici per l'area di Campo di Rota, che può vantare la presenza di una Stazione Meteo ($N 41^{\circ} 43' 38.4''$; $E 12^{\circ} 23' 32.8''$) multi-parametrica attiva dal 2005 e di un pozzo piezometrico monitorato dal 1995. Il clima, infatti, influenza la distribuzione delle piante attraverso specifiche soglie fisiologiche di tolleranza per temperature e disponibilità idrica²⁷¹. Nella Tabella seguente sono elencati i parametri rilevati giornalmente e le codifiche utilizzate (Tabella 7).

Anno	Anni dal 2005 al 2019
Mese	Valori da 1 a 12
Giorno	Giorno giuliano, valori da 1 a 365
Tmax	Temperatura massima registrata nell'arco delle 24 ore, espressa in gradi centigradi
Tmin	Temperatura minima registrata nell'arco delle 24 ore, espressa in gradi centigradi
Tmed	Temperatura media registrata nell'arco delle 24 ore, espressa in gradi centigradi
Umax	Umidità massima registrata nell'arco delle 24 ore, espressa in percentuale del grado di saturazione
Umin	Umidità minima registrata nell'arco delle 24 ore, espressa in percentuale del grado di saturazione
Umed	Umidità media registrata nell'arco delle 24 ore, espressa in percentuale del grado di saturazione

²⁷¹ Caracciolo D. et al., 2014

Rsmax	Radiazione solare massima registrata nell'arco delle 24 ore, espressa in calorie per cm ² per minuto
Rstot	Radiazione solare totale registrata nell'arco delle 24 ore, espressa in calorie per cm ² per minuto
UT1max	Umidità del terreno, 10 cm di profondità, valore massimo registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
UT1min	Umidità del terreno, 10 cm di profondità, valore minimo registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
UT1med	Umidità del terreno, 10 cm di profondità, valore medio registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
UT5max	Umidità del terreno, 50 cm di profondità, valore massimo registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
UT5min	Umidità del terreno, 50 cm di profondità, valore minimo registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
UT5med	Umidità del terreno, 50 cm di profondità, valore medio registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
UT10max	Umidità del terreno, 100 cm di profondità, valore massimo registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
UT10min	Umidità del terreno, 100 cm di profondità, valore minimo registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
UT10med	Umidità del terreno, 100 cm di profondità, valore medio registrato nell'arco delle 24 ore, espresso in percentuale del grado di saturazione
Pext	Precipitazione totale cumulata delle 24 ore, valore open field, espresso in mm
Pint	Precipitazione totale cumulata delle 24 ore, valore sotto chioma, espresso in mm
Bfnet	Bagnatura fogliare netta
BFtot	Bagnatura fogliare totale

Tabella 7 Parametri ambientali monitorati nella stazione meteo.

Per le temperature minime, medie e massime sono state ricavate le medie annuali (Tabella 8, Figura 57) e mensili, dunque rappresentato graficamente il corrispondente andamento (Tabella 9, Figura 58).

Anche per l'umidità dell'aria minima, media e massima sono state ottenute le medie annuali (Tabella 10) e mensili (Tabella 11), quindi rappresentato graficamente il corrispondente andamento (Figura 59, Figura 60).

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, sono state calcolate le precipitazioni cumulate annuali (Tabella 12) e mensili medie (Tabella 13) per determinare il loro andamento nel corso degli anni (Figura 61) e delle stagioni (Figura 62). Entrambi gli andamenti sono stati determinati in condizioni di *campo aperto* (Pext) e *sotto chioma* (Pint), evidenziando anche l'influenza che l'intercettazione fogliare e delle querce esercita sulla quantità di acqua che raggiunge il suolo.



Figura 57 Andamento medio annuale di temperature massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (°C).

	Tmax	Tmin	Tmed
2005	21.17	8.91	14.66
2006	21.92	9.40	15.28
2007	20.99	8.50	14.26
2008	20.82	8.46	14.34
2009	19.65	7.50	13.28
2010	20.80	8.89	14.53
2011	22.10	9.03	15.05
2012	22.14	9.00	15.15
2013	21.70	9.44	15.13
2014	21.87	10.31	15.76
2015	22.19	9.94	15.57
2016	21.56	9.37	15.02
2017	22.52	8.85	15.33
2018	22.60	10.54	16.17
2019	22.38	9.69	15.67

Tabella 8 Media annuale delle temperature massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (°C).

IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI

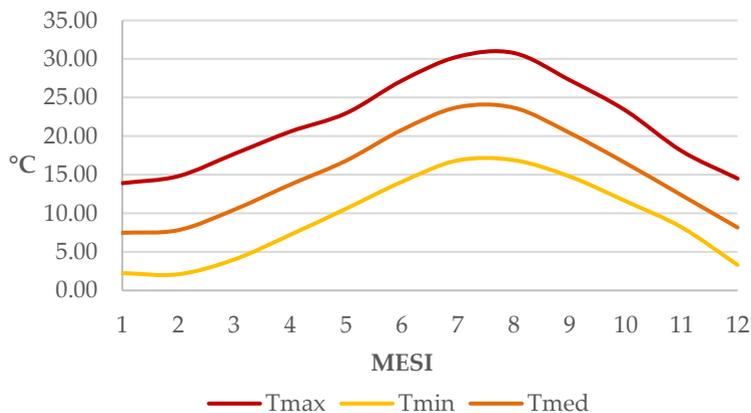


Figura 58 Andamento medio mensile di temperature massime, medie e minime. Anni 2005-2019 (°C).

	Mesi	Tmax	Tmin	Tmed
1	Gennaio	13.91	2.25	7.48
2	Febbraio	14.81	2.10	7.82
3	Marzo	17.70	4.02	10.47
4	Aprile	20.59	7.20	13.71
5	Maggio	22.97	10.60	16.81
6	Giugno	27.20	14.09	20.82
7	Luglio	30.30	16.86	23.75
8	Agosto	30.78	16.89	23.68
9	Settembre	27.25	14.77	20.41
10	Ottobre	23.31	11.57	16.51
11	Novembre	18.07	8.19	12.34
12	Dicembre	14.50	3.31	8.16

Tabella 9 Media mensile delle temperature massime, medie e minime. Anni 2005-2019 (°C).

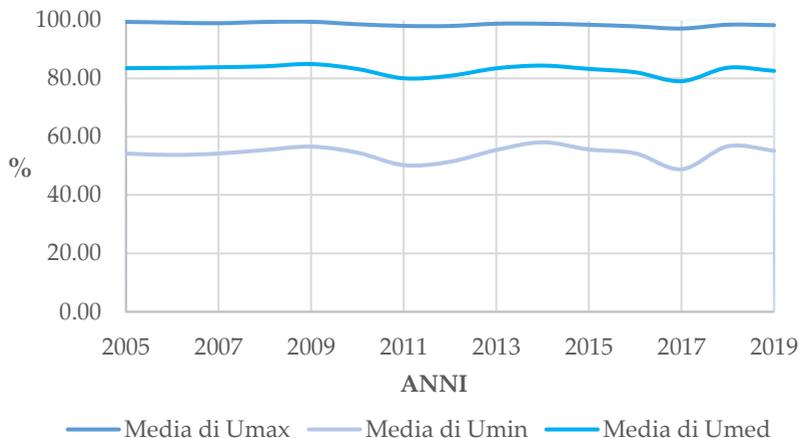


Figura 59 Andamento medio annuale di umidità dell'aria massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (%).

Anni	Umax	Umin	Umed
2005	99.31	54.22	83.45
2006	99.07	53.72	83.55
2007	98.85	54.21	83.78
2008	99.29	55.43	84.10
2009	99.35	56.58	84.86
2010	98.50	54.52	83.17
2011	97.94	50.25	79.97
2012	97.91	51.38	80.84
2013	98.68	55.43	83.40
2014	98.68	58.06	84.33
2015	98.33	55.59	83.19
2016	97.78	54.29	82.05
2017	97.03	48.82	78.98
2018	98.35	56.69	83.61
2019	98.18	55.20	82.52

Tabella 10 Medie annuali di umidità dell'aria massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (%).

IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI

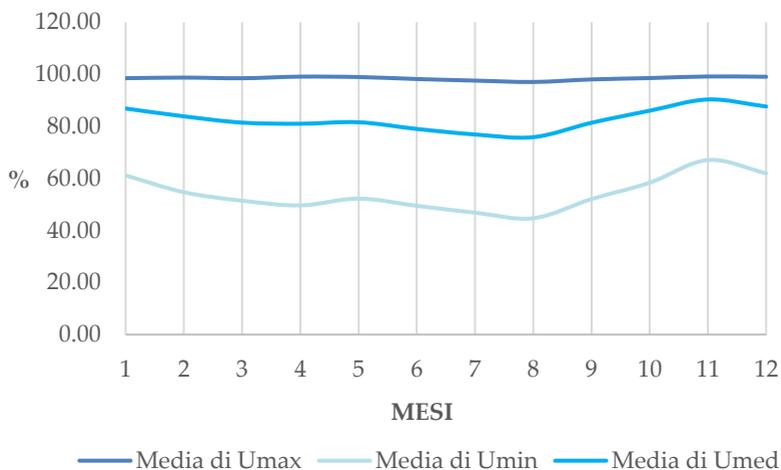


Figura 60 Andamento medio mensile delle umidità dell'aria massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (%).

Mese	Umax	Umin	Umed
1 Gennaio	98.51	61.17	86.87
2 Febbraio	98.74	54.72	83.86
3 Marzo	98.50	51.46	81.45
4 Aprile	99.11	49.65	81.02
5 Maggio	98.96	52.25	81.58
6 Giugno	98.20	49.48	79.01
7 Luglio	97.59	46.86	76.90
8 Agosto	97.07	44.72	75.86
9 Settembre	98.05	52.07	81.39
10 Ottobre	98.55	58.36	86.02
11 Novembre	99.17	67.07	90.33
12 Dicembre	99.06	61.98	87.64

Tabella 11 Medie mensili di umidità dell'aria massime, medie e minime registrate. Anni 2005-2019. (%).

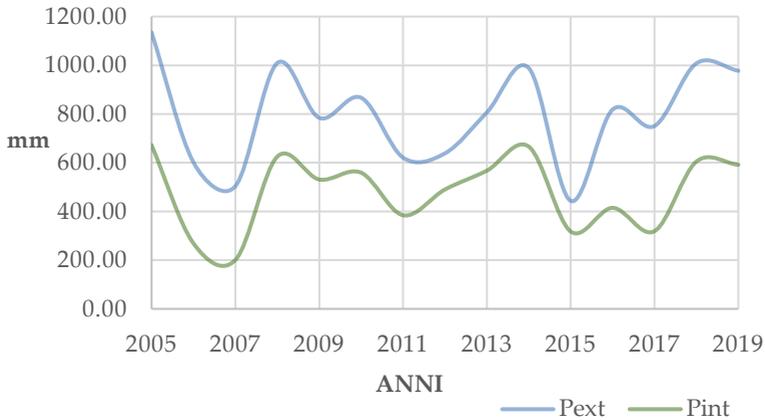


Figura 61 Precipitazioni cumulate annuali in condizioni di *campo aperto* (Pext) e di *sotto chioma* (Pint) Anni 2005-2019 (mm).

Prec. Cum. Annuali.	Pext mm	Pint mm	Diff. mm	Dif. %
2005	1134.71	672.40	462.31	40.74
2006	601.39	268.67	332.72	55.33
2007	503.85	200.73	303.12	60.16
2008	1009.48	625.20	448.08	37.62
2009	784.19	531.07	258.59	31.71
2010	866.74	559.00	281.85	36.12
2011	621.04	384.30	224.23	36.35
2012	638.49	490.14	148.35	23.23
2013	806.63	567.40	239.23	29.66
2014	988.51	666.11	322.40	32.61
2015	443.39	317.60	125.79	28.37
2016	818.16	414.80	403.36	49.30
2017	750.76	319.00	431.76	57.51
2018	1008.02	604.80	403.22	40.00
2019	977.48	591.52	385.95	39.48

Tabella 12 Precipitazioni cumulate annuali in condizioni di *campo aperto* (Pext) e di *sottochioma* (Pint). Anni 2005-2019.

IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI

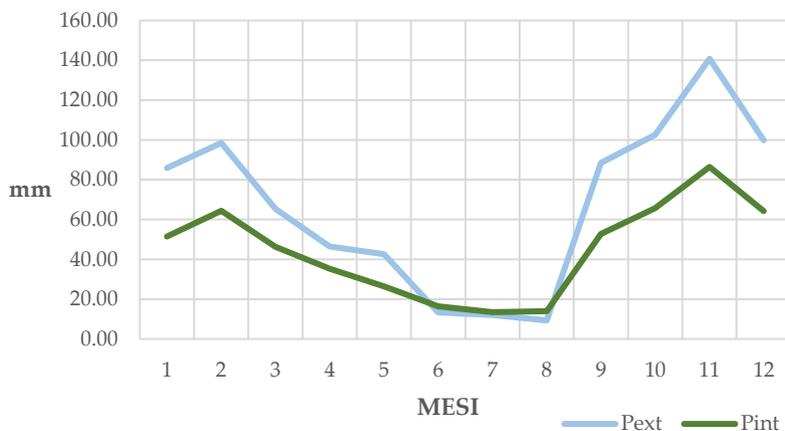


Figura 62 Precipitazioni cumulate mensili medie in condizioni di campo aperto (Pext) e di sotto chioma (Pint) Anni 2005-2019 (mm).

Prec. Cum. Mensili.	Pext mm	Pint mm	Diff. mm	Diff. %
1	85.85	51.45	34.40	40.07
2	98.45	64.34	34.11	34.65
3	65.37	46.30	19.07	29.17
4	46.44	35.30	11.14	23.99
5	42.54	26.36	16.18	38.03
6	13.40	16.35	-2.95	-22.02
7	12.07	13.46	-1.39	-11.53
8	9.32	13.93	-4.61	-49.44
9	88.43	52.73	35.70	40.37
10	102.62	65.72	36.90	35.96
11	140.79	86.43	54.37	38.61
12	99.73	64.26	35.47	35.56

Tabella 13 Precipitazioni cumulate mensili medie in condizioni di campo aperto (Pext) e di sotto chioma (Pint) Anni 2005-2019.

4.2 Le acque sotterranee

Le risorse idriche del terreno sono state indagate analizzando i dati di umidità del suolo, di profondità e temperatura della falda. L'umidità del suolo minima, media e massima, viene rilevata giornalmente a 10 (UT1), 50 (UT5) e 100 (UT10) cm di profondità. I dati sono stati elaborati al fine di ottenere, per le tre profondità, il contenuto medio annuale (1-12) delle umidità minima, media e massima (Tabella 14) e il contenuto medio mensile (2005-2019) dell'umidità minima, media e massima (Tabella 15). È stato dunque rappresentato l'andamento medio nel corso degli anni (Figura 63) e dei mesi (Figura 64), espresso in percentuale di saturazione del terreno.

I valori di profondità e temperatura di falda, misurati giornalmente da una sonda multi-parametrica inserita in un pozzo piezometrico²⁷² sono stati elaborati e determinando la profondità (Tabella 16), la temperatura media annuale (Tabella 18) e quelle mensili (Tabella 17, Tabella 19), nonché il corrispettivo andamento grafico dal 1998 al 2019 (Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68). I dati di profondità sono riferiti sia al livello del mare (m s.l.m.) che alla profondità dal piano campagna (p.c.) la cui quota è di 20.7 metri s.l.m.

²⁷² Piezometro E15 (X 282949.031, Y 4623401.5), sonda ottica n. 135582, quota piano campagna 20.7 m, profondità piezometro 17.45 m - altezza bocca pozzo dal p.c. 0.55 m.

IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI

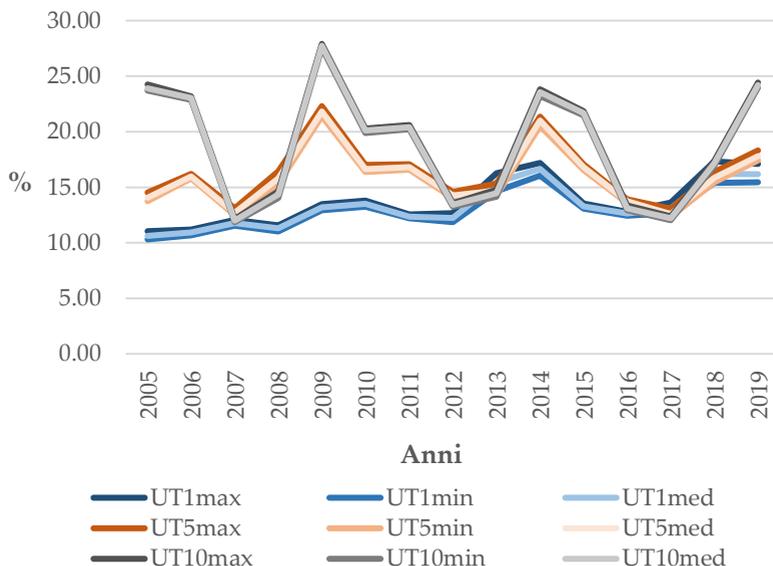


Figura 63 Andamento medio annuale umidità del terreno massima, media e minima a 10, 50 e 100 cm di profondità. Anni 2005-2019 (%).

	UT1 max	UT1 min	UT1 med	UT5 max	UT5 min	UT5 med	UT10 max	UT10 min	UT10 med
2005	11.05	10.30	10.62	14.53	13.74	14.05	24.26	23.71	23.90
2006	11.20	10.68	10.94	16.20	15.79	15.98	23.18	22.87	23.02
2007	12.05	11.54	11.78	13.10	12.50	12.70	12.15	11.86	11.99
2008	11.58	11.02	11.30	16.44	15.32	15.79	14.63	14.04	14.35
2009	13.47	12.92	13.19	22.30	21.39	21.82	27.91	27.53	27.73
2010	13.79	13.24	13.50	17.02	16.37	16.63	20.30	19.89	20.10
2011	12.55	12.20	12.36	17.06	16.59	16.81	20.60	20.22	20.40
2012	12.68	11.85	12.23	14.59	14.02	14.27	13.57	13.26	13.42
2013	16.26	14.65	15.43	15.35	14.25	14.69	14.79	14.14	14.47
2014	17.20	16.04	16.65	21.36	20.52	21.01	23.81	23.20	23.56
2015	13.53	13.06	13.28	17.06	16.55	16.82	21.86	21.47	21.68
2016	12.79	12.45	12.63	13.92	13.56	13.75	13.38	12.94	13.09
2017	13.62	12.67	13.11	13.08	12.32	12.59	12.38	12.04	12.21
2018	17.32	15.39	16.21	16.37	15.45	15.84	17.40	16.93	17.17
2019	17.10	15.46	16.17	18.30	17.41	17.80	24.42	23.97	24.20

Tabella 14 Media annuale delle umidità del terreno massima, media e minima, misurate a 10, 50 e 100 cm di profondità. Anni 2005-2019 (%).

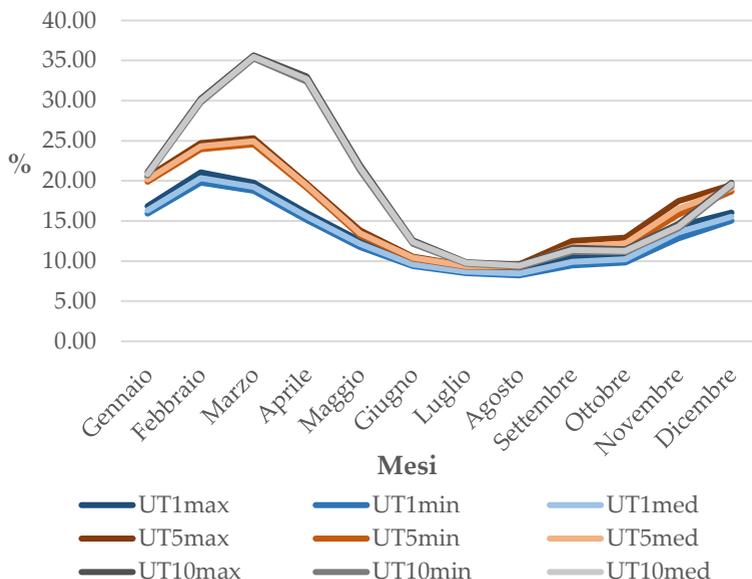


Figura 64 Andamento medio mensile umidità del terreno massima, media e minima a 10, 50 e 100 cm di profondità. Anni 2005-2019 (%).

	UT1 max	UT1 min	UT1 med	UT5 max	UT5 min	UT5 med	UT10 max	UT10 min	UT10 med
Gen	16.84	15.92	16.32	20.50	19.89	20.17	21.08	20.68	20.88
Feb	21.06	19.78	20.34	24.70	23.94	24.32	30.23	29.78	30.01
Mar	19.78	18.77	19.24	25.31	24.56	24.94	35.65	35.25	35.46
Apr	16.00	15.14	15.56	19.67	19.13	19.42	33.00	32.37	32.69
Mag	12.55	11.76	12.15	13.83	13.19	13.46	21.98	21.30	21.65
Giu	9.75	9.38	9.58	10.56	10.29	10.43	12.60	12.16	12.41
Lug	8.95	8.49	8.69	9.46	9.31	9.40	9.86	9.66	9.77
Ago	8.64	8.22	8.45	9.59	9.24	9.37	9.56	9.28	9.43
Set	10.47	9.46	9.92	12.51	11.35	11.78	11.66	11.15	11.37
Ott	10.79	9.81	10.22	12.90	11.76	12.18	11.46	11.13	11.29
Nov	14.35	12.82	13.58	17.50	15.79	16.52	14.66	14.07	14.32
Dic	16.05	15.04	15.51	19.51	18.69	19.06	19.77	19.35	19.57

Tabella 15 Media mensile delle umidità del terreno massima, media e minima, misurate a 10, 50 e 100 cm di profondità. Anni 2005-2019 (%).

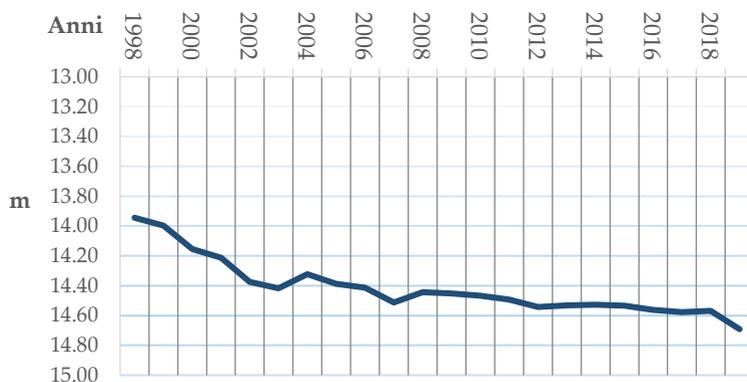


Figura 65 Andamento della profondità media annuale di falda 1998-2019 (metri dal p.c.).

Anni	m s.l.m.	m dal p. c.
1998	6.756	13.94
1999	6.703	14.00
2000	6.547	14.15
2001	6.487	14.21
2002	6.326	14.37
2003	6.282	14.42
2004	6.376	14.32
2005	6.312	14.39
2006	6.287	14.41
2007	6.187	14.51
2008	6.255	14.44
2009	6.247	14.45
2010	6.232	14.47
2011	6.207	14.49
2012	6.157	14.54
2013	6.168	14.53
2014	6.172	14.53
2015	6.166	14.53
2016	6.137	14.56
2017	6.124	14.58
2018	6.131	14.57
2019	6.01	14.69

Tabella 16 Profondità media annuale di falda 1998-2019 in metri sul livello del mare (m s.l.m.) e metri dal piano campagna (p.c.).

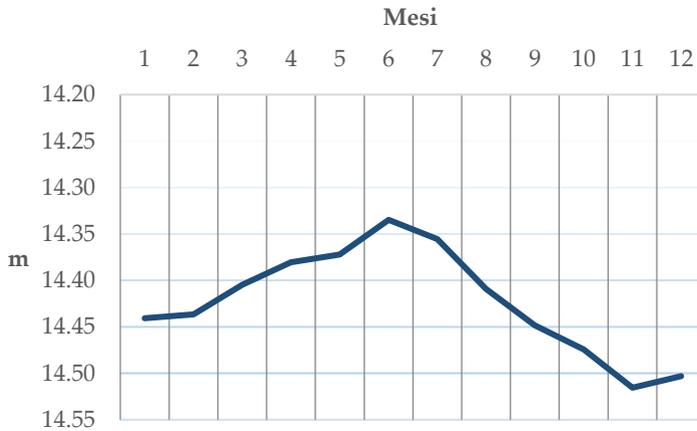


Figura 66 Andamento della profondità media mensile di falda 1998-2019 (m dal p.c.).

Mesi	m. s.l.m.	m dal p.c.
Gennaio	6.26	14.44
Febbraio	6.26	14.44
Marzo	6.30	14.40
Aprile	6.32	14.38
Maggio	6.33	14.37
Giugno	6.37	14.33
Luglio	6.34	14.36
Agosto	6.29	14.41
Settembre	6.25	14.45
Ottobre	6.23	14.47
Novembre	6.18	14.52
Dicembre	6.20	14.50

Tabella 17 Profondità media mensile di falda 1998-2019 (m s.l.m. e dal p.c.).

Anni	Temperatura Media Falda (°C)	Mesi	Temperatura Media mensile (°C)
1998	15.24	Gennaio	15.710
1999	15.29	Febbraio	15.698
2000	15.36	Marzo	15.709
2001	15.25	Aprile	15.719
2002	15.42	Maggio	15.728
2003	15.54	Giugno	15.719
2004	15.60	Luglio	15.716
2005	15.58	Agosto	15.718
2006	15.60	Settembre	15.707
2007	15.72	Ottobre	15.729
2008	15.80	Novembre	15.741
2009	15.73	Dicembre	15.738
2010	15.79		
2011	15.80		
2012	15.84		
2013	15.87		
2014	15.89		
2015	15.90		
2016	16.01		
2017	16.06		
2018	16.06		
2019	16.03		

Tabella 18 Temperatura media annuale di falda 1998-2019 (°C).

Tabella 19 Temperatura media mensile di falda 1998-2019 (°C).

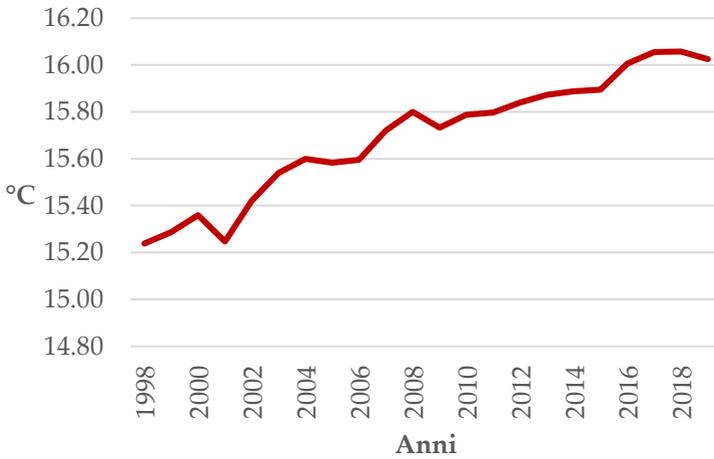


Figura 67 Andamento della temperatura media annuale di falda 1998-2019 (°C).

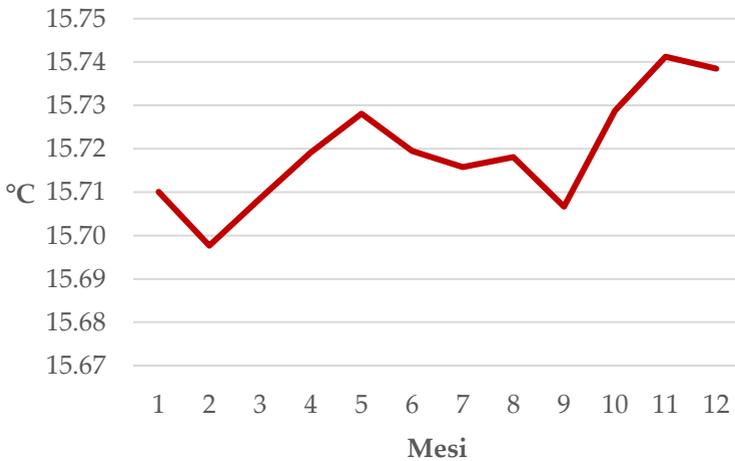


Figura 68 Andamento della temperatura media mensile di falda 1998-2019 (°C).

4.3 Interpretazione dell'andamento climatico

Dai dati ambientali elaborati e rappresentati graficamente emerge un costante aumento della temperatura nel corso degli anni, seppur contenuto in termini assoluti, ad eccezione di un'annata più fredda nel 2009. A Campo di Rota si registra una temperatura massima giornaliera media di 21.58°C. Nel corso dell'anno, dal minimo nel mese di gennaio, la temperatura aumenta gradualmente con un picco tra luglio e agosto, per poi riabbassarsi in modo costante. Tra giugno e settembre la temperatura massima si mantiene superiore ai 27 ° C e quella media superiore ai 20° C. L'umidità dell'aria ha assunto un valore costante nel corso degli anni, ad eccezione di una leggera diminuzione nel 2010 e nel 2017, mentre nel corso dell'anno si registra normalmente un minimo in agosto e un valore massimo in novembre. Tra giugno e settembre l'umidità minima dell'aria non supera il 52 % di saturazione mentre in media è intorno all'80%. Le precipitazioni assumono un valore medio annuale di 793 mm in campo aperto e di 479 mm sotto chioma, con anni più siccitosi come 2007, 2011, 2012 e soprattutto il 2015. Le precipitazioni al di sotto delle chiome sono in media inferiori del 40%. Nel corso dell'anno le precipitazioni sono maggiori a febbraio e soprattutto a novembre, con valori minimi tra giugno e agosto.

Per il calcolo del bilancio termopluviometrico annuo, sfruttando i dati di precipitazioni cumulate e temperature medie mensili, è stato determinato il periodo di aridità, anche se non riferito ad un vero e proprio clino climatico, utilizzando il diagramma di *Bagnouls-Gaussen*. Da questo grafico, sia per i valori registrati fuori che sotto copertura arborea, si evince come il *periodo di aridità*, dato dall'intersezione delle due curve, vada da metà marzo a ottobre in condizioni di *campo aperto* (Figura 70), e da metà febbraio a novembre in condizioni di *sotto chioma* (Figura 71).

Riguardo al regime idrico del suolo l'umidità presenta un andamento simile a 50 e 100 cm di profondità, mentre risulta differente a 10 cm. L'umidità del terreno a 10 cm di profondità varia tra l'11 e 17 % con una media del 13%, quella a 50 cm tra 13 e 22% con una media del 16%, quella a 100 cm tra 12 e 28% con una media del 19%. Dal confronto con le altre variabili ambientali, appare evidente come il contenuto idrico superficiale (10 cm), generalmente basso, sia influenzato direttamente dalla temperatura, soprattutto quella massima: presentando un valore minimo l'anno successivo (2008, 2012 e 2016) alle annate lievemente più calde (2007, 2011 e 2015). Il contenuto idrico a 50 e 100 cm presenta invece un andamento più variabile, con drastiche riduzioni negli anni successivi (2007, 2012-2013 e 2016-2017) a quelli con minori precipitazioni (2006, 2011 e 2015).

La profondità della falda a Campo di Rota (Figura 69), ha subito un calo repentino dal 1998 al 2003, continuando gradualmente ad abbassarsi fino ad oggi con un abbassamento complessivo nel ventennio di 60 cm, raggiungendo i 6 m s.l.m., ovvero 14 metri di profondità rispetto al piano campagna. Nel corso dell'anno la profondità risulta minima a novembre, aumentando gradualmente con un picco a giugno. La temperatura media annuale della falda ha avuto invece un percorso inverso, con un costante aumento dal 1998 ad oggi, per complessivamente $0,8-1^{\circ}\text{C}$, superando i 16°C . Nel corso dell'anno la temperatura va incontro ad una variazione dell'ordine dei decimi di grado, con valori minimi a febbraio e tra luglio e settembre, mentre valori più elevati si riscontrano a maggio e ad ottobre.

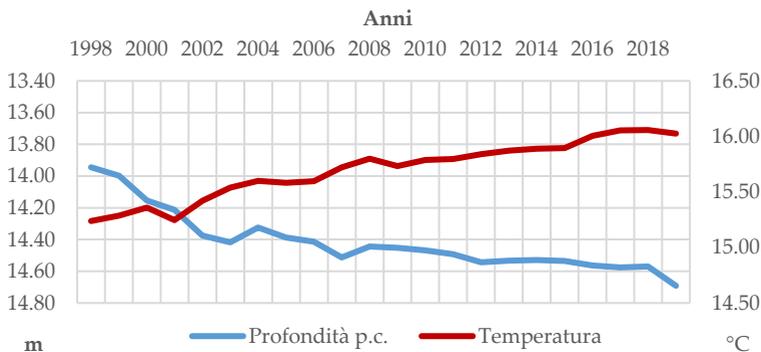


Figura 69 Andamento della profondità riferita al p.c. (m) e della temperatura ($^{\circ}\text{C}$) di falda. Anni 2005-2019.

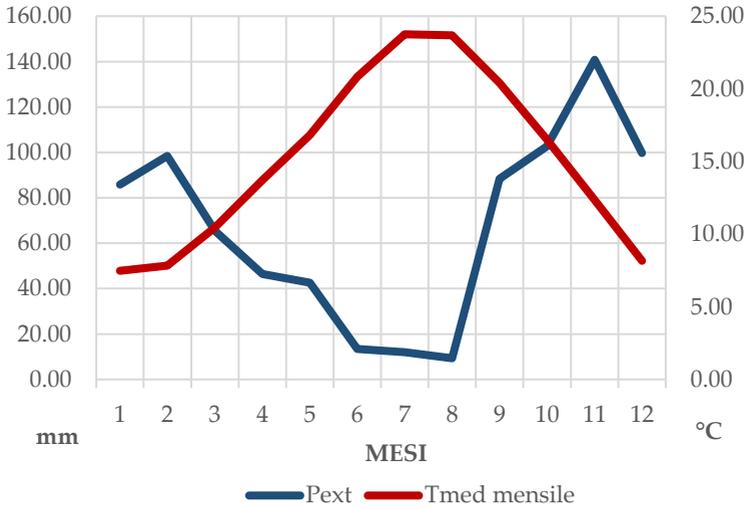


Figura 70 Diagramma di Bagnouls-Gaussen in condizioni di *campo aperto*. Anni 2005-2019.

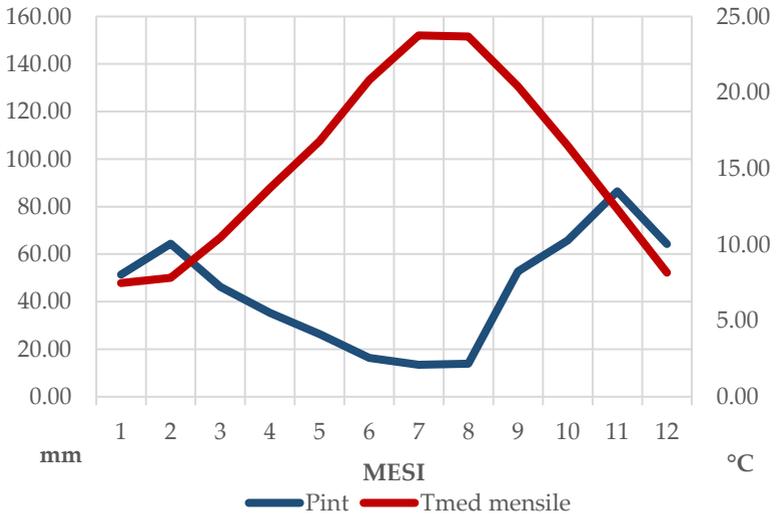


Figura 71 Diagramma di Bagnouls-Gaussen in condizioni di *sotto chioma*. Anni 2005-2019.

4.4 Analisi statistica delle serie storiche

Le serie storiche relative ai dati ambientali sono state estratte dalle tabelle annuali della stazione meteo di Campo di Rota²⁷³ e sono state aggregate a formare una matrice sincronica di dati relativa al periodo 2005-2019, che incrocia le osservazioni giornaliere con i parametri ambientali considerati. Questa matrice ambientale è stata analizzata con metodi di analisi esplorativa di dati multidimensionali²⁷⁴, una disciplina che utilizza metodi matematici, statistici e informatici per mostrare in modo sintetico, principalmente grafico, l'informazione contenuta nei dati stessi. In questo caso, le tecniche utilizzate permettono di avere informazioni non solo circa gli andamenti climatici del sito di studio, relativamente ai parametri ambientali considerati, ma soprattutto sulle loro reciproche relazioni. In particolare, si sono utilizzati due metodi che, usati in modo integrato, forniscono una conoscenza analitica dei dati considerati: l'Analisi della Componente Principale (*Principal Component Analysis* o PCA) e la Classificazione Gerarchica Fattoriale (*Hierarchical Factorial Classification* o HFC).

La PCA è utilizzata in modo strumentale in molti campi d'indagine, tra cui lo studio delle serie storiche, come tecnica per la riduzione dei dati e la loro preelaborazione, ma anche in considerazione delle notevoli capacità esplorative che possono avvantaggiare il ricercatore nella comprensione

²⁷³ I dati ambientali, giornalieri e orari, rilevati nella stazione di Campo di Rota vengono annualmente inseriti in tabelle dal CREA e resi disponibili nella Banca dati del Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano.

²⁷⁴ Tukey J.W., 1977; Camiz S., 2001; Camiz S. et al., 2008.

dei risultati della loro raccolta, prima di provare a creare un modello. In particolare, nel caso di serie temporali multidimensionali, il loro studio e l'eventuale modellizzazione possono trarre vantaggio da studi esplorativi, in grado di mettere in evidenza le relazioni reciproche tra le serie e raggrupparle in base al loro comportamento nel tempo. In effetti, da tempo è stata dimostrata l'importanza di applicare tecniche esplorative come primo passo in un qualsiasi studio quantitativo²⁷⁵. In particolare, gli studi esplorativi "*lasciano che i dati parlino da sé*"²⁷⁶ e consentono allo scienziato di avere una visione molto profonda dei dati, attraverso un vero "*lavoro investigativo*"²⁷⁷, senza la necessità di applicare modelli e statistiche. Questi metodi sono appropriati quando le tabelle di dati reali multidimensionali non soddisfano le condizioni richieste per applicare correttamente metodi statistici, un aspetto particolarmente rilevante quando si tratta di serie temporali in cui non è rispettata l'indipendenza tra le osservazioni. Al contrario, i risultati dei metodi esploratori possono aiutare a definire meglio i modelli, in particolare per la selezione delle variabili pertinenti. Durante l'esplorazione è uso comune identificare strutture e relazioni nei dati - da verificare in un secondo momento - senza la necessità di utilizzare test statistici, che aumenterebbero il rischio di errore di tipo I, ovvero assumere come pertinente o significativo qualcosa che non lo sia.) Questa strategia è stata utilizzata con successo per identificare modelli appropriati nello studio

²⁷⁵ Tukey J.W., 1977.

²⁷⁶ Benzécri J.P., 1973-82.

²⁷⁷ Diggle P.J. et al., 1994.

delle foglie di *Pinus pinea* L. come possibili bio-indicatori d'inquinamento ²⁷⁸ . Diversi sono i punti a favore dell'applicazione di questi tipi d'analisi: i) possono essere applicati a qualsiasi tipo di dati, indipendentemente dalla loro natura e distribuzione; ii) non è necessario definire alcuna struttura o distribuzione di dati a priori; iii) non è richiesta alcuna indipendenza tra le osservazioni; iv) non si basa sulla probabilità di valori di statistiche calcolate (i cosiddetti valori-*p*), il cui uso improprio è stato molto criticato ²⁷⁹ ; v) contribuiscono all'individuazione delle corrette ipotesi da verificare ²⁸⁰ ; vi) aiutano nell'identificazione dei modelli da costruire.

Affrontando una serie storica multidimensionale, che è un insieme di serie sincrone, uno studio esplorativo può mirare a identificare la struttura delle correlazioni (nel senso delle reciproche relazioni lineari tra le serie temporali), gruppi di osservazioni o di serie omogenei, tutte questioni che possono essere confermate in un secondo momento mediante strumenti più appropriati.

Per quanto riguarda la modellizzazione, è probabile che serie storiche opportunamente raggruppate possano essere descritte da modelli dello stesso tipo. Per tale compito, la PCA²⁸¹, lo strumento esplorativo più noto, potrebbe non essere del tutto appropriata. Infatti, per quanto riguarda le variabili, la PCA fornisce solo il loro contributo ai fattori estratti (nuove variabili ottenute da quelle osservate in modo

²⁷⁸ Camiz S. et al., 2008.

²⁷⁹ Reinhart A., 2015.

²⁸⁰ Camiz S., 2001; Camiz S. et al., 2008.

²⁸¹ Jolliffe I., 2002.

da esser indipendenti fra loro, come verrà spiegato in seguito) e le loro correlazioni con essi, strumenti che di solito sono presi in considerazione per interpretare i fattori. Inoltre, la qualità della loro rappresentazione sulle diverse dimensioni indica se una ricostruzione dei dati di dimensione ridotta può essere considerata soddisfacente o meno: informazioni non sempre esaustive dei quesiti che ci si pongono. Considerando le serie temporali come variabili, la loro PCA esplorativa è fattibile ²⁸², generando le componenti principali, serie temporali esse stesse, che descrivono variazioni fra loro indipendenti nel tempo. Tali componenti, purtroppo, considerate nel tempo, possono essere difficili da capire ed interpretare. Rotazioni ortogonali e/o oblique possono aiutare a identificare direzioni più correlate con gruppi di variabili, ma ciò significa un secondo trattamento, basato sulla scelta di una soluzione approssimativa in un numero predefinito di dimensioni, generalmente sconosciuto; la stessa analisi fattoriale (una tecnica analoga alla PCA, ma con orientamento più modellistico che esploratorio ²⁸³), richiede condizioni di applicabilità. Come l'indipendenza fra le osservazioni (impossibile nel caso di serie storiche, in cui le osservazioni sono per loro natura interdipendenti), multi-normalità dei residui (cioè la loro distribuzione normale rispetto ai diversi valori delle variabili originali), che di solito non sono semplici da avere. Inoltre, la PCA non può essere utilizzata per la previsione, a causa della sua natura esplorativa, poiché la struttura di correlazione tra le serie temporali può

²⁸² Bry X., 1995.

²⁸³ Harman H.H., 1976; Jolliffe I., 2002.

variare nel tempo e, trattando un insieme di dati, la PCA potrebbe non descrivere ciò che non appartiene ad esso.

La classificazione delle serie storiche può essere un interessante elemento aggiuntivo alla PCA: infatti, la loro suddivisione in gruppi omogenei non risulta dalla PCA, a meno che non si osservi il raggruppamento di alcune di esse attorno ad un fattore. A differenza della classificazione delle osservazioni, che è ampiamente discussa in letteratura²⁸⁴, poco è stato sviluppato specificamente per le variabili, per le quali vengono in genere adottati gli stessi criteri: così, il coefficiente di correlazione viene preso come indice di somiglianza e usato con metodi come legame singolo, medio o completo, in cui vengono aggregati ad ogni passo i due gruppi in cui rispettivamente la distanza minima, la media e la massima fra coppie di osservazioni appartenenti a gruppi diversi è minima. Come metodi specifici, possono essere citati il metodo gerarchico probabilistico chiamato *Likelihood Linkage Analysis*²⁸⁵. Più vicino alla PCA si può citare *VARCLUS*²⁸⁶, un algoritmo divisivo che crea gruppi cercando di renderli il più possibile unidimensionali; un metodo di tipo *K-means*²⁸⁷ che crea una componente principale associata a ciascun gruppo; e infine Chavent et al. (2011).

Il secondo metodo d'analisi utilizzato in questo studio, la *Classificazione Gerarchica Fattoriale* (HFC, *Hierarchical Factorial Classification*), permette di classificare le variabili costruendo una gerarchia, ovvero un insieme

²⁸⁴ Anderberg M.R., 1973; Gordon, 1999; Lebart L. et al. 2006.

²⁸⁵ Lerman, 1981.

²⁸⁶ SAS Institute, 1999.

²⁸⁷ Vigneau et al., 2006

completo di partizioni incapsulate rappresentate da un dendrogramma²⁸⁸. La gerarchia sulle variabili è costruita con un metodo simile alla PCA, quindi, per ciascun nodo della gerarchia, che è un gruppo di variabili, HFC produce un piano principale sul quale entrambe le variabili che formano il nodo e le osservazioni possono essere rappresentate, proprio come nella PCA, e di conseguenza interpretati. Tagliando il dendrogramma, s'ottiene una partizione e la HFC fornisce, per ciascun gruppo formato, una variabile rappresentativa, che riassume la variazione comune delle variabili raggruppate e, come tale, può essere usata al posto di esse, in particolare durante la modellizzazione. In effetti, la modellizzazione d'una singola serie storica per la previsione può essere più facile di quella di una multidimensionale e l'applicazione di un tale modello a un piccolo insieme di serie con cui è altamente correlata potrebbe avere più successo della costruzione di un modello generale molto più complesso. Il metodo è stato testato in diversi ambiti disciplinari: in ecologia delle piante²⁸⁹ climatologia²⁹⁰ e dendrocronologia²⁹¹, dimostrando la sua complementarità con la PCA e i suoi vantaggi rispetto ai metodi classici citati. In effetti la HFC unisce i due metodi d'ordinamento e classificazione in un unico strumento.

In questo studio, relativo a serie storiche di parametri ambientali e climatici di un contesto forestale mediterraneo,

²⁸⁸ Denimal J.-J., 2001, 2007.

²⁸⁹ Camiz S. e Denimal J.-J., 2006; Camiz S. et al., 2006, Camiz S. e Pillar V.D., 2007.

²⁹⁰ Camiz S. et al., 2010, 2014.

²⁹¹ Stafasani M. e Toromani E., 2015.

i risultati ottenuti con la HFC sono stati confrontati con quelli della PCA.

Analisi delle Componenti Principali

L'analisi delle componenti principali²⁹², costituisce il metodo esplorativo multidimensionale più noto, di cui di seguito sono esposti gli elementi essenziali. Data una tabella di dati quantitativi X , incrociando n unità per righe e p variabili per colonne, la PCA costruisce un insieme di *componenti principali*, nuove variabili non correlate ottenute attraverso una combinazione lineare di quelle originali, valutate sulle stesse unità, la cui importanza relativa è ordinata secondo la quantità di informazioni della tabella di dati originale che è sintetizzata da ciascuna componente. Le componenti principali sono generalmente interpretate come *fattori* corrispondenti alle principali fonti di variazione della tabella dei dati. Le rappresentazioni grafiche bidimensionali sia dell'insieme delle unità che di quello delle variabili sui piani generati da coppie di fattori si rivelano uno strumento molto utile per uno studio progressivo della tabella originale di dati, aiutando a rilevare e interpretare dalle relazioni più evidenti a quelle più nascoste.

Il principio di base della PCA è considerare l'inerzia di una tabella di dati X e scomporla in fattori non correlati, la cui inerzia decrescente si somma a formare quella totale della tabella. Come inerzia di una tabella di dati si intende la

²⁹² Benzécri J.P. et coll., 1973-82; Bry X., 1995; Jolliffe I., 2002; Lebart L. et al., 2006.

somma pesata dei quadrati degli scarti dei valori osservati dalla loro media, che nell'analisi esplorativa dei dati è considerata una misura dell'informazione contenuta nei dati stessi. Pertanto, la maggior parte dei metodi esplorativi mira ad ottenere risultati ottimali massimizzando l'inerzia. Le componenti principali sono combinazioni lineari delle variabili originali ottenute dalla decomposizione delle loro matrici di correlazione o covarianza. Infatti, si può fare riferimento alla Decomposizione a Valori Singolari²⁹³ (SVD, *Singular Value Decomposition*) per dimostrare che gli elementi di X possono essere scritti come:

$$x_{ij} = \sum_{\alpha=1}^p \sqrt{\lambda_{\alpha}} u_{i\alpha} v_{j\alpha}$$

Ovvero la somma dei prodotti delle radici quadrate degli autovalori λ_{α} , misura dell'inerzia del corrispondente -esimo fattore, con i corrispondenti autovettori, rispettivamente u_{α} di XX' e v_{α} di $X'X$. Inoltre, $c_{\alpha} = X u_{\alpha}$ fornisce le componenti principali e u_{α} le correlazioni tra le variabili originali e le componenti principali.

Il teorema di Eckart and Young (1936) dimostra che la migliore approssimazione di X di dimensione ridotta, cioè quella che minimizza l'inerzia non spiegata, si ottiene limitando la somma ai primi r autovalori più grandi. Pertanto, la PCA è essenziale per uno studio critico d'una tabella di dati, considerando prima le informazioni più rilevanti e, successivamente, le meno importanti, favorendo in questo modo l'interpretazione dei fattori che influenzano

²⁹³ Abdi H., 2007.

maggiormente la struttura di X . Ciò può essere ottenuto studiando le correlazioni tra le componenti principali e le variabili originali, nonché l'ordine delle unità lungo le componenti principali, risultati che di solito sono rappresentati graficamente. Di conseguenza la PCA è ampiamente utilizzata per ridurre la dimensione d'una tabella di dati, minimizzando la perdita d'informazioni essenziali. In effetti, quest'uso può essere criticato, giacché non è disponibile un controllo consistente per fissare questa dimensione, nonostante i numerosi metodi proposti in letteratura²⁹⁴.

Sui piani generati da coppie di fattori, le unità possono essere proiettate in modo ottimale, massimizzando così l'inerzia rappresentata e approssimando le loro reciproche distanze. Alle componenti principali sono associati gli assi principali, definendo così i piani su cui le variabili originali possono essere proiettate come vettori. Qui, il coseno dell'angolo tra vettori e assi corrisponde alla correlazione tra le variabili e le componenti principali. Ulteriori variabili, osservate sulle stesse unità, possono essere proiettate come *elementi supplementari* in base alla loro correlazione con le componenti principali. In questo modo, possono essere utilizzati per favorire l'interpretazione delle componenti principali, ma anche per mostrare la capacità di fattori e variabili originali di stimare le variabili supplementari, nel senso della regressione lineare.

Nel caso delle serie storiche, le componenti principali sono serie storiche ortogonali esse stesse, definite, in ordine

²⁹⁴ Camiz S. e Pillar V.D., 2018.

decescente, come le più correlate a quelle originali. Quando queste correlazioni sono tutte positive, esse possono essere considerate una sorta di serie storica media ponderata, ma poiché in genere risultano con correlazioni sia positive che negative, la loro interpretazione come serie storiche può essere talvolta difficile.

Classificazione Gerarchica Fattoriale

L'uso della classificazione gerarchica in analisi esplorativa, sebbene a volte impegnativo data la grande dimensione dei dati, è vantaggioso poiché fornisce un insieme completo di partizioni incapsulate, ottimizzate in base ad un criterio scelto. In questo modo, quale partizione scegliere è un risultato dell'analisi anziché essere un parametro da fissare a priori. Per costruire una gerarchia, gli algoritmi sono generalmente agglomerativi: all'inizio, dati p oggetti, i) ognuno si considera formare un solo gruppo (un cosiddetto *singleton*, gruppo formato da un solo oggetto), quindi ii) viene scelto un indice numerico per misurare l'associazione di coppie di gruppi, che consente iii) di creare una matrice d'associazione contenente i valori iniziali per tutte le coppie di oggetti; quindi, iv) viene definita una regola per aggiornare la matrice di associazione ogni volta che due gruppi vengono uniti e v) viene scelta una funzione obiettivo basata sugli indici di associazione, la cui ottimizzazione viene presa come regola per identificare quale coppia di gruppi deve essere unita ad ogni passo. Inoltre, vi) deve essere scelto un metodo per decidere come ottenere una partizione dalla gerarchia costruita. Quindi, vii) le seguenti

fasi agglomerative vengono ripetute - fino a quando non risulta un solo gruppo - vale a dire: vii.a) viene identificata la coppia di gruppi esistenti che ottimizzano la funzione obiettivo, vii.b) la coppia viene unita in un nuovo gruppo, vii.c) la matrice d'associazione viene aggiornata, togliendo i valori corrispondenti ai due gruppi uniti e inserendo invece gli indici calcolati per l'associazione del nuovo gruppo con quelli ancora esistenti. Questa procedura fornisce una gerarchia, che di solito è rappresentata da un dendrogramma, che riassume l'associazione tra oggetti e che corrisponde all'insieme completo di partizioni. Alla fine, viii) in base alla scelta fatta in vi) l'utente può decidere quali partizioni prendere in considerazione. In base a diverse scelte, un insieme di dati può essere classificato in diversi modi, a seconda di ii) la scelta dell'indice d'associazione, iv) la funzione di ottimizzazione e v) il criterio per la ridefinizione dell'associazione intergruppo dopo l'agglomerazione²⁹⁵. Milligan e Cooper (1985) discutono i metodi migliori per rilevare i punti di taglio ottimali del dendrogramma, per ottenere una partizione consistente.

Un'attenzione particolare merita la PCA di coppie di variabili, che produce solo due fattori: a differenza delle componenti principali di un numero maggiore di variabili, la cui spiegazione, in particolare quelle relative ai fattori successivi al primo, a volte può essere non evidente, in questo caso è facile dimostrare che il primo sintetizza ciò che le due variabili hanno in comune e il secondo quali sono le loro differenze. Questa facilità d'interpretazione ha portato

²⁹⁵ Anderberg M.R., 1973; Hartigan J.A., 1975; Gordon A.D., 1999.

Denimal (2007) a sviluppare la sua *Classificazione Gerarchica Fattoriale* ²⁹⁶ (HFC, *Hierarchical Factor Classification*), un metodo utile nello studio delle serie storiche. Esso combina in un'unica procedura la classificazione delle variabili con una rappresentazione fattoriale, con lo stesso fine esplorativo della PCA, nonché una classificazione delle unità, seppure non ottimale. Inoltre, i risultati della HFC possono essere rappresentati molto facilmente sui grafici della PCA, fornendo così un'integrazione di questi metodi che ne semplifica ulteriormente l'utilizzo.

Per costruire una gerarchia sull'insieme di variabili, HFC associa a ciascun gruppo costruito una variabile rappresentativa, che riassume tutte quelle del gruppo e utilizza una sequenza di PCA di coppie di tali variabili rappresentative dei gruppi precedentemente creati. Di seguito sono elencate in dettaglio le operazioni eseguite:

1. All'inizio ogni variabile (standardizzata o no) è considerata come un solo gruppo - un *singleton* - e chiaramente rappresentativa di questo gruppo²⁹⁷.
2. Tutte le coppie di gruppi esistenti vengono confrontate attraverso le loro variabili rappresentative, che vengono sottoposte a una PCA non normalizzata, cioè la PCA della loro matrice 2x2 di covarianza. La somma dei due autovalori corrisponde all'inerzia delle due variabili rappresentative: è facile capire che rispettivamente il primo rappresenta l'inerzia comune e il secondo l'inerzia delle loro differenze.

²⁹⁶ Denimal J.-J., 2001.

²⁹⁷ Denimal J.-J., 2007.

3. Tra tutte queste coppie, viene selezionata quella il cui secondo autovalore risultante dalla PCA è minimo: questo significa che ad ogni passo viene cercata la coppia le cui differenze sono minime.
4. I due gruppi di variabili corrispondenti alla coppia selezionata vengono uniti e il gruppo risultante forma un nuovo nodo della gerarchia.
5. Dato il nuovo nodo, la prima componente principale della PCA di questo nodo viene scelta come variabile rappresentativa. Infatti, basata sull'interpretazione dei fattori ottenuti dalla PCA di una coppia di variabili, essa sintetizza ciò che le variabili del nodo hanno in comune.
6. Il primo autovalore è uguale all'inerzia della prima componente principale, che è una quota dell'inerzia totale delle variabili nel nodo. Si noti che questa inerzia può essere molto elevata, poiché la PCA si basa sulla covarianza e dipende sia dal numero che dall'inerzia delle variabili del gruppo.
7. La seconda componente principale rappresenta la quantità delle differenze tra le variabili che compongono il nodo, e dovrebbe essere minima.
8. Il secondo autovalore riassume l'inerzia di queste differenze. Si può dimostrare che nel processo iterativo questi secondi autovalori sono non-decrescenti, quindi possono essere usati come indici della gerarchia. Il fatto che tale valore sia minimo garantisce ad ogni passo che i gruppi formati siano effettivamente i più omogenei.
9. Ad ogni nodo della gerarchia sono associati due piani principali: sul primo sono rappresentate come coseni di

angoli le covarianze/correlazioni tra le variabili del nodo e le due componenti principali, mentre sul secondo può essere studiata la dispersione delle unità, viste solo dalle variabili del nodo. Per via del significato delle componenti principali, può essere eseguita una semplice partizione associata (sebbene non ottimale) delle unità in quattro gruppi, secondo la concordanza-discordanza dei loro valori con le variabili rappresentative dei gruppi aggregati. In questo modo, le relazioni tra le variabili rappresentative dei diversi nodi possono essere utilizzate per comprendere somiglianze e differenze tra i corrispondenti gruppi di variabili.

10. Se le variabili sono p , i passaggi 2) ... 9) vengono ripetuti $p-1$ volte, ottenendo una gerarchia completa delle variabili considerate, come s'è detto corrispondente ad un insieme di partizioni incapsulato.
11. Per ottenere una partizione idonea, si può tagliare il dendrogramma a un dato livello dell'indice. Per la scelta del punto di taglio è importante evitare di creare gruppi contenenti variabili rappresentative indipendenti. A tal fine, si stima che l'indice della gerarchia non debba superare 0.7, il contrario di ciò che Jolliffe (2002) raccomanda affinché un fattore sia considerato rilevante.

Va sottolineato che la prima componente principale prodotta ad ogni passaggio è una media pesata delle variabili che formano il nodo: se le sue correlazioni con queste variabili hanno tutte lo stesso segno, esso può essere

preso positivo ed essa avrà una posizione baricentrica pesata al loro interno, giustificando così il suo uso come rappresentativa di essi. Se dovessero essere opposti nel segno, la variabile rappresentativa si riferisce a un *dipolo* di variabili, che identificano la stessa variabile rappresentativa ma con significato opposto. In questo caso, il dipolo può essere diviso in due sottogruppi e si dovrebbe cercare una variabile rappresentativa in entrambi i sottogruppi. Nel caso delle serie storiche, quella rappresentativa è una media ponderata di quelle che formano il gruppo e come tale la sua modellizzazione nel tempo può essere vista come una stima del modello degli altri; dall'altro lato, la serie delle differenze può descrivere la loro variazione nel tempo.

Nelle applicazioni s'osserva che le due componenti principali dell'ultimo nodo costruito dalla HFC sono generalmente altamente correlate con le prime due componenti principali della PCA eseguita sull'intero insieme di dati. Pertanto, la loro interpretazione potrebbe essere abbastanza simile. In effetti, entrambi i metodi si basano sullo stesso spazio geometrico della PCA, quindi le variabili rappresentative di tutti i nodi possono essere rappresentate come elementi supplementari nei piani principali della PCA ordinaria, consentendo un'interoperabilità tra i due metodi. Si noti che le variabili rappresentative dei diversi nodi potrebbero non essere ortogonali, quindi la loro interpretazione può essere riferita al corrispondente gruppo di variabili: tuttavia, si può dimostrare che i secondi autovalori e il primo dell'ultimo nodo si sommano fino a costituire l'inerzia totale. Ciò consentirà una valutazione dell'inerzia persa a causa di una partizione scelta.

L'applicazione della PCA e della HFC al caso di studio è stata effettuata attraverso funzioni appositamente sviluppate di R²⁹⁸.

HFC e PCA delle serie storiche ambientali per Campo di Rota

Considerate le serie storiche dei parametri rilevati a Campo di Rota²⁹⁹ per il periodo dal 2005 al 2019, è stata costruita una matrice con i valori giornalieri di ogni parametro ed eseguita la Classificazione gerarchica fattoriale.

Dall'esame degli ultimi indici della gerarchia (Tabella 20, colonna 6) si notano sette valori maggiori di 1, mentre il precedente è nettamente più basso (0.66). Questi valori stanno ad indicare che le classi formate differiscono fra loro della quantità rappresentata da una variabile o più, non sono quindi sufficientemente omogenee per esser considerate unidimensionali.

²⁹⁸ R-Core Team, 2013.

²⁹⁹ Vedi Cap. 4, 4.1.

IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI

N	N1	N2	Num	Eigenw	Index	Loc %1	Loc %1	Glob %1	Glob %2	Cum %2
24	16	17	2	1.998050	0.001950348	99.90248	0.09751742	8.687172	0.008479775	0.008479775
25	15	24	3	2.993435	0.004614745	99.84608	0.15392490	13.014934	0.020064108	0.028543884
26	13	14	2	1.991821	0.008178980	99.59105	0.40894900	8.660091	0.035560782	0.064104666
27	10	11	2	1.980542	0.019458031	99.02710	0.97290155	8.611052	0.084600134	0.148704800
28	12	26	3	2.954521	0.037299843	98.75327	1.24672708	12.845744	0.162173230	0.310878030
29	20	21	2	1.962475	0.037525380	98.12373	1.87626902	8.532498	0.163153828	0.474031858
30	2	3	2	1.958306	0.041694131	97.91529	2.08470653	8.514373	0.181278829	0.655310687
31	9	27	3	2.929631	0.050911323	98.29188	1.70812302	12.737525	0.221353580	0.876664267
32	18	19	2	1.895574	0.104425993	94.77870	5.22129964	8.241626	0.454026055	1.330690322
33	1	30	3	2.838032	0.120274083	95.93436	4.06564055	12.339269	0.522930795	1.853621117
34	5	6	2	1.846484	0.153515770	92.32421	7.67578849	8.028192	0.667459869	2.521080986
35	7	8	2	1.610388	0.389612263	80.51939	19.48061316	7.001686	1.693966362	4.215047348
36	22	23	2	1.571666	0.428333908	78.58330	21.41669539	6.833331	1.862321339	6.077368687
37	4	34	3	2.198289	0.648195496	77.22821	22.77179299	9.557777	2.818241288	8.895609975
38	25	28	6	5.283124	0.664831624	88.82252	11.17748037	22.970106	2.890572277	11.786182252
39	37	35	5	2.787901	1.020775926	73.19867	26.80132938	12.121307	4.438156200	16.224338452
40	38	31	9	7.146909	1.065846300	87.02206	12.97793842	31.073517	4.634114347	20.858452800
41	32	39	7	3.229340	1.454134557	68.95180	31.04820024	14.040609	6.322324162	27.180776961
42	29	36	4	2.018671	1.515469371	57.11916	42.88084417	8.776832	6.588997267	33.769774228
43	33	40	12	8.378032	1.606908927	83.90668	16.09332486	36.426225	6.986560551	40.756334779
44	41	42	11	3.367472	1.880539241	64.16663	35.83336851	14.641183	8.176257571	48.932592351
45	43	44	23	8.477310	3.268193477	72.17494	27.82506007	36.857871	14.209536856	63.142129206

Tabella 20 Indice gerarchico ottenuto con la classifizaione gerarchica fattoriale.

Nel dendrogramma ottenuto (Figura 72) sono presenti, da sinistra a destra, le seguenti classi, corrispondenti ai nodi fra parentesi:

- C1(*33*), composta dalle tre temperature Tmax, Tmin, Tmed;
- C2(*38*), composta dalle sei umidità del terreno a 100 e 50 cm di profondità UT10max, UT10min, UT10med; UT5max, UT5min, UT5med;
- C3(*31*), composta dalle altre tre umidità del terreno a 10 cm di profondità UT1max, UT1min, UT1med;
- C4(*32*), composta dalle precipitazioni Pext, Pint;
- C5(*37*), composta dalle tre umidità Umax, Umin, Umed;
- C6(*35*), composta dalle due radiazioni solari Rsmx, Rstot.
- C7(*29*), composta dalle bagnature fogliari Bfnet, Bftot;

- C8(*36*), composta dai dati di faglia Pfal, Tfal;
- Risalendo nella gerarchia, incontriamo progressivamente i nodi:
- *39*, che aggrega le umidità e radiazioni solari (*37*, *35*);
- *40*, che aggrega tutte le umidità del terreno (*38*, *31*);
- *41*, che aggrega le precipitazioni con umidità e radiazioni (*32*, *39*);
- *42*, che aggrega dati di falda e bagnature (*29*, *36*);
- *43*, che aggrega le temperature con le umidità del terreno (*33*, *40*);
- *44*, che aggrega *42* e *41*;
- *45*, che infine aggrega *44* e *43*.

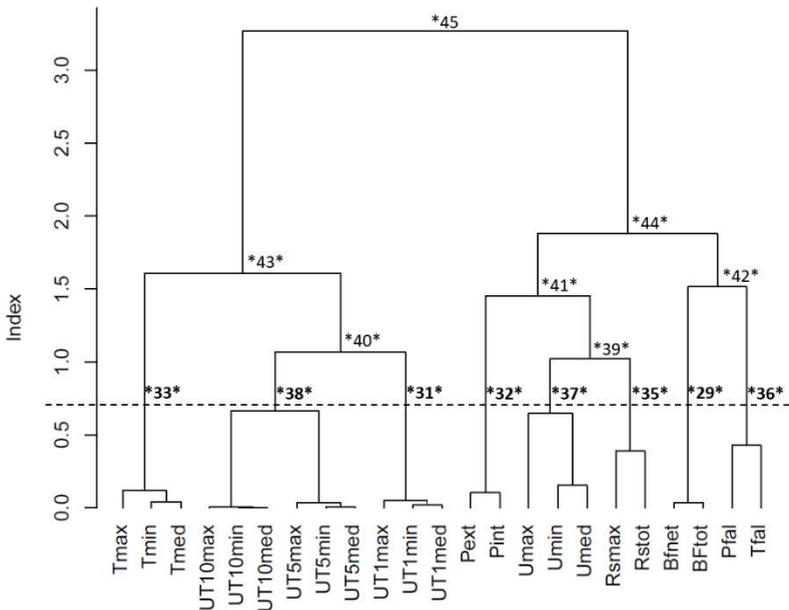


Figura 72 Il dendrogramma risultante dalla classificazione gerarchica fattoriale dei parametri ambientali oggetto dell'analisi.

Sembra evidente che la classificazione gerarchica riconosce bene le correlazioni esistenti fra dati che si riferiscono a caratteri analoghi e va aggregando progressivamente le classi secondo le correlazioni fra i vari gruppi. È comunque da notare che l'aggregazione fra temperature e le umidità del terreno avviene con omogeneità molto maggiore che non fra gli altri gruppi: questa informazione si nota osservando le percentuali dell'inerzia spiegata dalle due variabili rappresentative dei nodi, giacché nel primo caso quella della seconda (corrispondente all'indice della gerarchia nella settima colonna della tabella, che informa sulle differenze fra i gruppi che si fondono) non supera il 16% dell'inerzia aggregata, mentre negli altri casi va dal 26% al 42%, a parte l'aggregazione fra umidità del terreno, che supera appena l'11%.

Per avere una struttura delle correlazioni fra i caratteri, si può ricorrere ai grafici costruiti su ciascuno degli ultimi nodi. Così il grafico associato al nodo *45* (Figura 73) mostra le variabili rappresentative dei gruppi *43A* e *44A* quasi ortogonali, formando un angolo abbastanza piccolo con le due variabili *45A* e *45B*, colle quali risultano fortissimamente correlate (l'opposizione tra 44A e 45B è legata all'indeterminazione del segno, propria del metodo): la posizione di compromesso di *45A* è tanto spostata verso *43A* per un maggior peso di questo gruppo rispetto all'altro. Una situazione analoga si riscontra nel nodo *44* (Figura 74) con le variabili rappresentative dei gruppi *41A* e *42A* quasi ortogonali fra loro e fortemente correlate con le variabili *44A* e *44B* rispettivamente, ancora una volta per i pesi dei gruppi (anche qui, l'opposizione tra 42A e 44B è legata all'indeterminazione del segno). Ne risulta in particolare che l'interpretazione di *45A* è sostanzialmente

la stessa di *43A* e cioè la contrapposizione fra le umidità del terreno e le temperature, mentre quella di *45B* si avvicina a quella di *44A*, e cioè di sintesi delle umidità e precipitazioni in contrapposizione alle radiazioni solari.

In generale gli altri grafici (Figura 74, Figura 75) presentano caratteristiche simili, e cioè una scarsa correlazione fra i gruppi che si uniscono, il che conferma la scelta di sette gruppi di caratteri sostanzialmente indipendenti: fanno eccezione i nodi relativi all'unione delle umidità del terreno fra loro e con le temperature, che invece sono caratterizzati da una certa correlazione.

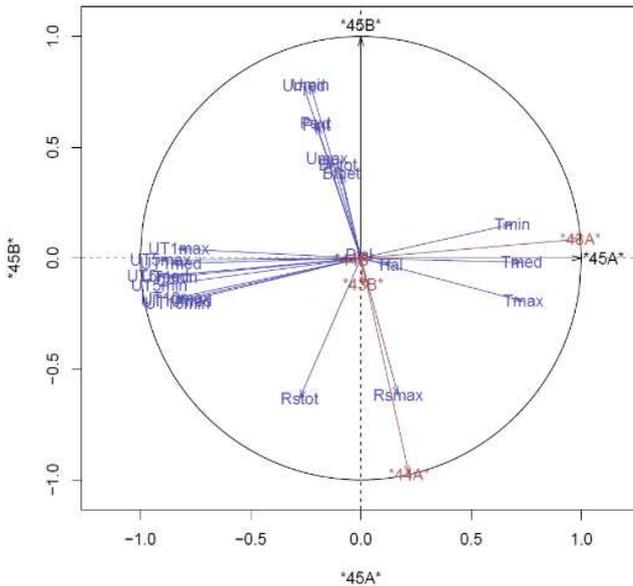


Figura 73 Grafico relativo al nodo 45A della HFC.

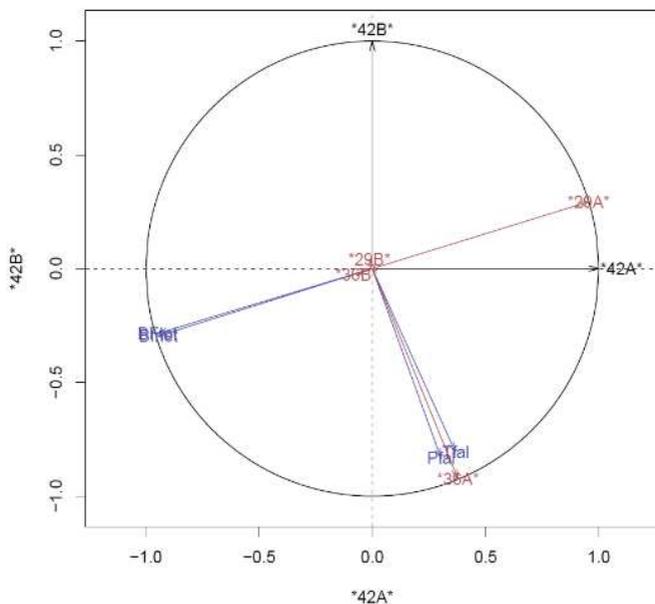


Figura 75 Grafico relativo al nodo 42A della HFC.

La struttura delle correlazioni fra le variabili caratteristiche è riportata nella tabella seguente (Tabella 21), dove le correlazioni maggiori di 0.30 sono riportate in giallo. Le correlazioni fra le variabili rappresentative delle otto classi sono in genere basse: fanno eccezione, considerando i valori assoluti, quelle fra *31* e *33* e *38* (che si uniscono nei nodi *40A* e *43A*), e quella fra *35* e *37* (che si uniscono nel nodo *39*). Sono invece da rilevare le forti correlazioni fra *40A* e *43A* e le loro con *45A*, di *31A*, *33A*, *38A* (correlate fra loro) e *42A* con *44A* e *45B* (peraltro fortemente correlate fra loro).

45A	1.000	0.000	0.219	-0.027	0.986	0.010	0.111	-0.029	0.207	0.098	0.974	-0.040	0.157	0.278	0.098	0.862	0.209	0.737	-0.061	0.068	*37A*	*38A*
45B	0.000	1.000	-0.976	-0.006	0.086	-0.121	-0.379	-0.147	-0.950	-0.004	0.109	0.142	-0.885	0.040	-0.405	0.023	-0.621	-0.019	-0.699	-0.007	-0.798	0.933
44A	0.219	-0.976	1.000	0.000	0.134	0.120	0.394	0.137	0.973	0.025	0.107	-0.147	0.898	0.022	0.417	0.166	0.652	0.180	0.668	0.022	0.834	0.067
44B	-0.027	-0.006	0.000	1.000	-0.027	0.107	-0.919	0.059	0.233	-0.106	-0.048	-0.271	0.255	-0.097	-0.861	0.095	0.071	0.053	0.257	-0.403	0.196	-0.114
43A	0.996	0.086	0.134	-0.027	1.000	0.000	0.078	-0.041	0.124	0.098	0.979	-0.028	0.081	0.281	0.062	0.861	0.155	0.733	-0.121	0.068	0.185	0.942
43B	0.010	-0.121	0.120	0.107	0.000	1.000	-0.051	0.040	0.142	-0.123	-0.202	-0.135	0.177	-0.094	-0.037	-0.107	-0.001	0.681	0.195	-0.056	0.126	-0.229
42A	0.111	-0.379	0.394	-0.919	0.078	-0.051	1.000	0.000	0.169	0.107	0.087	0.192	0.119	0.098	0.956	-0.021	0.191	0.022	0.027	0.379	0.148	0.131
42B	-0.029	-0.147	0.137	0.059	-0.041	0.040	0.000	1.000	0.147	0.033	-0.048	-0.406	0.125	-0.149	0.294	0.162	0.121	-0.003	0.192	-0.926	0.057	-0.148
41A	0.207	-0.950	0.973	0.233	0.124	0.142	0.169	0.147	1.000	0.000	0.093	-0.206	0.933	-0.001	0.205	0.184	0.651	0.188	0.710	-0.072	0.857	0.039
41B	0.098	-0.004	0.025	-0.106	0.098	-0.123	0.107	0.033	0.000	1.000	0.121	-0.020	-0.360	-0.003	0.112	0.114	0.759	-0.012	-0.271	0.010	-0.332	0.112
40A	0.974	0.109	0.107	-0.048	0.979	-0.202	0.087	-0.048	0.093	0.121	1.000	0.000	0.043	0.294	0.069	0.865	0.152	0.580	-0.158	0.078	0.155	0.969
40B	-0.040	0.142	-0.147	-0.271	-0.028	-0.135	0.192	-0.406	-0.206	-0.020	0.000	1.000	-0.185	0.018	0.064	-0.502	-0.150	-0.112	-0.152	0.449	-0.163	0.249
39A	0.157	-0.885	0.898	0.255	0.081	0.177	0.119	0.125	0.933	-0.360	0.043	-0.185	1.000	0.000	0.151	0.130	0.334	0.179	0.760	-0.071	0.919	-0.004
39B	0.278	0.040	0.022	-0.097	0.281	-0.094	0.098	-0.149	-0.001	-0.003	0.294	0.018	0.000	1.000	0.050	0.245	-0.004	0.142	-0.650	0.175	0.394	0.289
29A	0.098	-0.405	0.417	-0.861	0.062	-0.037	0.956	0.294	0.205	0.112	0.069	0.064	0.151	0.050	1.000	0.027	0.218	0.020	0.082	0.090	0.158	0.082
31A	0.862	0.023	0.166	0.095	0.861	-0.107	-0.021	0.162	0.184	0.114	0.865	-0.502	0.130	0.245	0.027	1.000	0.206	0.558	-0.060	-0.158	0.216	0.713
32A	0.209	-0.621	0.652	0.071	0.155	-0.001	0.191	0.121	0.651	0.759	0.152	-0.150	0.334	-0.004	0.218	0.206	1.000	0.113	0.256	-0.039	0.305	0.110
33A	0.737	-0.019	0.180	0.053	0.733	0.681	0.022	-0.003	0.188	-0.012	0.580	-0.112	0.179	0.142	0.020	0.558	0.113	1.000	0.044	0.011	0.221	0.534
35A	-0.061	-0.689	0.668	0.257	-0.121	0.195	0.027	0.192	0.710	-0.271	-0.158	-0.152	0.760	-0.650	0.082	-0.060	0.256	0.044	1.000	-0.168	0.443	-0.191
36A	0.068	-0.007	0.022	-0.403	0.068	-0.056	0.379	-0.526	-0.072	0.010	0.078	0.449	-0.071	0.175	0.090	-0.158	-0.039	0.011	-0.168	1.000	0.004	0.187
37A	0.254	-0.798	0.834	0.196	0.185	0.126	0.148	0.057	0.857	-0.332	0.155	-0.163	0.919	0.394	0.058	0.216	0.305	0.221	0.443	0.004	1.000	0.110
38A	0.933	0.141	0.067	-0.114	0.942	-0.229	0.131	-0.148	0.039	0.112	0.969	0.249	-0.004	0.289	0.082	0.713	0.110	0.534	-0.191	0.187	0.110	1.000

Tabella 21 Struttura delle correlazioni fra le variabili caratteristiche

Considerando le prime variabili rappresentative delle classi, risulta che con *45A*, *43A* e *40A* son correlate *31*, *33* e *38*; con *44A* (e quindi con *45B*) son correlate *29*, *32*, *35* e *37* (le ultime tre anche con *41A*); con *42A* son correlate *29* e *36*, quest'ultima maggiormente correlata con *42B*; infine *35* e *37* son correlate con *39A* ma anche con valori minori con *39B*. Si riconosce quindi la struttura descritta dal dendrogramma e rappresentata nei piani fattoriali dei vari nodi.

Osservando da vicino la distribuzione delle unità sugli stessi piani fattoriali (Figura 76), risulta in tutti i casi un gruppo di osservazioni che formano una sorta di pennacchio variamente articolato, che risultano in genere corrispondere al caso di valori estremi dei caratteri di uno dei due gruppi che si uniscono. Ora questi gruppi possono spiegare l'andamento sia delle variabili originali che delle variabili rappresentative.

Possiamo confrontare questi risultati con quelli ottenuti dall'Analisi delle componenti principali: (PCA). Dalla tabella degli autovalori estratti (Tabella 22), si può osservare che fino a sette componenti principali hanno un peso rilevante (autovalore maggiore di 0.7, secondo Jolliffe, 2002) e sintetizzano fino a oltre l'87% dell'inerzia totale, quota analoga a quella spiegata dai sette nodi che abbiamo considerato.

IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI

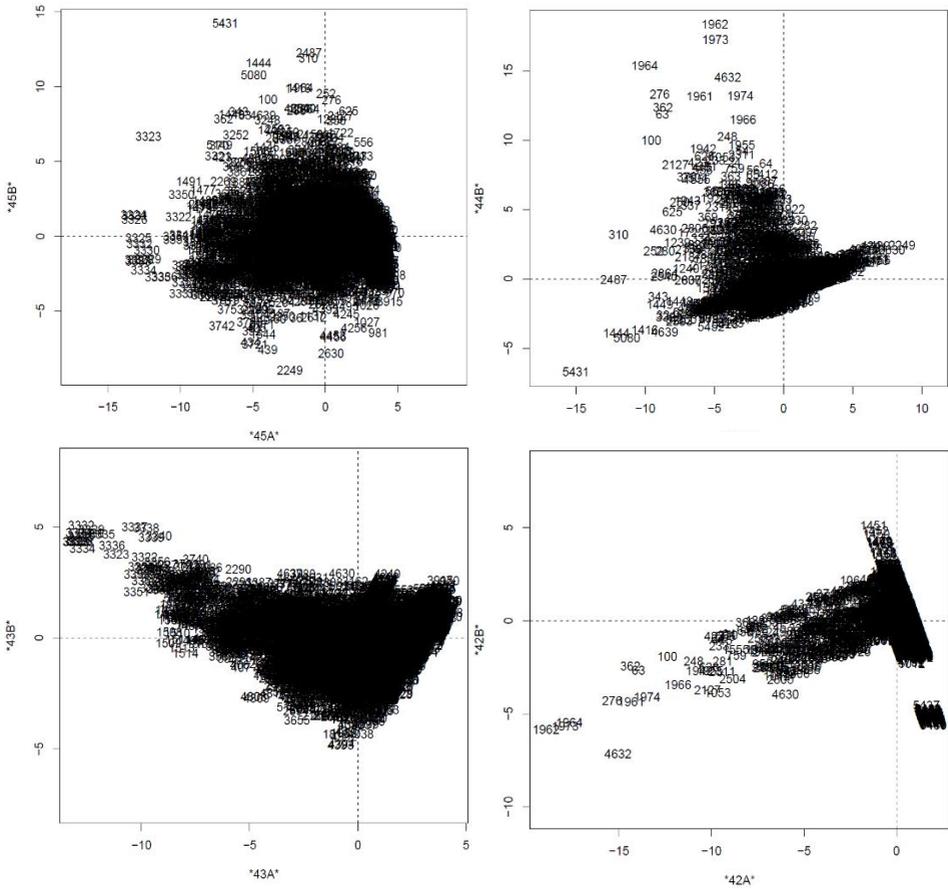


Figura 76 Distribuzione delle unità sui piani fattoriali dei nodi 45, 44, 43 e 42 A.

	Eigenvalues	PercInertia	CumInertia	Brokenstick	Rencher	df	pValue
1	8.716	37.896	37.896	16.236	251327.041	275	0.000
2	3.626	15.766	53.662	11.888	211183.088	252	0.000
3	2.305	10.023	63.686	9.714	192290.882	230	0.000
4	1.781	7.744	71.430	8.265	179238.222	209	0.000
5	1.521	6.613	78.043	7.178	167572.340	189	0.000
6	1.307	5.685	83.728	6.309	155071.706	170	0.000
7	1.085	4.718	88.446	5.584	140939.727	152	0.000

8	0.739	3.215	91.661	4.963	124997.100	135	0.000
9	0.501	2.180	93.841	4.419	111702.662	119	0.000
10	0.432	1.878	95.719	3.936	101256.395	104	0.000
11	0.370	1.608	97.327	3.501	88594.850	90	0.000
12	0.242	1.054	98.381	3.106	71597.954	77	0.000
13	0.106	0.459	98.840	2.744	55168.570	65	0.000
14	0.096	0.416	99.256	2.409	48371.215	54	0.000
15	0.053	0.229	99.485	2.099	38674.090	44	0.000
16	0.043	0.186	99.672	1.809	33279.524	35	0.000
17	0.035	0.153	99.824	1.537	27007.803	27	0.000
18	0.020	0.086	99.910	1.281	17971.077	20	0.000
19	0.009	0.039	99.949	1.040	10554.404	14	0.000
20	0.006	0.026	99.975	0.811	7345.216	9	0.000
21	0.004	0.015	99.990	0.594	4228.674	5	0.000
22	0.002	0.007	99.998	0.387	1586.611	2	0.000
23	0.001	0.002	100.000	0.189	0.000	0	1.000

Tabella 22 Autovalori estratti dall'Analisi delle componenti principali.

In effetti la statistica brokenstick, che confronta l'inerzia spiegata da ogni componente principale con la quota attribuita ai vari pezzi d'un bastoncino rotto a caso in altrettante parti, suggerisce che solo tre potrebbero esser non casuali, mentre la statistica di Rencher, che testa la sfericità delle distribuzioni, indicherebbe come significative tutte le dimensioni meno l'ultima.

Le rappresentazioni delle variabili sui cerchi delle correlazioni prodotti dai primi quattro fattori sono riportati nei due grafici seguenti (Figura 77).

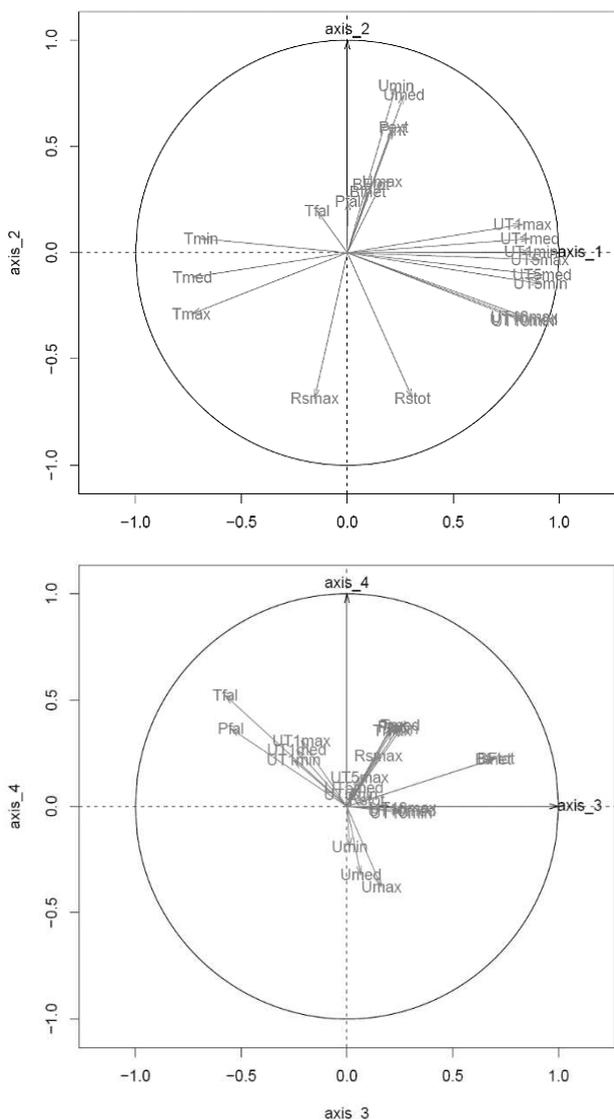


Figura 77 Rappresentazioni delle variabili sui cerchi delle correlazioni prodotti dai primi quattro fattori.

Si può notare una forte somiglianza fra il primo grafico in Figura 77, che rappresenta il piano generato dalle prime due componenti principali, e quello corrispondente all'ultimo nodo *45* della gerarchia (Figura 73), a meno d'una riflessione del primo asse, sicché il primo e il secondo asse sono sostanzialmente simili alle due variabili rappresentative di quel nodo. Al contrario, la distribuzione delle variabili sul grafico in basso in Figura 77, che rappresenta il piano generato dalle componenti principali 3 e 4, è di più difficile lettura, considerando anche le più basse correlazioni delle variabili con queste due dimensioni. Lungo il primo fattore è evidente l'opposizione fra temperature da un lato e umidità dell'aria dall'altro, segno d'una loro forte relazione (negativa: se fa caldo è in genere meno umido e viceversa). Il secondo fattore invece oppone la radiazione solare alle umidità medie e minima e alla piovosità: anche questa relazione è ragionevole, perché se c'è il sole non ci sono precipitazioni. Strana però è la bassa correlazione con l'umidità massima, che è più correlata con gli assi 6 e 7. Il terzo asse (Figura 77, grafico in basso) oppone temperatura e profondità della falda alle bagnature fogliari.

È interessante osservare anche le correlazioni delle componenti principali con le variabili rappresentative delle classi scelte e con quelle dei nodi della gerarchia.

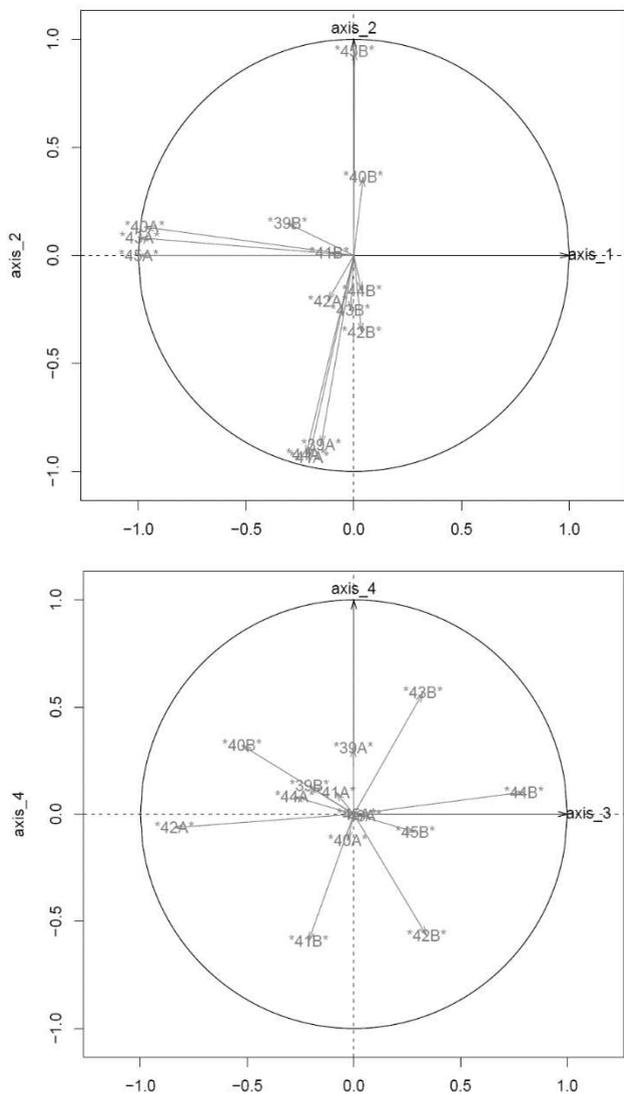


Figura 78 Correlazioni delle componenti principali con le variabili dei nodi della gerarchia.

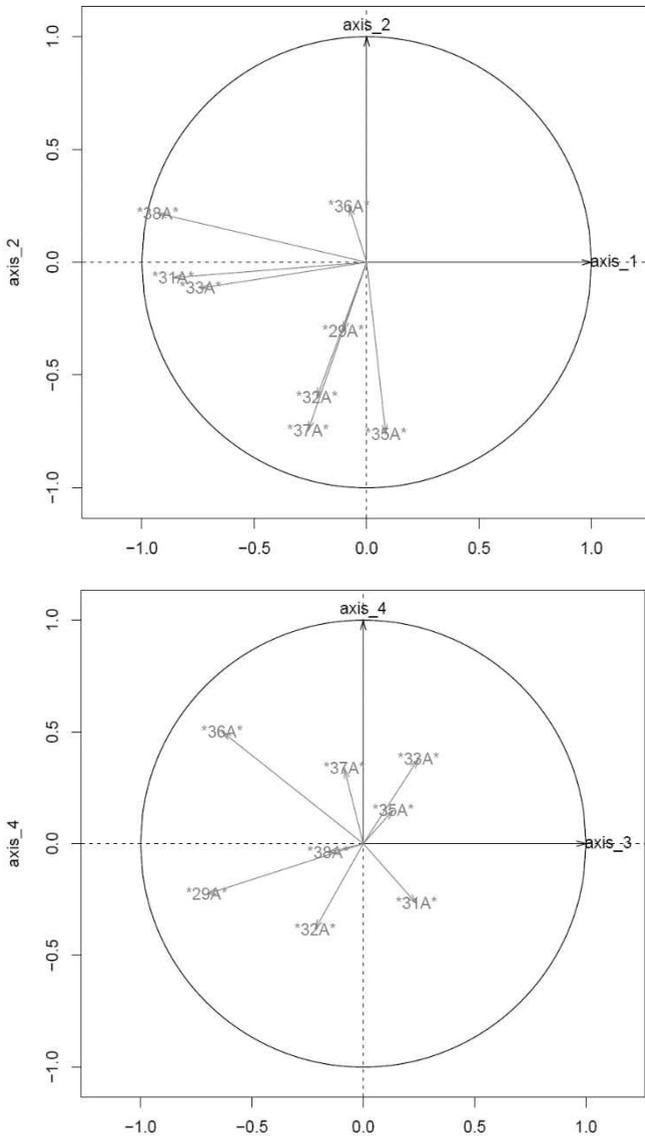


Figura 79 Correlazioni delle componenti principali con le variabili delle classi della gerarchia.

Sui cerchi delle correlazioni relativi ai piani 1-2 e 3-4 dell'Analisi delle componenti principali sono riportate rispettivamente in Figura 78 le coppie di variabili rappresentative relative ai nodi superiori al taglio della gerarchia, mentre in Figura 79 le variabili rappresentative delle 8 classi. Le correlazioni significative sono riportate di seguito (Tabella 23, a destra).

	axis 1	axis 2	axis 3	axis 4	axis 5	axis 6	axis 7		axis 1	axis 2	axis 3	axis 4	axis 5	axis 6	axis 7
Tmax	-0.737	-0.289	0.213	0.356	0.338	0.203	0.048	*45A*	-0.999	0.000	0.012	-0.001	-0.004	-0.011	0.031
Tmin	-0.691	0.066	0.256	0.368	0.453	0.244	-0.140	*45B*	0.003	0.945	0.288	-0.083	0.125	0.003	0.021
Tmed	-0.732	-0.115	0.251	0.382	0.421	0.217	-0.068	*44A*	-0.222	-0.922	-0.278	0.081	-0.123	-0.006	-0.014
Umax	0.165	0.333	0.162	-0.378	0.233	0.304	0.604	*44B*	0.037	-0.165	0.796	0.103	-0.516	0.154	-0.043
Umin	0.230	0.784	0.013	-0.190	0.252	0.207	-0.063*	*43A*	-0.995	0.081	0.037	-0.009	0.007	-0.011	0.033
Umed	0.267	0.742	0.066	-0.322	0.220	0.280	0.225	*43B*	-0.016	-0.256	0.324	0.566	0.604	0.346	-0.117
Rsmax	-0.155	-0.685	0.148	0.239	0.040	0.016	0.500	*42A*	-0.121	-0.211	-0.841	-0.063	0.426	-0.144	0.034
Rstot	0.307	-0.684	0.093	0.030	-0.153	-0.094	0.471	*42B*	0.036	-0.355	0.341	-0.567	0.438	-0.348	-0.058
UTlmax	0.826	0.133	-0.216	0.310	0.048	0.084	0.112	*41A*	-0.207	-0.935	-0.085	0.103	-0.239	0.031	-0.023
UTlmin	0.867	0.004	-0.252	0.218	0.009	0.162	0.075	*41B*	-0.114	0.012	-0.213	-0.593	0.006	0.740	-0.192
UTlmed	0.861	0.066	-0.238	0.267	0.031	0.126	0.096	*40A*	-0.971	0.131	-0.029	-0.123	-0.115	-0.081	0.056
UTlmax	0.908	-0.032	0.059	0.137	0.162	-0.002	-0.103	*40B*	0.044	0.362	-0.525	0.322	-0.140	0.111	0.285
UTlmin	0.911	-0.146	0.018	0.056	0.134	0.091	-0.141	*39A*	-0.152	-0.876	-0.003	0.310	-0.225	-0.238	0.048
UTlmed	0.919	-0.105	0.032	0.087	0.148	0.057	-0.127	*39B*	-0.308	0.149	-0.210	0.131	-0.167	-0.212	-0.777
UTlQmax	0.836	-0.301	0.265	-0.009	0.131	0.034	-0.105								
UTlQmin	0.829	-0.322	0.256	-0.030	0.123	0.057	-0.116	*29A*	-0.105	-0.306	-0.704	-0.226	0.536	-0.240	0.016
UTlQmed	0.833	-0.313	0.260	-0.020	0.127	0.048	-0.112	*31A*	-0.862	-0.068	0.238	-0.268	-0.030	-0.125	-0.095
Pext	0.218	0.589	0.215	0.375	0.145	-0.559	0.155	*32A*	-0.222	-0.600	0.217	-0.384	-0.151	0.582	-0.161
Pint	0.214	0.578	0.208	0.372	0.149	-0.574	0.159	*33A*	-0.740	-0.114	0.247	0.379	0.416	0.227	-0.055
Bfnet	0.096	0.285	0.691	0.223	-0.540	0.262	-0.012	*35A*	0.085	-0.763	0.134	0.150	-0.063	-0.043	0.541
Bftot	0.112	0.321	0.704	0.226	-0.521	0.213	-0.019	*36A*	-0.079	0.248	-0.634	0.501	-0.244	0.267	0.066
Pfal	0.002	0.243	-0.549	0.366	-0.304	0.213	0.038	*37A*	-0.261	-0.747	-0.085	0.336	-0.273	-0.302	-0.262
Tfal	-0.143	0.198	-0.576	0.523	-0.129	0.261	0.079	*38A*	-0.930	0.217	-0.159	-0.039	-0.147	-0.051	0.125

Tabella 23 Correlazioni delle componenti principali con le variabili delle classi e dei nodi della HFC.

Dall'esame d'entrambi si nota che il primo fattore dell'analisi delle componenti principali è correlato dei nodi *40A*, *43A*, *45A* e con le prime variabili rappresentative dei nodi variabili rappresentative delle classi *38* e *31* che si fondono nel nodo *40*, poi nel *43* con la classe *33* e infine nel *45*. Dunque, questo primo fattore rappresenta effettivamente l'opposizione fra temperatura e umidità del suolo, cui però scarsamente s'associano le altre variabili, che tendono a disporsi lungo il secondo e terz'asse. Con il secondo infatti son correlate le *39A*, *41A*, *44A* e le

variabili rappresentative dei gruppi *32*, *35* e *37*, tutte in opposizione a *45B*. Si tratta in questo caso dell'opposizione fra umidità del terreno e piogge dal lato negativo e radiazione solare da quello positivo. Con il terzo fattore è correlata solo la variabile rappresentativa del nodo *42A* e quelle rappresentative delle differenze *44B* e *40B*) in cui infatti si fondono 36* e *29*. Si tratta essenzialmente dell'opposizione fra temperatura della falda con la sua profondità e la bagnatura fogliare. Si tratta d'una relazione poco interessante, giacché si è visto che la correlazione fra bagnature e dati di falda è minima. Il quarto fattore sembra ancor più difficile da interpretare, giacché sul piano 3-4 si notano soprattutto le seconde variabili rappresentative dei nodi, che rappresentano le differenze fra i nodi che si fondono. Si vede bene che l'interpretazione delle componenti principali si può fare agevolmente utilizzando le variabili rappresentative delle classi e dei nodi della gerarchia sulle variabili. In effetti, il primo piano fattoriale è quasi uguale (a meno d'una leggera rotazione) a quello del nodo *45*, mentre la lettura dei piani fattoriali dei nodi successivi è più semplice di quella dei successivi piani fattoriali.

Dopo aver osservato la distribuzione delle osservazioni sui piani principali dei nodi occorre comprendere il senso delle osservazioni che si trovano spostate rispetto al nucleo centrale: si dovrebbe trattare di condizioni particolari per una delle variabili nei nodi. Più semplice è tuttavia esaminare la distribuzione degli anni e dei mesi sui piani fattoriali.

Nei seguenti grafici (Figura 80) son rappresentati i mesi e gli anni sui piani fattoriali 1-2 e 3-4. È interessante notare che l'andamento dei mesi è assolutamente regolare

sul primo piano, solo con una punta in giugno-luglio-agosto, segno tanto della contrapposizione fra giugno-agosto e febbraio-marzo sul primo asse e del periodo invernale contro l'estivo sul secondo asse. Al contrario, sul terzo e quart'asse la contrapposizione è fra febbraio-marzo e settembre-novembre, ortogonale agli anni con una deviazione in giugno agosto. Al contrario l'andamento degli anni sul primo piano fattoriale è molto alternato a destra e a sinistra, con sviluppo minore lungo il second'asse, che rappresenta fluttuazioni di breve periodo, ma difficili da individuare, mentre sul secondo piano l'andamento è sistematicamente decrescente, e quindi d'interpretazione ben più facile³⁰⁰. Comportamenti simili si riscontrano sul piano del nodo *45*, che s'è detto esser molto simile al primo piano fattoriale, mentre molto interessanti sono i comportamenti sui piani fattoriali degli altri nodi e, soprattutto delle altre classi.

³⁰⁰ Questi andamenti si riferiscono alle variabili caratteristiche delle otto classi, plottando rispettivamente i 15 anni e i 12 mesi. Essendo variabili rappresentative, dovrebbero rappresentare l'andamento delle variabili che costituiscono il gruppo: quindi, se la variabile rappresentativa è in opposizione alle altre, anche il segno sarà opposto. Si è scelto di non invertire il segno per non creare conflitti con i grafici precedenti.

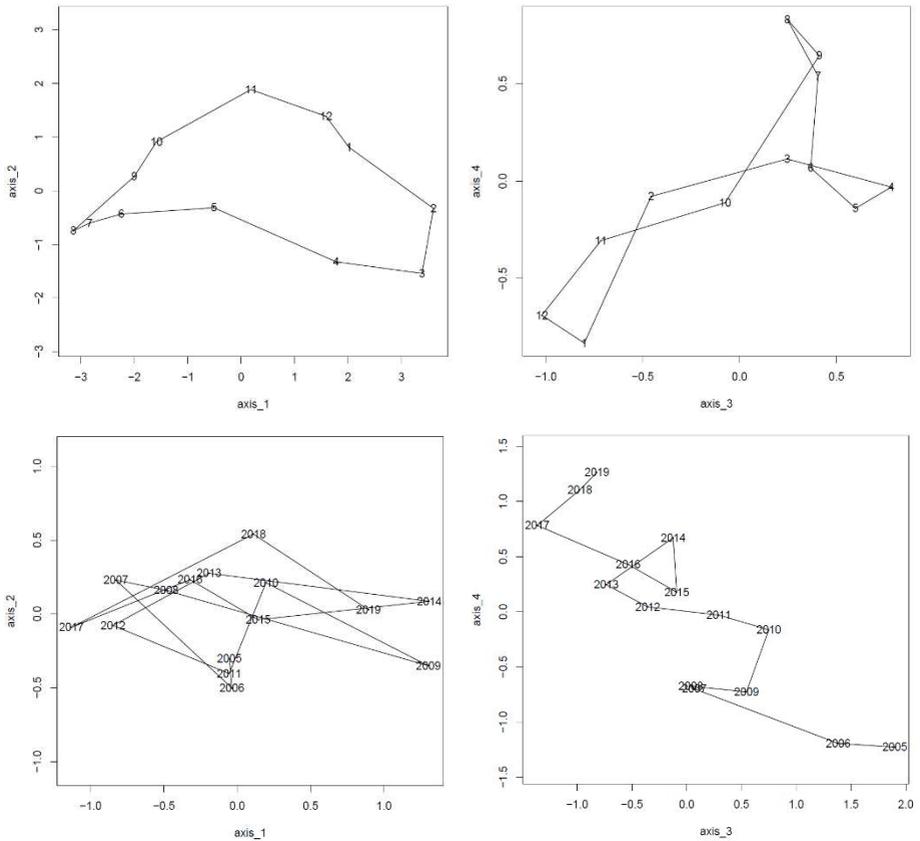


Figura 80 Andamento dei mesi e degli anni su piani fattoriali.

Prendendo in considerazione l'andamento nel corso dell'anno delle otto classi principali (Figura 81) identificate con la classificazione gerarchica fattoriale è possibile constatare, con segno positivo (+) o negativo (-) nelle analisi e quindi nei grafici, come:

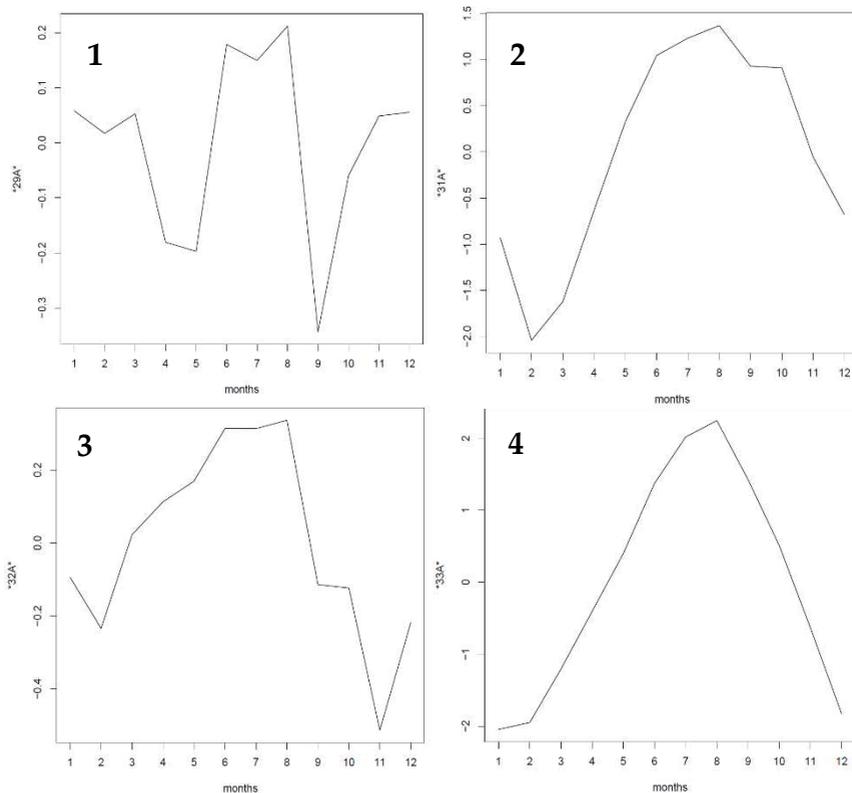
1. la classe 29* (-), relativa alle bagnature fogliari, presenti dei

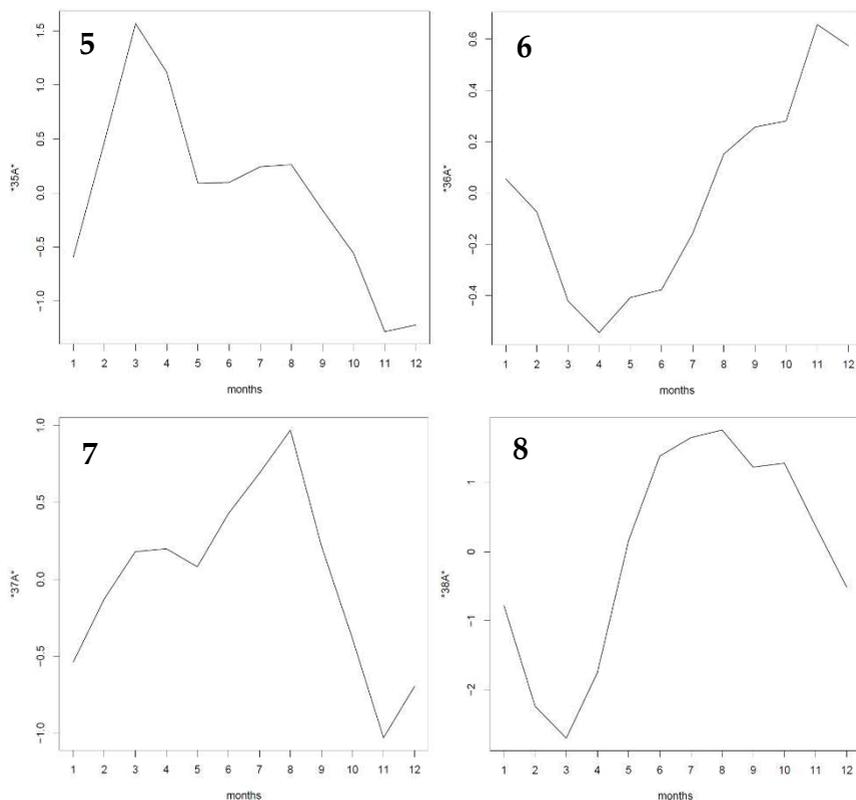
picchi ad aprile e a settembre, mentre presenti dei valori minimi per tutta la stagione estiva da maggio ad agosto (Grafico 1);

2. la classe 31* (-), relativa alle umidità superficiali del terreno, presenta un valore massimo a febbraio, decresce rapidamente ai valori minimi di maggio, con un minimo a luglio e inizia a risalire verso la fine di agosto (Grafico 2);
3. la classe 32* (-), relativa alle precipitazioni decresce dal picco di febbraio fino a giugno, inizia ad aumentare a fine agosto raggiungendo il valore maggiore dell'anno a novembre (Grafico 3);
4. la classe 33* (+), relativa alle temperature atmosferiche, presenta un andamento simil gaussiano con un aumento dei valori da febbraio fino al massimo di fine luglio, per poi iniziare a decrescere (Grafico 4);
5. la classe 35* (+), relativa alla radiazione solare aumenta rapidamente da gennaio fino a febbraio per poi iniziare a decrescere fino a maggio, assumere un costante aumento fino ad agosto per poi decrescere rapidamente nei mesi autunnali (Grafico 5);
6. la classe 36* (-), relativa alla temperatura e profondità di falda presenta un andamento crescente, quindi minore profondità dal piano campagna e temperatura più elevata da gennaio ad aprile, quando inizia la fase di rapida riduzione e approfondimento, con la contemporanea riduzione della temperatura di falda, fino a novembre, momento in cui si avvia la fase di ricarica e quindi di risalita (Grafico 6);
7. la classe 37* (-), relativa all'umidità atmosferica assume un andamento decrescente da gennaio a marzo, riprende a decrescere da maggio fino al minimo valore

- annuale di agosto, mese in cui si avvia un andamento costantemente crescente fino a novembre (Grafico 7);
8. la classe 38* (-), relativa alle umidità profonde del terreno, presenta un picco a marzo, inizia a ridursi fino ad agosto, quindi riprende un andamento crescente fino a dicembre (Grafico 8).

Figura 81 Andamento delle otto classi gerarchiche nel corso dell'anno.





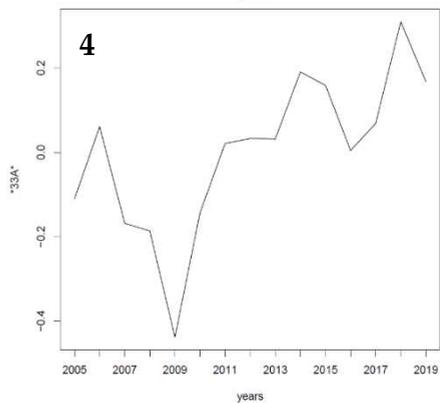
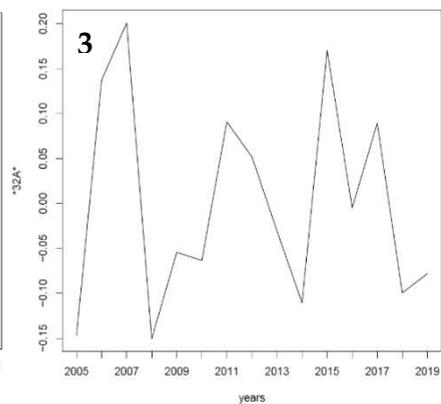
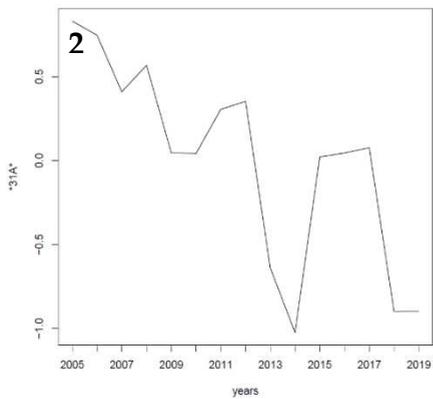
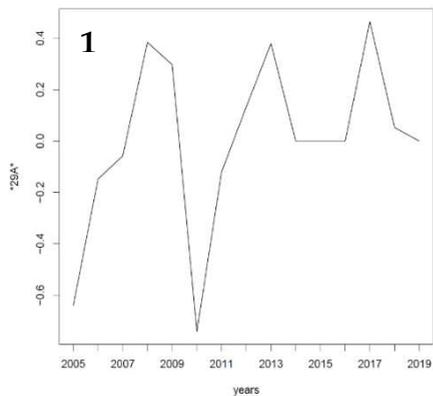
Un discorso analogo è possibile esaminando come le stesse otto classi gerarchiche varino nel corso dei quindici anni oggetto d'analisi (Figura 82). In particolare:

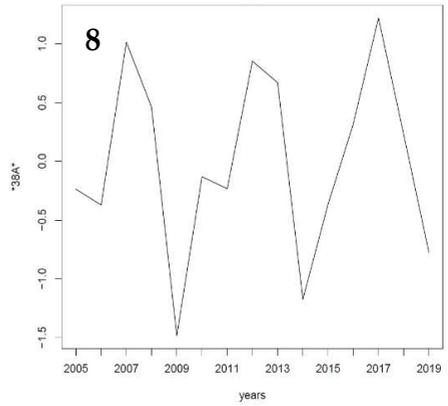
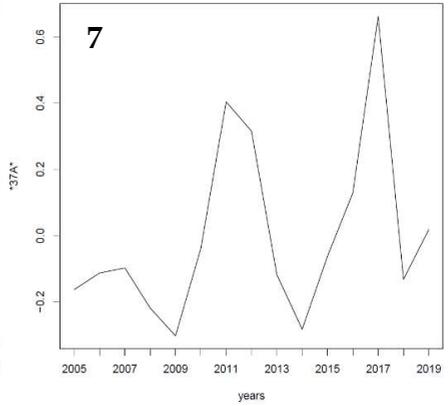
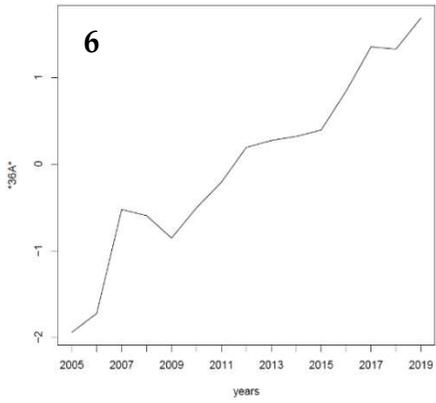
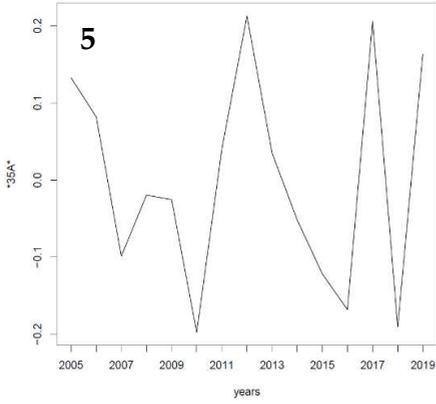
1. la classe 29* (-), relativa alle bagnature fogliari, presenta dei picchi con valori minimi ogni 4-5 anni nel 2008, 2013 e 2017, mentre presenta un valore massimo nel 2010 (Grafico 1);
2. la classe 31* (-), relativa alle umidità superficiali del terreno, presenta un andamento irregolare dove,

- comunque, si evince un'alternanza tra valori minimi simili e un picco massimo nel 2014 (Grafico 2);
3. la classe 32* (-), relativa alle precipitazioni evidenzia la presenza di anni molto più siccitosi di altri con picchi minimi nel 2006, 2012 2016 e 2018 (Grafico 3);
 4. la classe 33* (+), relativa alle temperature atmosferiche, pone in risalto un aumento costante seppur contenuto negli anni, al quale si associano alcuni singoli anni più caldi come il 2006, 2014 e 2018 un anno meno caldo come il 2009 (Grafico 4);
 5. la classe 35* (+), relativa alla radiazione solare presenta delle fluttuazioni irregolari con intervalli tra i vari di almeno cinque anni (Grafico 5);
 6. la classe 36* (-), relativa alla temperatura e profondità di falda permette di osservare l'abbassamento continuo e costante della profondità di falda (Grafico 6);
 7. la classe 37* (-), relativa all'umidità atmosferica presenta dei valori minimi del 2011 e nel 2017, mentre un picco nel 2009 e nel 2014, esattamente un andamento inverso e speculare a quello della radiazione solare, ma simile a quello delle umidità profonde del suolo (Grafico 7);
 8. la classe 38* (-), relativa alle umidità profonde del terreno, presenta un andamento simile a quello delle umidità atmosferica, con valori minimi e massimi ogni cinque anni (Grafico 8).

Figura 82 Andamento delle otto classi gerarchiche nel corso dei quindici anni.

IV LE SERIE STORICHE DI DATI AMBIENTALI







V LA RINNOVAZIONE FORESTALE

5.1 Il progetto di monitoraggio permanente

Al fine di monitorare i processi ecologici legati alla rinnovazione e all'evoluzione degli ecosistemi forestali è stata pianificata e allestita una rete di monitoraggio (Figura 83) in località Campo di Rota, dove l'area recintata può essere sfruttata per valutare l'influenza della fauna selvatica su questi processi. A tal fine sono state individuate diciotto querce, nove all'interno della recinzione e nove all'esterno, appartenenti alle tre specie di caducifoglie che caratterizzano il querceto misto planiziale: *Quercus robur* (farnia), *Quercus frainetto* (farnetto), *Quercus cerris* (cerro). Per quelle all'interno della recinzione si è garantita una distribuzione uniforme nelle tre aree che avevano ricevuto un diverso trattamento selvicolturale nel 2013³⁰¹.

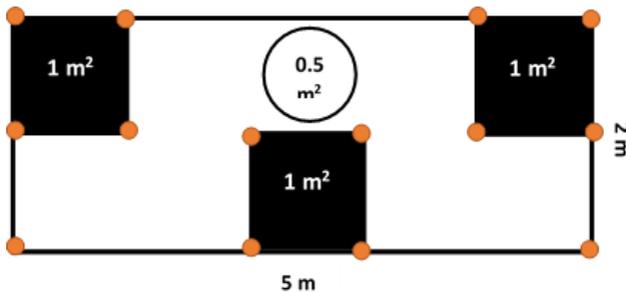


Figura 83 Struttura del transetto: 3 superfici da 1 m² per il monitoraggio della rinnovazione e una trappola con area intercettante di 0.5 m² per la raccolta dei semi.

³⁰¹ Vedi Capitolo III, Paragrafo 3.3, pag. 178.

ID	Coordinate (UTM-WGS84)		Quota	UFOR	Fauna	Specie
	X	Y	m s.l.m	ID	Si/no	Nome
1	282882.047809	4623206.915933	27.0	339	Si	<i>Q. frainetto</i>
2	282914.060822	4623044.998855	28.0	151	Si	<i>Q. cerris</i>
3	282925.655115	4622938.980448	23.0	150	Si	<i>Q. cerris</i>
4	282978.373769	4622668.421316	24.0	150	Si	<i>Q. robur</i>
5	282993.237512	4622569.033833	21.0	150	Si	<i>Q. frainetto</i>
6	283011.880050	4622479.820109	23.0	150	Si	<i>Q. cerris</i>
7	283041.093275	4622585.775442	21.0	150	Si	<i>Q. robur</i>
8	283093.007006	4622582.879504	22.0	150	Si	<i>Q. cerris</i>
9	283183.580396	4622593.299080	22.0	126	Si	<i>Q. robur</i>
10	282908.057673	4623213.101656	26.0	149	No	<i>Q. cerris</i>
11	282937.066646	4623203.423249	27.0	149	No	<i>Q. frainetto</i>
12	282964.695219	4623240.730010	28.0	149	No	<i>Q. robur</i>
13	283131.873624	4622635.615884	22.0	149	No	<i>Q. cerris</i>
14	283111.130777	4622642.544829	20.0	149	No	<i>Q. robur</i>
15	283075.459893	4622641.669130	23.0	149	No	<i>Q. cerris</i>
16	283008.573007	4622656.660182	24.0	149	No	<i>Q. cerris</i>
17	283023.975838	4622618.751891	23.0	149	No	<i>Q. frainetto</i>
18	283015.731870	4622607.639652	19.0	149	No	<i>Q. frainetto</i>

Tabella 24 Scheda tecnica delle querce incluse nella rete di monitoraggio.

In Tabella 24, tra le informazioni specifiche relative alle querce selezionate, è indicata anche l'UFOR³⁰² di riferimento.

Le querce inserite nella rete di monitoraggio sono state caratterizzate dal punto di vista morfologico. Attraverso un rilievo con mezzo SAPR (Sistema Aeromobile Pilotaggio Remoto) nel mese di settembre 2020 è stata ottenuta un'immagine di dettaglio e georeferenziata che ha permesso di determinare la morfologia della chioma e quindi la corrispondente area d'insidenza (Figura 84). Servendosi del modello di altezza delle chiome (CHM, *Canopy Height Model*), ottenuto dalle immagini LiDAR³⁰³ del 2010, è stata ricavata l'altezza massima delle chiome inserite nella rete di monitoraggio (Figura 85). Inoltre, sono state raccolte anche le informazioni relative all'esposizione dei transetti e alla distanza dal tronco (Tabella 25).

Per la quantificazione della capacità di rinnovazione forestale, all'interno d'ogni transetto, è stata installata una "trappola di raccolta"³⁰⁴, con area di 0.5 m², e collocata al di sotto della chioma a circa 2/3 di distanza dal fusto³⁰⁵ (Tabella 25).

³⁰² Unità forestali (UFOR), cioè tratti di bosco omogenei sotto il profilo compositivo e strutturale in cui risulta suddivisa la superficie forestale della Riserva nel SIFTeC (Sistema Informativo Forestale Tenuta di Castelporziano).

³⁰³ Acronimo di *Light Detection and Ranging*, tecnica di telerilevamento attivo della superficie terrestre. Essa è basata sull'emissione di raggi laser da una sorgente verso un bersaglio, di cui calcola la posizione attraverso la misura del tempo trascorso fra l'emissione e la ricezione del segnale riflesso (Treccani).

³⁰⁴ Phillips C. N. et al., 1995, Garrison B.A. et al., 1998.

³⁰⁵ Bianchi L. et al., 2013.

ID	h	Cir.	Diam. h 1.40 m	Area insidenza	Disposizione trasetto	
	m				cm	cm
1	13.97	148	47.13	61.05	264° O	220
2	14.56	225	71.66	246.57	277° O	190
3	19.66	328	104.46	266.23	112° E	140
4	15.26	279	88.85	171.65	121° SE	130
5	16.73	280	89.17	247.68	178° S	218
6	13.88	225	71.66	223.53	18°N	189
7	20.52	311	99.04	499.77	196° S	320
8	14.66	200	63.69	242.09	148°SE	227
9	18.20	291	92.68	264.28	132 SE	379
10	16.74	241	76.75	209.37	288° O	145
11	13.83	296	94.27	87.09	357°N	265
12	13.72	179	57.01	178.27	308° NO	0.65
13	15.72	160	50.96	123.89	155° SE	397
14	16.96	233	74.20	256.52	83° E	230
15	19.16	289	92.04	389.36	152° SE	290
16	17.85	341	108.60	154.86	296° NO	157
17	18.70	407	129.62	328.48	199° S	573
18	19.01	308	98.09	192.74	85° E	207

Tabella 25 Caratteristiche morfometriche delle piante e ubicazione dei trassetti.



Figura 84 Immagine ottenuta con volo SAPR e delimitazione delle chiome di alcune querce inserite nella rete di monitoraggio, sia all'interno che all'esterno della recinzione indicata con il tratteggio bianco.

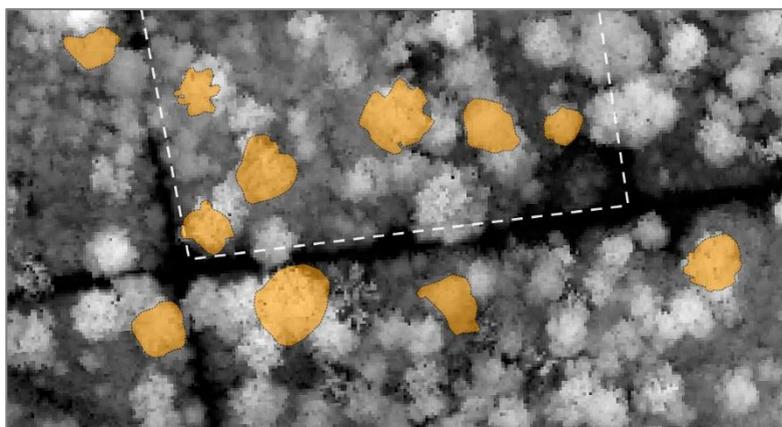


Figura 85 Immagine ottenuta dal CHM del volo LiDAR e delimitazione delle chiome di alcune querce inserite nella rete di monitoraggio, sia all'interno che all'esterno della recinzione indicata con il tratteggio bianco.

Per le 9 trappole ricadenti all'esterno della recinzione, sono state installate delle recinzioni protettive dalla fauna selvatica (Figura 86). In ogni trappola sono state conteggiate mensilmente le ghiande presenti, mentre in ognuna delle 54 superfici da un 1 m² sono state conteggiate e contrassegnate con cartellino colorato le plantule presenti nella primavera e nell'autunno del 2019 e del 2020 (Figura 87, Figura 88). Per le plantule della primavera 2019, considerato il tempo t_0 di inizio del



Figura 86 Trappola di raccolta con *shelter* protettivo (Foto di Piccinno M.).

monitoraggio, è stata anche misurata la lunghezza del fusto individuando due classi dimensionali: $l \leq 10$ cm e $l > 10$ cm. In questo modo, per il primo rilievo, si sono potute stimare le plantule della coorte³⁰⁶ 2018, con l'esclusione di quelle che potevano appartenere alle coorti degli anni precedenti. Nella primavera 2020 sono state contrassegnate da un cartellino di colore diverso le plantule della coorte 2019 e censite quelle complessive, delle coorti 2018 e precedenti, sopravvissute.

³⁰⁶ Con il termine coorte è da intendersi l'insieme dei semenzali di una stessa stagione vegetativa. I semenzali germogliati nella primavera di un anno X afferiscono alla coorte dell'anno (X-1), poiché legati alla ghianda prodotta nell'autunno precedente.



Figura 87 Transetto con trappola di raccolta (Foto Piccinno M.).



Figura 88 Superficie da 1 metro quadrato con demarcazione delle plantule della primavera del 2019 (Foto Piccinno M.).

Per ognuno dei 18 transetti (Figura 87), in tutte le 54 superfici da un metro quadrato oggetto di monitoraggio è stata stimata in percentuale (%) la copertura erbacea e arbustiva presente, nonché rilevate le specie (Tabella 26).

ID	% COP	SPECIE
1	SX	42 <i>Juncus inflexus, Bellis perennis, Cyclamen hederifolium, Phillyrea angustifolia</i>
	CX	45 <i>Achnatherum bromoides, Juncus inflexus, Phillyrea angustifolia, Rubia peregrina, Rubus ulmifolius</i>
	DX	60 <i>Achnatherum bromoides, Brachipodium sylvaticum, Juncus inflexus, Phillyrea angustifolia, Rubus ulmifolius, Ruscus aculeatus, Smilax aspera</i>
2	SX	5 <i>Phillyrea angustifolia</i>
	CX	2 <i>Smilax aspera</i>
	DX	2 <i>Smilax aspera</i>
3	SX	40 <i>Festuca heterophylla, Myrtus communis, Quercus ilex</i>
	CX	0 <i>////</i>
	DX	1 <i>Smilax aspera</i>
4	SX	2 <i>Smilax aspera</i>
	CX	3 <i>Ruscus aculeatus, Smilax aspera</i>
	DX	2 <i>Smilax aspera</i>
5	SX	0 <i>////</i>
	CX	0 <i>////</i>
	DX	1 <i>Smilax aspera</i>
6	SX	3 <i>Phillyrea angustifolia</i>
	CX	1 <i>Phillyrea angustifolia</i>
	DX	6 <i>Phillyrea angustifolia</i>
7	SX	8 <i>Erica arborea</i>
	CX	40 <i>Carpinus orientalis, Cyclamen hederifolium, Ligustrum vulgare</i>
	DX	5 <i>Carpinus orientalis, Cyclamen hederifolium, Hedera helix</i>
8	SX	2 <i>Asparagus acutifolius, Rubus ulmifolius</i>
	CX	1 <i>Brachipodium sylvaticum</i>
	DX	1 <i>Rubia peregrina</i>
9	SX	0 <i>////</i>

	CX	0	////
	DX	1	<i>Cyclamen hederifolium</i>
	SX	30	<i>Rubia peregrina, Rubus ulmifolius, Smilax aspera</i>
10	CX	35	<i>Brachipodium sylvaticum, Rubia peregrina, Rubus ulmifolius, Smilax aspera</i>
	DX	70	<i>Arbutus unedo, Pistacia lentiscus, Phillyrea angustifolia, Rubia peregrina, Smilax aspera</i>
	SX	98	<i>Brachipodium sylvaticum, Juncus inflexus, Malus silvestris, Phillyrea angustifolia</i>
11	CX	98	<i>Juncus inflexus, Phillyrea angustifolia, Rubus ulmifolius, Smilax aspera</i>
	DX	98	<i>Achnatherum bromoides, Juncus inflexus, Smilax aspera, Arbutus unedo, Brachipodium sylvaticum, Phillyrea angustifolia, Quercus ilex, Rubus ulmifolius, Ruscus aculeatus, Smilax aspera</i>
12	SX	50	<i>Phillyrea angustifolia, Ruscus aculeatus, Smilax aspera</i>
	CX	12	<i>Phillyrea angustifolia, Ruscus aculeatus, Smilax aspera</i>
	DX	20	<i>Phillyrea angustifolia, Ruscus aculeatus</i>
	SX	98	<i>Brachipodium sylvaticum, Myrtus communis, Phillyrea angustifolia</i>
13	CX	98	<i>Asplenium onopteris, Arbutus unedo, Daucus carota, Juncus inflexus</i>
	DX	98	<i>Achnatherum bromoides, Cyclamen hederifolium, Rubia peregrina, Phillyrea angustifolia, Piptatherum miliaceum, Prunus spinosa</i>
	SX	40	<i>Cyclamen hederifolium, Phillyrea angustifolia,</i>
14	CX	10	<i>Phillyrea angustifolia</i>
	DX	15	<i>Achnatherum bromoides</i>
	SX	45	<i>Achnatherum bromoides, Carpinus orientalis, Myrtus communis, Rubus ulmifolius, Smilax aspera</i>
15	CX	15	<i>Arbutus unedo, Carpinus orientalis, Festuca heterophylla</i>
	DX	60	<i>Achnatherum bromoides, Carpinus orientalis, Cyclamen hederifolium, Juncus inflexus</i>
	SX	80	<i>Achnatherum bromoides, Carpinus orientalis, Ruscus aculeatus</i>
16			<i>Achnatherum bromoides, Carpinus orientalis, Cyclamen hederifolium, Juncus inflexus, Phillyrea angustifolia, Rubus ulmifolius, Ruscus aculeatus</i>
	CX	80	<i>Phillyrea angustifolia, Ruscus aculeatus</i>

	DX	60	<i>Achnatherum bromoides, Brachipodium sylvaticum, Carpinus orientalis, Laurus nobilis, Rubus ulmifolius</i>
	SX	49	<i>Brachipodium sylvaticum, Carpinus orientalis, Smilax aspera</i>
17	CX	5	<i>Achnatherum bromoides, Quercus ilex</i>
	DX	55	<i>Phillyrea angustifolia, Rubia peregrina, Rubus ulmifolius, Smilax aspera</i>
	SX	4	<i>Smilax aspera</i>
18	CX	6	<i>Smilax aspera</i>
	DX	5	<i>Asparagus acutifolius, Quercus ilex</i>

Tabella 26 Copertura erbacea e arbustiva presente in ogni superficie oggetto di monitoraggio e identificazione delle specie.

Per quantificare la rinnovazione affermata, ovvero quella che ha circa due anni di vita e ha raggiunto un'altezza minima di 25 cm³⁰⁷, sono stati delimitati 6 transetti (5 m x 40 m), per un totale di 1200 m².

Tra le 18 querce inserite nella rete di monitoraggio permanente ne sono state selezionate sei mediante un campionamento casuale: tre piante all'interno della recinzione (distribuite ciascuna in una delle tre aree con densità omogenea del soprassuolo in seguito agli interventi selvicolturali ³⁰⁸) e tre all'esterno. Per ciascuna pianta selezionata è stato definito un orientamento casuale (Tabella 27) tra i quattro punti cardinali (N, E, S, O)³⁰⁹.

³⁰⁷ Santana J., et al., 2011; Debussche M. et al., 2001.

³⁰⁸ Vedi Capitolo III, Paragrafo 3.3 pag. 179.

³⁰⁹ Kouba Y. et al., 2012.

ID	Fauna	Coordinate (UTM-WGS84)		Orientament o Transetto
		X	Y	
2	SI	282914.060822	4623044.998855	OVEST
4	SI	282978.373769	4622668.421316	SUD
9	SI	283183.580396	4622593.299080	EST
10	NO	282908.057673	4623213.101656	SUD
13	NO	283131.873624	4622635.615884	OVEST
17	NO	283023.975838	4622618.751891	NORD

Tabella 27 Piante selezionate dalla rete di monitoraggio per quantificazione della rinnovazione affermata in transetti da 5 x 40 m di lunghezza secondo un orientamento cardinale casuale.

A partire da una distanza dal tronco pari ai 2/3 di ampiezza di ciascuna chioma, secondo l'orientamento casuale ottenuto, sono stati delimitati i 6 transetti. Ciascun transetto, con un'area di 200 m² (5x40 m), è stato suddiviso in 8 superfici (denominate *plots*) da 25 m² (Figura 89), per un totale complessivo di 48.

All'interno di ogni superficie è stata quantificata la rinnovazione forestale presente nel 2020 con un'altezza minima di 20 cm. Si sono quindi misurate altezza e diametro al colletto e stimato il numero di cicatrici da ricacci stagionali per individuare la classe d'età d'ogni piantula.

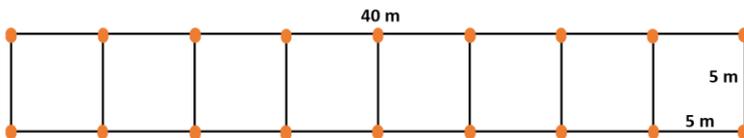


Figura 89 Struttura dei transetti per il censimento della rinnovazione affermata nel 2020.

Per ognuna delle 54 superfici da 1 m², oggetto di monitoraggio permanente, e per le 48 superfici da 25 m², in

cui è stata censita la rinnovazione affermata, sono state condotte misure di dettaglio di tipo ecofisiologico. Nello specifico è stata quantificata l'influenza della struttura forestale e della luce in termini di indice di area fogliare (LAI, *Leaf Area Index*) e di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, *Photosynthetic Active Radiation*).

Watson nel 1947 ha definito l'Indice d'Area come l'area totale di una faccia del tessuto fotosintetizzante per unità di superficie di terreno³¹⁰. Questa definizione è corretta per le latifoglie, poiché la foglia presenta la stessa area su entrambi i lati, mentre non lo è per le conifere che possiedono aghi a sezione circolare o semicircolare. Attualmente l'indice di area fogliare è definito come metà dell'area fogliare totale (tutte le facce fogliari) per unità di superficie³¹¹. L'indice di area fogliare è un indicatore fondamentale delle condizioni della vegetazione, utilizzato per studi fisiologici, climatici, e biogeochimici³¹² ed è anche un indice dello stress delle foreste³¹³. È definito dalla seguente formula³¹⁴:

$$LAI = s/G$$

s: area fogliare funzionale (verde) della vegetazione (m²)

G: area del terreno (m²)

Il LAI è quindi una quantità adimensionale. Inoltre, lo strumento utilizzato, il LICOR 2000, determina la misura della radiazione attenuata non solo dalle foglie ma anche dagli elementi non fotosintetici della pianta, come tronchi e rami. È dunque opportuno specificare che si tratta d'un

³¹⁰ Watson D.J., 1947.

³¹¹ Smith N.J., 1991; Myneni R.B. et al., 1997.

³¹² Asner et al, 2003.

³¹³ Waring, 1985.

³¹⁴ Beadle, 1993.

indice di area della chioma (FAI, *Foliage Area Index*) che comprende tutte le foglie, gli aghi, i fiori, i frutti, i rami, i tronchi³¹⁵.

Lo strumento misura l'attenuazione della radiazione diffusa in cinque angolazioni diverse rispetto allo zenith. La quantità di materiale vegetativo presente può essere determinata dal calcolo della velocità con la quale le radiazioni vengono attenuate nel passaggio attraverso la chioma. Misurando quest'attenuazione a diversi angoli dallo zenit è inoltre possibile ottenere informazioni sull'orientamento del fogliame. Dal rapporto tra le misure fuori copertura (*Above*) e la singola misura sotto chioma (*Below*) lo strumento utilizzato misura cinque valori di trasmittanza relativi a diversi angoli zenitali (7°, 23°, 38°, 53° e 68°). L'indice di area fogliare viene ricavato dai cinque valori di trasmittanza.

Questo indice è estremamente variabile: in primavera e in autunno può cambiare anche giorno per giorno, e seguendo la dinamica di sviluppo del bosco cambia di anno in anno. In boschi maturi varia in risposta alla variabilità climatica, in seguito ad annate secche o umide, in presenza di gelate tardive e precoci e in base ad altri variabili nel corso degli anni. Fang³¹⁶ suggerisce di effettuare una serie di misure negli stessi siti, sia in inverno ad albero spoglio, sia in primavera-estate. In questo modo il LAI effettivo può essere calcolato come differenza tra le misurazioni in inverno e quelle in primavera/ estate.

³¹⁵ Welles e Norman, 1991.

³¹⁶ Fang et al., 2003.

Per ciascuna delle 54 aree in esame è stato determinato il LAI nell'estate del 2019 e nell'inverno del 2020. Sullo strumento è stato applicato un filtro che consente la misura in un angolo di 45°, eliminando in questo modo l'influenza dell'operatore nelle misurazioni.

La radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, *Photosynthetic Active Radiation*)³¹⁷ è una misura dell'energia della radiazione solare intercettata dalla clorofilla nelle piante, quindi dell'energia effettivamente disponibile per la fotosintesi. La PAR è considerata pari al 41% della radiazione solare totale, concentrata nelle bande del blu e del rosso, cioè tra i 400 e i 700 nanometri. Lo strumento utilizzato è il FluorPen FP 110, un fluorimetro portatile che consente la misurazione rapida e precisa dei parametri di fluorescenza della clorofilla anche sul campo. Esso viene utilizzato per studiare l'attività fotosintetica, il rilevamento dello stress e i test sugli erbicidi. Questo strumento incorpora un misuratore di radiazione luminosa per la lettura digitale diretta della PAR misurata come densità del flusso fotonico fotosintetico (PPFD)³¹⁸, che è indicato da unità di quanti (fotoni) per unità di tempo per unità di superficie³¹⁹.

Ciascuna delle 18 querce è stata descritta dal punto di vista del vigore vegetativo utilizzando i dati dell'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)³²⁰. Per i dati raccolti è stata eseguita l'analisi delle componenti principali e della correlazione tra i parametri sui piani fattoriali.

³¹⁷ McCree, K. J., 1972.

³¹⁸ In inglese PPFD, Photosynthetic Photon Flux Density.

³¹⁹ Carruthers T. J. et al., 2001.

³²⁰ Recanatesi, F., Giuliani, C., et Ripa, M. N., 2018.

5.2 Analisi del vigore vegetativo ed NDVI

Le querce oggetto di monitoraggio per i fenomeni di rinnovazione forestale sono state dapprima analizzate nel loro vigore vegetativo. L'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) consente di quantificare e descrivere lo stato di salute di una foresta. Il vigore vegetativo del popolamento è correlato alla concentrazione di clorofilla, quando la risposta spettrale ricade nella radiazione del rosso (630–690 nm), ma anche alla densità della copertura fogliare, quindi al LAI (*Leaf Area Index*), quando ricade nell'infrarosso (760–900 nm). L'indice assume valori compresi tra -1 e +1 ed è calcolato come rapporto tra la differenza e la somma delle radiazioni riflesse nel vicino infrarosso e nel rosso:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS})$$

con

NIR: Vicino Infrarosso (nm) VIS: Rosso Visibile (nm)

Il monitoraggio delle condizioni vegetative dei querceti di Castelporziano viene effettuato a partire dal 2015 per mezzo di immagini telerilevate, con risoluzione di 10 metri (quindi con celle da 100 m²), dal satellite SENTINEL 2 dell'Agenzia Europea ³²¹. Quest'ultimo fornisce un dato multispettrale su tutta la Tenuta ogni cinque giorni. Ciò

³²¹ Dal 2015 il satellite SENTINEL registra l'energia riflessa a diverse lunghezze d'onda e acquisisce immagini multispettrali ad una risoluzione di 10 m. Per lo stato vegetativo relativo ad un arco temporale più ampio, dal 1984 fino al 2015, nelle porzioni di bosco maggiormente uniformi in termini di copertura delle chiome, a Castelporziano l'indice è stato calcolato in riferimento alle immagini del satellite LANDSAT, sebbene con una risoluzione nove volte inferiore (Recanatesi et al., 2018).

consente di monitorare in continuo l'evoluzione nella capacità vegetativa dei soprassuoli associandola ad una sintomatologia. Si deve tener conto, tuttavia, che le chiome con un'estensione minore di 100 m² influenzano la lettura del dato NDVI poiché non occupano completamente la corrispondente cella nell'immagine satellitare.

In generale è emersa una riduzione nello stato vegetativo del querceto, con una riduzione media della capacità fotosintetica del 40% su circa l'80% della superficie e, in alcuni casi, si sono raggiunti decrementi dell'ordine del 60%³²². L'indice NDVI ha subito una riduzione nei valori modali da 0.77 dell'1989 a 0.21 del 2009, in riferimento alle immagini del satellite LANDSAT. In relazione ai dati Sentinel, dal 2015 al 2020 l'andamento si è mantenuto negativo passando da 0.9 del 2015 a 0.7 nel 2017.

Il sistema di monitoraggio dell'indice NDVI ha consentito di quantificare i fattori esterni che incidono sullo stato di salute delle piante portasemi e, pertanto, anche sulla loro capacità di produzione di seme.³²³

Per quanto riguarda nello specifico le 18 piante incluse nella rete di monitoraggio, i valori NDVI, tra il 2015 e il 2020 (Tabella 28), presentano delle oscillazioni, con un valore minimo di vigore vegetativo raggiunto nel 2020 (Figura 90). Poiché non si sono verificate emergenze fitosanitarie a carico del querceto, si presume che tali oscillazioni siano correlate all'andamento delle precipitazioni e delle temperature.

³²² Recanatesi, F., Piccinno, M., Cucca, B., Rossi, C. M., & Ripa, M. N., 2020.

³²³ Recanatesi F., Giuliani C., Piccinno M., Cucca B., Rossi C.M., Ripa M.N., 2020.

ID	Valori NDVI (giugno)					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	0.88	0.85	0.89	0.94	0.87	0.88
2	0.85	0.82	0.9	0.9	0.82	0.81
3	0.87	0.87	0.9	0.91	0.87	0.83
4	0.87	0.84	0.87	0.91	0.87	0.81
5	0.85	0.85	0.85	0.9	0.85	0.76
6	0.87	0.79	0.88	0.88	0.84	0.81
7	0.83	0.85	0.85	0.88	0.77	0.8
8	0.76	0.84	0.89	0.94	0.75	0.79
9	0.86	0.87	0.87	0.92	0.85	0.8
10	0.82	0.88	0.84	0.88	0.82	0.81
11	0.86	0.84	0.84	0.93	0.83	0.81
12	0.75	0.8	0.78	0.74	0.75	0.77
13	0.84	0.78	0.85	0.86	0.84	0.78
14	0.87	0.8	0.85	0.87	0.81	0.78
15	0.89	0.84	0.9	0.89	0.81	0.8
16	0.89	0.84	0.9	0.89	0.75	0.77
17	0.88	0.85	0.86	0.88	0.88	0.89
18	0.88	0.85	0.9	0.9	0.87	0.87

Tabella 28 Valori dell'indice vegetazionale NDVI, per le 18 querce della rete di monitoraggio permanente, relativi al mese di giugno dal 2015 al 2019.

	Fattore 1			Fattore 2			Fattore 3		
	Contr	Corr	Qual	Contr	Corr	Qual	Contr	Corr	Qual
2015	18.734	0.766	0.586	4.443	-0.214	0.046	19.277	-0.416	0.173
2016	9.578	0.547	0.300	14.763	0.390	0.152	50.747	0.675	0.456
2017	18.143	0.753	0.568	14.472	0.386	0.149	17.619	-0.398	0.158
2018	20.208	0.795	0.632	19.810	0.452	0.204	0.271	-0.049	0.002
2019	17.127	0.732	0.536	30.408	-0.560	0.314	0.771	0.083	0.007
2020	16.211	0.712	0.507	16.105	-0.408	0.166	11.315	0.319	0.102

Tabella 29 Contributi, correlazioni e qualità dei primi 3 fattori estratti dall'analisi delle componenti principali.

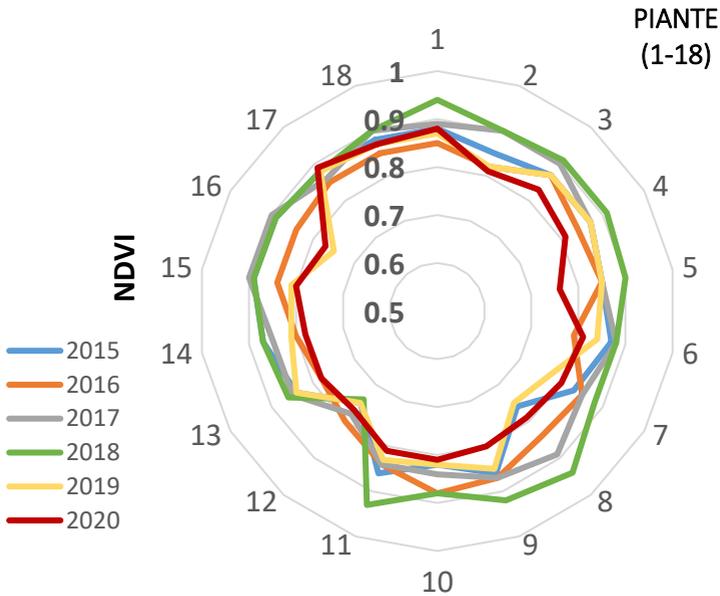


Figura 90 Valori di NDVI dal 2015 al 2020 per le querce oggetto di monitoraggio.

L'analisi della correlazione tra le 18 querce negli anni dal 2015 al 2020 mostra dei valori non molto elevati, mentre l'analisi delle componenti principali individua tre autovalori di rilievo, ovvero tre fattori estratti che sintetizzano oltre l'84 % dell'informazione, di cui il primo rappresenta oltre il 52%. Considerando gli anni, in Tabella 29 sono riportati, per i primi tre fattori i contributi, le correlazioni e la qualità della rappresentazione.

Dall'analisi di queste informazioni emerge che:

- *Fattore 1*: con eccezione del 2016 risulta equilibrato come contributi, correlazioni (oltre 0.7) e qualità. Poiché tutte le correlazioni sono positive, il fattore rappresenta la variabilità del NDVI, nel lato positivo quindi si trovano le querce con maggior vigore.

- *Fattore 2*: si vede un'opposizione degli anni 2016-2017-2018 con gli altri, con forte contributo del 2019, e meno degli altri; salvo il 2015, correlazioni e qualità medie.
- *Fattore 3*: essenzialmente opposizione fra 2016-2020 con 2015-2017, correlazioni medie, qualità medio-bassa.

Ciò è osservabile direttamente sui cerchi delle correlazioni fra anni e fattori sui piani generati dai fattori 1 e 2 (Figura 91 a sinistra) e 2 e 3 (Figura 91 a destra). Nel primo grafico si nota un generale orientamento verso il lato positivo del primo fattore (orizzontale), distinto in due gruppi: in realtà, osservando il secondo grafico si vede la distribuzione quasi uniforme degli anni sul piano fattoriale 2-3 gli anni sono distribuiti in maniera quasi uniforme.

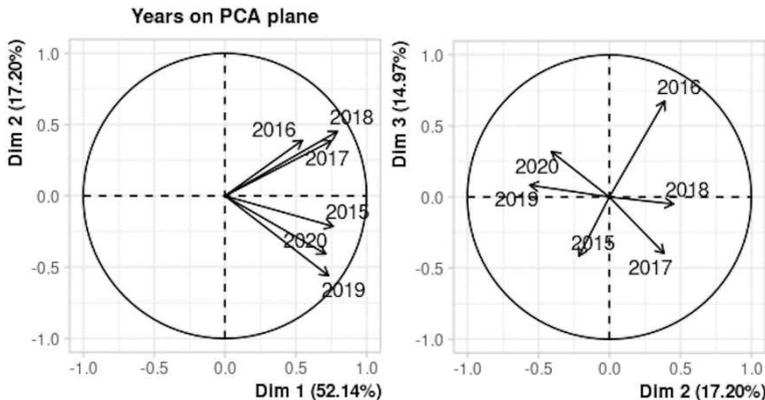


Figura 91 Analisi delle componenti principali del NDVI negli anni 2015-2020. Rappresentazione degli anni sui cerchi delle correlazioni fra anni e fattori, sui piani generati dai fattori 1 e 2 (in alto) e 2 e 3 (in basso).

Per quanto riguarda l'analisi delle componenti principali relativa alle 18 querce in Tabella 30 sono riportati la distanza dal baricentro della loro nube nello spazio di rappresentazione e quindi, per ognuno dei tre fattori, il contributo, la coordinata e la qualità di rappresentazione;

infine la qualità cumulata nelle tre dimensioni considerate.

Ne risultano contributi ai fattori piuttosto squilibrati:

- *Fattore 1*: contributo per oltre la metà della sola quercia 12.
- *Fattore 2*: contributo maggiore della quercia 8 insieme alla 16 e alla 17.
- *Fattore 3*: contributo maggiore della pianta 10, poi 6 e 13.

Quanto alla qualità complessiva, risulta che la 5 e la 11 non sono quasi per nulla rappresentate in queste tre dimensioni, segno d'un loro comportamento diverso rispetto alle altre piante.

	Dist.		Fattore1			Fattore2			Fattore3		Qua.
	Or.	Cont.	Coor.	Qual	Cont.	Coor.	Qua	Cont.	Coor.	Qua.	cum.
1	2.76	11.35	2.53	0.84	1.53	-0.53	0.04	1.02	0.41	0.02	0.90
2	1.24	0.17	0.31	0.06	0.60	0.33	0.07	4.80	-0.88	0.50	0.64
3	2.12	6.47	1.91	0.82	0.16	0.17	0.01	1.39	0.48	0.05	0.87
4	1.25	1.53	0.93	0.55	0.87	-0.40	0.10	0.04	-0.08	0.01	0.66
5	1.69	0.17	-0.31	0.04	0.50	0.31	0.03	0.21	0.18	0.01	0.08
6	1.87	0.02	-0.10	0.00	4.47	-0.91	0.24	14.89	-1.55	0.69	0.93
7	1.62	2.04	-1.07	0.44	3.34	0.79	0.24	2.55	0.64	0.16	0.83
8	3.28	2.07	-1.08	0.11	34.09	2.52	0.59	1.08	0.42	0.02	0.71
9	1.57	1.63	0.96	0.38	1.60	0.55	0.12	2.74	0.67	0.18	0.68
10	2.01	0.27	-0.39	0.04	0.81	0.39	0.04	21.65	1.87	0.86	0.94
11	1.33	0.09	0.23	0.03	0.00	0.00	0.00	0.69	0.33	0.06	0.09
12	5.78	53.78	-5.50	0.91	8.02	-1.22	0.05	6.82	1.05	0.03	0.99
13	2.45	4.07	-1.51	0.38	6.95	-1.14	0.22	10.74	-1.32	0.29	0.88
14	1.84	2.29	-1.14	0.38	1.50	-0.53	0.08	9.02	-1.21	0.43	0.90
15	1.52	0.80	0.67	0.19	1.53	0.53	0.12	5.15	-0.91	0.36	0.68
16	2.52	0.11	-0.24	0.01	14.41	1.64	0.42	10.68	-1.31	0.27	0.70
17	2.74	5.05	1.69	0.38	16.87	-1.77	0.42	6.22	1.00	0.13	0.93
18	2.42	8.09	2.13	0.78	2.75	-0.72	0.09	0.31	0.22	0.01	0.87

Tabella 30 Analisi delle componenti principali del NDVI per le 18 querce: la distanza dal baricentro e per ogni fattore il contributo, la coordinata e la qualità di rappresentazione; infine la qualità cumulata nelle tre dimensioni.

Osservando la rappresentazione delle querce sui piani fattoriali generati dai fattori 1 e 2 (Figura 92 in alto) e 2 e 3 (Figura 92 in basso), sul primo la quercia 12 si trova ben distaccata dalle altre sulla sinistra, segno di un NDVI particolarmente basso. Le coordinate sul primo fattore rappresentano un ordinamento per NDVI crescente, da cui risulta la sequenza 12, 13, 14, 8, 7, 10, 5, 16, 6, 11, 2, 15, 4, 9, 17, 3, 18, 1, con 1 la quercia più vigorosa.

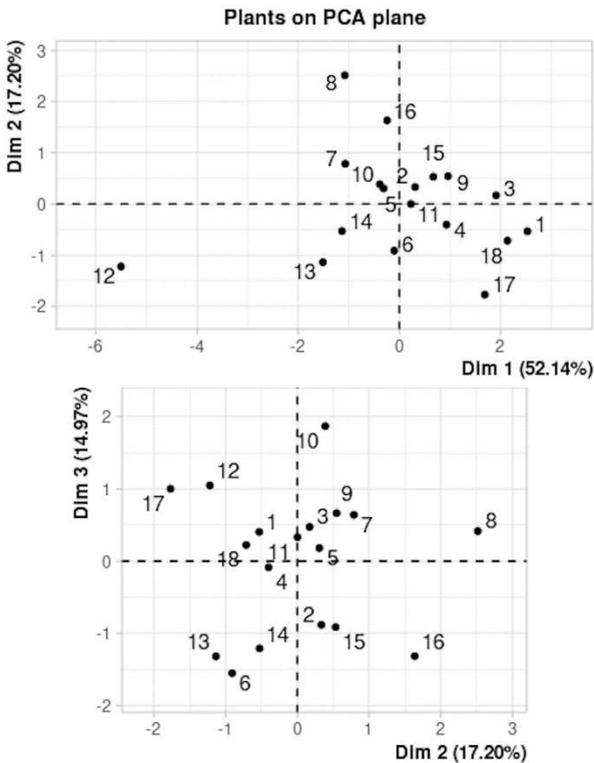


Figura 92 Analisi delle componenti principali del NDVI negli anni 2015-2020. Rappresentazione delle querce sui piani fattoriali generati dai fattori 1-2 (in alto) e 2-3 (in basso).

La disposizione delle querce relativamente agli altri fattori, indica gli anni nei quali esse hanno avuto maggior vigore vegetativo: così la 8 sembra aver maggior vigore nel 2018, mentre la 16 nel 2017.

In seguito, si sono classificate le querce secondo due metodi per ottenere una gerarchia rappresentata da un dendrogramma. La prima è una classificazione gerarchica ascendente che le associa progressivamente in modo da minimizzare la varianza dentro gruppi. Da questo processo agglomerativo sono risultate possibili classificazioni delle querce in 3 e 5 classi (Tabella 31).

N n	gr	index a	in b	en	Classi	3	5
19	17	0.04	-4	-9	1	1	1
20	16	0.04242641	-1	-18	2	2	2
21	15	0.04795832	-13	-14	3	1	3
22	14	0.04795832	-2	-15	4	1	3
23	13	0.05059597	-3	1	5	1	3
24	12	0.05762736	-6	3	6	2	2
25	11	0.06082763	-7	-10	7	2	4
26	10	0.06403124	-5	-11	8	2	4
27	9	0.06489556	-17	2	9	1	3
28	8	0.08414426	5	8	10	2	4
29	7	0.09055938	-16	4	11	1	3
30	6	0.13457865	-8	7	12	3	5
31	5	0.14116896	6	11	13	2	2
32	4	0.19987554	9	10	14	2	2
33	3	0.2059084	12	13	15	2	2
34	2	0.3157212	14	15	16	2	2
35	1	0.36827372	-12	16	17	1	1
					18	1	1

Tabella 31 Classificazione gerarchica ascendente, processo agglomerativo in tre e cinque classi (ultime due colonne a destra) in relazione all'indice NDVI 2015-2020.

3 Classi	Querce	5 Classi	Querce
A	1,3,4,5,9,11,17,18	A	1,17, 18
B	2,6,7,8,10,13,14,15,16	B	2, 6, 13,14,15,16
C	12	C	3,4,5,9,11,
		D	7,8,10,
		E	12

Tabella 32 Distribuzione delle diciotto querce in 3 e 5 classi gerarchiche in relazione all'indice NDVI 2015-2020.

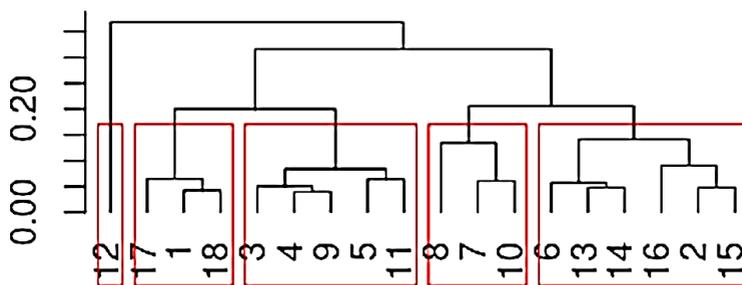


Figura 93 Dendrogramma relativo alla classificazione delle querce in base alle distanze. Sono contornate in rosso le cinque classi di querce formate.

Dal dendrogramma ottenuto in base alle distanze (Figura 93) risultano ben distinte cinque classi di querce (Tabella 32), che delineano meglio le differenze all'interno delle due grandi classi della partizione in tre classi. Si noti che la quercia 12 risulta comunque sempre isolata, rappresentando quindi un caso particolare.

La seconda classificazione è invece quella fattoriale, utilizzata anche per i dati ambientali, basata sulla correlazione tra le querce rispetto agli anni. In Tabella 33

sono riportati i dati risultanti dal processo gerarchico: il numero del nodo formato (No), le due classi che lo compongono (N1 e N2), il numero di querce nella classe formata (Nu), l'autovalore del primo fattore dell'ACP associata al nodo (Weight1 e Weight2) e il secondo (Eigenv e Index), corrispondente all'indice della gerarchia, la ripartizione dell'informazione fra i due fattori del piano associato al nodo (Loc_%1), la quota d'informazione relativa all'insieme dei dati (Glob_%1 e Glob_%2) e la quota cumulata dei secondi fattori (Cum_%2).

No	N1	N2	Nu	Wei1	Wei2	Eigenv	Ind	Loc _%1	Loc _%1	Glob _%1	Glob _%2	Cum _%2
19	15	16	2	0.35	0.12	1.97	0.03	98.58	1.42	10.95	0.16	0.16
20	5	9	2	0.38	0.14	1.96	0.04	98.14	1.86	10.91	0.21	0.36
21	6	13	2	0.37	0.14	1.94	0.06	97.21	2.79	10.80	0.31	0.68
22	2	18	2	0.36	0.13	1.91	0.10	95.26	4.75	10.58	0.53	1.20
23	3	20	3	0.46	0.21	2.87	0.10	96.75	3.25	15.93	0.54	1.74
24	4	23	4	0.53	0.28	3.75	0.11	97.07	2.93	20.85	0.63	2.37
25	7	8	2	0.33	0.11	1.86	0.14	93.12	6.88	10.35	0.76	3.13
26	14	21	3	0.45	0.20	2.79	0.15	94.78	5.22	15.50	0.85	3.99
27	1	11	2	0.33	0.11	1.82	0.18	90.97	9.03	10.11	1.00	4.99
28	12	17	2	0.06	0.00	1.77	0.24	88.24	11.77	9.80	1.31	6.30
29	10	25	3	0.40	0.16	2.61	0.25	91.28	8.72	14.52	1.39	7.68
30	22	26	5	0.58	0.33	4.42	0.28	94.15	5.85	24.56	1.53	9.21
31	27	24	6	0.62	0.39	5.01	0.56	89.92	10.08	27.84	3.12	12.33
32	30	19	7	0.67	0.45	5.82	0.57	91.07	8.93	32.34	3.17	15.50
33	29	31	9	0.74	0.54	6.68	0.94	87.66	12.34	37.13	5.23	20.73
34	33	32	16	1.00	1.00	11.08	1.42	88.64	11.36	61.57	7.89	28.62
35	34	28	18	1.00	1.00	11.11	1.74	86.49	13.51	61.74	9.64	38.26

Tabella 33 Risultati del processo di classificazione gerarchica dei valori di NDVI (2015-2020) delle querce monitorate.

Da quest'analisi risultano tre nodi e quattro classi, considerando l'indice della gerarchia minore di 0.7 come valore soglia per il taglio. La gerarchia e le classi sono facilmente individuabili dal dendrogramma rappresentato

in Figura 94, l'appartenenza alle classi è anche riportata nell'ultima colonna a destra delle classi risultanti dall'altra classificazione.

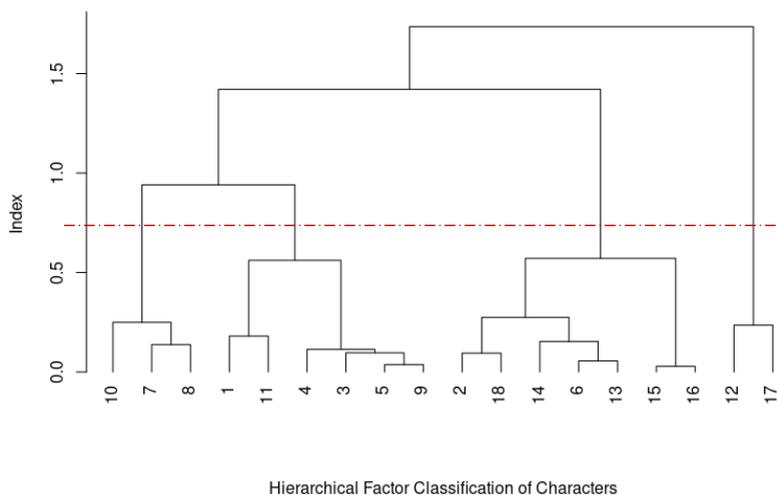


Figura 94 Dendrogramma relativo alla classificazione gerarchica fattoriale. Sono visibili quattro classi: una da 10 a 8, una da 1 a 9, una da 2 a 16 e infine una con le due querce 12 e 17.

La distribuzione delle querce nelle classi ottenute con i due metodi di classificazione gerarchica, indipendentemente dalla loro collocazione all'interno o all'esterno della recinzione, dimostra come esse siano rappresentative per il monitoraggio del querceto di Campo di Rota e come il diradamento, che ha interessato l'area recintata nel 2013, non appare influenzare il vigore delle querce mature.

5.3 I rilievi stagionali 2019 – 2020: analisi dei dati

In questo paragrafo vengono elaborati ed analizzati i dati raccolti nel corso del monitoraggio del 2019-2020. I dati in dettaglio per ognuna delle 54 superfici (*plot*) sono riportati in **Allegato 1**³²⁴.

Nelle tabelle che seguono è riportato, per ognuno dei diciotto transetti (*ID 1-9 querce esterne alla recinzione e ID 10-18 interne*), il valore medio del numero di plantule al metro quadrato tra le tre superfici sotto chioma (SX, CX, DX). Per l'anno 2019 (Tabella 34), tempo t_0 di inizio del monitoraggio, le plantule della coorte 2018 sono state oltre che contate anche misurate e distinte in due classi, altezza maggiore o minore di 10 cm, poiché quelle con altezza maggiore di 10 cm potrebbero rientrare in coorti di anni precedenti. In Tabella 35 è riportato invece il valore totale medio di plantule per metro quadrato per ogni pianta nel corso del 2019 indipendentemente dalla classe di altezza.

Per il 2020 sono riportati i valori medi al metro quadrato delle due coorti presenti, coorte 2018 e corte 2019, i dati relativi alla rinnovazione naturale, censiti nel corso del 2020 (Tabella 36) nonché il quantitativo totale medio per metro quadrato (Tabella 37).

³²⁴ Allegati, n. 1, pag. 368.

ANNO 2019, COORTE 2018								
n/m ²	APRILE		MAGGIO		OTTOBRE		NOVEMBRE	
ID	Coor H<10	Coor H>10	Coor H<10	Coor H>10	Coor H<10	Coor H>10	Coor H<10	Coor H>10
1	8.7	2.3	14.0	2.3	7.0	1.0	4.3	0.7
2	12.0	2.7	10.3	2.0	10.3	0.7	6.0	0.3
3	5.7	0.7	12.0	0.7	10.7	0.0	3.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	43.3	3.0	68.0	3.0	12.0	2.0	7.7	2.0
6	4.0	0.7	8.7	0.7	5.7	0.7	3.7	0.7
7	1.7	0.3	1.7	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0
8	1.7	0.0	2.3	0.0	1.3	0.0	1.3	0.0
9	3.0	0.0	3.7	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0
Media	8.89	1.07	13.41	1.00	5.33	0.48	3.07	0.41
10	0.3	1.3	0.67	1.0	1.3	0.3	1.3	0.3
11	1.3	6.3	8.3	6.3	6.3	6.3	6.0	6.7
12	13.7	6.3	22.7	6.3	22.0	5.7	13.3	5.3
13	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
14	4.7	4.3	5.7	4.3	3.0	0.0	2.7	0.0
15	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	6.0	2.0	10.0	2.0	9.0	1.3	5.7	1.3
17	4.7	3.0	3.3	2.7	3.7	0.3	3.7	0.3
18	20.0	12.7	33.0	12.7	16.0	5.3	13.3	5.0
Media	5.70	4.00	9.37	3.93	6.85	2.15	5.15	2.11

Tabella 34 Numero medio di plantule al metro quadrato per la coorte 2018 e coorti precedenti, per singola pianta e complessiva mensile all'esterno della recinzione (1-9) e all'interno (10-18) (anno 2019).

2019		APR	MAG	OTT	NOV
	ID	Tot. m ²	Tot. m ²	Tot. m ²	Tot. m ²
Area non recintata	1	11.0	16.3	8.0	5.0
	2	14.7	12.3	11.0	6.3
	3	6.3	12.7	10.7	3.3
	4	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	46.3	71.0	14.0	9.7
	6	4.7	9.3	6.3	4.3
	7	2.0	2.0	0.3	0.3
	8	1.7	2.3	1.3	1.3
	9	3	3.7	0.7	1.0
	Media				
Area recintata	10	1.7	1.7	1.7	1.7
	11	7.7	14.7	12.7	12.7
	12	20.0	29.0	27.7	18.7
	13	0.3	0.0	0.3	0.3
	14	9.0	10.0	3.0	2.7
	15	0.3	0.3	0.0	0.0
	16	8.0	12.0	10.3	7.0
	17	7.7	6.0	4.0	4.0
	18	32.7	45.7	21.3	18.3
	Media	9.7	13.3	9.0	7.3

Tabella 35 Rinnovazione media per metro quadro per singola pianta, complessiva tra le varie coorti (anno 2019). Viene indicato inoltre il numero medio di plantule mensile complessivo all'esterno (1-9) e all'interno (10-18) della recinzione (Media mese/m²).

ANNO 2020, COORTE 2018 E 2019								
n/ m ²	APRILE		MAGGIO		OTTOBRE		NOVEMBRE	
ID	Coor 2018	Coor 2019	Coor 2018	Coor 2019	Coor 2018	Coor 2019	Coor 2018	Coor 2019
1	3.3	23.0	3.0	23.0	2.0	1.3	1.7	1.3
2	6.0	2.0	5.7	1.7	2.0	0.7	0.3	0.3
3	2.7	3.0	2.7	4.7	0.3	0.3	0.3	0.0
4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.3	14.0	1.3	15.7	0.7	1.7	0.3	1.0
6	3.7	1.3	3.0	2.3	1.3	2.0	0.0	1.0
7	0.3	1.0	0.3	1.3	10.0	14.4	5.8	3.5
8	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0
9	1.0	1.7	0.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Media	2.1	5.1	1.9	5.6	0.9	0.7	0.37	0.41
10	1.0	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0	0.33	0.00
11	12.3	2.0	12.0	2.0	9.3	2.0	9.3	1.3
12	18.7	36.7	18.0	44.0	15.3	31.3	13.7	28.3
13	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3
14	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	2.7	2.0	2.7
15	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0
16	6.7	2.3	6.3	2.3	4.0	1.7	2.7	1.7
17	4.0	4.3	4.0	5.7	3.7	3.7	4.0	3.7
18	18	46.7	15.7	48.0	12.7	38.0	11.0	37.0
Media	7.0	10.7	6.6	11.9	5.3	8.9	4.8	8.3

Tabella 36 Numero medio di piantule per metro quadrato per la coorte del 2019, per la coorte del 2020. Viene indicato inoltre il numero medio mensile all'esterno (1-9) e all'interno (10-18) della recinzione.

2020		APR	MAG	OTT	NOV
	ID	Tot. m ²	Tot. m ²	Tot. m ²	Tot. m ²
Area non recintata	1	26.30	26.00	3.33	3.00
	2	8.00	7.33	2.67	0.67
	3	5.67	7.33	0.67	0.33
	4	0.00	1.00	0.00	0.00
	5	15.33	17.00	2.33	1.33
	6	5.00	5.33	3.33	1.00
	7	1.33	1.67	0.33	0.00
	8	1.00	1.00	1.00	0.67
	9	2.67	1.33	0.00	0.00
	Media	7.30	7.56	1.52	0.78
Area recintata	10	1.00	1.00	0.67	0.33
	11	14.33	14.00	11.33	10.67
	12	55.33	62.00	47.00	42.00
	13	0.67	0.67	0.67	0.33
	14	6.00	6.00	4.67	4.67
	15	0.33	0.33	0.33	0.00
	16	9.00	8.67	5.67	4.33
	17	8.33	9.67	7.33	7.67
	18	64.67	63.67	50.67	48.00
Media	17.74	18.41	14.26	13.11	

Tabella 37 Rinnovazione media al metro quadrato per singola pianta (anno 2020). Viene indicato inoltre il numero medio mensile complessivo all'esterno (1-9) e all'interno (10-18) della recinzione (Media mensile/m²).

Osservando i valori medi per ciascun transetto emerge un'elevata variabilità in generale tra tutte le diverse piante e in particolare tra quelle presenti all'interno dell'area

recintata e quelle all'esterno, quindi in presenza di fauna. Nella fase *di levata* della primavera 2019 il numero di semenzali all'esterno è maggiore, anche se di poco, di quelli all'interno. Tra aprile e maggio, infatti, lì sono state censite e cartellate 389 plantule contro le 358 all'interno dell'area recintata. Questo non è avvenuto nel 2020 quando, per la nuova coorte 2019, sono state censite 152 plantule all'esterno e 320 all'interno. In media la coorte 2018 nella primavera 2019 è stata stimata in circa 14.4 plantule al m² in presenza di fauna e 13.3 in sua assenza, quindi, nonostante la variabilità interspecifica tra le querce, potrebbe definirsi quasi omogenea. In realtà va considerato che trattandosi dell'anno *t₀*, nella coorte 2018 censita nel 2019 potrebbero essere presenti anche individui di coorti precedenti. Nel 2020 infatti la coorte 2019 è stata stimata in circa 5.6 plantule al m² in presenza di fauna e di 11.9 in sua assenza.

In Figura 95 è stato rappresentato graficamente l'andamento medio delle due coorti all'interno e all'esterno dell'area, ponendo in risalto la diversa entità del tasso di mortalità. Dalla primavera 2019 all'autunno successivo (Figura 96), dopo la stagione critica estiva, all'esterno dell'area recintata si è avuto un tasso di mortalità medio del 59.3% contro un 39.7% in assenza di fauna, circa il 20% in più. La stessa coorte 2018, nell'autunno 2020, dopo aver quindi attraversato due stagioni critiche, raggiunge un tasso di mortalità rispettivamente dell'83.8% all'esterno e del 70.7% all'interno. In altre parole, nell'anno intercorso tra i due autunni 2019-2020, la mortalità all'esterno (24,7%) è stata inferiore a quella avvenuta all'interno della recinzione (31.1%).

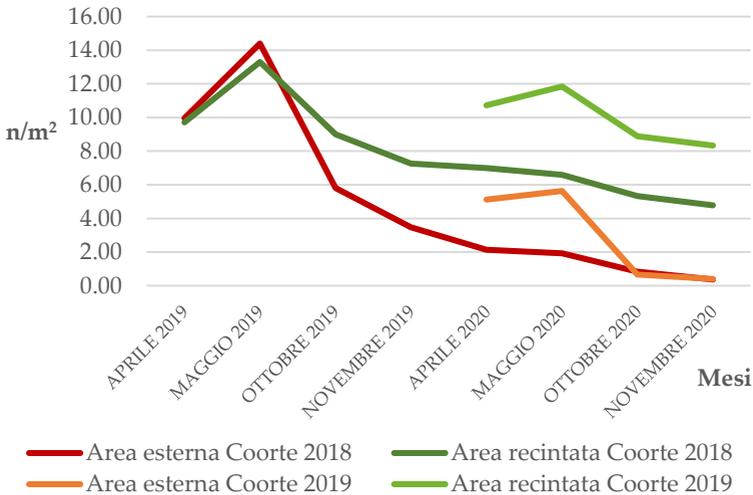


Figura 95 Andamento medio della rinnovazione naturale dentro e fuori dalla recinzione per la coorte 2018 e 2019 (n/m²).

Ciò è riconducibile al numero maggiore di plantule che sono sopravvissute all'interno della recinzione, con 7.47 contro le 3.47 al m² all'esterno a novembre 2019 e 4.78 contro 0.37 al m² dopo un anno a novembre 2020. Durante il secondo anno inoltre inizia la competizione per la luce per le risorse anche con la nuova coorte di plantule dell'anno. Quest'ultima, la coorte 2019, nella primavera 2020 è stata stimata con una media di 5.6 plantule al m² in presenza di fauna e di 11.9 in sua assenza. In autunno 2020 questi valori scendono a 0.4 individui al m² all'esterno e 8.3 nell'area recintata, mostrando un tasso di mortalità dell'80.7% nel primo caso e del 31.9 % nel secondo, circa il 48% di differenza (Figura 97). In Tabella 38 sono riportati i tassi di mortalità per ognuno dei singoli transetti che confermano l'elevata variabilità anche indipendentemente dalla recinzione.

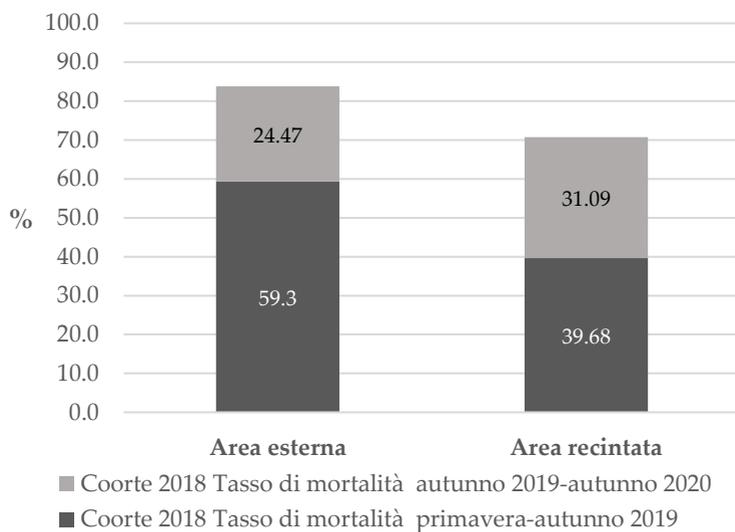


Figura 96 Tasso di mortalità all'esterno e all'interno dell'area recintata per la coorte 2018 nel primo e nel secondo anno (%).

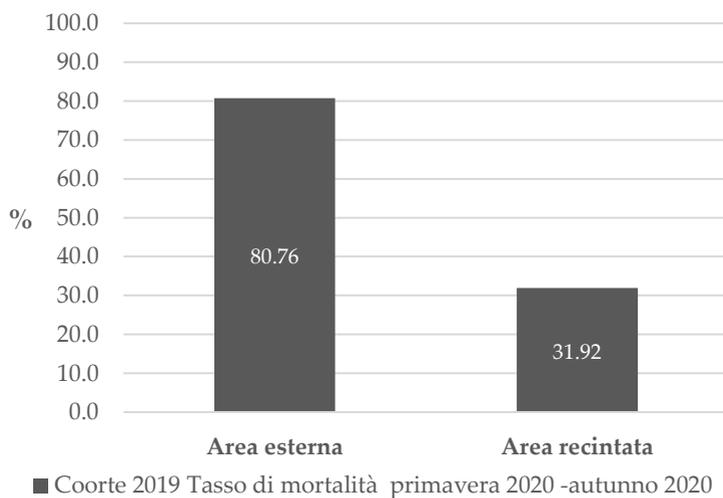


Figura 97 Tasso di mortalità all'esterno e all'interno dell'area recintata per la coorte 2019 nel primo anno (%).

Tasso di mortalità %	Coorte 2018			Coorte 2019
	Maggio 2019- novembre 2019	Maggio 2019- novembre 2020	Novembre 2019- novembre 2020	Maggio 2020- novembre 2020
1	69.33	89.57	20.25	94.35
2	48.78	97.56	48.78	82.35
3	74.02	97.64	23.62	100.00
4	0.00	0.00	0.00	100.00
5	86.34	99.58	13.24	93.63
6	53.76	100.00	46.24	56.52
7	85.00	100.00	15.00	100.00
8	43.48	69.57	26.09	0.00
9	72.97	100.00	27.03	100.00
Media	59.30	83.77	24.47	80.76
Dev. St.	26.93	32.93	15.44	33.44
10	0.00	80.59	80.59	0.00
11	13.61	36.73	23.13	35.00
12	35.52	52.76	17.24	35.68
13	0.00	100.00	100.00	0.00
14	73.00	80.00	7.00	32.50
15	100.00	100.00	0.00	100.00
16	41.67	77.50	35.83	26.09
17	33.33	33.33	0.00	35.09
18	59.96	75.93	15.97	22.92
Media	39.68	70.76	31.09	31.92
Dev. St.	33.63	24.61	35.74	29.20

Tabella 38 Tassi di mortalità in ogni singolo transetto per la coorte 2018 e 2019, rispettivamente per i primi due anni e per il primo (%).

	n/m ²	APR 2019	MAG 2019	OTT 2019	NOV 2019	APR 2020	MAG 2020	OTT 2020	NOV 2020
Coorte 2018	Med Est	9.97	14.40	5.81	3.47	2.14	1.92	0.84	0.37
	DS Este	14.42	21.97	5.40	3.22	1.94	1.85	0.79	0.55
	Med Rec	9.71	13.30	9.00	7.27	7.00	6.59	5.33	4.78
	DS Rec	10.53	15.15	9.92	7.47	7.50	6.93	5.70	5.21
Coorte 2019	Med Est					5.11	5.63	0.67	0.40
	DS Est					7.97	8.09	0.80	0.54
	Med Rec					10.73	11.84	8.89	8.33
	DS Rec					17.80	19.48	14.75	14.01
	Totale Med Est	9.97	14.40	5.81	3.47	7.26	7.56	1.51	0.77
	Totale Med Rec	9.71	13.30	9.00	7.27	17.73	18.43	14.22	13.11

Tabella 39 Rinnovazione media al metro quadrato in presenza di fauna (Med Est) e in sua assenza (Med Rec) per la coorte 2018 relativa agli anni 2019 e 2020, per la coorte 2019 relativa al 2020. Infine, la media mensile complessiva al metro quadrato.

In ognuna delle 54 superfici sono stati anche rilevati l'indice di area fogliare (LAI, *Leaf Area Index*) e contestualmente anche la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, *Photosynthetic Active Radiation*), durante l'estate del 2019, nel pieno del vigore vegetativo delle querce e nell'inverno del 2020 in assenza di fogliame sulle chiome. I dati in dettaglio sono riportati in **Allegato 2**³²⁵.

³²⁵ Allegati, n. 2, pag. 380.

Il LAI è stato determinato anche per alcuni punti al di fuori della volta arborea mentre la PAR, per permettere le elaborazioni in rapporto alla luce diurna, è stata rapportata ai i valori di radiazione fotosinteticamente attiva calcolati, nella stessa ora e giorno del rilievo, dalla strumentazione installata al di sopra delle chiome su una Torre nella stazione meteo di Grotta di Piastra.

I valori PAR minimi per ottenere il punto di compensazione dell'attività fotosintetica dei semenzali sono dell'2-8 % della luce diurna, mentre quelli che consentono di ottenere il massimo accrescimento risultano pari al 28% della luce diurna, o anche un valore del 50% della luce diurna come determinato in altri studi³²⁶. Dall'analisi dei valori di PAR estivi, quindi quando si ha il massimo ombreggiamento delle chiome e dal loro confronto con i corrispondenti valori di PAR sopra chioma misurati sulla Torre di Grotta di Piastra, è emerso come nel 77.8% dei casi monitorati (42 aree su 54) essi siano inferiori al 28% della luce diurna. Nello specifico questo si verifica nel 46.3% dei casi all'esterno della recinzione, con il 92.6% delle superfici presenti (25 su 27) al di sotto di tale soglia, nel 31.5% all'interno della recinzione cioè nel 63% delle aree lì dentro monitorate (17 su 27). In questi casi l'ombreggiamento è solo un fattore limitante l'accrescimento ottimale ma non è ovviamente causa di morte del semenzale. Considerando invece i valori di PAR inferiori all'8% della luce diurna, quindi appena sufficienti per compensare l'attività fotosintetica, si è potuto constatare come tali valori si raggiungano solo nel 20.4 % delle aree (11

³²⁶ Macuz A. et al., 2001.

su 54), ma in particolare è da sottolineare come il 18.5% di esse (10 su 11) sia all'esterno della recinzione, ovvero nel 37% delle aree monitorate in tale condizione (Tabella 40).

ID	PLOT PAR < 28%			ID	PLOT PAR < 8%		
1	SX	CX	DX	1		CX	DX
2	SX	CX	DX	2	SX		
3	SX	CX		4	SX	CX	DX
4	SX	CX	DX	5	SX	CX	
5	SX	CX	DX	9	SX		DX
6	SX	CX		10			DX
7	SX	CX	DX				
8	SX	CX	DX				
9	SX	CX	DX				
10	SX	CX	DX				
12	SX						
14	SX	CX	DX				
15	SX	CX	DX				
16	SX	CX	DX				
17	SX		DX				
18		CX	DX				

Tabella 40 Elenco delle superfici (*plot*) in cui la PAR estiva risulta inferiore del 28% e dell'8% della luce diurna.

Per l'indice di area fogliare (LAI) è risultato un valore medio pari a 3.29 nel mese di luglio e 1.29 nel mese di gennaio.

Osservando il grafico seguente (Figura 98) si nota l'inversa proporzionalità tra i due parametri considerati: con l'aumentare della copertura fogliare si riduce ovviamente la radiazione PAR che raggiunge le aree al di sotto delle chiome e viceversa. Inoltre, ciò che emerge sono valori di PAR invernali inferiori nei transetti al di fuori della recinzione (1-9) ad eccezione della pianta 8. I valori di PAR estivi sono

mediamente maggiori all'interno della recinzione rispetto all'esterno. Ciò è riconducibile ai diradamenti che hanno interessato l'area: infatti la PAR è molto elevata per le piante 10,11,12 ricadenti nell'area diradata al 70%, mentre è bassa per le piante 14, 15 che rientrano nell'area interna alla recinzione non diradata. A confermare quanto sopra, i valori di PAR invernali maggiori in tutte le piante all'interno rispetto all'esterno: in questo caso, quando le chiome delle querce non presentano la copertura delle foglie, l'ombreggiamento è soprattutto riconducibile alle altre specie arboree, del sottobosco e anche della macchia sempreverdi, ovvero quelle eliminate con i diradamenti solo all'interno dell'area recintata.

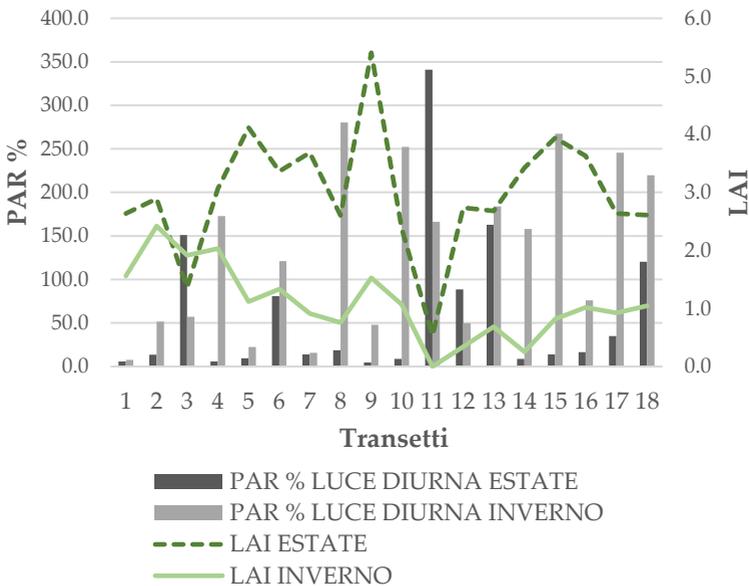


Figura 98 LAI e PAR, estivi e invernali medi per ogni transetto.

ID	LUGLIO 2019		FEBBRAIO 2020		LUG 19	FEB 20
	PAR	PAR % LUCE TOT.	PAR	PAR % LUCE TOT.	LAI	LAI
1	21.00	5.87	18.67	7.54	2.64	1.56
2	48.00	13.41	128.00	51.73	2.89	2.42
3	540.33	150.97	141.67	57.26	1.36	1.92
4	20.67	5.77	427.67	172.84	3.06	2.03
5	34.33	9.59	55.33	22.36	4.12	1.12
6	289.33	80.84	300.00	121.25	3.36	1.34
7	50.33	14.06	39.00	15.76	3.68	0.91
8	66.33	18.53	693.33	280.21	2.60	0.76
9	16.33	4.56	118.33	47.82	5.41	1.53
10	31.00	8.66	624.33	252.33	2.37	1.07
11	1220.0	340.88	411.00	166.11	0.53	0.00
12	316.33	88.39	122.67	49.58	2.74	0.34
13	583.33	162.99	454.67	183.76	2.68	0.69
14	31.00	8.66	391.00	158.02	3.42	0.25
15	50.33	14.06	661.33	267.28	3.94	0.82
16	59.33	16.58	188.33	76.12	3.63	1.02
17	124.67	34.83	607.67	245.59	2.64	0.92
18	430.33	120.24	544.00	219.86	2.61	1.05
Torre Gr. di Piastra	424.83		575.83			

Tabella 41 Valori di PAR misurati a luglio e febbraio: media per transetto, PAR % della luce diurna totale misurata al di sopra delle chiome. Valori di LAI misurati nello stesso giorno e ora.

Ponendo in relazione i tassi di mortalità della coorte 2018 nel primo anno (*maggio 2019 - novembre 2019*) e dopo due anni (*maggio 2019 – novembre 2020*) appare chiara l'influenza della luce (Figura 99). La radiazione fotosinteticamente attiva presenta valori maggiori per le piante 3, 6, 11, 12, 13, 18. Tuttavia, la mortalità all'esterno della recinzione presenta tassi elevati anche per le piante che presentano un valore di PAR maggiore, a conferma del primo fattore di criticità che è la presenza della fauna selvatica. All'interno della recinzione (10-18), invece, si vede come il tasso di mortalità del primo anno sia notevolmente più basso, aumenti poi in maniera simile all'ambiente non recintato nel secondo anno e infine si mantenga basso anche nel secondo anno in corrispondenza dei valori più alti di PAR (10-13).

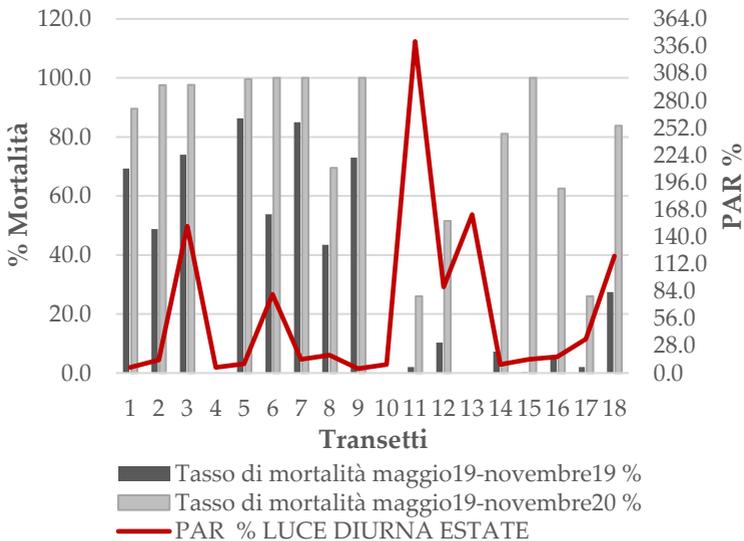


Figura 99 Relazione tra i tassi di mortalità per la coorte 2018 nel primo e nel secondo anno, con l'andamento della PAR.

Questi risultati, emersi nello studio della radiazione fotosinteticamente attiva e dell'indice di area fogliare riflettono l'effetto positivo, in termini di luce che raggiunge il sottobosco per la sopravvivenza delle plantule, determinato dai diradamenti che sono stati effettuati all'interno dell'area recintata nel 2013.

In particolare, si può constatare come la mortalità del primo anno sia riconducibile alla presenza o assenza di ungulati selvatici che influenzano non solo il tasso di mortalità, con l'asportazione delle plantule, ma anche il processo di disseminazione con il numero inferiore di ghiande che, in loro presenza, riescono a germinare. In Figura 100 infatti è evidente, in relazione alla stagione vegetativa 2019-2020, una produzione di seme variabile tra gli individui, tanto all'esterno quanto all'interno della recinzione, con in media 82.67 ghiande al metro quadrato (Deviazione Standard tra gli individui 47.4). A queste si aggiungono in media 25 ghiande immature al m² (Dev. Std. 12.82 tra gli individui). A tali valori di disseminazione, corrisponde nella primavera 2020 un numero (coorte 2019) medio di 5.63 plantule al metro quadrato in presenza in fauna e di 11.85 in sua assenza, valori riferiti all'area d'insidenza delle chiome e indicativi della percentuale di ghiande germinate: il 6.98% all'esterno e il 13.96 all'interno della recinzione (Tabella 42).

Durante il secondo anno, invece, il tasso di mortalità maggiore all'interno della recinzione suggerisce come il fattore delle risorse disponibili per ogni plantula, secondario rispetto alla fauna il primo anno, divenga quello principale per l'instaurarsi di fenomeni di competizione tra il maggior

numero di plantule sopravvissute e fra le piante della coorte 2018 con quella del nuovo anno (coorte 2019) nel frattempo germinata.

ID	Ghianda SV 2019-2020 n/m ²	Plantule maggio 2020 n/m ²	Tasso di rinnovazione SV 2019-2020 (%)
1	224	23.00	10.27
2	6	1.70	28.33
3	84	4.67	5.56
4	12	1.00	8.33
5	240	15.67	6.53
6	4	2.33	58.33
7	4	1.33	33.33
8	38	0.00	0.00
9	114	1.00	0.88
10	6	0.00	0.00
11	46	2.00	4.35
12	220	44.00	20.00
13	0	0.33	0.00
14	212	4.00	1.89
15	2	0.33	16.67
16	24	2.33	9.72
17	32	5.67	17.71
18	222	48.00	21.62
Media Esterno	80.67	5.63	6.98
Media Area recintata	84.89	11.85	13.96
Tot. Esterno	870	68	6.98
Tot. Area recintata	764	107	13.96

Tabella 42 Ghianda prodotta nella stagione vegetativa 2019-2020 per le querce monitorate (n/m²), Plantule censite nella primavera 2020 (n/m²) e tasso di rinnovazione come percentuale di ghiande che attecchiscono (%).

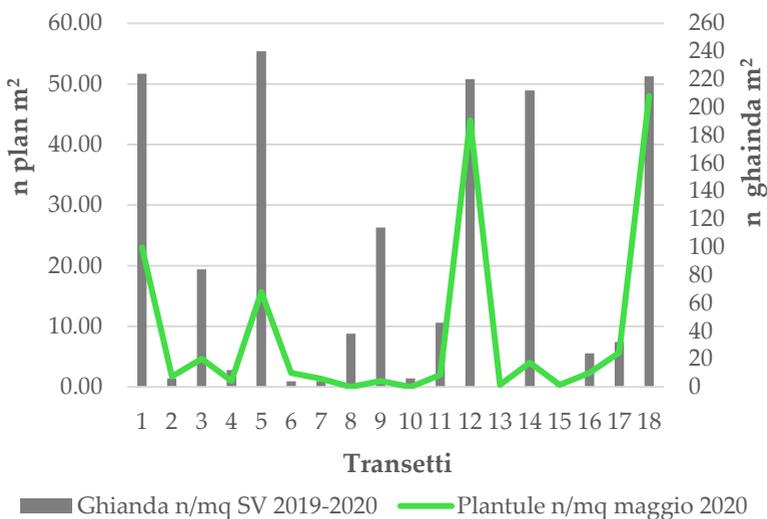


Figura 100 Ghianda prodotta nell'autunno 2019 e plantule censite nella primavera 2020. Valori espressi in n/m^2 .

Analisi statistica dei dati del monitoraggio 2019-2020

Per i dati del monitoraggio 2019-2020 è stata utilizzata l'*analisi fattoriale multipla*³²⁷, dal momento che sono coinvolti sia caratteri qualitativi che quantitativi. Si tratta d'una tipologia di analisi di componenti principali adattata per trattare gruppi di variabili per i quali si voglia mantenere la diversa identità: stessi caratteri relativi a diverse occasioni, oppure gruppi di caratteri di diverso tipo di cui si vuol studiare la differenza e gli aspetti comuni. In questo caso si tratta di dati misti – qualitativi e quantitativi – che non possono esser analizzati nello stesso modo, ma

³²⁷ Pagès, J., 2013.

separatamente per poi essere ricalibrati secondo il loro grado di omogeneità identificato dal primo autovalore dell'analisi delle componenti principali, se i dati sono quantitativi, o dell'analisi delle corrispondenze multiple, se sono qualitativi. I risultati possono quindi essere interpretati simultaneamente.

La matrice dei dati si riferisce a 432 osservazioni sulle quali sono stati rilevati i seguenti caratteri:

Qualitativi:

- Data (*Aprile-2019, Maggio-2019, Ottobre-2019, Novembre-2019, Aprile-2020, Maggio-2020, Ottobre-2020, Novembre-2020*);
- Anno (*2019-2020*);
- Numero di transetto (*da 1 a 18*);
- Presenza di fauna (*si, no*);
- Posizione del rilievo nel transetto (*SX, CX, DX*);

Quantitativi:

- Ghiande autunno-inverno precedente (*numero al m²*);
- Plantule coorte anno precedente (*numero al m²*);
- Plantule coorte anno (*numero al m²*);
- LAI invernale (adimensionale);
- LAI estivo (adimensionale);
- PAR invernale (PPFD);
- PAR estiva (PPFD);
- NDVI medio 2015-2020
- NDVI minimo 2015-2020
- NDVI massimo 2015-2020

L'esame degli autovalori ne mostra quattro di una certa entità. Tuttavia, l'esame degli autovalori dei due gruppi separati (1: caratteri qualitativi; 2: quantitativi) mostra che entrambi non sembrano averne più di due rilevanti (Tabella 43). Occorre quindi vedere le relazioni fra le due analisi per poter stabilire quanti fattori considerare nell'analisi globale.

	Analisi globale			Analisi del gruppo 1			Analisi del gruppo 2		
	Eigen value	% inertia	cum. Inertia	Eigen value	% inertia	cum. Inertia	Eigen value	% inertia	cum. Inertia
1	1.4916	9.330	9.3309	0.4	7.142	7.1428	149776.9	50.354	50.354
2	1.2684	7.934	17.2656	0.4	7.142	14.2857	143356.6	48.195	98.549
3	1.0000	6.255	23.5214	0.2	3.57	17.8571	4175.92	1.403	99.953
4	0.7925	4.957	28.4789	0.2	3.57	21.4285	91.0786	0.030	99.984
5	0.5120	3.203	31.6823	0.2	3.573	25.0000	45.8713	0.015	99.999

Tabella 43 Esame degli autovalori globale e dei due gruppi (qualitativi e quantitativi) separati. Vengono riportati i primi cinque valori estratti.

	Dim 1			Dim 2			Dim 3			Dim 4		
	Contrib	Corr	Coord									
Dim1.Gr1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	99.995	-1.000	-1.000	0.000	0.000	0.000
Dim2.Gr1	36.701	0.692	0.692	7.874	0.276	0.276	0.000	0.000	0.000	75.732	-0.655	-0.655
Dim3.Gr1	0.328	-0.093	-0.093	0.074	-0.038	-0.038	0.000	0.000	0.000	1.573	-0.134	-0.134
Dim4.Gr1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Dim1.Gr2	25.211	0.574	0.574	64.181	-0.789	-0.789	0.000	0.000	0.000	0.386	0.047	-0.011
Dim2.Gr2	37.756	0.717	0.717	27.769	0.531	0.531	0.000	0.000	0.000	22.169	0.362	0.047
Dim3.Gr2	0.000	0.012	0.012	0.002	-0.023	-0.023	0.000	0.002	0.002	0.125	-0.160	0.362
Dim4.Gr2	0.000	0.060	0.060	0.000	-0.008	-0.008	0.000	-0.027	-0.027	0.004	-0.197	-0.160

Tabella 44 Correlazioni dei due gruppi in 4 dimensioni con le 4 dimensioni globali dell'analisi. La prima dimensione globale è correlata con la prima del gruppo qualitativo e le prime due del quantitativo, mentre la seconda è correlata con le prime due del gruppo quantitativo e debolmente colla seconda del qualitativo. Al contrario le prime due dimensioni del gruppo qualitativo sono fortemente correlate con la terza e quarta dell'analisi globale, solo la quarta debolmente correlata con la seconda del gruppo quantitativo.

In Tabella 44 sono riportate, per le quattro dimensioni globali (*Dim 1,2,3,4*) le relazioni con quelle dei due gruppi (*DimGr1,2*). I due gruppi risultano piuttosto diversi fra loro. Se si considerano i due gruppi complessivamente, allora entrambi risultano fortemente correlati (Tabella 45) con i

primi due fattori globali, mentre coi secondi due solo il primo gruppo ha una correlazione forte.

	Dim 1			Dim 2			Dim 3			Dim 4		
	Contrib	Corr	Coord									
Gr1	44.922	0.884	0.670	29.672	0.791	0.376	99.995	1.000	1.000	83.765	0.898	0.664
Gr2	55.078	0.918	0.822	70.328	0.951	0.892	0.005	0.322	0.000	16.235	0.368	0.129

Tabella 45 Correlazioni dei due gruppi analizzati nel complesso con le 4 dimensioni.

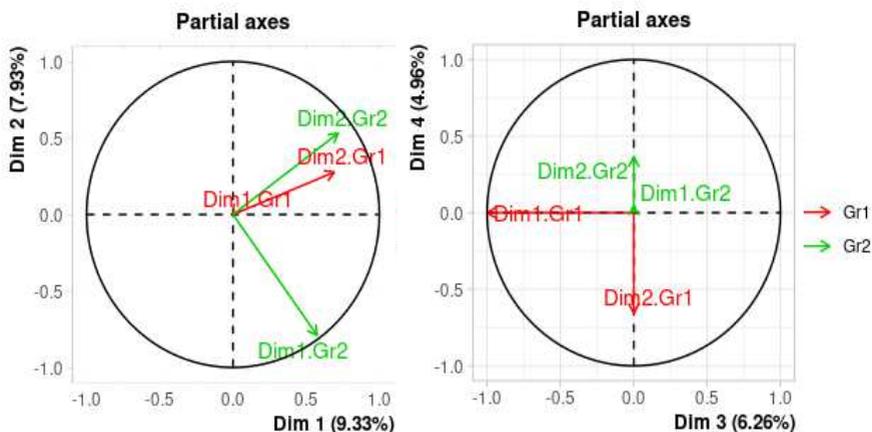


Figura 101 Analisi fattoriale multipla dei dati di rinnovamento 2019-2020. Rappresentazione dei fattori 1 e 2 delle analisi parziali sul cerchio delle correlazioni sui fattori 1-2 e 3-4 dell'analisi globale.

In Figura 101 sono riportati i gruppi sul cerchio delle correlazioni sui piani fattoriali 1-2 e 3-4 dell'analisi globale. Nel primo caso si vede bene la correlazione col primo fattore globale con il primo del primo gruppo ed il secondo del secondo gruppo e quella (negativa) fra il primo fattore del secondo gruppo ed il secondo globale.

In Figura 102 si possono vedere la fortissima correlazione della PAR estiva e invernale e la buona del LAI

col piano fattoriale 1-2, mentre sul piano fattoriale 3-4 (Figura 103) si osservano correlazioni più deboli: si segnalano le plantule dell'anno e di quello precedente, in opposizione fra loro sul terzo fattore, e in contrapposizione con LAI, PAR ed NDVI sul quarto.

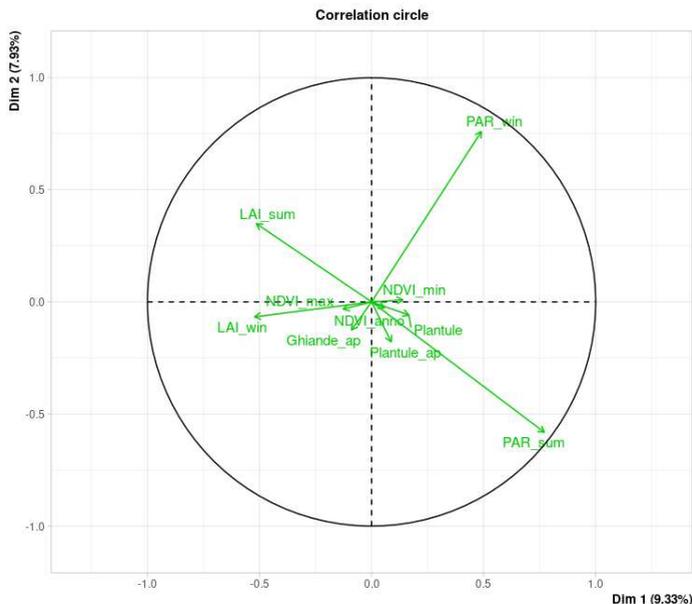


Figura 102 Analisi fattoriale multipla dei dati di rinnovamento 2019-20. Rappresentazione dei caratteri quantitativi sui cerchi delle correlazioni sui piani fattoriali 1-2.

Osservando inoltre la distribuzione dei caratteri qualitativi sugli stessi piani fattoriali globali (Figura 104 in alto), si nota sul primo piano fattoriale l'opposizione fra fauna assente e presente.

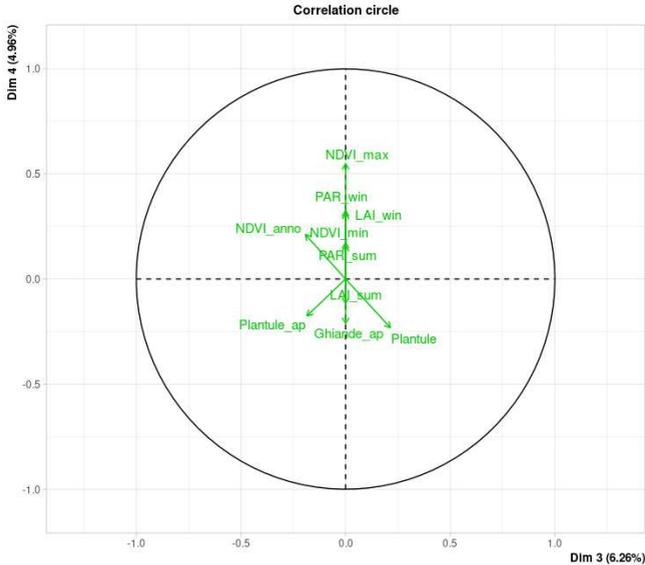


Figura 103 Analisi fattoriale multipla dei dati di rinnovamento 2019-20. Rappresentazione dei caratteri quantitativi sui cerchi delle correlazioni sui piani fattoriali 3-4.

La distribuzione dei vari transetti, lungo il primo fattore, dipenderebbe sia da una maggiore PAR, sia dall'assenza di fauna (no).

Lungo il secondo fattore, la differenza fra transetti sembrerebbe dovuta invece alla distinzione fra PAR e LAI estivi e invernali. Sul secondo piano fattoriale (Figura 104 in basso) si nota invece l'opposizione fra 2019 e 2020 lungo il terzo fattore e la ripartizione dei transetti lungo il quarto, dipendendo dalla presenza od assenza di fauna. Quest'ultima relazione dovrebbe essere debolmente correlata con i valori di NDVI e con la maggiore o minore presenza di plantule e ghiande.

Analisi statistica dei dati di mortalità e rinnovazione annuale nel 2020

La matrice dei dati si riferisce ai 18 transetti- sui quali sono stati rilevati i seguenti caratteri relativi al 2020:

- Presenza di fauna (si, no);
- *diam_quercia* (diametro quercia cm);
- *ghiande* (autunno 2019-2020 n/m²);
- *plantule_old_mag* (plantule coorte 2018 maggio 2020 n/m²);
- *plantule_new_mag* (plantule coorte 2019 maggio 2020 n/m²);
- *plantule_old_nov* (plantule coorte 2018 novembre 2020 n/m²);
- *plantule_new_nov* (plantule coorte 2019 novembre 2020 n/m²);
- *mortalità_new* (tasso di mortalità coorte 2019 in %);
- *mortalità_old* (tasso di mortalità coorte 2018 in %);
- *germinate* (tasso in % di ghiande germinate al suolo).

Si tratta di dati quantitativi eccetto il primo. Sono stati quindi sottoposti all'analisi delle componenti principali e dall'esame degli autovalori ne risultano tre di una certa entità (Tabella 46).

	eigenvalue	%inerzia	cum inerzia
1	4.845994	53.844370	53.844370
2	1.501185	16.679830	70.524210
3	1.110940	12.343780	82.867980
4	0.647625	7.195834	90.063820
5	0.475355	5.281724	95.345540
6	0.236700	2.629994	97.975530
7	0.166741	1.852681	99.828220
8	0.015444	0.171597	99.999810
9	0.000017	0.000187	100.000000

Tabella 46 Autovalori risultanti dall'analisi delle componenti principali.

Il primo in particolare, rappresenta quasi il 54% della variabilità totale, mentre i primi tre ne sintetizzano quasi l'83%. Occorre quindi vedere le relazioni fra le due analisi per poter stabilire quanti fattori considerare nell'analisi globale.

In Tabella 47 sono riportate, per le tre dimensioni, il contributo delle variabili a ciascun fattore, la loro correlazione con essi, la qualità della rappresentazione della variabile sull'asse; infine la qualità totale.

	Dim.1			Dim.2			Dim.3			Qual. Cum
	Contr.	Correl.	Qual.	Contr.	Correl.	Qual.	Contr.	Correl.	Qual.	
diam quercia	0.594	-0.17	0.029	25.68	0.621	0.386	24.264	-0.519	0.27	0.684
ghiande	10.865	0.726	0.527	18.861	-0.532	0.283	0.678	-0.087	0.008	0.817
plantule_old_mag	16.836	0.903	0.816	7.723	0.341	0.116	0.755	-0.092	0.008	0.94
Plantule new_mag	19.154	0.963	0.928	0.876	-0.115	0.013	0.099	0.033	0.001	0.942
Plantule_old_nov	15.281	0.861	0.741	5.713	0.293	0.086	4.314	-0.219	0.048	0.874
Plantule_new_nov	16.649	0.898	0.807	2.288	0.185	0.034	0.573	-0.08	0.006	0.848
mortalità_new	10.418	0.711	0.505	7.481	0.335	0.112	6.231	0.263	0.069	0.686
mortalità_old	10.171	0.702	0.493	19.414	-0.54	0.291	0.791	0.094	0.009	0.793
ghiande gemin	0.032	0.04	0.002	11.963	0.424	0.18	62.294	0.832	0.692	0.873

Tabella 47 Correlazioni e contributo delle variabili con ciascun fattore nelle tre dimensioni.

Risulta che al primo fattore contribuiscono tutte le variabili, salvo il diametro delle querce e la percentuale di ghiande germinate che non sono correlati con esso. Si tratta quindi d'un fattore principalmente correlato con l'abbondanza di plantule e conseguentemente anche di ghiande. Al secondo fattore contribuiscono il diametro delle querce e la percentuale di ghiande germinate, in opposizione col numero di ghiande e la mortalità delle vecchie plantule della coorte 2028. Infine, al terzo contribuiscono soprattutto la percentuale di ghiande germinate, in opposizione al

diametro delle querce: si tratta d'un asse rappresentativo della percentuale di ghiande germinate.

Dai cerchi delle correlazioni corrispondenti (Tabella 48), relativamente ai piani generati dai fattori 1/2 e 2/3 (Figura 105), si può desumere che, a parte la dimensione delle querce e la percentuale di ghiande germinate, tutte le variabili sono correlate con il primo fattore (orizzontale), mentre sul secondo si osserva l'opposizione fra numero di ghiande e mortalità delle vecchie plantule con il diametro della quercia e le plantule vecchie nel mese di maggio. Infine sul terzo asse l'opposizione fra le ghiande germinate e il diametro delle querce.

	diam	ghiand	plant_o_m	plant_n_m	plant_o_n	Plant_n_n	mor_n	mor_o	germi
diam_quercia	1	-0.263	0.008	-0.202	0.028	-0.029	-0.061	-0.324	-0.027
ghiande	-0.263	1	0.438	0.755	0.419	0.519	0.361	0.78	-0.2
plantule_old_mag	0.008	0.438	1	0.779	0.97	0.842	0.733	0.417	0.064
plantule_new_magg	-0.202	0.755	0.779	1	0.733	0.89	0.648	0.752	0.032
plantule_old_nov	0.028	0.419	0.97	0.733	1	0.837	0.55	0.407	-0.03
plantule_new_nov	-0.029	0.519	0.842	0.89	0.837	1	0.554	0.481	0.074
mortalità_new	-0.061	0.361	0.733	0.648	0.55	0.554	1	0.277	0.256
mortalità_old	-0.324	0.78	0.417	0.752	0.407	0.481	0.277	1	-0.027
germinate	-0.027	-0.2	0.064	0.032	-0.03	0.074	0.256	-0.027	1

Tabella 48 Analisi delle componenti principali, correlazioni fra le variabili.

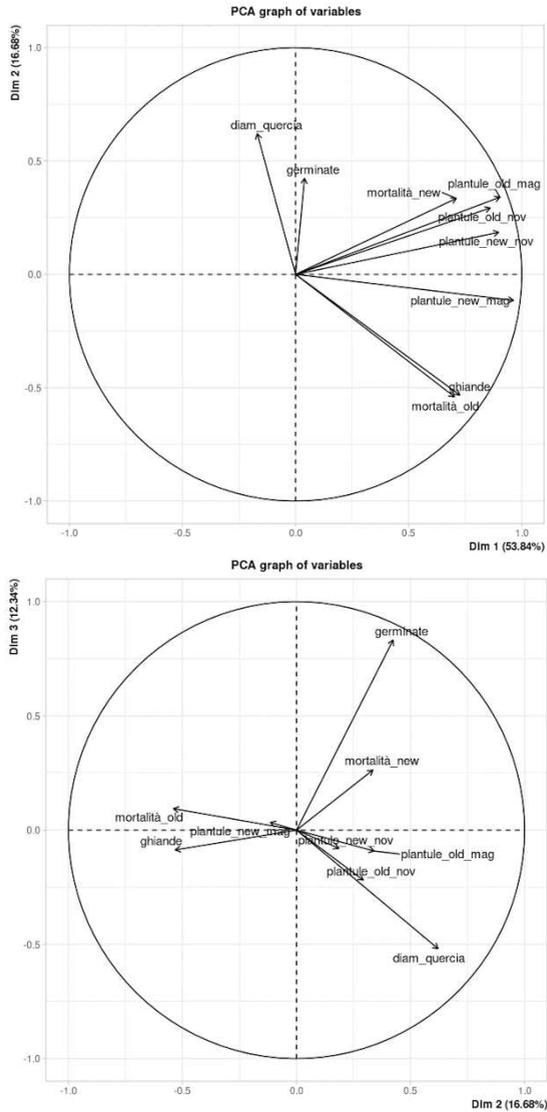


Figura 105 Risultati dell'Analisi delle componenti principali sulla rinnovazione delle ghiande. A sinistra il cerchio delle correlazioni sul piano generato dai fattori 1 e 2; a destra quello sul piano 2 e 3.

Se si considerano i diciotto transetti monitorati, in Tabella 49 si possono vedere la posizione nello spazio fattoriale, il contributo, la coordinata e la qualità della rappresentazione per i primi tre assi, nonché la qualità di rappresentazione complessiva nello spazio da essi generato.

	Dim.1				Dim.2			Dim.3			Qual. Cum
	Dist.	Contr	Coord	Qual.	Contr	Coord	Qual.	Contr	Coord	Qual.	
1	3.685	2.595	1.504	0.167	35.298	-3.088	0.702	3.855	0.878	0.017	0.886
2	2.488	0.554	0.695	0.078	0.036	-0.098	0.002	2.925	0.765	0.041	0.121
3	1.407	0.438	-0.618	0.193	0.211	0.239	0.029	1.394	-0.528	0.207	0.429
4	1.898	3.651	-1.785	0.884	0	-0.01	0	0.597	-0.345	0	0.885
5	2.538	0.302	0.513	0.041	13.141	-1.884	0.551	0.444	-0.298	0.367	0.959
6	4.231	0.757	-0.812	0.037	10.256	1.665	0.155	69.517	3.728	0.019	0.21
7	2.034	3.426	-1.729	0.722	1.555	0.648	0.102	0.247	0.222	0.091	0.915
8	1.976	2.542	-1.489	0.568	1.528	-0.642	0.106	0.014	-0.053	0.291	0.964
9	1.706	2.108	-1.356	0.632	0.709	-0.438	0.066	2.572	-0.717	0.03	0.727
10	1.849	2.998	-1.617	0.765	0.069	-0.137	0.005	0.347	-0.263	0.165	0.935
11	2.561	0.538	0.685	0.072	8.592	1.524	0.354	4.282	-0.925	0.163	0.589
12	5.842	37.554	5.723	0.96	0.025	-0.083	0	0.381	0.276	0.022	0.982
13	2.528	3.198	-1.67	0.437	2.62	-0.841	0.111	0.525	0.324	0.375	0.922
14	1.936	0.24	-0.457	0.056	5.157	-1.18	0.372	1.346	-0.519	0.002	0.43
15	1.999	4.058	-1.881	0.885	0.285	0.278	0.019	0.144	-0.169	0.003	0.908
16	1.995	0.126	-0.332	0.028	8.454	1.511	0.574	1.398	-0.529	0	0.602
17	2.535	0.789	-0.83	0.107	7.303	1.405	0.307	8.572	-1.309	0.228	0.642
18	5.717	34.126	5.456	0.911	4.76	1.134	0.039	1.441	-0.537	0.007	0.957

Tabella 49 Correlazioni e contributo dei diciotto transetti con ciascun fattore nelle tre dimensioni.

Si può osservare che al primo asse contribuiscono essenzialmente le querce 12 e 18, al secondo le 1, 5 e 6, mentre al terzo soprattutto la 6. La qualità complessiva della loro

rappresentazione varia da discreta e buona, salvo che per la 2 e 16 che sono complessivamente mal rappresentate. Questo sta ad indicare che le loro caratteristiche sono diverse da tutte le altre.

In Figura 106 le querce sono rappresentate sui piani fattoriali 1/2 e 2/3 nonché la presenza/assenza di fauna. Si notano chiaramente la posizione fortemente anomala delle querce 12 e 18 rispetto alle altre sul primo fattore, della 1 sul secondo fattore e della 6 sul terzo. Per quanto riguarda la fauna, le posizioni su ciascun asse di presenza e assenza non risultano statisticamente significative, ma probabilmente lo sono complessivamente quelle sul piano 2/3.

In Tabella 50 sono riportati i risultati della fauna. Anche se la qualità della rappresentazione complessiva è buona, tuttavia i valori test risultano minori di 2, la soglia sotto la quale la coordinata non è considerata significativa.

	Dim.1			Dim.2			Dim.3				
Fau	Dist	Coord	Qual	V-test	Coord	Qual	V-test	Coord	Qual	V-test	QualCum
si	0.872	-0.564	0.418	-1.057	-0.401	0.212	-1.35	0.406	0.217	1.587	0.847
no	0.872	0.564	0.418	1.057	0.401	0.212	1.35	-0.406	0.217	-1.587	0.847

Tabella 50 Correlazioni della variabile fauna (si/no) con i fattori nella tre dimensioni.

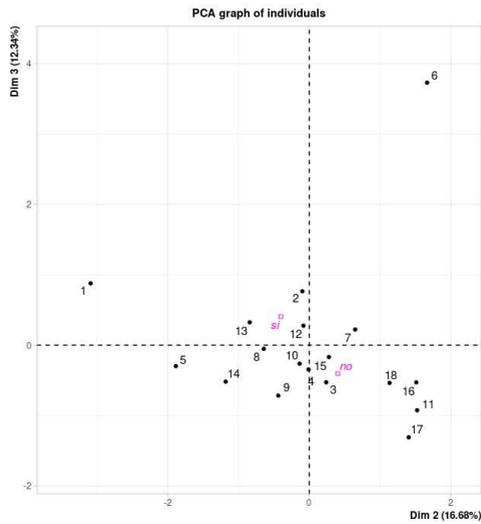
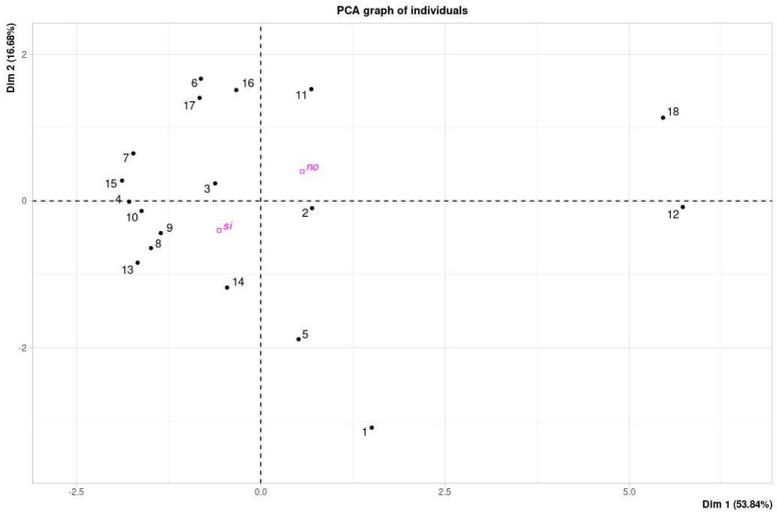


Figura 106 Risultati dell'Analisi delle componenti principali sulla rinnovazione del 2020 tra i vari transetti. Le querce son rappresentate sul piano generato dai fattori 1 e 2 (in alto) e 2 e 3 (in basso). In rosso la presenza/assenza di fauna.

Infine, in Tabella 51 sono riportate le correlazioni, relative solo all'anno 2020 nel quale erano disponibili tutti i dati di ghiande, plantule, LAI, PAR e NDVI. Considerando che le osservazioni sono 217, la soglia di significatività per la correlazione a livello 5% corrisponde a 0.134.

	Ghian	Pla_ap	Plant	LAI_w.	PAR_w.	LAI_s.	PAR_s.	NDVI	NDVI_min	NDVI_max
Ghiande_ap	1	0.404	0.611	-0.155	-0.215	0.078	-0.038	0.067	0.032	-0.121
Plantule_ap	0.404	1	0.717	-0.32	0.016	-0.327	0.406	0.111	0.01	-0.343
Plantule	0.611	0.717	1	-0.132	0.013	-0.077	0.092	0.229	0.117	-0.316
LAI_win	-0.155	-0.32	-0.132	1	-0.205	0.183	-0.304	0.239	0.331	0.292
PAR_win	-0.215	0.016	0.013	-0.205	1	0.006	-0.013	0.106	0.103	0.051
LAI_sum	0.078	-0.327	-0.077	0.183	0.006	1	-0.631	-0.251	-0.252	-0.068
PAR_sum	-0.038	0.406	0.092	-0.304	-0.013	-0.631	1	0.047	0.117	0.003
NDVI_anno	0.067	0.111	0.229	0.239	0.106	-0.251	0.047	1	0.908	0.362
NDVI_min	0.032	0.01	0.117	0.331	0.103	-0.252	0.117	0.908	1	0.41
NDVI_max	-0.121	-0.343	-0.316	0.292	0.051	-0.068	0.003	0.362	0.41	1

Tabella 51 Correlazioni tra le variabili analizzate.

Si osserva in particolare come il numero di plantule dell'anno precedente sia maggiormente correlato al numero di plantule dell'anno in corso e alla PAR; il numero di plantule dell'anno sia prevedibilmente correlato alla produzione di ghianda, alle plantule dell'anno precedente e all'indice NDVI massimo; il LAI e PAR (invernali e gli estivi) siano reciprocamente collegati, l'indice NDVI medio sia maggiormente correlato con l'NDVI minimo, rispetto al massimo, segno di una media più spostata verso i valori più bassi.

5.4 La rinnovazione affermata: il censimento del 2020

Di seguito sono riportati i dati sul censimento della rinnovazione *affermata* nel 2020 in sei transetti con un'estensione di 200 m², suddivisi in otto superfici (*plot*) (Tabella 52). I sei transetti si sviluppano tre all'esterno (ID 2, 4, 9) e tre all'interno (ID 10, 13, 17) della recinzione. All'interno di ogni superficie è stata quantificata la rinnovazione forestale con un'altezza minima di 20 cm, misurando quindi la lunghezza del fusto e il diametro al colletto, nonché stimando il numero di cicatrici da ricacci stagionali per valutare la classe d'età della plantula. I dati raccolti sono riportati in **Allegato 3**³²⁸. La rinnovazione censita è stata distinta in quattro classi d'altezza (25-30 cm; 30-50 cm; 50-70 cm; > 70 cm). È stato quindi indicato il numero di plantule per ogni classe d'altezza in ogni superficie e il totale per transetto (Figura 108), nonché il numero complessivo di plantule in ogni superficie (Figura 107). Determinando infine il numero medio di plantule per m² (Figura 109), quindi stimando il valore medio ad ettaro e per l'intera area recintata di Campo di Rota (Tabella 53, Figura 110).

³²⁸ Allegati, n. 3, pag. 388.

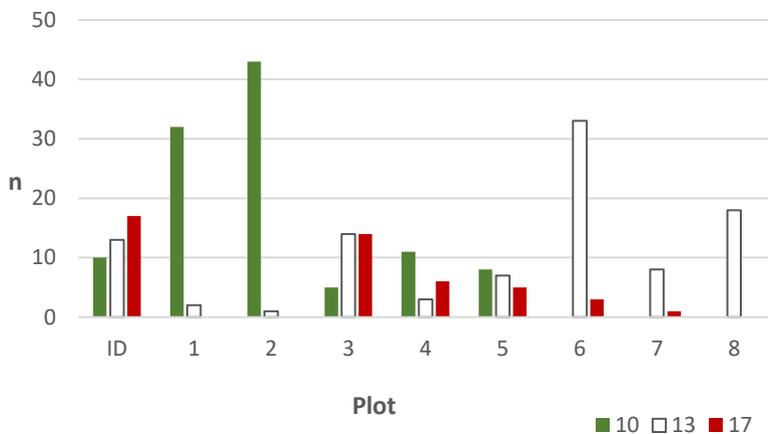


Figura 107 Densità di rinnovazione affermata (n) nelle otto superfici dei tre transetti interni alla recinzione.

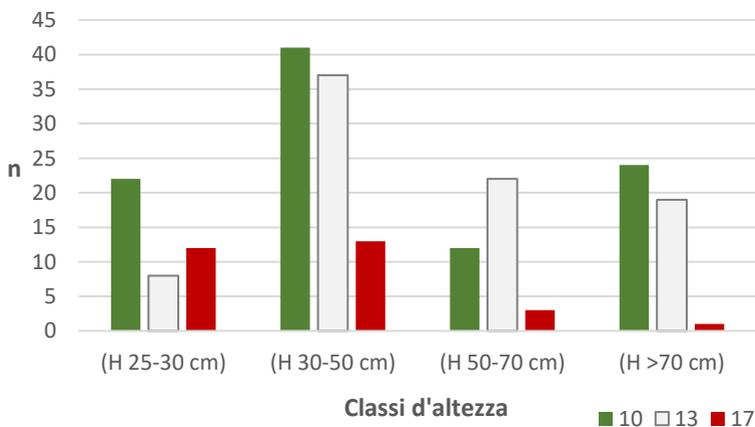


Figura 108 Densità di rinnovazione (n) per ogni classe d'altezza nei tre transetti interni alla recinzione (10, 13, 17).

ID	PLOT	H 25-30	H 30-50	H 50-70	H >70	Tot	n/m ²
2	1-8	2	0	0	0	2	0.01
	Tot/trans	2	0	0	0	2	
4	1-8	0	0	0	0	0	0
	Tot/trans	0	0	0	0	0	
9	1-8	0	0	0	0	0	0
	Tot/trans	0	0	0	0	0	
10	1	9	12	7	4	32	0.792
	2	3	17	5	18	43	
	3	3	2	0	0	5	
	4	2	8	0	1	11	
	5	5	2	0	1	8	
	6	NA	NA	NA	NA	NA	
	7	NA	NA	NA	NA	NA	
	8	NA	NA	NA	NA	NA	
	Tot/trans	22	41	12	24	99	
13	1	0	2	0	0	2	0.43
	2	0	1	0	0	1	
	3	2	7	4	1	14	
	4	1	1	0	1	3	
	5	2	3	2	0	7	
	6	1	21	10	1	33	
	7	2	2	2	2	8	
	8	0	0	4	14	18	
	Tot/trans	8	37	22	19	86	
17	1	0	0	0	0	0	0.145
	2	0	0	0	0	0	
	3	7	5	2	0	14	
	4	2	4	0	0	6	
	5	3	2	0	0	5	
	6	0	2	1	0	3	
	7	0	0	0	1	1	
	8	0	0	0	0	0	
	Tot/trans	12	13	3	1	29	

Tabella 52 Numero totale di plantule in ogni superficie rilevata e distinto in quattro classi d'altezza (H), numero complessivo numero medio al metro quadrato per transetto.

	H 25-30 cm	H 30-50 cm	H 50-70 cm	H >70 cm	TOT
Transetto 10 n/m²	0.176	0.328	0.096	0.192	0.792
Transetto 13 n/m²	0.04	0.185	0.11	0.095	0.43
Transetto 17 n/m²	0.06	0.065	0.015	0.005	0.145
Media (10-13-17)	0.092	0.193	0.074	0.097	0.456
Dev. Stand.	0.073	0.132	0.051	0.094	0.324
Media/ha	920.0	1926.7	736.7	973.3	4556.7
%/ha	20.19	42.28	16.17	21.36	100
Totale Medio area recintata (12 ha)	11040	23120	8840	11680	54680

Tabella 53 Numero medio di plantule per metro quadrato nei tre transetti interni alla recinzione, quindi media per ettaro (ha) e stima del valore medio complessivo per l'area recintata.

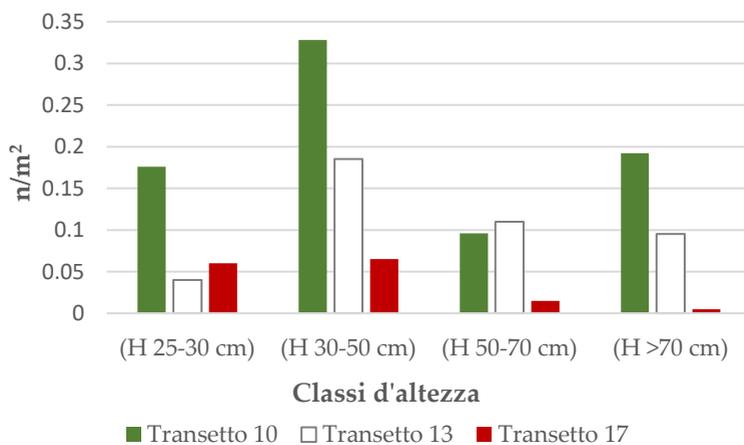


Figura 109 Numero medio di plantule per metro quadrato nelle quattro classi d'altezza per i tre transetti interni alla recinzione.

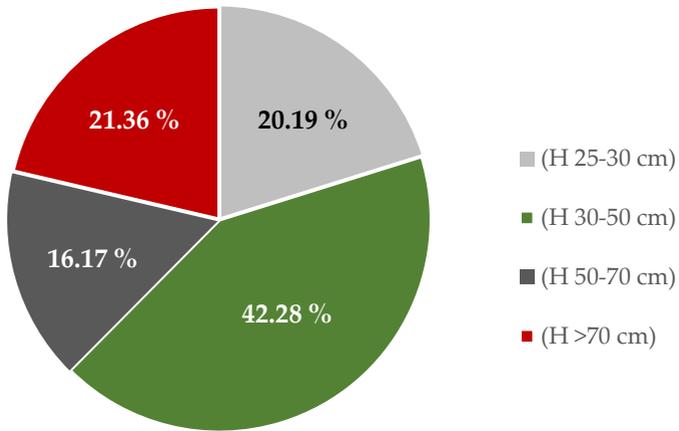
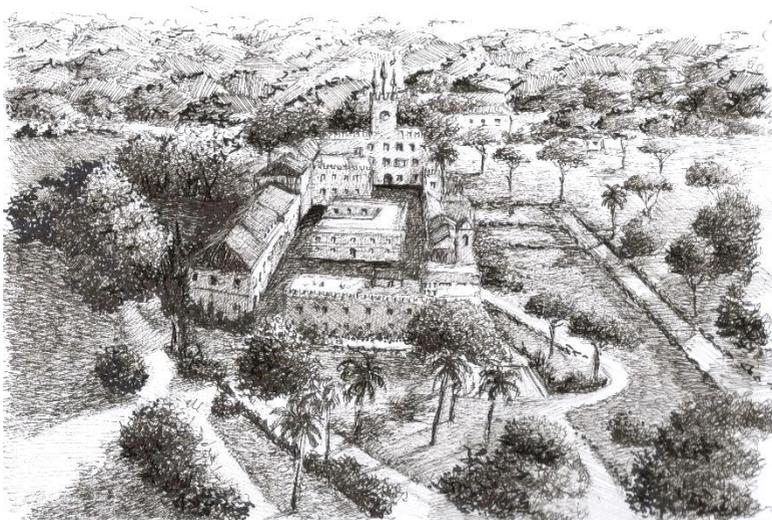


Figura 110 Percentuale per ettaro di plantule presenti all'interno della recinzione nelle quattro classi d'altezza

Dall'osservazione dei dati raccolti emerge come all'esterno della recinzione la rinnovazione dopo i primi anni tende a scomparire del tutto. All'interno dell'area recintata, invece, la rinnovazione è presente anche al di fuori dell'area d'insidenza delle chiome. In particolare, nell'area a nord, sottoposta ad un diradamento del 70% si stimano 0.8 plantule al metro quadrato, in quella diradata al 90% circa 0.14 e in quella non diradata 0.43 plantule al metro quadrato. Nel complesso prevale per il 42.3 % la classe di altezza tra i 30 e i 50 cm, con i media 1927 plantule ad ettaro, mentre in totale si stimano 4557 plantule ad ettaro. Dunque, all'interno dell'area recintata di circa 12 ettari si stimano circa 54680 plantule.



VI CONCLUSIONI E PROSPETTIVE A SCALA PAESAGGISTICA

6.1 Il deperimento del querceto di caducifoglie

Nell'ultimo capitolo viene esteso lo studio della rinnovazione naturale dall'area oggetto di monitoraggio alla scala dell'intero querceto di Castelporziano. Inoltre, si affronta il tema del deperimento forestale e si integrano, per confronto, le informazioni ottenute dai dati storici inerenti ai fenomeni di rinnovazione del querceto. Infine, dopo la discussione dei risultati ottenuti, si delineano le prospettive evolutive in termini di paesaggio forestale e si forniscono alcune indicazioni gestionali e selvicolturali tali da favorire la conservazione di questi importanti ecosistemi forestali, ancora resilienti.

Il deperimento dei querceti fu descritto per la prima volta in Germania nel 1739 e poi in Ungheria nel 1877. In seguito, questo fenomeno non fu particolarmente segnalato fino alla fine del Novecento, quando a partire dagli Anni '80 iniziò ad essere descritto nel sud dell'Europa³²⁹, ma anche in Giappone e Nord America. In Spagna è noto sin dagli Anni Novanta come "*la seca*", mentre in Italia fu rilevato dapprima nelle foreste del nord-est, soprattutto a carico della specie *Quercus robur*, e successivamente anche nelle regioni meridionali della penisola interessando in particolare i querceti misti di *Q. cerris*, *Q. frainetto* e *Q. pubescens*. Questo processo è lento, prolungato nel tempo e provoca la perdita di vigore vegetativo della pianta fino a causarne la morte.

Fenologicamente si manifesta inizialmente con una perdita più o meno accentuata di fogliame, quindi con la

³²⁹ FAO, 1994.

presenza di intere branche morte, di germogli epicormici, una conformazione della chioma anomala, la presenza di necrosi, di eventuali patogeni e una crescita rallentata. In letteratura si parla di deperimento quando si ha almeno il 20% di defoliazione nella chioma³³⁰. Dal punto di vista dendrologico queste piante presentano una minore ampiezza degli anelli, dovuta all'assenza o presenza ridotta di legno tardivo³³¹.

È riconducibile a molteplici fattori, in particolare al crollo della conduttività idraulica dello xilema e ad una carenza di carbonio. Le piante in stress idrico, infatti, per ridurre le perdite di acqua per evapotraspirazione chiudono totalmente o parzialmente gli stomi, limitando contestualmente l'assorbimento di carbonio. Inoltre, gli individui in stress vegetativo presentando branche secche e quindi una superficie fogliare fotosintetizzante inferiore, sono in grado di fissare un quantitativo minore di carbonio. Alcune ricerche denotano come uno stress da siccità acuto o prolungato nel tempo costituisca la principale causa di deperimento, spesso collegato alle condizioni locali del suolo che inibiscono la crescita delle radici e l'accesso alle risorse idriche sotterranee. Nell'area mediterranea è stato anche dimostrato l'effetto negativo provocato da stagioni primaverili più calde su *Q. frainetto*. Fattori secondari sono quelli di tipo biotico, come insetti e patogeni, ovvero organismi generalmente opportunisti che si diffondono conseguentemente alla perdita di vigore vegetativo degli alberi.

³³⁰ Romagnoli M. et al., 2018.

³³¹ Gentilesca, T. et al., 2017.

Tra le moderne tecniche di monitoraggio, il telerilevamento consente di ottenere frequentemente informazioni su larga scala. Le condizioni di salute d'una foresta possono essere quantificate con l'utilizzo di indici vegetazionali e di immagini multispettrali. A Castelporziano è stato determinato l'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) utilizzando le immagini del Sentinel-2, satellite dell'Agenzia Spaziale Europea, che fornisce dal 2015 immagini multispettrali, ogni cinque giorni, con una risoluzione di 10 metri. Questo è possibile, giacché il vigore vegetativo di una foresta è correlato alla concentrazione di clorofilla, quando ricade nello spettro della radiazione del rosso (630–690 nm).

Per studiare le condizioni di vigore vegetativo d'una specie è necessario separare la copertura forestale specifica dalle altre specie vegetali, arboree e arbustive.

Le foreste di caducifoglie a Castelporziano presentano un'elevata variabilità in termini di composizione specifica e di struttura. La loro classificazione, presente nel SIFTeC (*Sistema Informativo Forestale Tenuta di Castelporziano*), individua 26 *classi colturali* a seconda della forma selvicolturale del bosco, della specie dominante, della struttura e della consociazione con altre specie. Tra queste classi sono state isolate quelle relative al querceto di caducifoglie, nello specifico 8 classi colturali (Figura 111), e ne è stata calcolata l'estensione complessiva.

Per isolare, dunque, all'interno delle classi colturali del querceto la copertura effettiva delle querce, sono stati messi a sistema da Recanatesi et al. (2018) i dati LiDAR, una serie

diacronica di immagini multispettrali Sentinel-2, i dati del SIFTeC e rilievi di campo.

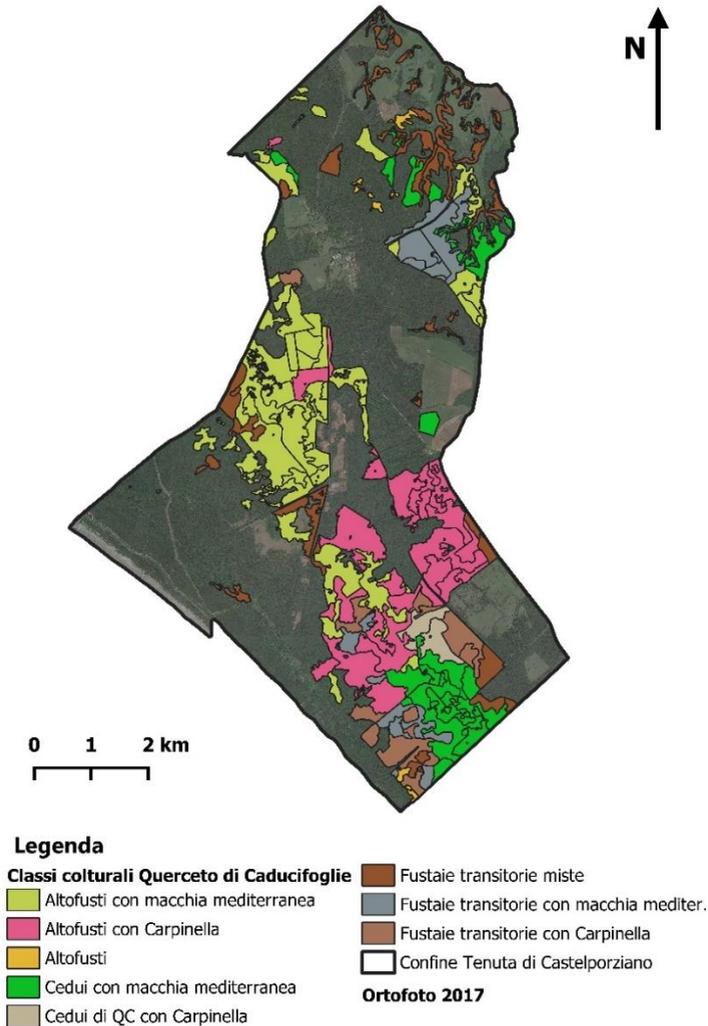


Figura 111 Classi culturali del querceto di caducifoglie.

Classe Colturale	Altezza media (m)		Composizione copertura forestale	
	Piano dom.te	Piano dom.to	Querce decidue	Querce sempreverdi e altre latifoglie
1 <i>Fustaie transitorie di Q.C. con Carpinella</i>	9.0	7.5	Qc; Qc; Qr; Qp	Pl; Qi; Ac; Fo; Cr; Pp
2 <i>Fustaie transitorie di Q.C. con macchia mediterranea</i>	8.5	6.5	Qc; Qf; Qr; Qp	E; Pl; Cr; Co
3 <i>Fustaie transitorie a prevalenza di Q.C. miste</i>	8.5	7.0	Qr; Qf; Qc; Qp	Pp; Pl; Co; Qs; Qi; Qpt; Um
4 <i>Cedui di Q.C. con Carpinella</i>	9.5	6.5	Qf; Qr; Qc	Ca; Um; Cb; Co
5 <i>Cedui di Q.C. con macchia mediterranea</i>	7.5	6.0	Qf; Qc; Qr	Pp; Qs; Qcr; Qi; Pl; E; Ct; E; Cr; Mc
6 <i>Altofusti di Q.C.</i>	11.0	7.5	Qc; Qr;	Um; Co; Fo; Pl
7 <i>Altofusti di Q.C. con Carpinella</i>	9.5	6.0	Qf; Qr; Qc	Qi; Co; Qs; Qcr; Pp; Cb; Um; Fo; Pl
8 <i>Altofusti di Q.C. con macchia mediterranea</i>	11.5	4.5	Qf; Qc; Qpt; Qp	P; Pl; Qs; Co; Qcr; Qi; Ln; Ac

Tabella 54 Dati SIFTeC relative al Querceto di caducifoglie (QC), Altezza del piano dominante e dominato, composizione delle specie forestali: Qp *Quercus pubescens*; Qf *Quercus frainetto*; Qr *Quercus robur*; Qc *Quercus cerris*; Qi *Quercus ilex*; Qcr *Quercus crenata*; Qs *Quercus suber*; Co *Carpinus orientalis*; Pp *Pinus pinea*; Cb *Carpinus betulus*; Um *Ulmus minor*; Fo *Fraxinus oxycarpa*; Pl *Phillyrea latifolia*; Qpt *Quercus petraea*; Ln *Laurus nobilis*; Ac *Acer campestre*; E *Erica spp.*; Cr *Crataegus spp.*; Mc *Myrtus communis*.

Il Sistema Informativo Forestale fornisce numerose informazioni tra cui, per ogni classe colturale, il valore di altezza media (Tabella 54) per lo strato dominante e per quelli dominati (le piante sottoposte e che crescono al di sotto e tra le querce).

Per quanto riguarda i dati LiDAR, è stato utilizzato il modello CHM (*Canopy Height Model*) del Ministero dell'Ambiente³³². Questo modello, uno strato informativo con risoluzione di 1 metro, fornisce l'altezza delle chiome. Si ottiene come differenza tra il modello LiDAR della superficie intercettata per prima (DSM, *Digital Surface Model*), cioè gli apici delle chiome se il rilievo laser avviene al di sopra di una foresta, e il modello LiDAR della quota del terreno (DTM, *Digital Terrain Model*). Il CHM è stato poi messo a sistema con le informazioni d'altezza media fornite dal SIFTeC: ciò ha permesso di dividere le superfici del piano dominante da quello sottoposto. Il risultato fornisce la distribuzione sul territorio del piano dominante della foresta, includendo sia i querceti di caducifoglie che le formazioni sempreverdi (querceti o pinete).

Per isolare le querce di caducifoglie, utilizzando le immagini multispettrali del Sentinel-2, è stato confrontato il valore di NDVI estivo con quello invernale (periodo in cui le piante decidue perdono le foglie e presentano un contenuto di clorofilla nettamente diverso da quello delle specie sempreverdi). Infine, lo strato informativo ottenuto, che individua la "*canopy*", ovvero la copertura delle chiome delle querce caducifoglie, è stato convalidato con rilievi in campo

³³² Recanatesi et al., 2018.

e la fotointerpretazione d'immagini aeree, presentando un coefficiente di accuratezza (KIA, *Kappa Index of Agreement*)³³³ superiore a 0.87. Questo strumento consente di superare il fattore limitante che le aree mediterranee, con la loro elevata eterogeneità nella copertura e quindi nelle specie, pongono nell'utilizzo di sistemi di telerilevamento. L'indice NDVI, per i querceti di caducifoglie a Castelporziano, dal 2015 ha visto una graduale riduzione passando da 0.9 a luglio 2015, 0.87 a luglio 2016, fino a 0.85 a luglio 2017³³⁴.

Nello studio del processo di rinnovazione naturale del querceto di caducifoglie, quindi di produzione del seme e successivamente delle plantule, è rilevante determinare il vigore vegetativo delle piante che costituiscono la copertura effettiva, la classe colturale in cui si inseriscono e quindi la densità di queste ultime all'interno del soprassuolo forestale³³⁵.

A tal fine sono state individuate delle aree di saggio virtuali per conoscere la densità per ettaro delle querce caducifoglie in ognuna delle otto classi colturali presenti. Fissato come rappresentativo di ogni classe il 5% della superficie, è stato calcolato il numero di aree di saggio, con estensione di 1 ettaro ciascuna, tale da raggiungere il 5% dell'estensione di ognuna di esse: risultano quindi in totale 110 aree (Tabella 55).

³³³ Nella teoria degli errori, l'accuratezza è il grado di corrispondenza del dato teorico, desumibile da una serie di valori misurati (campione di dati), con il dato reale o di riferimento. Card, 1982; Congalton, 1991.

³³⁴ Recanatesi et al., 2018.

³³⁵ Recanatesi, F., Giuliani, C., Piccinno, M., Cucca, B., Rossi, C. M., & Ripa, M. N. (2020).

	Classe Colturale	Area (ha)	5% Area (ha)	Aree di Saggio Virtuali (n°)
1	<i>Fustaie transitorie di querce caducifoglie con Carpinella</i>	155.77	7.79	8
2	<i>Fustaie transitorie di querce caducifoglie con macchia mediterranea</i>	181.06	9.05	9
3	<i>Fustaie transitorie a prevalenza di querce caducifoglie, miste</i>	294.17	14.71	15
4	<i>Cedui di querce caducifoglie con Carpinella</i>	52.95	2.65	3
5	<i>Cedui di querce caducifoglie con macchia mediterranea</i>	287.58	14.38	14
6	<i>Altofusti di querce caducifoglie</i>	20.21	1.01	2
7	<i>Altofusti di querce caducifoglie con Carpinella</i>	512.01	25.60	26
8	<i>Altofusti di querce caducifoglie con macchia mediterranea</i>	663.98	33.20	33

Tabella 55 Estensione di ogni classe colturale e corrispondente numero di aree di saggio virtuali. Campo di Rota rientra nella classe 8.

La distribuzione spaziale delle aree di saggio in ogni classe è stata fissata sovrapponendo al territorio della Riserva un reticolo con maglia quadrata e celle da 1 ettaro. Procedendo da Nord a Sud con un campionamento casuale guidato sono state collocate le 110 aree (Figura 112).

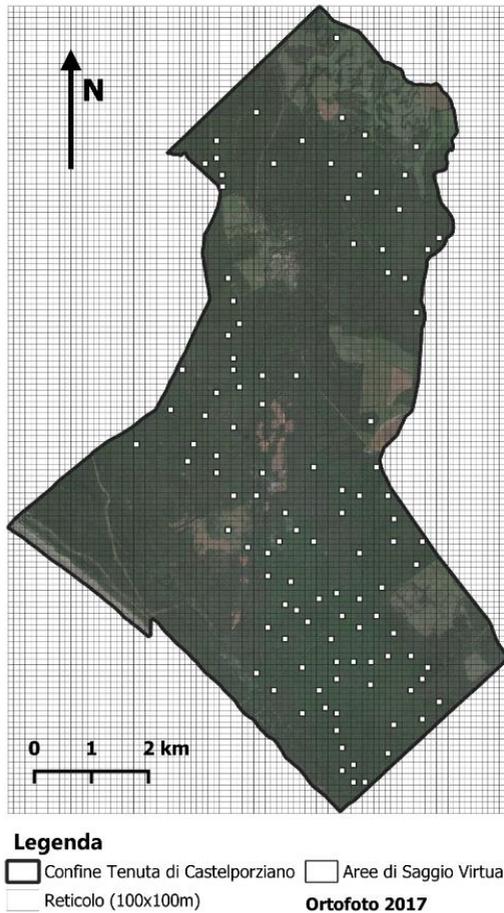


Figura 112 Distribuzione delle 110 aree di saggio virtuali.

Per determinare la densità di querce caducifoglie in ogni area di saggio, è stato sovrapposto lo strato informativo della “maschera” realizzato nel progetto per determinare l’indice NDVI (Figura 113). In questo modo è stata calcolata la superficie per ettaro che presenta una copertura

riconducibile al querceto di caducifoglie e i valori sono stati riportati in metri quadrati e percentuale per ettaro per ogni area di saggio (**Allegato 4**³³⁶) e come valore medio per ognuna delle otto classi culturali (Tabella 56).

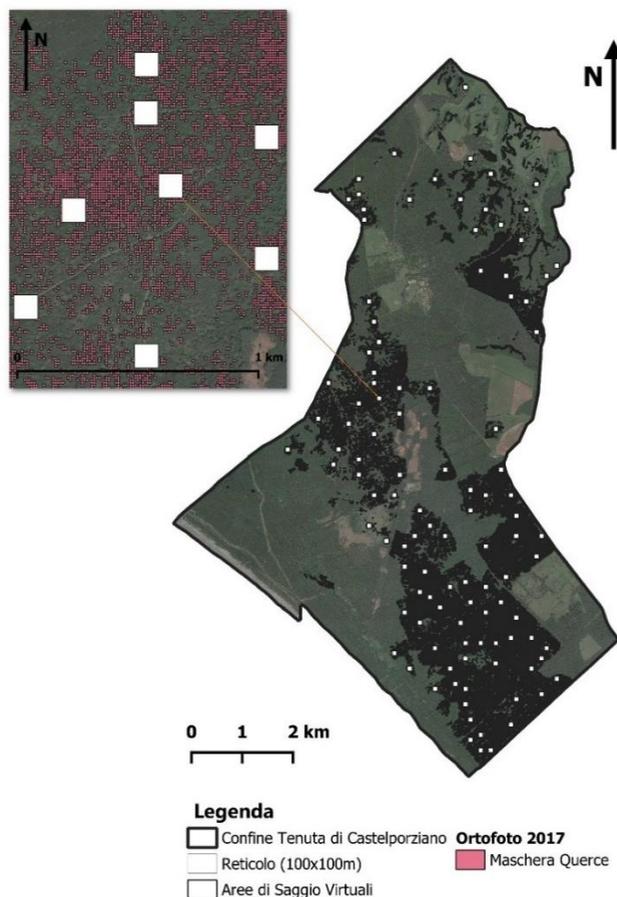


Figura 113 Individuazione della copertura di querce caducifoglie in ogni area di saggio per mezzo dello strato informativo relativo alle chiome.

³³⁶ Allegati, n. 4, pag. 394.

	Classe Colturale	Codice SIFTeC	Cop. Q.C. (m²/ha)	Cop. Q.C. (%/ha)
1	<i>Fustaie transitorie di querce caducifoglie con Carpinella</i>	21	6745.63	67.46
2	<i>Fustaie transitorie di querce caducifoglie con macchia mediterranea</i>	22	6932.44	69.32
3	<i>Fustaie transitorie a prevalenza di querce caducifoglie, miste</i>	24	3510.67	35.11
4	<i>Cedui di querce caducifoglie con Carpinella</i>	31	5477.33	54.77
5	<i>Cedui di querce caducifoglie con macchia mediterranea</i>	32	3010.00	30.10
6	<i>Altofusti di querce caducifoglie</i>	41	2451.50	24.52
7	<i>Altofusti di querce caducifoglie con Carpinella</i>	42	4915.27	49.15
8	<i>Altofusti di querce caducifoglie con macchia mediterranea</i>	43	3513.33	35.13

Tabella 56 Copertura di querce caducifoglie per ognuna delle otto classi colturali.

Il querceto in cui si inserisce la rete di monitoraggio permanente implementata nel 2018 ricade all'interno della classe "Altofusti di querce caducifoglie con macchia mediterranea". Questa classe presenta un'estensione di 663.98 ettari e una copertura di querce caducifoglie stimata del 35.13% ad ettaro, ovvero 3513.33 m²/ha. Nel complesso la copertura da querce caducifoglie nell'intera classe è quindi di 233.27 ettari. Nel 2020 il monitoraggio condotto ha quantificato una media di 82.67 ghiande al m² (Dev. stand. 47.4) disseminate tra settembre 2019 e gennaio 2020, pur con un'elevata varianza di produzione tra gli individui.

A questi valori di disseminazione, corrisponde nella primavera 2020 un numero medio di 5.63 plantule/m² in presenza in fauna e di 11.85 in sua assenza, valori riferiti all'area d'insidenza delle chiome e indicativi della percentuale di ghiande germinate: il 6.98% all'esterno e il 13.96 all'interno della recinzione.

Dunque, per l'intero querceto della classe "*Altofusti di querce caducifoglie con macchia mediterranea*" per l'autunno-inverno 2019-2020 si potrebbero stimare circa 192 milioni (192'850'987) di ghiande disseminate, ovvero 290.447 per ogni ettaro di querceto. Considerato un tasso di attecchimento del 6.98%, la rinnovazione primaverile è stimabile in circa 13 milioni di semenzali, cioè una densità di 19.780 ad ettaro.

Dall'osservazione dei dati raccolti emerge come all'esterno della recinzione la rinnovazione dopo i primi due-tre anni tende a scomparire del tutto. All'interno dell'area recintata, invece, la rinnovazione è presente anche al di fuori dell'area d'insidenza delle chiome, con in media 4557 plantule ad ettaro. In tutto il querceto dopo i primi anni, potenzialmente ci sarebbero dovute essere 2 milioni e 960 mila giovani piante.

6.2 I dati storici sulla rinnovazione del querceto

Già a partire dagli Anni Novanta nella Riserva di Castelporziano sono state svolte ricerche relative ai processi di rinnovazione della foresta. Di seguito sono stati raccolti, digitalizzati e analizzati i dati relativi all' area di Campo di Rota. Tra il 1990 e 1992 fu condotto un primo monitoraggio della rinnovazione naturale del querceto³³⁷. Il progetto era articolato in dieci transetti recintati, per impedire l'ingresso della fauna selvatica, e dieci superfici analoghe al di sotto della chioma ma prive di recinzione. I rilievi sono stati condotti su una fascia di 40 cm lunga 8 metri per un totale di 3.2 m² (Tabella 57).

ID	SPECIE	DIAMETRO (h 1,30 m)	1990 n/m ²	1991 n/m ²
1	<i>Q. frainetto</i> ; <i>Q. robur</i>	64; 51	0	102.6
2	<i>Q. cerris</i>	95	0	0
3	<i>Q. cerris</i>	83	2	4
4	<i>Q. cerris</i>	73	1	32
5	<i>Q. frainetto</i> ; <i>Q. frainetto</i>	100; 64	0	243
6	<i>Q. cerris</i>	64	0	4
7	<i>Q. frainetto</i> ; <i>Q. robur</i>	98; 150	0.5	126
8	<i>Q. cerris</i>	92	0	53
9	<i>Q. cerris</i> , <i>Q. frainetto</i>	51; 64	12	148
10	<i>Q. frainetto</i>	67	5	91

Tabella 57 Querce oggetto di monitoraggio, specie, diametro e numero di semi prodotti per m² nel 1990 e 1991.

³³⁷ Perrella P., 1992.

Per quanto riguarda la produzione di semi, emerse una produzione scarsa nel 1990 in tutta l'area, riconducibile a fattori intraspecifici delle querce, mentre per i due anni successivi la produzione risultò molto diversificata, quindi legata a fattori individuali di ogni pianta.

In Tabella 58 e in Tabella 59 è riportato il numero medio di plantule per metro quadro rispettivamente per le coorti del 1989, 1990 e 1991 durante i rilievi estivi svolti tra il 1990 e il 1992. Per coorte è da intendersi l'insieme delle plantule germinate durante lo stesso anno. È emersa una discreta capacità di affermazione per la coorte del 1989 e in generale un elevato tasso di mortalità dopo il secondo anno, nonché la quantità notevolmente inferiore di ghiande che germinano all'esterno della recinzione in presenza di fauna (Figura 114). Alla scarsa produzione di ghianda del 1990 è dunque corrisposta l'assenza di una coorte di plantule per quell'anno (Tabella 60).

AREA RECINTATA	1990		1991		1992	
	MED.	D.S.	MED.	D.S.	MED.	D.S.
Coorte 1989 n/m²	23.4	14.0	19.0	11.8	11.0	7.88
Coorte 1990 n/m²	NA	NA	0.00	0.00	0.00	0.00
Coorte 1991 n/m²	NA	NA	NA	NA	15.53	27.0
Media/m² totale	23.4	14.0	19.01	11.78	26.5	32.2

Tabella 58 Numero medio di plantule per metro quadrato e deviazione standard relativi alla coorte del 1989, 1990, 1991 durante i rilievi condotti nel 1990, 1991 e 1992 all'interno della recinzione.

AREA NON RECINTATA	1991		1992	
	MED.	D.S.	MED.	D.S.
Coorte 1989 n/m²	2.83	3.98	1.92	2.84
Coorte 1990 n/m²	0	0	0	0
Coorte 1991 n/m²	NA	NA	8.80	15.54
Media/m² totale	2.83	3.98	10.71	15.39

Tabella 59 Numero medio di plantule per metro quadrato e deviazione standard relativi alla coorte del 1989, 1990, 1991 durante i rilievi condotti nel 1990, 1991 e 1992 all'esterno della recinzione.

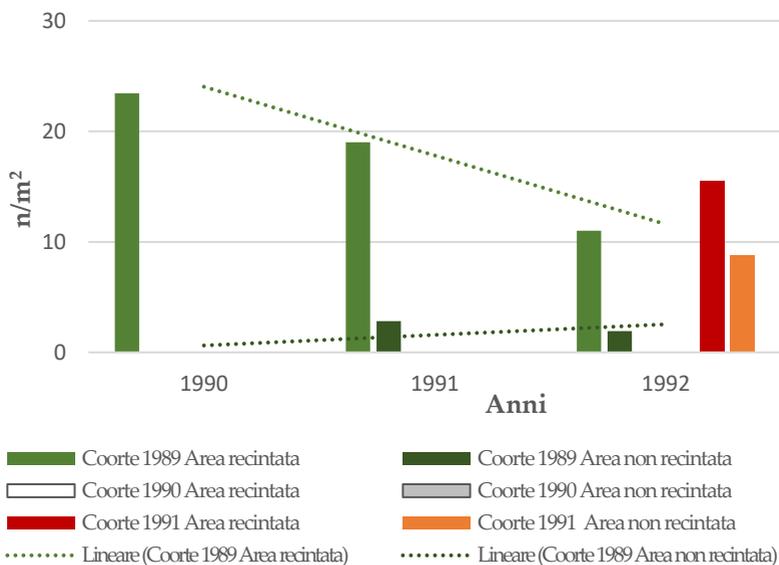


Figura 114 Numero medio di plantule per metro quadrato per le coorti del 1989, 1990, 1991 all'interno e all'esterno della recinzione. La linea di tendenza, ad esempio, della coorte del 1989 mostra un decremento maggiore all'interno della recinzione, riconducibile alla maggiore quantità di plantule germinate.

COORTE n/m ²	ID	AREE RECINTATE			AREE ESTERNE	
		lug-90	apr-91	mag-92	apr-91	mag-92
COORTE 1989	1	26.60	23.00	8.06	2.50	2.50
COORTE 1990	1	NA	0	0.00	0	0
COORTE 1991	1	NA	NA	2.75	NA	17.5
COORTE 1989	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
COORTE 1990	2	NA	0	0.00	0	0
COORTE 1991	2	NA	NA	0.00	NA	0
COORTE 1989	3	42.60	35.10	19.70	13.70	9.60
COORTE 1990	3	NA	0	0.00	0	0
COORTE 1991	3	NA	NA	0.12	NA	2.1
COORTE 1989	4	22.00	11.50	4.00	1.87	1.56
COORTE 1990	4	NA	0	0.00	0	0
COORTE 1991	4	NA	NA	1.00	NA	0.6
COORTE 1989	5	42.70	34.80	25.10	3.10	0.6
COORTE 1990	5	NA	0.00	0.00	0.00	0.00
COORTE 1991	5	NA	NA	84.1	NA	50
COORTE 1989	6	31.3	29.3	17.8	2.5	2.2
COORTE 1990	6	NA	0.00	0.00	0.00	0.00
COORTE 1991	6	NA	NA	1	NA	1
COORTE 1989	7	19	17.7	9.6	0	0
COORTE 1990	7	NA	0.00	0.00	0.00	0.00
COORTE 1991	7	NA	NA	40	NA	0
COORTE 1989	8	9.5	8.5	5.3	1.5	1.2
COORTE 1990	8	NA	0.00	0.00	0.00	0.00
COORTE 1991	8	NA	NA	4	NA	0
COORTE 1989	9	29.7	20.5	13.6	2.5	1.5
COORTE 1990	9	NA	0.00	0.00	0.00	0.00
COORTE 1991	9	NA	NA	15	NA	8
COORTE 1989	10	11	9.7	6.8	0.6	0
COORTE 1990	10	NA	0.00	0.00	NA	0.00
COORTE 1991	10	NA	NA	8	NA	8

Tabella 60 Rinnovazione naturale tra il 1990 e il 1992. Numero medio di piante per m² all'interno e all'esterno della recinzione, per ogni coorte.

Oltre ai dati sul monitoraggio della rinnovazione a Campo di Rota sono stati elaborati quelli relativi alla produzione di ghianda del querceto, raccolti nel periodo 1995-2014 dall'INFS e poi ISPRA³³⁸, in sei aree della Tenuta:

1. Querceto in località *Muraccioli*;
2. Querceto in località *Camilletto*;
3. Querceto in località *Ponte Guidone*;
4. Querceto in località *Stradone Fignano*;
5. Querceto in località *Selciatella verso Tellinaro*;
6. Querceto in località *Selciatella verso Tor Paterno*.

In ogni area erano installati cinque trappole di raccolta delle ghiande, con superficie intercettante di 0.5 m², monitorati in alcuni mesi nel corso dell'anno, in autunno e in inverno. In particolare, si sono analizzati i dati relativi ai due querceti di caducifoglie: il querceto in località *Selciatella verso Tellinaro* e quello in località *Selciatella verso Tor Paterno*. Di quest'ultimo il quinto punto è stato monitorato solo dal 1994 al 2003. I dati sono stati elaborati per ricavarne il valore complessivo di produttività non per anno, bensì per stagione vegetativa, quindi considerando i mesi autunnali di un anno insieme a quelli invernali dell'anno successivo (Tabella 61). Infine, è stato calcolato l'andamento medio per stagione vegetativa tra entrambe le località (Figura 115).

³³⁸ L'INFS (Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica), confluito poi in ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), ha condotto delle campagne di rilievo della produzione di ghianda nei tre maggiori ecosistemi forestali della Tenuta presidenziale di Castelporziano: il querceto di caducifoglie, la lecceta e la pineta. Fonte Banca Dati Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano.

S. V.	Ro 51	C 52	C 53	C 54	Fr 55	C 61	C 62	C 63	C 64	Med/ m ²	D.S.
1995- 1996	0	2	5	8	0	17	75	39	50	43.56	26.83
1996- 1997	0	1	0	0	2	0	2	44	2	11.33	14.40
1997- 1998	3	101	2	0	0	8	4	6	12	30.22	32.44
1998- 1999	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0.89	1.33
1999- 2000	0	1	3	2	0	0	2	5	1	3.11	1.67
2000- 2001	2	0	0	0	4	0	0	1	2	2.00	1.41
2001- 2002	NA	NA	NA	N A	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2002- 2003	0	4	0	0	0	23	0	0	13	8.89	8.19
2003- 2004	NA	NA	NA	N A	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2004- 2005	1	20	31	1	2	19	4	0	10	19.56	11.09
2005- 2006	14	3	5	0	1	2	13	20	1	13.11	7.23
2006- 2007	0	1	0	0	0	2	0	0	7	2.22	2.32
2007- 2008	1	3	5	4	1	2	7	8	23	12.00	6.84
2008- 2009	0	6	0	2	0	119	10	2	189	72.89	68.99
2009- 2010	0	0	1	0	2	0	210	59	0	60.44	70.15
2010- 2011	NA	NA	NA	N A	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2011- 2012	0	12	1	1	0	56	9	0	182	58.00	60.12
2012- 2013	NA	NA	NA	N A	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2013- 2014	0	6	11	0	0	0	10	0	0	6.00	4.69

Tabella 61 Andamento della produzione di ghianda nei siti Selciatella verso Tellinaro e Selciatella verso Tor Paterno (5 e 6). S.V. indica la stagione vegetativa, per le specie: Ro corrispondente a *Quercus robur*, C a *Quercus cerris* e Fr a *Quercus frainetto*. Nell'identificativo numerico la prima cifra denota la località e la seconda la pianta. I valori si riferiscono a 0.5 m², ampiezza della trappola. Med corrisponde alla media complessiva per stagione vegetativa rapportata al metro quadrato, D.S. la deviazione standard del campione.

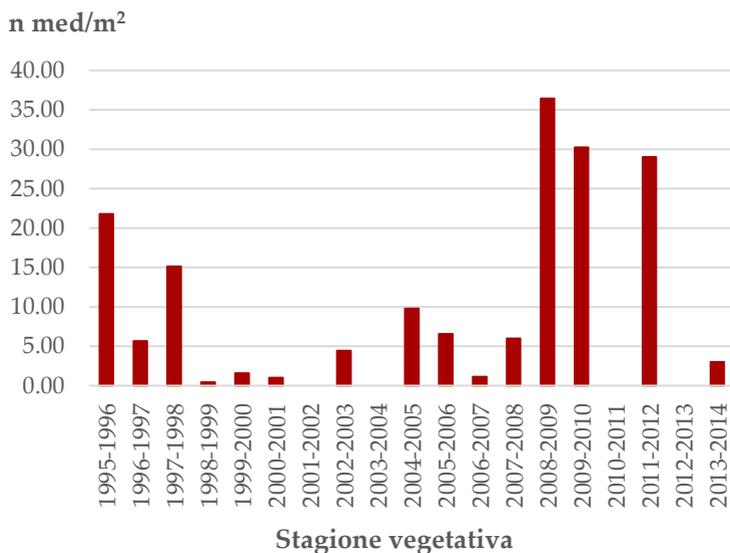


Figura 115 Andamento medio della produzione di ghianda dalla stagione vegetativa 1995-1996 a quella 2013-2014, nei siti Selciatella verso Tellinaro e Selciatella verso Tor Paterno.

Nel 2012 un'area di 12 ettari all'interno del querceto di Campo di Rota è stata recintata: escludendo dunque l'influenza degli ungulati selvatici dai processi rigenerativi della foresta, è stato possibile un monitoraggio più approfondito della rinnovazione naturale. Quest'ultimo è

stato condotto³³⁹, dal 2013 al 2018, su tre aree campione di 25 m² ciascuna, al di sotto della copertura delle chiome, distribuite all'interno delle superfici soggette nel 2013 ad un diverso trattamento selvicolturale, ovvero a tre diverse intensità di diradamento³⁴⁰:

- Area 1: all'interno dei 6 ettari diradati con un'intensità del 70% di prelievo sul piano dominato (Figura 116);
- Area 2: all'interno dei 4 ettari diradati con un'intensità del 90% di prelievo sul piano dominato (Figura 117);
- Area 3: all'interno dei 2 ettari non diradati (Figura 118);



Figura 116 Andamento delle coorti di semenzali dal 2012 al 2017 nell'Area 1, all'interno della superficie di querceto diradata con intensità del 70%.

³³⁹ Recanatesi F., Piccinno M. [...] Ripa M. N., 2020.

³⁴⁰ Vedi Capitolo III, Paragrafo 3.3, pag. 181.

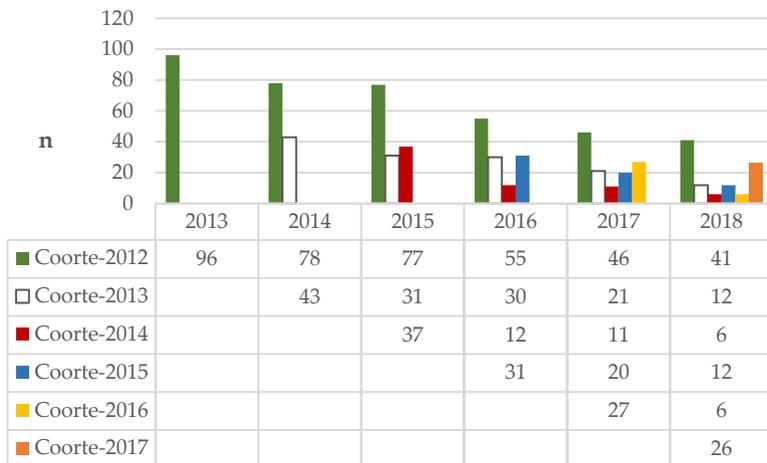


Figura 117 Andamento delle coorti di semenzali dal 2012 al 2017 nell'Area 2, all'interno della superficie di querceto diradata con intensità del 90%.

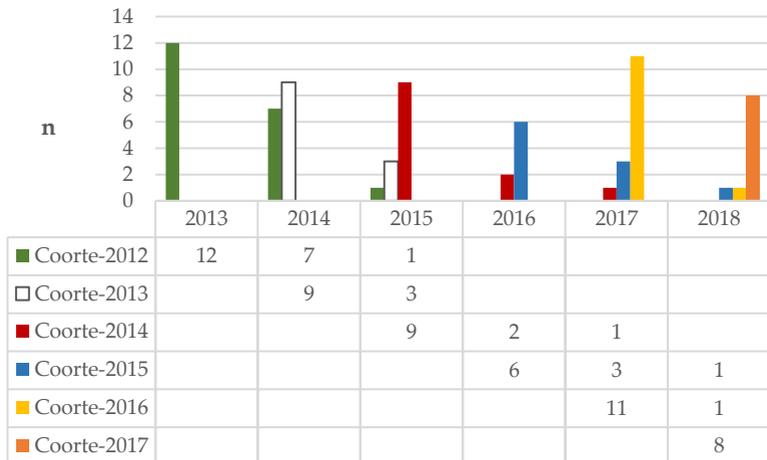


Figura 118 Andamento delle coorti di semenzali dal 2012 al 2017 nell'Area 3, all'interno della superficie di querceto non diradata.

I rilievi condotti nel mese di agosto dal 2013 al 2018, hanno permesso di quantificare l'andamento della germinazione, crescita e mortalità delle coorti di semenzali delle stagioni vegetative dal 2012 al 2017. Nell'Area 1 si evidenzia una maggiore quantità di semenzali rispetto all'Area 3 non soggetta ad alcun intervento e quindi con una maggiore densità di vegetazione forestale. Inoltre, nell'Area 3 i semenzali hanno manifestato un certo vigore vegetativo per i primi tre anni. La quantità di plantule nell'Area 1 è infine maggiore rispetto a quella censita nell'Area 2, in quanto la riduzione di densità cui è stata sottoposta quest'ultima (90%) ha determinato condizioni microclimatiche e di luce meno favorevoli allo sviluppo della rinnovazione naturale. Infine, è stato calcolato un dato di sintesi tra le tre aree e in Figura 119 è riportato il valore medio al metro quadrato di rinnovazione forestale all'interno dell'area recintata di Campo di Rota.



Figura 119 Andamento delle coorti di semenzali dal 2012 al 2017, numero medio al m² nell'area recintata.

6.3 Discussione dei risultati del progetto di monitoraggio

L'analisi dei dati climatici condotta ha rilevato un costante aumento della temperatura, un valore medio annuale delle precipitazioni sotto chioma minore del 40% rispetto all'esterno con frequenti anni più siccitosi. Ciò ha comportato in alcuni anni anche una leggera riduzione dell'umidità dell'aria. La classificazione fattoriale dei dati ha inoltre rilevato come l'umidità del suolo nei primi orizzonti, con picchi molto inferiori ogni cinque anni, sia maggiormente correlata alle variazioni nella temperatura e in secondo luogo a quelle nelle precipitazioni dell'anno precedente: ciò è particolarmente importante se si considera una tendenza di aumento delle temperature piuttosto che di variazioni costanti delle precipitazioni. Alle precipitazioni risultano invece maggiormente correlate la profondità di falda e l'umidità dell'aria. Ciò è in linea con quanto già noto per la falda, ovvero che nel settore centrale della Tenuta³⁴¹ la sua ricarica sia correlata quasi esclusivamente alle precipitazioni dell'anno precedente³⁴².

Alla temperatura e alla disponibilità idrica del suolo è direttamente connessa la traspirazione dei semenzali che tendono a chiudere gli stomi per limitare le perdite idriche per evapotraspirazione, come emerso dalle ricerche svolte sulla conduttanza stomatica e sul potenziale idrico di base³⁴³.

³⁴¹ Vedi Capitolo III, Paragrafo 3.2, pag. 169.

³⁴² Banzato, F. et al., 2019; Petitta, M., 2019.

³⁴³ Macuz A. et al., 2006.

L'aumento delle temperature estive costituisce quindi il maggiore fattore di stress climatico, seguito dalle precipitazioni, per la sopravvivenza delle plantule nei primi anni.

I diagrammi termo-pluviometrici evidenziano che nell'ambiente forestale il periodo di aridità sia da metà febbraio a novembre: i mesi estivi rappresentano chiaramente l'apice di questo periodo con valori massimi di temperature e minimi di precipitazioni. In particolare, tra giugno e settembre la temperatura massima è maggiore di 27° C e la media superiore ai 20° C. Nello stesso periodo dell'anno, le precipitazioni sono di 11.6 mm al mese sotto chioma, quindi inferiori del 28% rispetto al pieno campo.

Il settore centrale della Tenuta, ovvero quello interessato in gran parte dal querceto misto, negli ultimi decenni ha visto contestualmente un abbassamento del livello di falda. A Campo di Rota, infatti, l'abbassamento nell'ultimo ventennio ha superato i 60 cm, raggiungendo i 14 metri di profondità. Poiché in questo settore la ricarica della falda dipende quasi esclusivamente dagli apporti meteorici sull'area di Castelporziano, e non registrandosi variazioni significative nell'andamento delle precipitazioni, è da supporre un'influenza diretta dei prelievi antropici e delle opere di canalizzazione.

L'abbassamento della falda, pur non avendo un effetto diretto sui semenzali e sulle giovani querce, i cui apparati radicali si sviluppano nei primi strati del terreno, non si può escludere abbia un impatto negativo sugli individui di grandi dimensioni che possono servirsi delle

risorse idriche temporanee presenti a varia profondità tra lenti di argilla impermeabile, le cosiddette “*falde sospese*”, e forse anche risorse più profonde. Uno studio condotto per quattro anni a Castelporziano, infatti, ha indagato le risorse idriche utilizzate dai popolamenti forestali attraverso l’analisi degli isotopi stabili dell’idrogeno³⁴⁴ partendo dalla constatazione che l’area di ricarica della falda coincide quasi esclusivamente con il bacino idrologico della Tenuta, quindi dipenda dalle precipitazioni atmosferiche. Da queste analisi è emerso come i querceti di caducifoglie presentino valori isotopici molto negativi, ovvero correlati ad acque invernali in grado di raggiungere strati profondi del terreno³⁴⁵.

La rete di monitoraggio della rinnovazione naturale del querceto di caducifoglie ha interessato querce portaseme delle tre specie presenti (*Quercus robur*, *Q. frainetto* e *Q. cerris*), distribuite in egual misura all’esterno e all’interno della recinzione e in quest’ultimo caso collocate in tre aree sottoposte nel 2013 ad una diversa intensità di diradamento (Figura 120, Figura 121). Per queste piante l’analisi del corrispondente indice NDVI degli ultimi cinque anni mostra valori sempre positivi, attestando si tratti di piante con un buon vigore vegetativo. L’analisi delle componenti principali condotta sugli indici ha rilevato un

³⁴⁴ La composizione isotopica dell’idrogeno dell’acqua presente nello xilema di porzioni di ramo riflette la composizione dell’acqua che la pianta preleva dal terreno. La composizione isotopica delle precipitazioni atmosferiche varia regolarmente con le stagioni, in particolare tra quelle fredde e quelle più temperate. Ciò determina una variabilità della composizione isotopica dell’acqua del suolo e quindi della falda (Macuz A. et al., 2006).

³⁴⁵ Macuz A. et al., 2006.

comportamento diverso delle piante nel triennio 2016-2018, mentre dal 2019 fino al 2020 si è avuto un maggiore calo nel vigore vegetativo rispetto al 2015. Le piante mostrano un vigore pressoché omogeneo, con la numero 1 che si configura come quella in condizioni migliori e la 12 che invece si discosta di più dalle altre, segno di un inizio di deperimento a suo carico. Dall'analisi degli indici per le varie querce è emerso come esso varia omogeneamente tra le piante all'interno e all'esterno della recinzione e che, quindi, le querce mature non abbiano subito variazioni nel vigore vegetativo in seguito al diradamento effettuato all'interno dell'area.

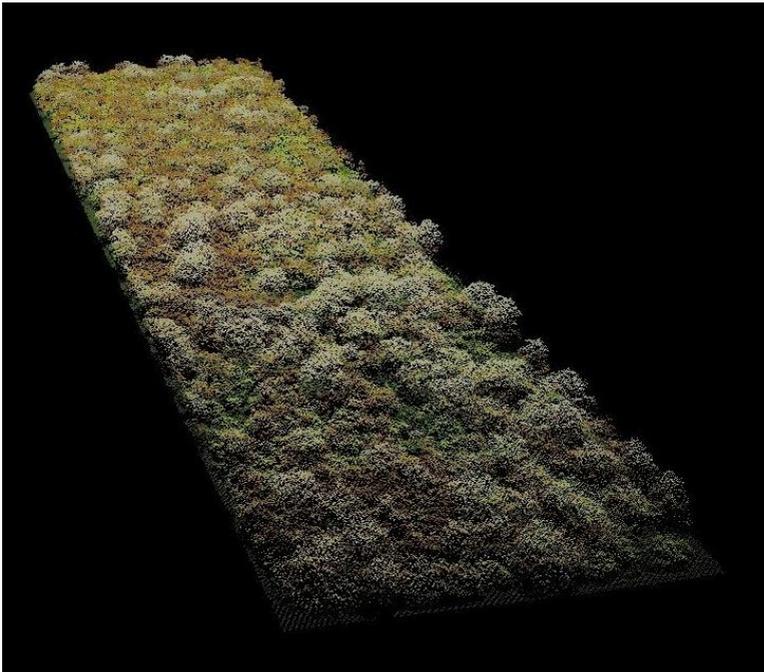


Figura 120 Immagine 3D del rilievo LiDAR del 2010 relativa all'Unità Forestale (UFOR) dell'area recintata in località Campo di Rota (SIFTeC).



Figura 121 Immagine 3D del rilievo LiDAR del 2010 relativa alle Unità Forestali (UFOR) del querceto in località Campo di Rota (SIFTeC).

Dalle serie storiche ricostruite, la produzione del seme mostra a Castelporziano in generale un andamento molto variabile sia tra le specie che tra le stagioni vegetative, con periodi di maggiori quantità ogni cinque anni. Per alcune piante la produzione resta bassa per tutti gli anni osservati, per altre non è stato rilevato alcun seme oppure una quantità di gran lunga superiore alla media. Per il 2020 si può stimare una produzione media di 82.67 semi al metro quadrato nell'area d'insidenza delle chiome. Queste variazioni sono influenzate da molteplici fattori microclimatici, genetici e fisiologici della pianta. Sicuramente dimensione e numero dei semi dispersi sono fattori legati all'intensità di fioritura, all'impollinazione e alle condizioni meteo, in particolare alla disponibilità idrica, durante queste fasi³⁴⁶. Studi condotti sul genere *Quercus* mostrano che la produzione di seme tra specie diverse non è sincronizzata e che per ogni anno sono prodotti in abbondanza da almeno una specie³⁴⁷. Inoltre, la produzione ha una variabilità annuale per cui nessun

³⁴⁶ García-Mozo H. et al., 2012.

³⁴⁷ Abrahamson, W. G., & Layne, J. N., 2003.

individuo può essere considerato un ottimo o un pessimo produttore di seme in relazione ad un periodo di osservazione inferiore a cinque anni³⁴⁸. Nelle analisi dei dati si è osservato inoltre come il numero di ghiande sia correlato in senso opposto al diametro della quercia e sia legato anche alla percentuale di quelle che attecchiscono in primavera.

Per quanto riguarda il monitoraggio delle plantule, i semenzali germinati nella primavera del 2019 e poi del 2020, quindi la coorte del 2018 e quella del 2019, presentano una prima differenziazione tra l'area recintata e l'area esterna. Nella primavera 2020 infatti si è stimato una germinazione del 6.98% delle ghiande prodotte fuori dalla recinzione e del 14% al suo interno, con in media 5.6 plantule al m² in presenza di fauna e di 11.9 in sua assenza (coorte 2019). Ciò rende già evidente il prelievo di seme esercitato dalla fauna selvatica, trattandosi delle medesime condizioni climatiche ed ecosistemiche.

Il tasso di mortalità delle plantule durante il primo anno è maggiore (20% in più nel 2019 e 48% nel 2020) all'esterno della recinzione, indipendentemente da altri fattori come la PAR, mentre nel secondo anno è maggiore all'interno (24.7% all'esterno e 31.1% all'interno), pur mantenendo un percentuale complessiva maggiore all'esterno.

Per la coorte 2018 in autunno, dopo la stagione critica, si sono rilevate in media fuori dalla recinzione 3.47 plantule al m² il primo anno e 0.37 il secondo. All'interno della recinzione invece si sono osservate 7.27 plantule al m² di un anno e 4.78 al m² dopo due anni (Figura 122).

³⁴⁸ Greenberg C.H., 2000; Koenig W.D. et al., 1994.

La maggiore mortalità nel 2020 per la coorte 2018 rispetto alla coorte 2019, quindi dopo la seconda stagione vegetativa è dovuta sicuramente alla dipendenza delle plantule dalle riserve del seme solo nel primo anno, ma soprattutto all'instaurarsi di fenomeni di competizione per le risorse tra la coorte dell'anno precedente e quella dell'anno. Questo è confermato da un maggiore tasso di mortalità nel secondo anno all'interno della recinzione rispetto all'esterno dove la concentrazione di plantule in competizione tra loro è molto inferiore.

Dall'analisi dei valori di PAR estivi, quindi quando si ha il massimo ombreggiamento delle chiome e dalla loro comparazione con i corrispondenti valori di PAR sopra chioma è emerso come nel 77.8% dei casi monitorati essi siano inferiori al 28% della luce diurna³⁴⁹. In questi casi l'ombreggiamento è solo un fattore limitante l'accrescimento ma non è causa di morte del semenzale. Considerando invece i valori inferiori all'8% della luce diurna, quindi i casi in cui non si raggiungono i valori minimi per compensare l'attività fotosintetica, si è constatato come essi non si raggiungano nel 20.4 % delle aree, di cui il 18.5% è all'esterno della recinzione.

Questi risultati emersi nello studio della radiazione fotosinteticamente attiva, che ha un andamento inversamente proporzionale all'indice di area fogliare, riflettono l'effetto positivo, in termini di luce che raggiunge

³⁴⁹ Macuz A. et al., 2001.



Figura 122 Plantula del genere *Quercus* nel primo anno con ancora la ghianda legata al fusto (Foto Piccinno M.).

il sottobosco, determinato dai diradamenti effettuati all'interno dell'area recintata nel 2013.

Il censimento sulla rinnovazione di età maggiore di due anni condotto su 1200 m² in aree al di sotto e tra le chiome, ha rilevato la scomparsa di tutte le plantule all'esterno della recinzione. All'interno al contrario la rinnovazione è largamente presente, per il 42.3 % con un'altezza tra i 30 e i 50 cm e in totale circa 4557 plantule ad ettaro. Dunque, all'interno dell'area recintata di dodici ettari si stimano circa 54680 plantule.

L'analisi dei dati di rinnovazione forestale all'interno della recinzione dal 2013 al 2020, distinti nelle tre aree sottoposte nel 2013 ad una diversa entità di diradamento (70, 90 e 0 %), mostrano come le plantule siano favorite nell'area intermedia rispetto al settore eccessivamente diradato o a quello troppo denso. Ciò risulta in linea anche con quanto emerso in altri studi per la farnia (*Quercus robur*) nell'Inghilterra meridionale dove i modelli sviluppati stimano una sopravvivenza delle plantule dell'80% con una densità di copertura erbacea e di rovo del 25 % e invece una riduzione della sopravvivenza al 50% con una copertura maggiore del 60%. In effetti i semenzali riescono a superare in altezza la copertura erbacea ma non sempre il rovo dove esso è più sviluppato³⁵⁰.

Dal confronto con i dati raccolti negli anni 90 a Campo di Rota, risulta una consistente riduzione della rinnovazione naturale del querceto: la coorte 1989 era stata stimata in 23.4 plantule al m² in area recintata e in 2.83 al m²

³⁵⁰ Harmer R. & Morgan G., 2007.

in presenza di fauna. La rinnovazione naturale nel 2020, dopo 30 anni, è stata stimata a novembre in 13.1 al m² nella recinzione contro 0.8 plantule al m² in presenza di fauna.

La popolazione di ungulati selvatici, come emerge dalle stime dell'ISPRA nell'ultimo decennio, ha mantenuto una densità variabile ma costantemente elevata e, negli ultimi due anni, in leggero aumento ³⁵¹. Nel 2020, considerando le quattro specie di ungulati presenti, si sono stimati infatti 5345 erbivori (limiti fiduciali 4164-7010) che, considerando l'estensione complessiva della Tenuta, comportano una densità di 89 animali per km² (limiti fiduciali 69-116) mentre, escludendo le aree agricole recintate (981.04 ettari) questa densità sale a 106 animali per km² (limiti fiduciali 83-140). Elevate densità di grandi erbivori sono in grado di modificare la sopravvivenza e la crescita delle plantule, influenzando la composizione specifica dell'ecosistema vegetale e potendo causare la sostituzione di una specie con l'altra, alterando così le naturali dinamiche di successione ecologica.

Questo risulta ancor più drammatico considerando le stime di rinnovazione sull'intera classe di querceto monitorata: nel 2020 in 664 ettari, con mediamente 290 mila ghiande prodotte per ogni ettaro e, in primavera, circa 19.780 plantule ad ettaro, si giunge nel giro di due-tre anni all'assenza di rinnovazione. Nell'area recintata, al contrario, sottoposta a diradamenti e in assenza di fauna, si sono censite e stimate 4557 plantule ad ettaro di età maggiore di due-tre anni.

³⁵¹ Vedi Capitolo III, Paragrafo 3.1, pag.163.

6.4 Scenari evolutivi e di conservazione del paesaggio forestale

Gli ecosistemi mediterranei rappresentano dei sistemi socio-ecologici, ovvero il risultato dell'interazione di fattori ecologici e antropici nel corso del tempo. È la gestione forestale infatti che, insieme alle variabili bio-fisiche e ambientali, ha determinato la persistenza in alcune aree di specifiche formazioni boschive, come ad esempio i querceti, piuttosto che di altre. La vegetazione può essere considerata un indicatore dello stato, della dinamica di un sito e quindi dei cambiamenti avvenuti nel tempo: da qui l'importanza di conoscere le caratteristiche climatiche e fisiche degli ecosistemi insieme alla storia dei luoghi che si riflette sulla loro gestione e, nel caso delle foreste, sugli interventi selvicolturali trascorsi. D'altronde le scelte sociopolitiche e i cambiamenti demografici influenzano l'ambiente quanto i cambiamenti climatici. Ancor oggi, infatti, la gestione di alcune foreste praticata dalle antiche civiltà d'epoca romana continua a influenzare i servizi ecosistemici di quelle stesse aree³⁵².

Le foreste sono maggiormente resilienti nelle aree che nel passato sono state poco impiegate dall'uomo per altri scopi: il pascolo e l'agricoltura intensiva o gli incendi, infatti, riducono la copertura di vegetazione perenne, aumentano la perdita d'acqua e nutrienti per scorrimento superficiale ed erosione. Inoltre, in queste aree molto aperte, l'elevato

³⁵² Mensing S. A. et al., 2018.

irraggiamento solare impedisce l'affermazione delle plantule germinate, favorendo invece specie pioniere più competitive³⁵³.

Nel corso del XX secolo nel contesto mediterraneo è stato soprattutto il cambiamento nell'uso del suolo, insieme ai cambiamenti climatici, ad influenzare maggiormente le dinamiche evolutive dei boschi, in particolare dei querceti. Questo è accaduto ad esempio nei boschi di *Quercus faginea* dei Pirenei, nella penisola spagnola, dove si sono susseguiti fenomeni dapprima di coltivazione estensiva, poi di abbandono e, dagli anni Settanta, di stress dovuto ai cambiamenti climatici, ovvero siccità prolungata e temperature estive elevate³⁵⁴.

Nel 1992, la Convenzione di Rio sulla Biodiversità, ha sancito per tutti gli Stati che vi aderirono, quindi anche per l'intera Europa, l'obiettivo di:

"anticipare, prevenire e attaccare alla fonte le cause di significativa riduzione o perdita della diversità biologica in considerazione del suo valore intrinseco e dei suoi valori ecologici, genetici, sociali, economici, scientifici, educativi, culturali, ricreativi ed estetici".

Il principale strumento adottato per la conservazione della biodiversità fu l'istituzione dapprima di aree protette e in seguito, a scala europea, della Rete Natura 2000, finalizzata alla conservazione degli habitat naturali, delle specie di flora e fauna a rischio. L'istituzione di aree protette, impedendo o limitando i cambiamenti d'uso del suolo, ha di fatto favorito

³⁵³ Acácio V. et al., 2010.

³⁵⁴ Kouba Y. et al., 2012.

la maggiore resilienza delle aree naturali e forestali, anche con il perdurare dei rischi connessi con la frammentazione degli habitat, con l'inquinamento e con la perdita di biodiversità.

I Parchi nel mondo occupano una superficie superiore all'11% delle terre emerse, mentre in Italia il sistema delle aree protette nazionali e regionali, insieme alla Rete Natura 2000, presenta un'estensione di circa 9.474.343 ettari, ovvero il 21% del territorio e il 19,1% della superficie marina nazionale, collocandosi al di sopra degli obiettivi stabiliti a livello internazionale.

Per le aree naturali protette presenti in ambito periurbano, soprattutto se si connotano quali paesaggi resilienti e identitari d'un luogo, è ancor più evidente, insieme alla funzione ecologica, il contributo fornito alla città in termini di servizi ecosistemici: mitigazione dell'inquinamento e dell'isola di calore, conservazione della biodiversità, tutela del paesaggio, connettività ecologica, educazione ambientale.

Tuttavia, la protezione basata puramente sulla tutela dell'ambiente non è risultata sufficiente per gli ecosistemi mediterranei, dimostrando come fosse necessario un approccio olistico e analitico con una pianificazione ecologica transdisciplinare, con argomentazioni anche culturali e socioeconomiche nelle misure di conservazione³⁵⁵.

La Commissione Europea nel 2020 ha comunicato la nuova strategia di sviluppo per il futuro, ovvero il *Green Deal*: una crescita economica efficiente e competitiva, ma

³⁵⁵ Santos M. J. & Thorne J. H., 2010.

dissociata dall'uso delle risorse, per conseguire la *neutralità climatica* entro il 2050. La nuova linea politica dell'Unione ha quindi l'obiettivo di proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale europeo, tutelando la salute dei cittadini dai rischi di natura ambientale. A tal proposito la Commissione sta delineando il programma specifico per gli ecosistemi forestali, che avrà lo scopo di migliorarne la resilienza, con l'imboschimento e il rimboschimento sostenibili, con il ripristino delle foreste degradate. In questo modo sarà aumentato l'assorbimento di CO₂, ridotti l'impatto e l'estensione degli incendi boschivi, promossa la bioeconomia e favorita la conservazione della biodiversità³⁵⁶. Questo programma rende operativo l'Obiettivo 15 che le Nazioni Unite avevano definito nell'*Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*³⁵⁷ per gli ecosistemi terrestri:

Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre, gestire sostenibilmente le foreste, contrastare la desertificazione, arrestare e far retrocedere il degrado del terreno, e fermare la perdita di diversità biologica.

La presente tesi di dottorato, dopo aver delineato lo stato attuale del paesaggio forestale europeo, delle principali forme di valorizzazione e conservazione, ha inteso

³⁵⁶ Commissione Europea COM (2019) 640 final, 11.12.2019.

³⁵⁷ L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione per Persone, Pianeta, Prosperità e Pace sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU. Include 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile per un totale di 169 traguardi da perseguire nelle politiche mondiali e da raggiungere entro il 2030. <https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onu-italia.pdf>

approfondire l'evoluzione del paesaggio laurentino, evidenziandone la resilienza e la continuità di destinazione d'uso nella storia, dunque l'importante ruolo ecologico e identitario del luogo.

Il clima mediterraneo di quest'area, caratterizzato da estati calde e secche con inverni freddi e piovosi, è riscontrabile solo in altre quattro regioni del pianeta: il Sud Africa, le coste californiane, il Cile centrale e l'Australia sud-occidentale. Grazie a queste particolari condizioni ambientali, il Mediterraneo rappresenta ancora un *hotspot* di biodiversità alla cui conservazione, tuttavia, si oppongono molteplici fattori come i cambiamenti nell'uso del suolo, l'agricoltura, il consumo di suolo e lo sviluppo urbano, ma anche i cambiamenti climatici, la desertificazione e gli incendi³⁵⁸.

Oggi le ultime testimonianze degli ecosistemi forestali del territorio laurentino persistono all'interno di un'area protetta in campo nazionale e internazionale, la Tenuta presidenziale di Castelporziano. In linea con le normative e con le strategie della UE per i prossimi trent'anni, è di fondamentale importanza monitorare e studiare questi ambienti per comprendere come, con quali azioni o interventi, conservarne o anche incrementarne la resilienza, la coesistenza con l'ambiente periurbano che li circonda e con le sfide climatiche globali.

L'analisi di dettaglio dei dati meteo-climatici e di falda ha evidenziato non solo il generale e conclamato aumento delle temperature globali, ma anche le variazioni

³⁵⁸ Santos M. J. & Thorne J. H., 2010.

microclimatiche stagionali al di sotto delle chiome e che rendono gli ecosistemi forestali maggiormente vulnerabili. Di particolare importanza risulta quindi la correlazione tra l'aumento della temperatura dell'aria e la l'umidità del suolo superficiale. La disponibilità idrica nel suolo più profondo è legata sia alle precipitazioni, che alimentano le falde e determinano il grado di saturazione degli strati di suolo sovrastanti, sia, nel lungo periodo, a fattori antropici come i prelievi idrici³⁵⁹ o le opere di canalizzazione che accelerano il deflusso superficiale. Ciò rende fondamentale non solo monitorare ma promuovere su scala territoriale azioni che limitino l'impatto delle aree urbanizzate circostanti su questi ecosistemi, in particolare limitando e censendo i prelievi idrici dalla falda³⁶⁰, in parte abusivi, prevedendo opere di rinaturalizzazione dei canali.

Lo studio di dettaglio condotto sulle dinamiche di rinnovazione forestale in questi ultimi lembi di querceto planiziale costiero ha permesso di ottenere dati sperimentali e aggiornati sulla rinnovazione e d'integrarli, seguendo metodi di confronto, con quelli storici presenti.

I querceti dell'area del Mediterraneo denotano un aumento critico dell'età media negli ultimi cinquant'anni, con effetti diretti sui processi evolutivi e di rinnovazione naturale³⁶¹. Quest'ultima rappresenta un processo dinamico nel quale nuovi individui s'inseriscono in una popolazione matura compensando le perdite degli individui che muoiono³⁶². L'esito positivo del processo è influenzato da

³⁵⁹ Banzato, F. et al., 2019; Petitta, M., 2019.

³⁶⁰ Recanatesi & Petroselli, 2020; Recanatesi et al., 2017.

³⁶¹ Santos M. J. & Thorne J. H., 2010.

³⁶² Harper, 1977.

fattori biotici e abiotici. Il monitoraggio e le serie storiche inerenti all'andamento della produzione di semi denotano come tale fenomeno sia estremamente variabile e imprevedibile: anche con una fioritura abbondante innumerevoli fattori climatici possono influenzare lo sviluppo fino alla maturità del seme. Inoltre, la produzione di seme per singolo individuo sembrerebbe essere negativamente correlata anche alla densità di alberi³⁶³. Le ghiande raccolte nelle aree oggetto di monitoraggio hanno permesso di valutare la quantità e il grado di dispersione del seme³⁶⁴. Non è emerso che il deperimento del querceto, quando legato alla sua senescenza, stia influenzando la quantità di seme prodotto. Infatti, la presenza della rinnovazione naturale affermata all'interno di un'area recintata, in assenza di predazione da fauna selvatica³⁶⁵, permette di considerare quest'ultima come primo fattore impattante la conservazione del querceto di Castelporziano. Risultano invece secondari i fattori quali la dimensione e la germinabilità del seme a cui è legata anche la sopravvivenza della stessa plantula³⁶⁶. Alcuni studi hanno rilevato inoltre la relazione esistente tra la copertura del suolo, determinata dalla lettiera, e la disponibilità di fosforo e azoto nei primi orizzonti di alcune foreste³⁶⁷.

Anche ricerche condotte in altre aree, come ad esempio sui monti Appalachi, mostrano come l'affermazione delle

³⁶³ Gea-Izquierdo G. et al., 2006.

³⁶⁴ Ramos S. et al., 2013.

³⁶⁵ Herrera, 1995; Arosa M.L. et al., 2015.

³⁶⁶ Arosa M.L. et al., 2015; Acácio et al., 2007.

³⁶⁷ Garcia et al., 2006

plantule sia maggiormente correlata alle condizioni favorevoli del sito, piuttosto che alla dimensione delle ghiande, pur rilevando un'elevata variabilità in termini di semi germinati, numero di plantule che sopravvivono per poi essere sostituite dai successivi semenzali³⁶⁸.

Nell'area del Mediterraneo, le ricerche condotte in particolare in Spagna, individuano la siccità estiva quale la principale causa di scarsa sopravvivenza delle plantule³⁶⁹.

A Castelporziano, analizzando le foto aeree storiche, si evince come dagli anni Cinquanta in poi sia aumentata la densità della copertura arborea fino a raggiungere negli anni Ottanta la perfetta continuità del piano dominante. Ciò, riconducibile al rallentamento e all'interruzione degli interventi selvicolturali, ha avuto ripercussioni sul vigore vegetativo delle foreste³⁷⁰ e comportato una minore radiazione luminosa al suolo, quindi disponibile per le plantule. Dalle analisi dei fenomeni di rinnovazione forestale nei primi anni di vita delle plantule, l'influenza della luce è risultata il secondo fattore critico dopo la fauna per la loro crescita e la sopravvivenza.

Il monitoraggio della rinnovazione naturale, nel corso degli anni e delle stagioni (Figura 123, Figura 124), consente infatti di configurare il paesaggio che si andrà ad affermare, anche in rapporto agli interventi di pianificazione e gestione che saranno adottati.

³⁶⁸ Olson D. F. Jr. & Boyce S. G., 1971.

³⁶⁹ Gómez-Aparicio, L. et al., 2008; Gimeno et al., 2009; Recanatesi et al., 2020.

³⁷⁰ Romagnoli M. et al., 2018.



Figura 123 Andamento della rinnovazione naturale nel corso delle stagioni. Primavera: la chioma della quercia matura sta terminando di emettere le foglie, al di sotto la rinnovazione delle coorti degli anni precedenti insieme alle plantule appena germinate ricoprono la lettiera in modo denso e continuo. Estate: la quercia è nel pieno vigore vegetativo, al di sotto le plantule si sono ridotte per via della predazione da parte della fauna e per lo stress idrico determinato dal periodo di siccità estiva (Disegno Piccinno G.).

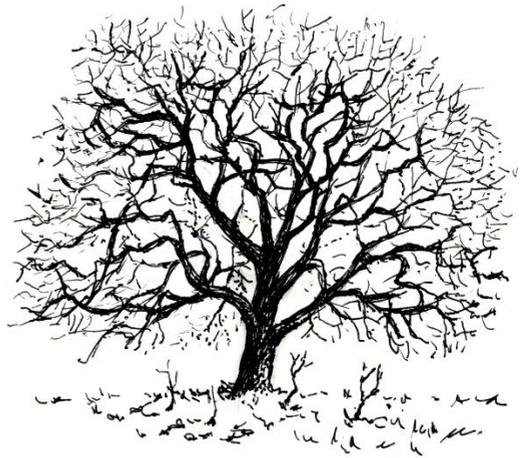


Figura 124 Andamento della rinnovazione naturale nel corso delle stagioni. Autunno: la quercia inizia a perdere le foglie a partire dagli apici, al di sotto della chioma le plantule sopravvissute allo stress estivo continuano ad accrescersi con minore competizione tra gli individui. Le ghiande della nuova stagione vegetativa cadono nella lettiera. Inverno: la quercia caducifoglia è ormai priva di foglie come anche le plantule che si apprestano a superare la stagione fredda (Disegno Piccinno G.).

Ciò è un aspetto fondamentale ancor più per Castelporziano se si considera che il territorio, inserendosi in un sistema di tutela nazionale o internazionale, assolve e dovrà assolvere ad impegni normativi rivolti alla tutela del capitale naturale dell'area e dei servizi ecosistemici che essa fornisce³⁷¹.

I risultati emersi dal monitoraggio permanente condotto nel 2019-2020, nel corso del dottorato, e l'analisi delle serie storiche hanno permesso di fornire informazioni più dettagliate relative alla necessità di interventi che contrastino e rallentino il più possibile i fenomeni di deperimento del bosco per permettere l'affermazione di un nuovo strato di giovani querce. Lo studio sulle dinamiche della rinnovazione forestale è inoltre importante per individuare nicchie ecologiche per particolari specie e prevedere sostanziali mutamenti su scala paesaggistica a fronte dei cambiamenti globali.

Il quadro delineato, senza alcun intervento attivo da parte del gestore, potrebbe determinare l'evoluzione della vegetazione a favore del leccio, a discapito delle querce più mesofile ed esigenti, quali la farnia, il cerro, il farnetto. I caratteri ecologici del leccio, infatti, permettono alla specie di vegetare su suoli poveri e di rinnovarsi anche sotto copertura densa, riuscendo a contrastare la concorrenza delle specie arbustive.

³⁷¹ Scarascia Mugnozza G., 2016; Lorusso L. et al., 2007; Marchetti M. e Vizzarri M., 2016.

Le azioni di recupero degli ecosistemi colpiti da deperimento dovrebbero iniziare con l'identificazione e lo sviluppo di misure di gestione forestale sostenibile e adattativa per rafforzare la resilienza, in particolare con condizioni climatiche sempre più calde e secche, per contrastare l'evoluzione presunta. L'effetto principale e imprescindibile dovrebbe garantire la rinnovazione naturale dell'ecosistema e l'affermazione delle successioni ecologiche.

A fronte di un controllo sul numero degli erbivori selvatici compatibili con la tutela dell'ecosistema, garantito da una gestione integrata delle risorse forestali e faunistiche ³⁷², occorrerebbe includere, tra le azioni di conservazione, piani di rinnovazione naturale per la protezione delle piante nei primi stadi di crescita, ovvero aree che escludano l'eccessivo impatto della fauna o *shelters* protettivi intorno agli alberi.

Studi condotti in Norvegia in aree recintate per lunghi periodi hanno quantificato l'impatto della megafauna sulla rinnovazione delle foreste, con la conseguente alterazione della composizione, la diffusione della specie meno consumata dagli ungulati e la conseguente possibile sostituzione di una specie con un'altra nel futuro paesaggio dell'area³⁷³.

Contestualmente sarebbe necessario incrementare la luce che filtra nel sottobosco e il bilancio idrologico del suolo interessato dalle radici della vegetazione arborea, arbustiva

³⁷² Cutini A. et al., 2013.

³⁷³ Bernard M. et al., 2017.

ed erbacea, garantendo il trattenimento delle acque più a lungo, per far fronte alle maggiori pressioni climatiche e continuare a favorire la degradazione della sostanza organica e il ciclo dei nutrienti.

A tal fine sarebbero opportuni interventi selvicolturali che, pur garantendo il principio di autoorganizzazione dell'ecosistema³⁷⁴, senza prestabilire la struttura del bosco, favoriscano le sue funzioni biologiche accrescendone la complessità nella composizione e nella forma, rafforzandone allo stesso tempo la resilienza, l'adattabilità di fronte ai cambiamenti globali e la funzione di salvaguardia del territorio. Numerosissime ricerche hanno dimostrato il ruolo positivo dei diradamenti selettivi nel ridurre lo stress idrico delle piante, determinato dall'allungamento dei periodi di aridità in ambito mediterraneo, e allo stesso tempo del rischio incendi³⁷⁵.

I diradamenti selettivi sul piano dominante consentono di ridurre la densità eccessiva. Le ripuliture sul piano dominato³⁷⁶, limitando la concorrenza delle specie della macchia mediterranea, permettono agli individui adulti e ai semenzali di avere maggiori risorse idriche e radiazione luminosa al di sotto delle chiome. Un elevato indice di area fogliare e le elevate densità hanno infatti anche un effetto negativo sul bilancio idrologico. I diradamenti, infatti, determinano variazioni nei processi traspirativi e nel bilancio idrologico aumentando, proporzionalmente

³⁷⁴ Ciancio O., 2019.

³⁷⁵ Portoghesi L. et al., 2019.

³⁷⁶ Kouba Y. et al., 2012.

all'intensità del taglio, il contenuto d'acqua nel suolo e i volumi di deflusso superficiale³⁷⁷. Tutti gli interventi, come è noto, dovrebbero contestualmente minimizzare gli impatti nei confronti della rinnovazione, della fauna e soprattutto del suolo³⁷⁸.

Occorrerebbe promuovere e garantire, inoltre, la riproduzione gamica delle specie, quindi sessuale, poiché l'affermazione di diversi genotipi favorisce l'adattamento ai cambiamenti climatici. A tal proposito andrebbero anticipati i tagli di rinnovazione che facilitano la sostituzione delle piante senescenti e morenti con la giovane rinnovazione, favorendo la dispersione del seme, riducendo altresì l'impatto dei patogeni fungini e il rischio d'incendi³⁷⁹.

Infatti, nel processo di rinnovazione forestale non può non essere considerata l'influenza che gli individui adulti esercitano sulla rinnovazione: non solo la competizione per le risorse, quanto la loro stessa presenza, riducendo la radiazione luminosa al suolo, instaura condizioni di stress per le giovani piante che si sono sviluppate al di sotto delle chiome, come emerso dalle analisi di LAI e PAR a Castelporziano.

Da ultimo, non è di minore importanza prevedere di integrare la rinnovazione naturale con semine o piantagioni³⁸⁰. A tal fine sarebbe opportuno predisporre unità propagative provenienti dal sito stesso, al fine di tutelare la biodiversità genetica del territorio.

³⁷⁷ Portoghesi L. et al., 2019.

³⁷⁸ Marchi E. et al., 2016.

³⁷⁹ Gentilesca T. et al., 2017.

³⁸⁰ Bianchi L. et al., 2013.

I cambiamenti del clima globale che, come già trattato, sono particolarmente incidenti nell'area mediterranea con l'innalzamento della temperatura media, un periodo d'aridità più intenso ed eventi estremi, pongono inoltre sotto esame la questione della sofferenza dei semenzali nella stagione estiva per carenza idrica. Prove sperimentali condotte in Spagna hanno dimostrato come l'irrigazione di semenzali del genere *Quercus*, durante il primo anno di vita, aumenti la loro sopravvivenza dal 75 al 90% nel Parco Nazionale della Sierra Nevada e dal 35 al 70% in quello Naturale degli Alcornocales. Tuttavia, la sopravvivenza dopo il secondo anno non mostra differenze tra i siti irrigati o meno, dimostrando come l'intervento debba essere eventualmente ripetuto fino a completa affermazione delle plantule per avere un effetto positivo. Da questo emerge anche come una sola estate arida possa compromettere gli esiti positivi di anni precedenti più piovosi³⁸¹.

La ricerca sperimentale descritta nei capitoli precedenti presenta inoltre prospettive importanti in termini di applicazione a fini gestionali dei risultati ottenibili con il monitoraggio permanente e con l'analisi degli effetti dei trattamenti selvicolturali sulla rinnovazione.

Obiettivo a medio-lungo termine di questo studio potrebbe essere di costituire serie storiche standardizzate utili allo

³⁸¹ Gómez-Aparicio L. et al., 2008.

sviluppo di modelli vegetazionali (MV) in grado di fornire previsioni sui futuri assetti paesaggistici³⁸².

In tal modo si potrebbero valutare le variazioni nella distribuzione della vegetazione, simulando la sua risposta a specifici limiti bioclimatici e microstazionali, prevedendo l'arrivo o la scomparsa di determinate specie, di solito a scala regionale, e quindi la diversità del paesaggio che ne consegue³⁸³.

³⁸²Modello vegetazionale: modello in grado di sintetizzare le conoscenze, i dati interdisciplinari di lunghe serie storiche, per riprodurre le dinamiche vegetazionali. Oltre ai parametri forestali, alcuni MV utilizzano nelle simulazioni anche dati climatici, edafici e faunistici, per determinare l'incidenza delle specie animali. In bibliografia sono distinguibili tre tipologie di MV: Modelli Vegetazionali su Dinamiche Globali (MVDG), Modelli Vegetazionali su Coorti (MVC), e Modelli Vegetazionali su Individui (MVI). I MVDG sono modelli su larga scala e sulle relazioni tra atmosfera e biosfera; i MVI sono invece modelli per studi ecologici su piccola scala; infine i MVC sono modelli intermedi, che analizzano la struttura dei popolamenti forestali più in dettaglio dei modelli su larga scala (MVDG) ma considerano le coorti e non le singole piante per ridurre i tempi di calcolo. Nelle regioni di transizione tra biomi i modelli più adatti per le dinamiche di vegetazione sono i modelli ad automa cellulare ecoidrologici (AC). I modelli AC descrivono le interazioni locali delle piante mediante formule e permettono di analizzare processi biologici come la produzione di semi, la dispersione e crescita delle piante, la correlazione tra competizione vegetale e stress idrico. Tra questi modelli rientra ad esempio il Tree-Grass-Shrub Simulator (CATGraSS) che permette di rilevare le dinamiche connesse con l'affermazione e la mortalità della vegetazione (Berzaghi et al., 2018).

³⁸³ Caracciolo D. et al., 2014.

ALLEGATI

I dati di rinnovazione 2019 – 2020 in dettaglio

In questo Allegato vengono riportati nello specifico i dati raccolti nel corso del monitoraggio del 2019-2020 e le medie per coorte per ogni pianta.

Nelle tabelle che seguono (Tabella 62, Tabella 63, Tabella 64, Tabella 65) sono raccolti in dettaglio i dati relativi alla rinnovazione naturale del 2019. Per ognuna delle 18 querce (ID 1-9 esterne alla recinzione e ID 10-18 interne) è indicato il numero di plantule nei 3 rilievi (*plot*) sotto chioma (SX, CX, DX) distinguendo le plantule con altezza fino a 10 cm e quelle con altezza maggiore di 10 cm in cui potrebbero rientrare plantule di coorti precedenti. Viene indicato inoltre il quantitativo medio per coorte per ogni pianta nonché il quantitativo totale medio per metro quadrato.

ID	ID PLOT 1m ²	APRILE 2019			MAGGIO 2019				
		C	C	TOT.	MEDIA	C	C	TOT.	MEDIA
		2018 H<10	2018 H>10	PLOT	m ² PIANTA	2018 H<10	2018 H>10	PLOT	m ² PIANTA
1	SX	10	3	13	11.0	20	3	23	16.3
	CX	8	1	9		12	1	13	
	DX	8	3	11		10	3	13	
2	SX	14	2	16	14.7	12	2	14	12.3
	CX	7	3	10		5	2	7	
	DX	15	3	18		14	2	16	
3	SX	9	2	11	6.3	16	2	18	12.7
	CX	4	0	4		12	0	12	
	DX	4	0	4		8	0	8	
4	SX	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
5	SX	60	8	68	46.3	102	8	110	71.0
	CX	37	0	37		54	0	54	
	DX	33	1	34		48	1	49	
6	SX	4	1	5	4.7	13	1	14	9.3
	CX	3	0	3		4	0	4	
	DX	5	1	6		9	1	10	
7	SX	2	1	3	2.0	2	1	3	2.0
	CX	3	0	3		3	0	3	
	DX	0	0	0		0	0	0	
8	SX	2	0	2	1.7	3	0	3	2.3
	CX	1	0	1		2	0	2	
	DX	2	0	2		2	0	2	
9	SX	2	0	2	3.0	2	0	2	3.7
	CX	3	0	3		4	0	4	
	DX	4	0	4		5	0	5	
Totale		240	29	269		362	27	389	

Tabella 62 Dati della rinnovazione naturale nei nove transetti esterni alla recinzione (primavera 2019).

ID	ID PLOT 1m ²	OTTOBRE 2019				NOVEMBRE 2019			
		C 2018 H<10	C 2018 H>10	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA	C 2018 H<10	C 2018 H>10	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA
1	SX	7	2	9	8.0	7	2	9	5
	CX	9	1	10		4	0	4	
	DX	5	0	5		2	0	2	
2	SX	17	0	17	11.0	10	0	10	6.3
	CX	2	0	2		1	0	1	
	DX	12	2	14		7	1	8	
3	SX	17	0	17	10.7	7	0	7	3.3
	CX	11	0	11		2	0	2	
	DX	4	0	4		1	0	1	
4	SX	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
5	SX	23	5	28	14.0	14	5	19	9.7
	CX	6	0	6		4	0	4	
	DX	7	1	8		5	1	6	
6	SX	9	1	10	6.3	7	1	8	4.3
	CX	2	0	2		1	0	1	
	DX	6	1	7		3	1	4	
7	SX	1	0	1	0.3	1	0	1	0.3
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
8	SX	0	0	0	1.3	0	0	0	1.3
	CX	2	0	2		2	0	2	
	DX	2	0	2		2	0	2	
9	SX	0	0	0	0.7	0	0	0	1.0
	CX	1	0	1		2	0	2	
	DX	1	0	1		1	0	1	
Totale		144	13	157		83	11	94	

Tabella 63 Dati della rinnovazione naturale nei nove transetti esterni alla recinzione (autunno 2019).

ID	ID PLOT 1m ²	APRILE 2019			MAGGIO 2019				
		C 2018 H<10	C 2018 H>10	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA	C 2018 H<10	C 2018 H>10	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA
10	SX	0	3	3	1.7	0	2	2	1.7
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	1	1	2		2	1	3	
11	SX	1	4	5	7.7	9	4	13	14.7
	CX	2	7	9		8	7	15	
	DX	1	8	9		8	8	16	
12	SX	11	7	18	20.0	23	7	30	29.0
	CX	22	6	28		26	6	32	
	DX	8	6	14		19	6	25	
13	SX	0	0	0	0.3	0	0	0	0.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	1	0	1		0	0	0	
14	SX	5	2	7	9.0	7	2	9	10.0
	CX	4	0	4		5	0	5	
	DX	5	11	16		5	11	16	
15	SX	0	0	0	0.3	0	0	0	0.3
	CX	1	0	1		0	0	0	
	DX	0	0	0		1	0	1	
16	SX	5	2	7	8.0	10	2	12	12.0
	CX	8	3	11		10	3	13	
	DX	5	1	6		10	1	11	
17	SX	6	3	9	7.7	4	2	6	6.0
	CX	5	4	9		3	4	7	
	DX	3	2	5		3	2	5	
18	SX	15	10	25	32.7	33	10	43	45.7
	CX	23	16	39		36	16	52	
	DX	22	12	34		30	12	42	
Totale		154	108	262		252	106	358	

Tabella 64 Dati della rinnovazione naturale nei nove transetti interni alla recinzione (primavera 2019).

ID	ID PLOT 1m ²	OTTOBRE 2019				NOVEMBRE 2019			
		C 2018 H<10	C 2018 H>10	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA	C 2018 H<10	C 2018 H>10	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA
10	SX	2	0	2	1.7	2	0	2	1.7
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	2	1	3		2	1	3	
11	SX	5	4	9	12.7	5	7	12	12.7
	CX	6	7	13		5	6	11	
	DX	8	8	16		8	7	15	
12	SX	24	6	30	27.7	15	6	21	18.7
	CX	27	5	32		17	5	22	
	DX	15	6	21		8	5	13	
13	SX	0	0	0	0.3	0	0	0	0.3
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	1	0	1		1	0	1	
14	SX	5	0	5	3.0	5	0	5	2.7
	CX	2	0	2		1	0	1	
	DX	2	0	2		2	0	2	
15	SX	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
16	SX	8	2	10	10.3	4	2	6	7.0
	CX	11	1	12		8	1	9	
	DX	8	1	9		5	1	6	
17	SX	4	0	4	4.0	5	0	5	4.0
	CX	3	0	3		3	0	3	
	DX	4	1	5		3	1	4	
18	SX	25	5	30	21.3	21	5	26	18.3
	CX	16	3	19		13	3	16	
	DX	7	8	15		6	7	13	
Totale		185	58	243		139	57	196	

Tabella 65 Dati della rinnovazione naturale nei nove transetti interni alla recinzione (autunno 2019).

Di seguito sono riportati in dettaglio i dati relativi alla rinnovazione naturale, censiti nel corso del 2020 (Tabella 66, Tabella 67, Tabella 68, Tabella 69). Per ognuna delle 18 querce (ID 1-9 esterne alla recinzione e ID 10-18 interne) è indicato il numero di plantule nei 3 rilievi (*plot*) sotto chioma (SX, CX, DX) distinguendo le plantule della Coorte 2018 e della Coorte 2019, nonché il quantitativo totale medio per metro quadrato.

ID	ID PLOT 1 m ²	APRILE 2020				MAGGIO 2020			
		C 2018	C 2019	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA	C 2019	C 2020	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA
1	SX	5	13	18	263	5	13	18	260
	CX	4	33	37		3	35	38	
	DX	1	23	24		1	21	22	
2	SX	10	0	10	80	9	0	9	73
	CX	1	1	2		1	1	2	
	DX	7	5	12		7	4	11	
3	SX	5	7	12	57	5	8	13	73
	CX	2	1	3		2	2	4	
	DX	1	1	2		1	4	5	
4	SX	0	0	0	00	0	2	2	10
	CX	0	0	0		0	1	1	
	DX	0	0	0		0	0	0	
5	SX	4	18	22	153	4	21	25	170
	CX	0	10	10		0	13	13	
	DX	0	14	14		0	13	13	
6	SX	7	0	7	50	5	3	8	53
	CX	1	0	1		1	0	1	
	DX	3	4	7		3	4	7	
7	SX	1	2	3	13	1	2	3	17
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	1	1		0	2	2	
8	SX	0	0	0	10	0	0	0	10
	CX	2	0	2		2	0	2	
	DX	1	0	1		1	0	1	
9	SX	0	1	1	27	0	0	0	13
	CX	2	1	3		1	0	1	
	DX	1	3	4		0	3	3	
Totale		58	138	196		52	152	204	

Tabella 66 Dati di rinnovazione naturale nei nove transetti esterni alla recinzione (primavera 2020).

ID	ID PLOT 1m ²	OTTOBRE 2020				NOVEMBRE 2020			
		C 2018	C 2019	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA	C 2018	C 2019	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA
1	SX	3	2	5	3.3	2	2	4	3.0
	CX	3	0	3		3	0	3	
	DX	0	2	2		0	2	2	
2	SX	2	0	2	2.7	0	0	0	0.7
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	4	2	6		1	1	2	
3	SX	1	1	2	0.7	1	0	1	0.3
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
4	SX	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
5	SX	2	2	4	2.3	1	1	2	1.3
	CX	0	2	2		0	1	1	
	DX	0	1	1		0	1	1	
6	SX	2	2	4	3.3	0	0	0	1.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	2	4	6		0	3	3	
7	SX	1	0	1	0.3	0	0	0	0.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
8	SX	0	0	0	1.0	0	0	0	0.7
	CX	2	0	2		1	0	1	
	DX	1	0	1		1	0	1	
9	SX	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
Totale		23	18	41		10	11	21	

Tabella 67 Dati di rinnovazione naturale nei nove transetti esterni alla recinzione (autunno 2020).

ID	ID PLOT 1m ²	APRILE 2020				MAGGIO 2020			
		C 2018	C 2019	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA	C 2018	C 2019	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA
10	SX	1	0	1	1.0	1	0	1	1.0
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	2	0	2		2	0	2	
11	SX	11	1	12	14.3	11	1	12	14.0
	CX	11	1	12		10	1	11	
	DX	15	4	19		15	4	19	
12	SX	21	46	67	53.3	19	57	76	62.0
	CX	22	27	49		22	32	54	
	DX	13	37	50		13	43	56	
13	SX	0	0	0	0.7	0	0	0	0.7
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	1	1	2		1	1	2	
14	SX	3	3	6	6.0	3	3	6	6.0
	CX	1	3	4		1	3	4	
	DX	2	6	8		2	6	8	
15	SX	0	0	0	0.3	0	0	0	0.3
	CX	0	1	1		0	1	1	
	DX	0	0	0		0	0	0	
16	SX	6	2	8	9.0	5	2	7	8.7
	CX	8	3	11		8	3	11	
	DX	6	2	8		6	2	8	
17	SX	5	6	11	8.3	5	8	13	9.7
	CX	3	4	7		3	6	9	
	DX	4	3	7		4	3	7	
18	SX	26	55	81	64.7	25	53	78	63.7
	CX	15	58	73		14	61	75	
	DX	13	27	40		8	30	38	
Totale		189	290	479		178	320	498	

Tabella 68 Dati di rinnovazione naturale nei nove transetti interni alla recinzione (primavera 2020).

ID	ID PLOT 1m ²	OTTOBRE 2020				NOVEMBRE 2020			
		C 2018	C.2019	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA	C 2018	C 2019	TOT. PLOT	MEDIA m ² PIANTA
10	SX	1	0	1	0.7	1	0	1	0.3
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	1	0	1		0	0	0	
11	SX	5	1	6	11.3	5	1	6	10.7
	CX	10	1	11		10	0	10	
	DX	13	4	17		13	3	16	
12	SX	17	40	57	47.0	16	36	52	42.0
	CX	16	18	34		14	16	30	
	DX	13	37	50		11	33	44	
13	SX	0	0	0	0.7	0	0	0	0.3
	CX	0	0	0		0	0	0	
	DX	1	1	2		0	1	1	
14	SX	3	3	6	4.7	3	3	6	4.7
	CX	1	2	3		1	2	3	
	DX	2	3	5		2	3	5	
15	SX	0	0	0	0.3	0	0	0	0.0
	CX	0	1	1		0	0	0	
	DX	0	0	0		0	0	0	
16	SX	4	2	6	5.7	3	2	5	4.3
	CX	5	2	7		3	2	5	
	DX	3	1	4		2	1	3	
17	SX	5	6	11	7.3	5	6	11	7.7
	CX	2	2	4		3	2	5	
	DX	4	3	7		4	3	7	
18	SX	20	39	59	50.7	16	39	55	48.0
	CX	10	53	63		10	52	62	
	DX	8	22	30		7	20	27	
Totale		144	241	385		129	225	354	

Tabella 69 Dati di rinnovazione naturale nei nove transetti interni alla recinzione (autunno 2020).

Nelle tabelle che seguono (Tabella 70, Tabella 71) è indicato l'andamento della produzione di semi nel corso del 2019, distinguendo la componente delle ghiande mature da quelle immature ritrovate.

Ghiande mature 2019						Ghiande immature 2019				
ID	GE-SE	OT	NO	DI	TOT. SV.	GE-SE	OT	NO	DI	TOT. SV.
1	0	65	46	1	112	0	2	9	1	12
2	0	0	3	0	3	0	15	0	0	15
3	0	11	31	0	42	0	1	3	0	4
4	0	2	3	1	6	0	0	0	0	0
5	0	16	103	1	120	0	1	7	0	8
6	0	0	2	0	2	0	3	0	0	3
7	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2
8	0	2	9	8	19	0	35	5	0	40
9	0	47	10	0	57	0	10	0	0	10
10	0	0	2	1	3	0	6	3	0	9
11	0	8	13	2	23	0	2	3	0	5
12	0	11	98	1	110	0	2	15	1	18
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	9	78	19	106	0	18	24	3	45
15	0	0	0	1	1	0	5	0	1	6
16	0	4	4	4	12	0	8	4	2	14
17	0	5	11	0	16	0	1	4	1	6
18	0	20	91	0	111	0	4	22	0	26

Tabella 70 Andamento della produzione di ghainda per mese e totale per stagione vegetativa (ghiande mature e immature, anno 2019).

Ghiande mature 2020						Ghiande immature 2020				
ID	GE-SE	OT	NO	DI	TOT. S.V.	GE-SE	OT	NO	DI	TOT. S.V.
1	0	0	1	NA	NA	0	0	0	NA	NA
2	0	0	7	NA	NA	0	5	2	NA	NA
3	0	12	10	NA	NA	0	0	0	NA	NA
4	0	1	0	NA	NA	0	0	0	NA	NA
5	0	9	0	NA	NA	0	0	0	NA	NA
6	0	0	2	NA	NA	0	18	5	NA	NA
7	0	3	7	NA	NA	0	0	0	NA	NA
8	0	0	3	NA	NA	0	32	2	NA	NA
9	0	53	11	NA	NA	0	0	0	NA	NA
10	0	0	1	NA	NA	0	0	0	NA	NA
11	0	2	0	NA	NA	0	0	0	NA	NA
12	0	2	3	NA	NA	0	0	0	NA	NA
13	0	0	0	NA	NA	0	0	0	NA	NA
14	0	0	2	NA	NA	0	14	1	NA	NA
15	0	0	0	NA	NA	0	9	0	NA	NA
16	0	7	2	NA	NA	0	0	0	NA	NA
17	0	10	9	NA	NA	0	0	0	NA	NA
18	0	31	25	NA	NA	0	0	0	NA	NA

Tabella 71 Andamento della produzione di ghianda per mese e totale per stagione vegetativa (ghiande mature e immature, anno 2020).

ALLEGATO 2

I dati di LAI e PAR 2019 – 2020 in dettaglio

In Tabella 73 e Tabella 74 sono riportati i valori di indice di area fogliare (LAI, Leaf Area Index), rilevato durante l'estate del 2019. L'indice è stato determinato per ciascuna delle 54 aree monitorate e per alcuni punti al di fuori della volta arborea (Tabella 75, Tabella 76). Nella tabella è presente anche il valore di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, Photosynthetic Active Radiation), per ciascuna delle aree osservate. Il valore medio di LAI rilevato è stato pari a 3.29 nel mese di luglio.

In Tabella 77 e Tabella 78 sono presenti i valori di PAR e di LAI ottenuti dalle misure condotte nell'inverno del 2020 per ciascuna delle 54 aree monitorate in assenza di fogliame sulle chiome e in alcuni punti al di fuori dell'area boscata (Tabella 76). Il valore medio di LAI rilevato è pari a 1.29 nel mese di gennaio.

Per le elaborazioni dei valori di PAR in rapporto alla luce diurna effettiva (Tabella 79, Tabella 80), sono stati considerati i valori di PAR misurati, nella stessa ora e giorno del rilievo, dalla strumentazione installata nella stazione meteo di Grotta di Piastra su una Torre al di sopra delle chiome (Tabella 72).

	Data	ORA	PAR Media
Grotta di Piastra (Sopra chioma)	16/07/2019	10.00/11.00	357.90
	28/02/2020	10.00/11.00	247.43

Tabella 72 Valori di PAR misurati sopra chioma in località Grotta di Piastra.

ID	PLOT	PAR	7°	23°	38°	53°	68°	LAI
1	SX	29	60.98	61.54	40.4	38.9	15.67	2.17
	CX	14	10.06	8.42	35.08	25.14	17.78	2.97
	DX	20	14.91	25.81	23.61	20.71	25.25	2.77
2	SX	15	12.66	11.52	19.15	29.39	10.47	3.14
	CX	89	6.701	19.93	152.3	16.21	10.98	2.6
	DX	40	13.08	28.73	43.51	17.84	6.746	2.94
3	SX	70	18.27	46.3	58.6	70.67	23.56	1.91
	CX	34	16.98	18.84	30.1	123.9	21.03	2.18
	DX	1517	107	157.4	8635	116.1	220	0
4	SX	23	4.304	15.84	38.62	26.12	8.264	3.03
	CX	24	8.352	37.36	72.57	10.85	5.606	2.98
	DX	15	12.28	24.65	32.46	14.83	5.888	3.18
5	SX	25	24.95	23.3	126.1	28.22	15.76	4.04
	CX	35	40.35	60.94	147	24.04	10.84	3.87
	DX	43	25.97	52.68	44.23	16.83	11.1	4.44
6	SX	53	27.68	48.74	87.88	69.07	26.13	3.53
	CX	63	86.57	66.18	77.53	94.71	35.64	3.21
	DX	752	21.13	49.5	88.69	100.6	34.02	3.34
7	SX	31	47.69	92.1	101.8	58.01	60.67	3.13
	CX	34	133.8	49.03	38.86	42.53	13.03	4
	DX	86	17.41	53.11	44.67	49.15	21.54	3.92
8	SX	76	19.96	31.74	31.61	45.91	40.54	4.01
	CX	38	52.92	3714	91.51	82.87	57.23	0
	DX	85	41.8	45.05	34.72	59.29	33.03	3.8
9	SX	14	15.65	12.07	18.21	15.28	6.909	5.27
	CX	17	19.11	16.93	12.52	13.98	6.251	5.34
	DX	18	21.23	12.7	9.276	10.68	5.958	5.61

Tabella 73 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali e relativo Indice di area fogliare (LAI) per le analisi sotto chioma (Estate 2019). Transetti all'esterno della recinzione.

ALLEGATI

ID	PLOT	PAR	7°	23°	38°	53°	68°	LAI
10	SX	34	18.18	55.78	82.44	64.85	34.05	1.79
	CX	35	11.89	22.63	27.01	56.57	56.05	2.32
	DX	24	16.6	14.59	24.35	18.89	25.03	3.01
11	SX	1211	116.1	204.5	195.6	186.1	117	0.37
	CX	1192	145	145.6	203.4	1316	275.2	0
	DX	1257	58.97	70.03	75.95	98.04	106.5	1.23
12	SX	82	15.83	12.54	63.32	31.66	22.96	2.6
	CX	747	7.619	16.01	30.52	34.04	22.05	2.81
	DX	120	23.94	22.5	26.4	25.05	20.8	2.8
13	SX	349	34.74	88.23	155.4	158.2	114.6	2.67
	CX	1008	36.78	149.7	277.8	158.9	149.6	2.29
	DX	393	45.57	70.37	117.8	95.13	72.41	3.08
14	SX	55	70.11	160.8	99.68	83.52	71	2.95
	CX	52	25.89	45.26	54.77	71.61	55.01	3.65
	DX	55	33.68	36.94	43.01	82.47	61.65	3.67
15	SX	53	29.06	37.77	58.35	75.19	22.98	3.86
	CX	43	56.99	44.38	39.85	40.8	27.86	4.06
	DX	55	25.23	56.49	53.45	57.31	22.9	3.9
16	SX	45	40.4	155	44.81	68.54	28.22	3.56
	CX	56	97.28	404	58.69	76.55	24.62	3.17
	DX	77	83.62	125.4	49.12	15.77	18.38	4.15
17	SX	63	205.2	234.3	76.91	45.26	18.73	3.41
	CX	259	203.9	2047	106.6	62.45	30.63	0
	DX	52	49.79	67.89	44.59	21.73	7.076	4.5
18	SX	1133	164	8542	132.7	75.39	73.37	0
	CX	71	61.23	52.56	55.07	38.36	13.83	4.11
	DX	87	88.99	68.34	49.74	78.81	18.48	3.72

Tabella 74 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali e relativo Indice di area fogliare (LAI) per le analisi sotto chioma (Estate 2019). Transetti all'interno della recinzione.

LAI LETTURE SOPRA LA VEGETAZIONE							
ID	Y	X	7°	23°	38°	53°	68°
1	41.73118	12.389645	363	348.5	265.7	205.1	127.1
2	41.731174	12.389573	300.9	252.5	269.1	226.5	108.5
3	41.725581	12.391039	841.2	829.4	5774	383.9	335.8
4	41.725778	12.392903	713.8	1024	5771	528.7	335.8

Tabella 75 Valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali in alcuni punti, di coordinate X e Y, al di fuori della copertura delle chiome (Estate 2019).

LAI LETTURE SOPRA LA VEGETAZIONE							
ID	Y	X	7°	23°	38°	53°	68°
1	41.731225	12.389636	128.6	154.7	190.4	7845.	238.6
2	41.731206	12.389615	57.58	59.58	64.53	54.63	55.55
3	41.731194	12.389620	54.55	61.91	65.66	71.79	71.63
4	41.731203	12.389628	59.47	76.15	80.47	55.97	35.19
5	41.725749	12.392911	52.90	62.96	63.44	74.03	68.99
6	41.725796	12.392920	49.25	57.58	56.28	32.56	20.42
7	41.725797	12.392922	51.19	63.77	71.20	72.68	58.73
8	41.725793	12.392925	51.90	58.52	62.17	61.72	48.12

Tabella 76 Valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali in alcuni punti, di coordinate X e Y, al di fuori della copertura delle chiome (Inverno 2020).

ALLEGATI

ID	PLOT	PAR	7°	23°	38°	53°	68°	LAI
1	SX	23	44.83	35.85	30.22	18.71	12.40	1.16
	CX	13	10.58	14.74	19.36	6,434	5,386	2.22
	DX	20	17.24	27.20	31.99	19.94	10.49	1.31
2	SX	250	16.02	10.10	7,629	6,147	6,458	2.54
	CX	74	11.45	11.69	8,366	7,307	5,440	2.48
	DX	60	21.96	16.83	10.57	7,239	6,247	2.24
3	SX	295	25.28	18.04	17.18	20.61	10.36	1.56
	CX	32	5,900	10.66	10.18	12.48	6,767	2.26
	DX	98	13.86	19.59	17.89	15.45	3,907	1.93
4	SX	36	6,549	8,674	8,789	7,086	7,614	2.51
	CX	45	19.64	22.22	25.64	12.77	11.24	1.55
	DX	1202	13.90	27.80	12.80	9,995	5,145	2.03
5	SX	31	19.59	28.35	26.76	25.70	12.15	1.22
	CX	41	16.60	14.98	23.24	38.96	15.42	1.22
	DX	94	37.14	26.52	29.99	38.03	18.24	0.91
6	SX	661	23.91	35.98	46.67	31.01	22.86	0.74
	CX	194	44.08	49.54	13.38	11.85	7785	1.62
	DX	45	29.55	33.64	24.90	10.16	6445	1.65
7	SX	35	12.61	13.18	16.21	20.91	9,459	1.73
	CX	35	26.77	24.41	24.13	38.15	19.57	1.00
	DX	47	19.82	28.89	45.49	58.47	18.15	0.00
8	SX	755	27.47	29.22	31.62	36.36	27.17	0.80
	CX	634	19.03	30.06	34.79	47.87	25.50	0.72
	DX	691	31.15	35.74	30.59	39.19	23.92	0.76
9	SX	36	21.43	27.21	18.94	20.80	21.78	1.25
	CX	135	17.70	22.35	17.28	16.99	18.89	1.45
	DX	184	8,100	7,846	15.67	15.94	15.25	1.88

Tabella 77 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali e relativo Indice di area fogliare (LAI) per le analisi sotto la chioma (Inverno 2020). Transetti all'esterno della recinzione.

ID	PLOT	PAR	7°	23°	38°	53°	68°	LAI
10	SX	1010	25.10	42.51	43.55	44.52	23.10	0.59
	CX	842	27.95	36.91	39.17	35.99	23.30	0.72
	DX	21	11.28	19.64	18.50	9,615	8,877	1.89
11	SX	408	40.82	52.21	42.88	49.78	43.13	0.00
	CX	79	44.98	46.89	33.51	55.18	38.57	0.00
	DX	746	34.09	39.00	39.03	51.01	38.48	0.00
12	SX	60	12.47	18.06	33.71	31.06	26.69	1.02
	CX	98	8,877	42.78	29.65	140.1	34.38	0.00
	DX	210	40.44	62.48	133.0	74.60	16.36	0.00
13	SX	72	31.32	34.30	45.53	40.74	28.15	0.59
	CX	74	31.92	37.40	42.19	44.35	30.10	0.55
	DX	1218	22.70	30.58	40.39	29.48	17.59	0.92
14	SX	519	50.60	53.35	62.24	324.5	97.27	0.00
	CX	570	25.57	40.00	47.67	54.49	34.27	0.41
	DX	84	38.34	44.84	51.40	52.99	31.38	0.35
15	SX	202	17.15	26.28	26.17	35.16	31.55	0.90
	CX	1238	25.06	20.88	36.19	43.52	23.06	0.83
	DX	544	15.28	29.05	36.55	44.18	28.87	0.72
16	SX	70	26.39	33.83	27.19	36.48	10.34	1.06
	CX	166	28.41	32.85	27.75	31.54	17.21	0.98
	DX	329	21.96	25.08	25.34	35.52	19.55	1.02
17	SX	217	33.34	46.03	48.14	44.06	27.18	0.48
	CX	184	36.07	41.81	38.28	37.43	22.56	0.67
	DX	1422	7,828	13.33	21.65	20.90	11.86	1.62
18	SX	601	33.82	36.31	43.36	27.60	17.42	0.84
	CX	960	31.45	43.56	42.49	28.21	17.32	0.81
	DX	71	38.05	38.52	24.34	11.28	8,847	1.49

Tabella 78 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali e relativo Indice di area fogliare (LAI) per le analisi sotto la chioma (Inverno 2020). Transetti all'interno della recinzione.

ALLEGATI

DATA		LUGLIO 2019		FEBBRAIO 2020	
ID	PLOT	PAR	PAR % LUCE TOT.	PAR	PAR % LUCE TOT.
1	SX	29	8.10	23	9.30
	CX	14	3.91	13	5.25
	DX	20	5.59	20	8.08
2	SX	15	4.19	250	101.04
	CX	89	24.87	74	29.91
	DX	40	11.18	60	24.25
3	SX	70	19.56	295	119.23
	CX	34	9.50	32	12.93
	DX	1517	423.86	98	39.61
4	SX	23	6.43	36	14.55
	CX	24	6.71	45	18.19
	DX	15	4.19	1202	485.79
5	SX	25	6.99	31	12.53
	CX	35	9.78	41	16.57
	DX	43	12.01	94	37.99
6	SX	53	14.81	661	267.15
	CX	63	17.60	194	78.41
	DX	752	210.11	45	18.19
7	SX	31	8.66	35	14.15
	CX	34	9.50	35	14.15
	DX	86	24.03	47	19.00
8	SX	76	21.23	755	305.14
	CX	38	10.62	634	256.23
	DX	85	23.75	691	279.27
9	SX	14	3.91	36	14.55
	CX	17	4.75	135	54.56
	DX	18	5.03	184	74.36

Tabella 79 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori misurati e valore % in rapporto alla PAR misurata sopra chioma (luce diurna totale) in estate e in inverno. Transetti all'esterno della recinzione.

DATA		LUGLIO 2019		FEBBRAIO 2020	
ID	PLOT	PAR	PAR % LUCE TOT.	PAR	PAR % LUCE TOT.
10	SX	34	9.50	1010	408.20
	CX	35	9.78	842	340.30
	DX	24	6.71	21	8.49
11	SX	1211	338.36	408	164.90
	CX	1192	333.05	79	31.93
	DX	1257	351.22	746	301.50
12	SX	82	22.91	60	24.25
	CX	747	208.72	98	39.61
	DX	120	33.53	210	84.87
13	SX	349	97.51	72	29.10
	CX	1008	281.64	74	29.91
	DX	393	109.81	1218	492.26
14	SX	55	15.37	519	209.76
	CX	52	14.53	570	230.37
	DX	55	15.37	84	33.95
15	SX	53	14.81	202	81.64
	CX	43	12.01	1238	500.34
	DX	55	15.37	544	219.86
16	SX	45	12.57	70	28.29
	CX	56	15.65	166	67.09
	DX	77	21.51	329	132.97
17	SX	63	17.60	217	87.70
	CX	259	72.37	184	74.36
	DX	52	14.53	1422	574.71
18	SX	1133	316.57	601	242.90
	CX	71	19.84	960	387.99
	DX	87	24.31	71	28.69

Tabella 80 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori misurati e valore % in rapporto alla PAR misurata sopra chioma (luce diurna totale) in estate e in inverno. Transetti all'interno della recinzione.

I dati di rinnovazione affermata nel 2020

Di seguito sono riportati i dati sul censimento della rinnovazione *afferma* nel 2020 in sei transetti con un'estensione di 200 m², suddivisi in otto superfici di rilievo (*plot*). I sei transetti si sviluppano tre all'esterno (ID 2, 4, 9) e tre all'interno (ID 10, 13, 17) della recinzione. All'interno di ogni superficie è stata quantificata la rinnovazione forestale con un'altezza minima di 20 cm, misurando quindi la lunghezza del fusto e il diametro al colletto, nonché stimando il numero di cicatrici da ricacci stagionali per valutare la classe d'età della plantula (Tabella 81, Tabella 82, Tabella 83, Tabella 84).

TRANSETTO 10 (Parte 1)							
PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic	PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic
1	25	0.2	1	1	65	0.3	3
1	25	0.2	1	1	80	0.9	7
1	25	0.2	2	1	80	0.4	3
1	26	0.2	1	1	95	0.4	3
1	26	0.2	1	1	140	0.5	6
1	26	0.2	2	2	25	0.2	1
1	27	0.2	2	2	26	0.2	1
1	27	0.2	1	2	30	0.2	2
1	28	0.2	2	2	31	0.2	2
1	31	0.2	2	2	33	0.3	1
1	34	0.3	2	2	33	0.2	3
1	36	0.3	2	2	34	0.2	2
1	37	0.2	2	2	37	0.3	2
1	38	0.2	2	2	38	0.4	3
1	42	0.3	2	2	39	0.4	2
1	44	0.3	2	2	39	0.3	2
1	44	0.4	2	2	41	0.3	2
1	45	0.4	3	2	41	0.3	2
1	46	0.3	2	2	42	0.2	2
1	46	0.2	2	2	44	0.3	4
1	50	0.2	2	2	45	0.6	5
1	51	0.3	3	2	45	0.3	2
1	52	0.4	3	2	47	0.4	4
1	54	0.5	3	2	48	0.4	4
1	56	0.4	2	2	48	0.2	2
1	58	0.3	2	2	52	0.4	4
1	60	0.3	2	2	52	0.2	2

TRANSETTO 10 (Parte 2)							
PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic	PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic
2	53	0.2	2	3	33	0.3	2
2	55	0.5	4	3	41	0.5	2
2	61	0.4	3	4	24	0.7	2
2	71	0.4	3	4	30	0.4	2
2	74	0.5	3	4	34	0.2	2
2	76	0.2	2	4	39	0.3	2
2	76	0.8	4	4	39	0.3	2
2	78	0.4	3	4	43	0.4	2
2	80	0.6	4	4	44	0.3	2
2	81	0.5	4	4	45	0.6	2
2	82	0.4	5	4	47	0.4	2
2	83	0.4	3	4	50	0.6	3
2	83	0.6	5	4	84	0.7	4
2	87	0.4	3	5	25	0.2	1
2	88	0.3	3	5	25	0.1	1
2	91	0.3	3	5	27	0.2	1
2	92	0.5	4	5	28	0.2	1
2	94	0.5	4	5	29	0.2	2
2	101	0.5	3	5	36	0.2	2
2	107	0.9	6	5	42	0.3	2
2	120	0.7	4	5	85	0.6	3
3	25	0.2	1	6	NA	NA	NA
3	29	0.4	2	7	NA	NA	NA
3	29	0.3	2	8	NA	NA	NA

Tabella 81 Scheda di campo del transetto 10. Sono riportati, per ognuno delle otto superfici corrispondenti: i valori di lunghezza del fusto (h), diametro al colletto (d), numero delle cicatrici da ricaccio vegetativo (n cic). (Parte 1 e 2).

TRANSETTO 13 (Parte 1)							
PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic	PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic
1	27	0.3	1	6	29	0.4	2
1	28	0.3	1	6	32	0.3	2
2	31	0.3	2	6	33	0.4	2
3	29	0.2	2	6	34	0.4	3
3	30	0.4	3	6	35	0.4	3
3	32	0.2	2	6	35	0.4	3
3	34	0.3	3	6	35	1	3
3	35	0.3	3	6	36	0.4	3
3	43	0.3	2	6	37	0.4	3
3	44	0.8	4	6	37	0.5	3
3	47	0.4	3	6	37	0.4	3
3	50	0.3	4	6	38	0.4	2
3	53	0.6	6	6	38	0.3	2
3	55	0.3	3	6	41	0.5	3
3	60	1.2	7	6	41	0.6	3
3	70	1.2	5	6	42	0.4	3
3	78	0.7	5	6	44	0.6	3
4	25	0.4	3	6	45	0.5	3
4	40	0.4	3	6	46	0.5	3
4	86	0.5	4	6	47	0.3	2
5	25	0.2	2	6	49	0.5	3
5	28	0.4	3	6	50	0.5	3
5	34	0.4	3	6	52	0.5	3
5	42	0.6	4	6	53	0.3	3
5	48	0.4	3	6	53	0.6	3
5	51	0.4	4	6	54	0.6	3
5	52	0.4	4	6	54	0.4	3

TRANSETTO 13 (Parte 2)							
PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic	PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic
6	55	0.7	4	8	67	1.1	5
6	63	0.4	3	8	69	0.8	4
6	67	0.6	4	8	71	1	3
6	68	0.5	3	8	86	1.3	4
6	70	0.6	4	8	87	1.1	6
6	81	0.8	5	8	92	1.2	7
7	25	0.2	2	8	103	1.1	6
7	27	0.3	2	8	145	1.1	5
7	33	0.4	3	8	160	1.3	5
7	34	0.3	2	8	170	1.4	7
7	61	0.5	3	8	180	1.3	5
7	70	1	4	8	182	1.8	6
7	71	0.4	3	8	183	2	8
7	76	1.2	4	8	195	2.3	6
8	45	0.7	3	8	210	2.4	7
8	49	0.4	3	8	340	2.5	8

Tabella 82 Scheda di campo del transetto 13. Sono riportati, per ognuno delle otto superfici corrispondenti: i valori di lunghezza del fusto (h), diametro al colletto (d), numero delle cicatrici da ricaccio vegetativo (n cic). (Parte 1 e 2).

TRANSETTO 17							
PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic	PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic
1	NA	NA	NA	4	27	0.2	1
2	NA	NA	NA	4	29	0.2	1
3	25	0.2	1	4	35	0.3	2
3	26	0.2	1	4	39	0.2	2
3	27	0.2	1	4	39	0.3	2
3	27	0.3	2	4	43	0.3	2
3	28	0.2	2	5	25	0.2	1
3	29	0.2	1	5	25	0.2	1
3	30	0.2	1	5	28	0.3	2
3	32	0.2	1	5	31	0.4	2
3	36	0.3	2	5	49	0.2	2
3	36	0.3	2	6	31	0.4	2
3	46	0.3	2	6	33	0.3	1
3	49	0.4	2	6	57	0.6	4
3	62	0.4	3	7	81	1.2	7
3	64	0.5	3	8	NA	NA	NA

Tabella 83 Scheda di campo del transetto 17. Sono riportati, per ognuno delle otto superfici corrispondenti: i valori di lunghezza del fusto (h), diametro al colletto (d), numero delle cicatrici da ricaccio vegetativo (n cic).

TRANSETTO 2				TRANSETTO 4			
PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic	PLOT	h (cm)	d (cm)	n cic
1	25	0.2	1	1-8	0	0	0
1	26	0.2	1	TRANSETTO 9			
2-8	0	0	0	1-8	0	0	0

Tabella 84 Scheda di campo dei transetti esterni alla recinzione 2, 4,9. Il valore NA indica l'assenza di plantule.

ALLEGATO 4

I dati di copertura per le aree di saggio virtuali

Di seguito (Tabella 85) sono riportati i dati della copertura di querce caducifoglie, espressa in metri quadrati (Cop./ha (m²)) e in percentuale per ettaro (Cop./ha (%)), per ognuna delle 110 aree di saggio virtuali individuate, con estensione di un ettaro ciascuna, distribuite in tutte le otto classi colturali di querceto presenti.

Tabella 85 Copertura da querce caducifoglie per le 110 aree di saggio virtuali.

ID	Classe Colturale	Cop./ha (m ²)	Cop./ha (%)
1	<i>21_fustaie_transit_carpinella</i>	1606	16.00
2	<i>21_fustaie_transit_carpinella</i>	9368	93.60
3	<i>21_fustaie_transit_carpinella</i>	7860	78.60
4	<i>21_fustaie_transit_carpinella</i>	8646	86.40
5	<i>21_fustaie_transit_carpinella</i>	9438	94.30
6	<i>21_fustaie_transit_carpinella</i>	1875	18.70
7	<i>21_fustaie_transit_carpinella</i>	7240	72.40
8	<i>21_fustaie_transit_carpinella</i>	7932	79.30
9	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	3387	33.80
10	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	3945	39.40
11	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	9696	96.90
12	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	7486	74.80
13	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	8550	85.50
14	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	2737	27.30
15	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	10001	100.00

16	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	8925	89.20
17	<i>22_fustaie_transit_macchia</i>	7665	76.60
18	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	400	4.00
19	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	6577	65.70
20	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	4816	48.10
21	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	204	2.04
22	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	7150	71.50
23	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	2102	21.00
24	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	4854	48.50
25	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	3720	37.20
26	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	1107	11.00
27	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	3339	33.30
28	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	769	7.69
29	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	1602	16.00
30	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	5129	51.20
31	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	6164	61.60
32	<i>24_fustaie_transit_miste</i>	4727	47.20
33	<i>31_cedui_carpinella</i>	5441	54.40
34	<i>31_cedui_carpinella</i>	4328	43.20
35	<i>31_cedui_carpinella</i>	6663	66.60
36	<i>32_cedui_macchia</i>	143	1.43
37	<i>32_cedui_macchia</i>	2590	25.90
38	<i>32_cedui_macchia</i>	591	5.91
39	<i>32_cedui_macchia</i>	2632	26.30
40	<i>32_cedui_macchia</i>	200	2.00
41	<i>32_cedui_macchia</i>	634	6.34
42	<i>32_cedui_macchia</i>	1241	12.40
43	<i>32_cedui_macchia</i>	6470	64.70
44	<i>32_cedui_macchia</i>	662	6.62
45	<i>32_cedui_macchia</i>	2596	25.90
46	<i>32_cedui_macchia</i>	8061	80.60
47	<i>32_cedui_macchia</i>	6336	63.30
48	<i>32_cedui_macchia</i>	6970	69.70
49	<i>32_cedui_macchia</i>	3014	30.10
50	<i>41_altofusti_QC_</i>	1265	12.60
51	<i>41_altofusti_QC_</i>	3638	36.30
52	<i>42_altofusti_carpinella</i>	6200	62.00

ALLEGATI

53	<i>42_altofusti_carpinella</i>	3094	30.90
54	<i>42_altofusti_carpinella</i>	5393	53.90
55	<i>42_altofusti_carpinella</i>	8238	82.30
56	<i>42_altofusti_carpinella</i>	1811	18.10
57	<i>42_altofusti_carpinella</i>	4884	48.80
58	<i>42_altofusti_carpinella</i>	3424	34.20
59	<i>42_altofusti_carpinella</i>	4789	47.80
60	<i>42_altofusti_carpinella</i>	2724	27.20
61	<i>42_altofusti_carpinella</i>	5427	54.20
62	<i>42_altofusti_carpinella</i>	5846	58.40
63	<i>42_altofusti_carpinella</i>	3606	36.00
64	<i>42_altofusti_carpinella</i>	3838	38.30
65	<i>42_altofusti_carpinella</i>	3450	34.50
66	<i>42_altofusti_carpinella</i>	8822	88.20
67	<i>42_altofusti_carpinella</i>	5321	53.20
68	<i>42_altofusti_carpinella</i>	6177	61.70
69	<i>42_altofusti_carpinella</i>	3508	35.00
70	<i>42_altofusti_carpinella</i>	4606	46.00
71	<i>42_altofusti_carpinella</i>	7948	79.40
72	<i>42_altofusti_carpinella</i>	5391	53.90
73	<i>42_altofusti_carpinella</i>	4141	41.40
74	<i>42_altofusti_carpinella</i>	6277	62.70
75	<i>42_altofusti_carpinella</i>	1839	18.30
76	<i>42_altofusti_carpinella</i>	7641	76.40
77	<i>42_altofusti_carpinella</i>	3402	34.00
78	<i>43_altofusti_macchia</i>	2802	28.00
79	<i>43_altofusti_macchia</i>	3122	31.20
80	<i>43_altofusti_macchia</i>	1041	10.40
81	<i>43_altofusti_macchia</i>	3115	31.10
82	<i>43_altofusti_macchia</i>	700	7.00
83	<i>43_altofusti_macchia</i>	2532	25.30
84	<i>43_altofusti_macchia</i>	5336	53.30
85	<i>43_altofusti_macchia</i>	3215	32.10
86	<i>43_altofusti_macchia</i>	3630	36.30
87	<i>43_altofusti_macchia</i>	2520	25.20
88	<i>43_altofusti_macchia</i>	5100	51.00
89	<i>43_altofusti_macchia</i>	3417	34.10

90	<i>43_altofusti_macchia</i>	5597	55.90
91	<i>43_altofusti_macchia</i>	4302	43.00
92	<i>43_altofusti_macchia</i>	2255	22.50
93	<i>43_altofusti_macchia</i>	1108	11.00
94	<i>43_altofusti_macchia</i>	1896	18.90
95	<i>43_altofusti_macchia</i>	905	9.05
96	<i>43_altofusti_macchia</i>	6817	68.10
97	<i>43_altofusti_macchia</i>	1674	16.70
98	<i>43_altofusti_macchia</i>	1835	18.30
99	<i>43_altofusti_macchia</i>	5296	52.90
100	<i>43_altofusti_macchia</i>	1864	18.60
101	<i>43_altofusti_macchia</i>	4377	43.70
102	<i>43_altofusti_macchia</i>	1406	14.00
103	<i>43_altofusti_macchia</i>	7725	77.20
104	<i>43_altofusti_macchia</i>	6473	64.70
105	<i>43_altofusti_macchia</i>	4291	42.90
106	<i>43_altofusti_macchia</i>	2971	29.70
107	<i>43_altofusti_macchia</i>	2295	22.90
108	<i>43_altofusti_macchia</i>	4233	42.30
109	<i>43_altofusti_macchia</i>	6151	61.50
110	<i>43_altofusti_macchia</i>	5939	59.30

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Abdi H. (2007). *Singular Value Decomposition (SVD) and Generalized Singular Value Decomposition (GSVD)*. In Salkind, N. (Ed.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics* (pp. 940-945). Thousand Oaks, California: Sage

Abrahamson W. G., & Layne J. N. (2003). *Long-term patterns of acorn production for five oak species in xeric Florida uplands*. *Ecology*, 84(9), 2476-2492.

Acácio V., Holmgren M., Jansen P.A., Schrotter O. (2007). *Multiple recruitment limitation causes arrested succession in Mediterranean cork oak systems*. *Ecosystems* 10:1220–1230.

Acácio V., Holmgren M., Moreira F., Mohren G. M. (2010). *Oak persistence in Mediterranean landscapes: the combined role of management, topography, and wildfires*. *Ecology and Society*, 15(4). <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art40/>

Agnoletti M. (2010). *Paesaggi rurali storici. Per un Catalogo nazionale*, Editori Laterza, Bari.

Agnoletti M. (2010). *Paesaggio rurale: strumenti per la pianificazione strategica*, Edagricole.

Altieri M. A. (1999). *The ecological role of biodiversity in agroecosystems, Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*, Elsevier. pp. 19-31.

Ammer C. (1996). *Impact of ungulates on structure and dynamics of natural regeneration of mixed mountain forests in the Bavarian Alps*, *Forest Ecology and Management*, 88, 43-53.

Anderberg M.R. (1973). *Cluster Analysis for Applications*. New York, USA: Academic Press.

Antrop M. (1997). *The concept of traditional landscape as a base for landscape evaluation and planning. The example of Flanders Region*, Landscape of Urban Planning 38, pp. 105-117.

Antrop M. (2005). *Why landscapes of the past are important for the future*, Landscape of Urban Planning 70, pp. 21-34.

Apollonio M. (2020). *Valutazione dell'impatto degli ungulati selvatici sulla comunità vegetale: attività di pascolo/brucatura e interazione fra specie*. Report finale, Università degli studi di Sassari, Dipartimento di Medicina Veterinaria.

Apollonio M., Audisio P., Nardone A., Silvestrelli M. (2016). *La biodiversità della fauna: dalla microfauna ai grandi mammiferi*. In Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Memorie di Scienze Fisiche e Naturali 134°, Vol. XL, Parte II, pp. 281-297

Arosa M.L., Ceia R. S., Costa S. R. & Freitas H. (2015) *Factors affecting cork oak (Quercussuber) regeneration: acorn sowing success and seedling survival under field conditions*. Plant Ecology & Diversity, 8:4, 519-528, DOI: 10.1080/17550874.2015.1051154

Ashby Thomas (1914). *La Campagna Romana al tempo di Paolo III. Mappa della Campagna Romana del 1547 di Eufrosino della Volpaia riprodotta dall'unico esemplare esistente nella Biblioteca Vaticana*. Danesi.

Asner G. P., Scurlock J. M. O., Hicke J. A. (2003). *Global synthesis of leaf area index observations: Implications for ecological and remote sensing studies*. Global Ecology and Biogeography, 12, 195-205. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00026.x>

Assessment Millennium Ecosystem (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5). Washington, DC: Island press.

BIBLIOGRAFIA

Augustynczyk A. L. D., Asbeck T., Basile M., Bauhus J., Storch I., Mikusiński G., ... & Hanewinkel M. (2019). *Diversification of forest management regimes secures tree microhabitats and bird abundance under climate change*. *Science of the Total Environment*, 650, 2717-2730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.366>.

Banzato F., Barberio M. D., Del Bon A., Lacchini A., Marinelli V., Mastrocillo L., ... & Petitta M. (2019). *Relationship between rainfall and water table in a coastal aquifer: the case study of Castelporziano presidential estate*. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*.

Barbera G., Biasi R., Marino D. (2014). *I paesaggi agrari tradizionali*, FrancoAngeli, Milano.

Bartolucci F., Peruzzi L., Galasso G., Albano A., [...] Wilhalm T. & Conti F. (2018). *An updated checklist of the vascular flora native to Italy*, *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 152:2, 179-303, DOI: 10.1080/11263504.2017.1419996

Bastian O. (2013). *The role of biodiversity in supporting ecosystem services in Natura 2000 sites*. *Ecological Indicators*, 24, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.016>

Beadle C. L. (1993). *Growth analysis. In: Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual*, Hall D. O. ed., Chapman & Hall, London, 36-46.

Beni culturali e Ambientali, Ministero (1998). *Castelporziano III, Campagne di scavo e restauro 1987-1991*, a cura di Maria Giuseppina Lauro. Soprintendenza Archeologica di Ostia. Viella ISBN 88-85669-59-X.

Benzécri J.P. et coll., (1973-82). *L'analyse des données*. 2 vol. Paris, France: Dunod.

Bernard M., Boulanger V., Dupouey J. L., Laurent L., Montpied P., Morin X., Picard J. F. & Saïd S. (2017). *Deer browsing promotes Norway spruce at the expense of silver fir in the forest regeneration phase*. *Forest Ecology and Management*, 400, 269-277.

Berzaghi F., Verbeeck H., Nielsen M. R., Doughty C. E., Bretagnolle F., Marchetti M., & Scarascia Mugnozza G. (2018). *Assessing the role of megafauna in tropical forest ecosystems and biogeochemical cycles—the potential of vegetation models*. *Ecography* 41(12), 1934-1954. DOI: 10.1111/ecog.03309.

Bevilacqua P. (1985). *Uomini, terre, economie, Storia d'Italia. Le regioni dall'Unità a oggi*. La Calabria.

Bianchi L., Caronni F., Giovannini G., & Paci M. (2013). *La conservazione dei boschi a dominanza di farnia del Parco Lombardo Valle del Ticino: risultati a tre anni dall'avvio della sperimentazione e prime indicazioni gestionali*. *Forest@-Journal of Silviculture and Forest Ecology*, 10(1), 1. DOI: 10.3832/efor0825-010.

Biasi R. (2014). *Il PAT e le sue funzioni ecologico-ambientali*, in *I paesaggi agrari tradizionali*, FrancoAngeli, Milano.

Biasi R. (2014). *Il PAT: caratteri generali ed evoluzione del concetto*, in *I paesaggi agrari tradizionali*, FrancoAngeli, Milano.

Biondi F.A., Dowgiallo G., Gisotti G., Tinelli A., Figliolia A., Scarascia Mugnozza G. (2001). *Memoria illustrativa alla carta dei suoli della Tenuta di Castelporziano*. In: *Il sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo*. Scritti e Documenti XXVI, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.

Blasi C., Calzolari G., Cecca D., Demichelis S., Paolanti M., Tinelli A. (2006). *Pianificazione ecologica e zonizzazione della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. In: *Il Sistema Ambientale della*

BIBLIOGRAFIA

Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Scritti e documenti XXXVII, Roma Vol. III, pp. 1549-1606.

Blasi C., Capotorti G., Copiz R., Guida D., Mollo B., Smiraglia D. e Zattero L. (2014), *Classification and mapping of the ecoregions of Italy*, *Plant Biosystems*, 148(6): 1255-1345. DOI: 10.1080/11263504.2014.985756.

Blondel J. et Arason J. (1999). *Biology and wildlife of Mediterranean region*, Oxford University Press, New York.

Boyd J., & Banzhaf S. (2007). *What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units*. *Ecological economics*, 63(2-3), 616-626.

Brady E. (2003). *Aesthetics of the natural environment*, Tuscaloosa. ISBN: 978-0-8173-1374-6.

Bry X., (1995). *Analyses factorielles simples*. Paris, France: Economica.

Calcagno Maniglio A. (2003). *Conoscenza e analisi del paesaggio*, in *Fondamenti culturali- Ordine degli Architetti di Roma e Provincia*.

Camiz S. (2001). *Exploratory 2- and 3-way Data Analysis and Applications*. Lecture Notes of TICMI, Tbilisi, Georgia: Tbilisi University Press, vol. 2. (<http://www.emis.de/journals/TICMI/lnt/vol2/lecture.htm>)

Camiz S., Altieri A., et Manes F. (2008). *Pollution Bioindicators: Statistical Analysis of a Case Study*. *Water Air and Soil Pollution*, 194(1-4), 111-139.

Camiz S., Denimal J.-J. & Pillar V.D. (2006). *Hierarchical Factor Classification of Variables in Ecology*. *Community Ecology*, 7(2), 165-179.

- Camiz S., et Denimal, J.-J. (2006). *Classifications hiérarchiques factorielles de variables*. Revue des Nouvelles Technologies de l'Information, E-6, 383-388.
- Camiz S., et Pillar, V.D. (2018). *Identifying the informational/signal dimension in principal component analysis*. Mathematics, 6(11), 269.
- Camiz S., Pillar V.D. (2007). *Comparison of Single and Complete Linkage Clustering with the Hierarchical Factor Classification of Variables*. Community Ecology, 8(1), 25-30.
- Caporali F. (1995). *Agroecosistemi in Ecologia forestale*. UTET, Torino.
- Caracciolo D., Noto L. V., Istanbuluoglu E., Fatichi S., & Zhou X. (2014). *Climate change and Ecotone boundaries: Insights from a cellular automata ecohydrology model in a Mediterranean catchment with topography-controlled vegetation patterns*. Advances in water resources, 73, 159-175.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.08.001>
- Card Don H. (1982). *Using Known Map Category Marginal Frequencies to Improve Estimates of Thematic Map Accuracy*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(3), 431-439.
- Carocci A., & Vendittelli M. (2004). *L'origine della Campagna Romana: Casali, castelli e villaggi nel XII. e XIII. Secolo*. Società Romana di Storia Patria. ISBN-13: 9788897808046.
- Carpenzano O., Rossi P. O. (2019). *Roma tra il fiume, il bosco e il mare*. Quodlibet, Roma-Macerata.
- Carruthers T. J., Longstaff B. J., Dennison W. C., Abal E. G., & Aioi K. (2001). *Measurement of light penetration in relation to seagrass. Global seagrass research methods*. Elsevier, Amsterdam, 369-392.
- Cassetti R. (2008). *Roma e Lazio 1945-2007. La formazione di una regione urbana*. Roma, Gangemi Editore.

BIBLIOGRAFIA

Cassetti R., Roma e Lazio (2006). *L'urbanistica. Idee e piani dall'Unità ad oggi*. Roma, Gangemi Editore.

Cervelli E., Pindozi S., Sacchi M., Capolupo A., Cialdea D., Rigillo M., & Boccia L. (2017). *Supporting land use change assessment through Ecosystem Services and Wildlife Indexes*. *Land Use Policy*, 65, 249-265. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.04.011>

Chavent M., Kuentz V., Liquet B., & Saracco L. (2011). *ClustOfVar: an R package for the clustering of variables*. arXiv preprint arXiv: 1112.0295.

Cialdea D. (2010). *Territori antichi e nuovi scenari*. Prolusione dell'Inaugurazione dell'A.A. 2010-2011. Università degli Studi del Molise. ISBN: 978-88-88102-25-2.

Cialdea D. (2017). *Sustainable actions for urban and territorial regeneration*. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 12(3), 271-280. DOI: 10.2495/DNE-V12-N3-271-280

Cialdea D. (2018). *Smart land: Regeneration and sustainability in lost scenarios and new performances*. In *Smart planning: Sustainability and mobility in the age of change* (pp. 15-36). Springer, Cham p. 15-36. DOI: 10.1007/978-3-319-77682-8.

Cialdea D. (2019). *Spatial evolutions between identity values and settlements changes*. In C. Gargiulo & C. Zoppi (Eds.), *Planning, nature and ecosystem services* (pp. 39-51). Naples: FedOAPress. ISBN: 978-88-6887-054-6, DOI: 10.6093/978-88-6887-054.6.

Ciancio O. (2019). *La selvicoltura tra filosofia e scienza*. *L'Italia Forestale e Montana*, 74(1), 3-9.

Cicerone *De natura deorum*, II, 60, 150-152.

Clément Gilles (2004). *Manifeste du Tiers paysage* (p. 48). Paris: Sujet/Objet.

Comitato Capitale Naturale (2017), *Primo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia*. Roma

Comitato Capitale Naturale (2018), *Secondo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia*. Roma.

Commissione Europea (2011). *La nostra assicurazione sulla vita, il nostro capitale naturale: strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020*. Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni, COM (2011) 244 final. Bruxelles, 3.05.2011.

Commissione Europea (2015). *Revisione intermedia della Strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020*. Relazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio, COM (2015) 478 final. Bruxelles, 2.10.2015.

Commissione Europea (2019). *Il Green Deal europeo*. Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni, COM(2019) 640 final. Bruxelles, 11 dicembre 2019.

Congalton Russell G. (1991). *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data*. Remote sensing of environment, 37(1), 35-46.

Corona P., Ferrari B., Iovino F., La Mantia T., & Barbati A. (2009). *Rimboschimenti e lotta alla desertificazione in Italia*. Aracne editrice. ISBN: 978-88-548-2549-9.

Corona P., Ferrari B., Marchetti M., & Barbati A. (2006). *Risorse forestali e rischio di desertificazione in Italia*. Standard programmatici di gestione. Università della Tuscia, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione, Roma.

BIBLIOGRAFIA

Corrado G. (2012). *Principi di Diritto Forestale, Ambientale, Montano, Aracne*, Roma.

Costanza R., D'arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R., Paruelo J. et al. (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature* 387, 253–260.

Costanza R., Fisher B., Mulder K., Liu S., Christopher T. (2007). *Biodiversity and ecosystem services: a multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production*. *Ecological Economics* 61, 478–491.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.03.021>

CRA, Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (2008). *Conservazione e fertilità del suolo, cambiamenti climatici e protezione del paesaggio*, Atti del Convegno 10-11 dicembre 2008, Roma.

http://sito.entecra.it/portale/public/documenti/atti_convegno_conservazione_suolo08.pdf

Cutini A., Chianucci F., Chirichella R., Donaggio E., Mattioli L., & Apollonio M. (2013). *Mast seeding in deciduous forests of the northern Apennines (Italy) and its influence on wild boar population dynamics*. *Annals of forest science*, 70(5), 493-502.

D'Angelo P., (2010). *Estetica ambientale, XXI Secolo*.

De Lillis M., Costanzo L., Menegoni P., Pignatti S., Manes F. (1997). *La rigenerazione del bosco sempreverde e caducifoglio nell'area di Castelporziano: studio demografico*. In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Rapporto 1997: 237-244.

De Lillis M., Costanzo L., Menegoni P., Pignatti S., Manes F. (2001). *La rigenerazione del bosco sempreverde e caducifoglio nell'area di*

Castelporziano. In: Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. Scritti e Documenti XXVI. Vol. II. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL: 777-788.

De Philippis A. (1942). *Introduzione ad una "Biologia forestale"*. R. Stazione sperimentale di Selvicoltura, Firenze, 25 luglio 1942.

Debussche M., Debussche G., & Lepart J. (2001). *Changes in the vegetation of Quercus pubescens woodland after cessation of coppicing and grazing*. Journal of Vegetation Science, 12(1), 81-92.

Delpino F. (1867). *Pensieri sulla biologia vegetale, sulla tassonomia, sul valore tassonomico dei caratteri biologici, e proposta di un genere nuovo della famiglia delle labiate*. Il Nuovo Cimento (1855-1868), 25(1), 321-398.

Denimal J.-J. (2007). *Classification factorielle hiérarchique optimisée d'un tableau de mesures*. Journal de la société française de statistique, 148(2), 29-63.

Denimal J.-J. (2001). *Hierarchical Factorial Analysis*. In Govaert, G., Janssen, J. & Limnios, N. (Eds.), Actes du 10th International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis, 12-15 Juin 2001, Compiègne, France: Université de Technologie de Compiègne.

Di Cesarea Procopio (1985). *La guerra gotica*, a cura di Comparetti D., Roma, 187.

Diggle P.J., Liang K.-Y., & Zieger S.L. (1994). *Analysis of Longitudinal Data*. Oxford, United Kingdom: Clarendon Press.

Duprè E., Maggiore A.M., Martino D., Patriarca D., Petrucci B., Scanu G., Tartaglino N. (2013). *Parchi Nazionali: dal capitale naturale*

BIBLIOGRAFIA

alla contabilità naturale. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

Eckart C., & Young G. (1936). *The approximation of one matrix by another of lower rank*. *Psychometrika*, 1(3), 211-218.

Etter A., McAlpine C., Wilson K., Phinn S., & Possingham H. (2006). *Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia*. *Agriculture, ecosystems & environment*, 114 (2-4), pp. 369-386.

European Environment Agency (2018). *Trends and projections in Europe 2018. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets*. EEA Report 16/2018, ISSN 1977-8449.

Eurostat, (2018). *Climate change – driving forces*. *Statistics Explained*, agosto 2018.

Eurostat (2018). *Forestry and climate change*. *Statistics Explained*, settembre 2018.

Ewert F., Rounsevell M.D.A., Reginster I., Metzger M. & Leemans R. (2005). *Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(2-3), 101-116.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.12.003>

Fanelli G., Tescarollo P. (2006). *Il rinnovamento delle specie arboree caducifoglie a Castelporziano*. In: *Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo*. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Scritti e Documenti XXVI. Vol. II. pp. 607-622.

Fang H., Liang S., Kuusk A. (2003). *Retrieving leaf area index using a genetic algorithm with a canopy radiative transfer model*, Remote Sensing of Environment, 85, 3, 257-270.

FAO (1994). *Decline and Dieback of Trees and Forest*; FAO Forestry Paper. FAO: Rome, Italy.

Farber S. C., Costanza R., & Wilson, M. A. (2002). *Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services*. Ecological economics, 41(3), 375-392.

Farina A. (2001). *Ecologia del paesaggio*, Utet.

Feoli E. e Orloci L. (1991). *Properties and interpretation of observations in vegetation study, Coenoses*, Edizioni LINT Trieste, Italia, 6, (2), 61-70

Ferriolo Venturi M. (2004). *Etiche del paesaggio*, in Ri-Vista, Ricerche per la progettazione del paesaggio. Anno 2, n. 1, gennaio-giugno, Firenze University Press.

Fineschi S., Vendramin G. G. (2004). *La diversità cloroplastica delle querce italiane: evidenze di una maggiore ricchezza genetica nelle popolazioni meridionali e insulari*. Forest@ 1: 82-87. - DOI: 10.3832/efor0220-0010082

Forest Europe (2015). *State of Europe's Forests 2015*. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe.

Gallia A., Masetti C. (2016). "*La Carta de' dintorni di Roma di William Gell e Antonio Nibby (1827)*. Diffusione cartografica, trasformazione, conservazione e valorizzazione dei beni territoriali e culturali". Bollettino della Associazione Italiana di Cartografia, (156), 46-58.

García L. V., Maltez-Mouro S., Pérez-Ramos I. M., Freitas H., & Marañón T. (2006). *Counteracting gradients of light and soil nutrients*

BIBLIOGRAFIA

in the understorey of Mediterranean oak forests. Web Ecology 6:67-74.
ISSN 1399-1183

García-Mozo H., Domínguez Vilches E., & Galán C. (2012). *A model to account for variations in holm-oak (Quercus ilex subsp. ballota) acorn production in southern Spain*. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 19 (3), 403-408.

Garrison B. A., Wachs R. L., Jones, J. S., & Triggs M. L. (1998). *Visual counts of acorns of California black oak (Quercus kelloggii) as an indicator of mast production*. Western Journal of Applied Forestry, 13(1), 27-31.

Gea-Izquierdo G., Cañellas I., & Montero G. (2006). *Acorn production in Spanish holm oak woodlands*. Forest Systems, 15(3), 339-354. DOI: 10.5424/srf/2006153-00976.

Gentilesca T.; Camarero J.J.; Colangelo M.; Nolè A.; Ripullone F. (2017). *Drought-induced oak decline in the western Mediterranean region: An overview on current evidences, mechanisms and management options to improve forest resilience*. iForest Biogeosci. For. 10, 796–806.

Gibelli G. (2008). *Ecologia e Governance del Paesaggio*, Atti del X Congresso Nazionale SIEP-IALE, Ecologia e Governance del Paesaggio, pp. 22-23.

Gimeno T.E., Pias B, Lemos-Filho J.P., Valladares F. (2009). *Plasticity and stress tolerance override local adaptation in the responses of Mediterranean holm oak seedlings to drought and cold*. Tree Physiology 29:87–98.

Giordano E., Macuz A., Scarascia Mugnozza G., Tinelli A. (1996). *Effetti dei fattori ambientali sulla rinnovazione naturale dei querceti caducifogli*. In: Progetto di monitoraggio ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). 189-196.

Giordano E., Scarascia Mugnozza G., Tinelli A. (1995). *La rinnovazione naturale dei querceti caducifogli: dinamica temporale e interazione con i fattori ambientali*. In: Progetto di monitoraggio ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC) 170-174.

Giordano E., Tinelli A., Macuz A., Scarascia Mugnozza G. (1997). *Dinamica spaziale e temporale della rinnovazione dei querceti caducifogli*. In: Progetto di monitoraggio ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. (SITAC). 1997: 245-248.

Giuffrida R. (2012). *Diritto europeo dell'ambiente*, G. Giappichelli Editore - Torino, ISBN 9788834827239.

Giuliani C. (2015). *Analisi diacronica sui cambiamenti d'uso del suolo ed evoluzione dei pattern paesaggistici in un ambiente periurbano. Ricadute su di un'area protetta*. [Tesi di Laurea], Viterbo, Università degli Studi della Tuscia, DAFNE.

Giuntini A., Landucci G. (2010). *Cacciatore guardia: una passione... una professione: storie di uomini nelle Tenute reali e presidenziali*. Felici Ed.

Giupponi C., Galassi S., Pettenella D., Secco L., Gatto P., & Costantini M. (2009). *Definizione del metodo per la classificazione e quantificazione dei servizi ecosistemici in Italia*. Progetto: "Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità: I contributi della Conservazione Ecoregionale". Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione per la Protezione della Natura, Roma, 34.

Gómez-Aparicio L., Pérez-Ramos I. M., Mendoza I., Matias L., Quero J. L., Castro J., ... & Maranon T. (2008). *Oak seedling survival and growth along resource gradients in Mediterranean forests: implications for regeneration in current and future environmental scenarios*. *Oikos*, 117(11), 1683-1699.

BIBLIOGRAFIA

- Gómez-Baggethun E., de Groot R., Lomas P L, Montes C. (2010). *The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes*. *Ecological Economics* 69 (2010) 1209–1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>
- Gordon A.D. (1999). *Classification*. London, United Kingdom: Chapman and Hall.
- Greenberg C. H. (2000). *Individual variation in acorn production by five species of southern Appalachian oaks*. *Forest Ecology and Management*, 132(2-3), 199-210.
- Gregotti V. (2014). *Bernardo Secchi*. *Urbanistica*, Anno LXV serie storica, n. 153, gennaio-giugno, pp. 9-15.
- Grignetti A, Tinelli A., Salvatori R., Casaccia R. (1999). *Studio dell'Evolutione Temporale del Paesaggio Vegetale nella Tenuta di Castelporziano mediante l'Analisi Multitemporale di Foto Aeree*. In SITAC, Sistema Informativo Territoriale e Ambientale Castelporziano, Rapporto.
- Groot Bruinderink G.W.T.A., Hazebroek E. (1996). *Wild boar (Sus scrofa scrofa L.) rooting and forest regeneration on podzolic soils in the Netherlands*, *Forest Ecology and Management*, 88, 71-80.
- Harman H.H. (1976). *Modern factor analysis*. Chicago, USA: University of Chicago Press.
- Harmer R. (1995). *Natural regeneration of broadleaved trees in Britain: III. Germination and establishment*. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 68(1), 1-9.
- Harmer R., & Morgan, G. (2007). *Development of Quercus robur advance regeneration following canopy reduction in an oak woodland*. *Forestry*, 80(2), 137-149.

- Harper J.L. (1977). *Population biology of plants*. London (UK): Academic Press.
- Hartigan J.A. (1975). *Clustering algorithms*. New York, USA: John Wiley and Sons.
- Herrera J. (1995). *Acorn predation and seedling production in a low-density population of cork oak (Quercus suber L.)*. *Forest Ecology and Management* 76:197–201.
- Hoorman J., Hone, T., Sudman, T., Dirksen, T., Iles, J., & Islam, K. R. (2008). *Agricultural impacts on lake and stream water quality in Grand Lake St. Marys, Western Ohio*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 193(1-4), 309-322.
- Impiglia C. (2017). *Rodolfo Lanciani e la rappresentazione dell'antica campagna romana. Ricerca archeologica tra passeggiate e collezionismo*, *RIASA, Rivista dell'Istituto Nazionale d'Archeologia e Storia dell'Arte*, 72 (III serie, Anno XL, 2017), pp. 291-318.
- IPBES (2018). *The IPBES assessment report on land degradation and restoration*. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages.
- IPBES (2018). *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia*. Rounsevell, M., Fischer, M., Torre-Marín Rando, A. and Mader, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 892 pages.
- Isotti R. e Cambone A. (2019). *Il popolo Immobile. Le ultime foreste del Mediterraneo*. De Luca Editori D'Arte. ISBN: 978-8865574270.
- Italiana Repubblica (2016). *Costituzione della Repubblica Italiana, Wohnrecht*.

BIBLIOGRAFIA

Jarvis P. G. (1964). *The adaptability to light intensity of seedlings of Quercus petraea (Matt.) Liebl.* The Journal of Ecology, 545-571.

Jolliffe I. (2002). *Principal component analysis*. Berlin, Germany: Springer.

Kempeneers P., Sedano F., Seebach L., Strobl P., & San-Miguel-Ayanz J. (2011). *Data fusion of different spatial resolution remote sensing images applied to forest-type mapping*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 49(12), 4977-4986.

Kim M. S., Daughtry C. S. T., Chappelle E. W., McMurtrey J. E., & Walthall C. L. (1994). *The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (A par)*. ISPRS'94 Val d'Isere, France, 17-21 January 1994.

Knott J. A., Desprez J. M., Oswald C. M., & Fei S. (2019). *Shifts in forest composition in the eastern United States*. Forest Ecology and Management, 433, 176-183.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.061>

Koenig W. D., Mumme R. L., Carmen W. J., & Stanback M. T. (1994). *Acorn production by oaks in central coastal California: variation within and among years*. Ecology, 75(1), 99-109.

Kouba Y., Camarero J. J., & Alados C. L. (2012). *Roles of land-use and climate change on the establishment and regeneration dynamics of Mediterranean semi-deciduous oak forests*. Forest Ecology and Management, 274, 143-150.

Lanciani R. (1903). *Le antichità del territorio laurentino nella tenuta reale di Castelporziano*. Monumenti antichi pubblicati dall'Accademia dei Lincei XIII, 133-198.

Le Corre V., Machon N., Petit R.J., Kremer A. (1997). *Colonisation with long-distance seed dispersal and genetic structure of maternally*

inherited genes in forest trees: a simulation study. Genetic Research 69: 117-125.

Lebart L., Piron, M., & Morineau, A. (2006). *Statistique exploratoire multidimensionnelle: Visualisations et inférences en fouille de données*. Paris, France: Dunod.

Leone A., Marini R. (1993). *Assessment and mitigation of the effects of land use in a lake basin*. Journal of environmental management. 39(1) pp.39-50.

Leone, A., Ripa M.N., Boccia L., Lo Porto A. (2008). *Phosphorus export from agricultural land: a new simple quantitative methodology*. BiosystEng, 101:270–280.

Lerman I.-C. (1981). *Classification et analyse ordinale des données*. Paris, France: Dunod.

Lo Sardo E. (1987). *La cartografia dello Stato pontificio in epoca napoleonica*. Publications de l'École Française de Rome 96.1 (1987): 121-131.

Lo Sterzo M. (1992). *Ricerche sulla rinnovazione naturale dei boschi di querce caducifoglie nella Tenuta presidenziale di Castelporziano*. [Tesi di Laurea], Viterbo, Università degli Studi della Tuscia.

Lorusso L., Laforteza R., Tarasco E., Sanesi G., Triggiani O. (2007). *Tipologie strutturali e caratteristiche funzionali delle aree verdi periurbane: il caso di studio della città di Bari*. L'Italia Forestale e Montana 62.4 (2007): 249-265.

Macuz A., Giordano E., Scarascia Mugnozza G. (2001). *Rinnovazione naturale dei querceti caducifogli di Castelporziano in rapporto a parametri strutturali e microclimatici*. In: Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo.

BIBLIOGRAFIA

Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Scritti e Documenti XXVI. Vol. II. pp. 789-812.

Macuz A., Lo Sterzo M., Giordano E., Scarascia Mugnozza G., (2006). *Rinnovazione naturale dei querceti caducifogli della Tenuta di Castelporziano: indagini strutturali ed eco fisiologiche*. In: Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Scritti e Documenti XXXVII. Vol. II. pp. 623-651.

Macuz A., Lo Sterzo M., Giordano E., Tinelli A., Scarascia Mugnozza G. (1997). Poster: *La rinnovazione naturale dei querceti caducifogli nella Tenuta di Castelporziano*. Atti del I° Congresso della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, Legnaro (Pd) 4/6 giugno 1997. S.I.S.E.F. Atti I: 213-217.

Macuz A., Scarascia Mugnozza G., Giordano E., Tinelli A. (1998). *Analisi di alcuni fattori ambientali e la loro interazione con il processo di rinnovazione naturale dei querceti caducifogli*. In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Rapporto 1998: 248-257.

Macuz A., Scarascia Mugnozza G., Giordano E., Tinelli A. (1999). *Analisi della quantità di luce nel piano di semenzali in due popolamenti di querce caducifoglie della Tenuta di Castelporziano*. In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Rapporto 1999: 181-183.

Macuz A., Tinelli A., Lauteri M., Scarascia Mugnozza G. (2006). *Diversificazione dell'uso delle risorse idriche in biocenosi forestali mediterranee ed analisi degli isotopi stabili dell'acqua*. In: Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo.

Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Scritti e Documenti XXXVII. Vol. I. pp. 411-432.

Manes F., Donato E., Silli V., De Lillis M., Pignatti S. (1997). *La rinnovazione del bosco sempreverde e caducifoglio nell'area di Castelporziano: studio eco fisiologico*. In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Rapporto 1997: 255-262.

Manes F., Donato E., Silli V., Giannini M. (1998). *Studi ecofisiologici su piantine di specie caducifoglie (Quercus cerris L. e Quercus frainetto Ten.) e sempreverde (Quercus ilex L.) nel comprensorio della Tenuta di Castelporziano*. In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Rapporto 1998: 258-266.

Marchetti M., Vizzarri M. (2016). *Servizi degli ecosistemi forestali a scala di paesaggio*. In Brevi lezioni di paesaggio, a cura di Rita Biasi, Donatella Scatena, FrancoAngeli.

Marchi E., Picchio R., Mederski P. S., Vusić D., Perugini M., & Venanzi R. (2016). *Impact of silvicultural treatment and forest operation on soil and regeneration in Mediterranean Turkey oak (Quercus cerris L.) coppice with standards*. Ecological engineering, 95, 475-484.

Marino D., Marucci A., Palmieri M., Tufano M., Gaglioppa P., Sola M. (2017). *La valutazione dei Servizi Ecosistemici nei parchi nazionali: esempi applicativi*. Report Unioncamere. Progetto LATE (Dipartimento di Bioscienze e Territorio dell'Università del Molise), LANDS Network e Unioncamere.

Marocco G. (1835). *Monumenti dello Stato pontificio, Lazio e sue memorie*. Tomo VII, Tipografia Boulzaler.

Martínez-Alier J. (2002). *The Environmentalism of the Poor*. Edward Elgar, Cheltenham. ISBN: 978 1 84376 486 1.

BIBLIOGRAFIA

- MATTM, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2010). *La strategia Nazionale per la Biodiversità*. <https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/biodiversita/Strategia Nazionale per la Biodiversita.pdf>
- Mayrand K., & Paquin M. (2004). *Payments for environmental services: a survey and assessment of current schemes*. Unisfera International Centre, Report for Commission for Environmental Cooperation of North America. Montreal, September 2004.
- McCree K. J. (1972). *Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data*. *Agricultural Meteorology*, 10, 443-453.
- Mensing S. A., Schoolman E. M., Tunno I., Noble P. J., Sagnotti L., Florindo F., & Piovesan G. (2018). *Historical ecology reveals landscape transformation coincident with cultural development in central Italy since the Roman Period*. *Scientific reports*, 8(1), 1-9.
- Milligan G.W., & Cooper M.C. (1985). *An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set*. *Psychometrika* 50, 159-179
- Minetti G. (1865). *Cenni storici sulla baronia di Castel Porziano proprietà di sua eccellenza il sig. D. Pio Duca Grazioli corredati di autentici documenti Giovanni Minetti*. Salviucci.
- Ministry for the Environment, Land and Sea (2015). *Italy's Fifth National Report to the Convention on Biological Diversity*. MATTM, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, May 2015. (<https://www.cbd.int/doc/world/it/it-nr-05-en.pdf>).
- Moreno D. (1988). *Il paesaggio rurale fra storia e attualità*, Monti e Boschi 1, pp. 3-4.

Moretti R., Moretti V., Salvati L., Tinelli A. (2017). *Dati meteoroclimatici raccolti nella Foresta Mediterranea di Castelporziano dal 1995*. Ed. S.G.P.R. -Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL- ISBN 9788898075201.

Munafò M. (2014). *Il consumo di suolo in Italia*. ISPRA, Report 195/2014. ISBN 978-88-448-06460.

Munafò M. (2017). *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. ISPRA, Report 266/17. ISBN: 978-88-448-0831-0

Munafò M. (2018). *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. ISPRA, Report 288/2018. ISBN 978-88-448-0902-7.

Munafò M. (2019). *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2019, Report SNPA 08/19. ISBN 978-88-448-0964-5

Myneni R.B., Nemani R.R., Running S.W. (1997). *Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models*. IEEE T. Geosci. Remote 35: 1380–1393.

Nadar (2010). *Quando ero fotografo*. Abscondita.

Nibby A. (1837). *Analisi storico-topografico-antiquaria della carta de' dintorni di Roma*, vol. 1-2-3, Roma.

Oldeman L. R. (1991). *World map of the status of human-induced soil degradation. An explanatory note, Global assessment of soils degradation, GLASOD. The Map Sheets*. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre. ISBN 9066720468.

Olsen L.M., Dale V.H., Foster T. (2007). *Landscape patterns as indicators of ecological change at Fort Benning, Georgia, USA*. *Landscape and urban planning*, 79(2), 137-149.

Olson Jr. D. F., & Boyce S. G. (1971). *Factors affecting acorn production and germination and early growth of seedlings and seedling sprouts*. In

BIBLIOGRAFIA

Oak Symposium Proceedings, USDA Forest Serv., Northeastern Forest Experiment Station (pp. 44-48).

Pagliardi M.N., Magnani Cianetti M. (2012). *Il Mosaico di Castel Porziano*. Accademia Nazionale dei Lincei, Monumenti Antichi, Serie Miscellanea volume XIV, LXVIII serie generale.

Passigli S. (2012). *La costruzione del "Catasto Alessandrino" (1660). Agrimensori, geometri e periti misuratori*. In, *Piante di Roma, dal rinascimento ai catasti*, M. Bevilacqua (a cura di). Roma, (2012): 370-391.

Perrella P. (1992). *Influenza della struttura del bosco e dei selvatici sulla rinnovazione naturale dei querceti di Castelporziano*. [Tesi di Laurea], Viterbo, Università degli Studi della Tuscia.

Perrella P. (1998). *Condizioni stazionali e qualità della rinnovazione delle querce caducifoglie nel bosco planiziario di Castelporziano (Roma)*. Tesi di Laurea, Università degli Studi della Tuscia, Dip. Scienze dell'ambiente forestale e delle sue risorse, Viterbo.

Petitta M. (2019). *Monitoraggio idrogeologico della fascia litorale della Tenuta presidenziale di Castelporziano*. Relazione sulle attività svolte nel periodo gennaio 2019 - dicembre 2019.

Pezzi G. e Ferrari C. (2005). *Cambiamenti a breve-medio termine in un paesaggio culturale*. Estimo e territorio, n. 4.

Phillips C. N., & Hunnicutt T. B. (1995). *Improvements on a reliable oak seed trap*. Res. Note SE-371. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 16 p., 371.

Piccinno M. & Rosati I. (2020). *Biodiversity of the Presidential Estate of Castelporziano [Data set]*. LifeWatch ERIC. <https://doi.org/10.48372/5FF2214F-8405-4C0B-826F-6179A4296637>

Piccinno M. (2012). *Evoluzione diacronica del paesaggio mediante analisi in ambiente GIS di foto aeree storiche: il caso di studio del Comune di Oriolo Romano (VT)*. [Tesi di laurea], Viterbo, Università degli Studi della Tuscia, DAFNE.

Piussy P. (1994). *Selvicoltura generale*, Utet, Torino.

Plinio Il Giovane, Ep. II, XVII.

Portoghesi L., Iovino F., Certini G., & Travaglini D. (2019). *Il bosco e la custodia del territorio: il ruolo della selvicoltura*. *L'Italia Forestale e Montana*, 74(5), 263-276.

Pratesi F. (2014). *Castelporziano, Storia di una foresta*. *Notiziario della Banca Popolare di Sondrio*, n° 124 aprile 2014.

Publio Virgilio Marone (XVI secolo). *Eneide*, Libro VII. Traduzione di Annibale Caro.

Pulido F. J., & Díaz M. (2005). *Regeneration of a Mediterranean oak: a whole-cycle approach*. *Ecoscience*, 12(1), 92-102.

R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>

Ramos S., Vázquez F.M., Ruiz T. (2013). *Ecological implications of acorn size at the individual tree level in Quercus suber L.* *ISRN Botany* 2013:1–6. Article ID 310828.

Recanatesi F., & Petroselli A. (2020). *Land Cover Change and Flood Risk in a Peri-Urban Environment of the Metropolitan Area of Rome (Italy)*. *Water Resources Management: An International Journal*, Published for the European Water Resources Association (EWRA), 1-15.

BIBLIOGRAFIA

Recanatesi F. (2015). *Variations in land-use/land-cover changes (LULCCs) in a peri-urban Mediterranean nature reserve: the estate of Castelporziano (Central Italy)*. *Rendiconti Lincei*, 26(3), 517-526.

Recanatesi F., Giuliani C., & Ripa M. N. (2018). *Monitoring Mediterranean Oak decline in a peri-urban protected area using the NDVI and Sentinel-2 images: The case study of Castelporziano State Natural Reserve*. *Sustainability*, 10(9), 3308.

Recanatesi F., Giuliani C., Piccinno M., Cucca B., Rossi C.M., Ripa M.N. (2020). *An innovative environmental risk assessment approach to a Mediterranean coastal forest: The Presidential Estate of Castelporziano (Rome) case study*. *Annals of Silvicultural Research*, 44 (2), 80-85.

Recanatesi F., Petroselli A., Ripa M. N., & Leone A. (2017). *Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: a study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy)*. *Journal of environmental management*, 201, 6-18.

Recanatesi F., Piccinno M., Cucca B., Rossi C. M., & Ripa M. N. (2020). *The Contribution of Remote Sensing and Silvicultural Treatments to the Assessment of Decline in an Oak Deciduous Forest: The Study Case of a Protected Area in Mediterranean Environment*. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 36-49). Springer, Cham.

Recanatesi F., Ripa M. N., & Leone A. (2011). *Landscape change (1930-2010) in a Mediterranean natural reserve*. *Journal of Geography and Regional Planning*, 4(5), 261-272.

Reinhart A. (2015). *Statistics done wrong: The woefully complete guide*. San Francisco, California: No Starch Press.

- Rey Benayas J.M., Newton A.C., Díaz A., Bullock J.M. (2009). *Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis*. *Science* 28, 1121–1124.
- Ripa M. N., Ciapanna F., Filibeck G., Gobattoni F., Leone A., Pelorosso R., Piccinno M., Rossi C. M., Recanatesi F. (2013). *Evolution of some Mediterranean landscapes of Central Italy from historical aerial photographs*. *Journal of Agricultural Engineering* 2013; volume XLIV (s1): e96, pp. 483 - 489. ISSN 1974-7071, doi.org/10.4081/jae.2013.338.
- Romagnoli M., Moroni S., Recanatesi F., Salvati R., & Scarascia Mugnozza G. (2018). *Climate factors and oak decline based on tree-ring analysis. A case study of peri-urban forest in the Mediterranean area*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 17-28.
- Rosenthal E. (2010). *Ancient Italian Town Has Wind at Its Back*, *New York Times*, 29 settembre.
- Rounsevell M.D.A., Ewert F., Reginster I., Leemans R. & Carter T.R. (2005). *Future scenarios of European agricultural land use. II. Projecting changes in cropland and grassland*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(2-3), 117-135.
- Sala O. E., Chapin F. S., Armesto J. J., Berlow E., [...] Walker M., Wall D. H. (2000). *Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100*. *Science*, 287, 1770-1774.
- Salvati L., Moretti V., Zitti M., & Ferrara C. (2015). *Towards soil water scarcity? An exploratory time-series analysis of the aridity index in Castelporziano forest, Rome*. *Rendiconti Lincei*, 26(3), 289-295.
- Santana J., Porto M., Reino L., & Beja P. (2011). *Long-term understory recovery after mechanical fuel reduction in Mediterranean cork oak forests*. *Forest Ecology and Management*, 261(3), 447-459. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.030>

BIBLIOGRAFIA

Santos M. J., & Thorne J. H. (2010). *Comparing culture and ecology: conservation planning of oak woodlands in Mediterranean landscapes of Portugal and California*. *Environmental Conservation*, 155-168.

SAS Institute (1999). *SAS Online Doc, Version 8*. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc.

Sauer C. O. (1925). *The Morphology of Landscape*, University of California Publications in Geography, 22, pp. 19-53.

Scarascia Mugnozza G. (2016). *Foreste e legno per il paesaggio e la bio-architettura*. In *Brevi lezioni di paesaggio a cura di Rita Biasi, Donatella Scatena, FrancoAngeli*.

Scrinzi G., Colle G., Presutti Saba E., Clementel F., Maffei L., Tinelli A., & Giordano E. (2020). *L'approccio LiDAR/GIS per la realizzazione dell'inventario forestale e del piano selvicolturale della Foresta Presidenziale di Castelporziano*. *L'Italia Forestale e Montana*, 74(6), 341-356.

Secchi B. (2000). *Prima lezione di urbanistica*. Laterza & Figli Spa. ISBN: 8842060607.

Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica (2010). *Piano di Gestione della Tenuta presidenziale di Castelporziano*. Roma

Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica e Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, a cura di Elena Gajeri (2017). *Descrizioni di Castelporziano nell'epoca del "Grand Tour"*. ISBN 978-88-98075-21-8.

Sereni E. (1961), *Storia del paesaggio agrario italiano*, Roma-Bari: Laterza.

Smith N.J. (1991). *Predicting radiation attenuation in stands of Douglas-fir*. *For. Sci.* 37: 1213-1223.

Spada F. et Agrillo E. (2018). *Mappatura degli habitat forestali di Direttiva (92/43/CEE) all'interno dei Siti Natura 2000 (ZPS E ZSC) presenti nella Riserva naturale statale Tenuta presidenziale di Castelporziano*, Relazione Tecnica Progetto Accademia dei XL.

Stafasani M. & Toromani E. (2015). *Growth-Climate Response of Young Turkey Oak (Quercus cerris L.) Coppice Forest Stands along Longitudinal Gradient in Albania*. *Seefor*, 6(1), 25-38.

Swanwick C. (2002). *Landscape Character Assessment: Guidance for England and Scotland*. The Countryside Agency and Scottish Natural Heritage.

Tassinari P. (2010). *Le trasformazioni dei paesaggi nel territorio rurale: le ragioni del cambiamento e possibili scenari futuri*, Gangemi.

Thorntwaite CW. (1948). *An approach towards a rational classification of climate*. *Geogr Rev* 38:55–94.

Tinelli A., Folletto A., Manfredi Frattarelli A., Maffei L., Musicanti A., Recanatesi F. (2012). *Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano - Le Zone Umide*. Ed. S.G.P.R. - Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL- ISBN. 9788898075003.

Tolli M., Recanatesi F., Piccinno M., Leone A. (2016). *The assessment of aesthetic and perceptual aspects within environmental impact assessment of renewable energy projects in Italy*, *Environmental Impact Assessment Review* 57, 2016, pp. 10-17.

Tomassetti G. (1896). *Della campagna romana*. Archivio della Società Romana di Storia Patria, 19 pp. 135-50.

Tukey J.W. (1977). *Exploratory Data Analysis*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

United Nations (1994), *Convention to Combat Desertification*, Parigi.

BIBLIOGRAFIA

Vico Giambattista (1852). *La scienza nuova*, Tipografia economica, Libro Primo, LXV.

Vigneau E., Qannari E.M., Sahmer K., & Ladiray D. (2006). *Classification de variables autour de composantes latentes*. *Revue de Statistique Appliquée*, 54, 27-45.

Waring R. H. (1985). *Estimates of forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area*, *Advances in Ecological Research*, 13, 327-354.

Watson D.J. (1947). *Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years*. *Ann. Bot.* 11: 41–76.

Welles J. M., Norman J. M. (1991). *Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture*, *Agronomy Journal*, 83, 5, 818-825.

WWF Italy (2017). *Un quinto dell'Italia a rischio desertificazione*, 17 giugno 2017. <https://www.wwf.it/?31300/Giornata-Mondiale-desertificazione>

Zhu Z., Bi J., Pan Y., Ganguly S., Anav A., Xu L., & Myneni R. B. (2013). *Global data sets of vegetation leaf area index (LAI) 3g and Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR) 3g derived from Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI3g) for the period 1981 to 2011*. *Remote Sensing*, 5(2), 927-948.

SITI WEB

<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530390973/f1.item.zoom>

https://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/piante_roma_app2/0026/image

<https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/>

<https://www.unccd.int/>

<https://ec.europa.eu/jrc/en>

<http://www.fao.org/giahs/en/>

<http://www.reterurale.it>

<https://whc.unesco.org/en/culturallandscape/>

<http://www.areeprotette-economia.minambiente.it>

<https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0478>

[http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com\(2011\)0244_/com_com\(2011\)0244_it.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2011)0244_/com_com(2011)0244_it.pdf)

<http://www3.cec.org/islandora/en/item/2171-payments-environmental-services-survey-and-assessment-current-schemes-en.pdf>

<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/man-and-biosphere-programme/>

<https://www.slideshare.net/angerado/parchi-nazionali-dal-capitale-naturale-alla-contabilit-ambientale>

<https://unric.org/it/agenda-2030/>

INFC – Inventario Nazione delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio. www.sian.it/inventarioforestale

INDICE DELLE FIGURE

- Figura 1 Andrea Petroni *La raccolta delle olive*, rappresentazione di tecniche antiche. Sala Cavour, ex Sala dei Consigli Superiori, Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali (Foto Piccinno M.). 26
- Figura 2 Emissioni di gas a effetto serra, EU-28, 1990-2016 (indice 1990 = 100). Fonte: EEA, Eurostat. 35
- Figura 3 Emissioni di gas serra per paese, variazione assoluta 1990-2016 (milioni di tonnellate). Fonte: EEA, Eurostat. 35
- Figura 4 Emissioni di gas serra per fonte, UE-28. (Pubblicato da Eurostat, IPCC, 2016). 37
- Figura 5 Mappa della copertura delle foreste in Europa del EC Joint Research Centre della Commissione Europea (Kempeneers et al. 2011). 41
- Figura 6 Il Re Vittorio Emanuele III e la Regina Elena dinanzi ad una carbonaia a Castelporziano, Anni Trenta (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica). 87
- Figura 7 Invito del Gran Cacciatore alla caccia del 13 febbraio 1889, per il deputato Cav. Domenico Farini, Senatore del Regno, più volte Presidente della Camera dei deputati e del Senato del Regno d'Italia (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica, Foto Piccinno M.). 89
- Figura 8 Ministero della Real Casa e si S.M. il Re e Imperatore, *Progetto di sistemazione idraulico forestale della Reale Tenuta di Castelporziano*. Relazione, allegati e cartografie, 16 febbraio 1939 (Foto Piccinno M.). 90
- Figura 9 Planimetria riserva di caccia di Castel Fusano e opere di lottizzazione, Anni Quaranta. 92
- Figura 10 Visita del Presidente degli Stati Uniti Lyndon B. Johnson (a sinistra) al Presidente della Repubblica Italiana Giuseppe Saragat (a destra) nella Tenuta di Castelporziano, 23 dicembre

- 1967 (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica).
93
- Figura 11 Castelporziano. Alti funzionari dello Stato, Corpo diplomatico, senatori e alti gradi dell'esercito partecipano ad una battuta di caccia, 19 gennaio 1961 (Fonte: Archivio Storico Presidenza Repub.). 93
- Figura 12 Battuta di caccia al cinghiale, 19 gennaio 1961 (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica). 93
- Figura 13 Il Presidente della Repubblica Giuseppe Saragat incontra Amerigo Petrucci, sindaco di Roma per la cessione di parte del litorale di Castelporziano al Comune di Roma, 14 luglio 1965 (Fonte: Archivio Storico Presidenza della Repubblica).
93
- Figura 14 Particolare della Mappa della Campagna Romana del 1547 di Eufrosino della Volpaia. 98
- Figura 15 Particolare Carta di Eufrosino della Volpaia, commissionata da Paolo III nel 1547. 99
- Figura 16 Particolare del castello di Porcigliano, sulla sinistra un cacciatore immerso nei querceti. 99
- Figura 17 Carta di Ostia, 1557. 101
- Figura 18 Carta del Territorio di Roma, pubblicata da Ortelius, *Theatrum Orbis Terrarum*, 1570. 102
- Figura 19 Dettaglio Carta del Territorio di Roma, area di Porcigliano e Capocotto. 104
- Figura 20 Particolare Carta di Mercatore, area di Porcigliano e Fufano. 105
- Figura 21 Carta di Mercatore, *Latium nunc Campagna di Roma* 1590. 106
- Figura 22 Particolare, area laurentina. Giovanni Battista Cingolani: *Topografia geometrica dell'Agro Romano*, 1692. 108
- Figura 23 Giovanni Battista Cingolani: *Topografia geometrica dell'Agro Romano*, 1692. Pagina seguente. 108

INDICE DELLE FIGURE

- Figura 24 Giacomo Filippo Ameti: Il Lazio con le sue più Cospicue Strade Antiche e Moderne e' principali Casali e Tenute di esso, 1693. Pagina seguente. 110
- Figura 25 Particolare area laurentina. Giacomo Filippo Ameti: Il Lazio con le sue più Cospicue Strade Antiche e Moderne e' principali Casali e Tenute di esso, 1693. 112
- Figura 26 Bernardino Olivieri, Carta della Campagna di Roma (1802). 114
- Figura 27 Particolare, Bernardino Olivieri, Carta della Campagna di Roma (1802). 115
- Figura 28 Particolare Sylva laurentina. Antonio Nibby, Carta de' dintorni di Roma, 1827. 117
- Figura 29 Antonio Nibby, Carta de' dintorni di Roma secondo le osservazioni di Sir William Gell e del Prof. A. Nibby, 1827. (Pag. seguente). 118
- Figura 30 Rodolfo Lanciani, Planimetria del territorio Laurentino con l'antico sistema degli insediamenti e della viabilità, 1903. 120
- Figura 31 Fondo Nistri, rilevamenti aerofotogrammetrici 1935-38. Custodia di una lastra, 13x18 cm. Archivio di Stato, Viterbo (Foto Piccinno M.). 128
- Figura 32 Progetto Roma e i suoi contorni, Alfredo Baccarini, 1875. 133
- Figura 33 Variante Generale, 1942 (Ricostruzione di Vieri Quilici). 134
- Figura 34 Margine, confine (linea nera) tra la Tenuta di Castelporziano e il nascente quartiere dell'Infernetto nel 1943 (Piccinno M., Elaborazione Immagini Volo RAF). 136
- Figura 35 Margine, confine (linea nera) tra la Tenuta e il quartiere dell'Infernetto nel 1967 (Piccinno M., Elaborazione Immagini Volo SARA Nistri). 136

Figura 36 Margine, confine (linea nera) tra la Tenuta e il quartiere dell'Infernetto nel 1985 (Piccinno M., Elaborazione Immagini Volo SARA Nistri).	136
Figura 37 Margine, confine (linea nera) tra la Tenuta e il quartiere dell'Infernetto nel 2019 (Piccinno M., Elaborazione Immagini Aeree).	136
Figura 38 Immagini aeree 1943, Volo RAF (Royal Air Force)	141
Figura 39 Immagini aeree 1967, Volo S.A.R.A. Nistri	142
Figura 40 Immagini aeree 1985, Volo S.A.R.A. Nistri	143
Figura 41 Immagini aeree 1998, Volo S.A.R.A. Nistri	144
Figura 42 Castelporziano oggi, immagine aerea 2010	145
Figura 43 Tenuta presidenziale di Castelporziano e inquadramento geografico: l'Italia e nella Regione Lazio.	150
Figura 44 Delimitazione dei tre Siti Natura 2000 presenti (Piccinno M.).	158
Figura 45 Giovani daini nelle aree aperte a Castelporziano (Foto Mastroiacono M.).	160
Figura 46 Giovani esemplari di cinghiale (<i>Sus scrofa</i>) (Foto Mastroiacono M.).	162
Figura 47 Consistenza stimata, con intervallo fiduciale, delle popolazioni di cinghiali, daini e cervi dal 2010 al 2020.	164
Figura 48 Distribuzione dei quattro settori omogenei per variazioni nella profondità di falda all'interno della Tenuta di Castelporziano (Petitta M., 2019).	170
Figura 49 Ciclo di rinnovazione naturale di un querceto. Fase I: La quercia nella fase di maturità ha iniziato a produrre semi e al di sotto della chioma compare la prima coorte di plantule nate dalla germinazione delle ghiande prodotte. Fase II: La quercia adulta, nel pieno vigore vegetativo, ogni anno dissemina e genera un elevato numero di plantule. Di queste, alla fine di ogni stagione vegetativa, ne sopravvive un numero limitato. Al di sotto della chioma si possono quindi osservare plantule appartenenti a coorti diverse e quindi aventi età differenti.	

Fase III: La quercia senescente inizia a manifestare sintomi di deperimento come in alcuni apici secchi o in intere branche morte. Fase IV: La quercia deperiente e vulnerabile, è soggetta ad attacchi parassitari che ne indeboliscono la struttura e che, insieme a cause accidentali e meteoclimatiche, portano alla caduta della pianta. L'apertura della volta arborea in ambiente forestale, quindi l'ingresso della luce, favorisce la crescita molto più rapida delle giovani piante fino a quel momento rimaste sottoposte (Disegno Piccinno G.).	172
Figura 50 Castelporziano, Viale di Malafede (Foto Piccinno M.).	176
Figura 51 Aree forestali recintate.	179
Figura 52 La recinzione forestale di Campo di Rota in corrispondenza dell'ingresso Nord (Foto di Piccinno M.).	180
Figura 53 Delimitazione delle tre aree sottoposte ad una diversa tipologia d'intervento selvicolturale.	180
Figura 54 Composizione specifica (valori %).	181
Figura 55 Primavera 2019, fase di "levata" delle plantule del querceto di Campo di Rota (Foto Piccinno M.).	186
Figura 56 Schema riassuntivo dei materiali e metodi utilizzati nel progetto di monitoraggio.	188
Figura 57 Andamento medio annuale di temperature massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (°C).	195
Figura 58 Andamento medio mensile di temperature massime, medie e minime. Anni 2005-2019 (°C).	196
Figura 59 Andamento medio annuale di umidità dell'aria massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (%).	197
Figura 60 Andamento medio mensile delle umidità dell'aria massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (%).	198
Figura 61 Precipitazioni cumulate annuali in condizioni di <i>campo aperto</i> (Pext) e di <i>sotto chioma</i> (Pint) Anni 2005-2019 (mm).	199

Figura 62 Precipitazioni cumulate mensili medie in condizioni di campo aperto (Pext) e di sotto chioma (Pint) Anni 2005-2019 (mm).	200
Figura 63 Andamento medio annuale umidità del terreno massima, media e minima a 10, 50 e 100 cm di profondità. Anni 2005-2019 (%).	202
Figura 64 Andamento medio mensile umidità del terreno massima, media e minima a 10, 50 e 100 cm di profondità. Anni 2005-2019 (%).	203
Figura 65 Andamento della profondità media annuale di falda 1998-2019 (metri dal p.c.).	204
Figura 66 Andamento della profondità media mensile di falda 1998-2019 (m dal p.c.).	205
Figura 67 Andamento della temperatura media annuale di falda 1998-2019 (°C).	207
Figura 68 Andamento della temperatura media mensile di falda 1998-2019 (°C).	207
Figura 69 Andamento della profondità riferita al p.c. (m) e della temperatura (°C) di falda. Anni 2005-2019.	210
Figura 70 Diagramma di Bagnouls-Gaussen in condizioni di <i>campo aperto</i> . Anni 2005-2019.	211
Figura 71 Diagramma di Bagnouls-Gaussen in condizioni di <i>sotto chioma</i> . Anni 2005-2019.	211
Figura 72 Il dendrogramma risultante dalla classificazione gerarchica fattoriale dei parametri ambientali oggetto dell'analisi.	229
Figura 73 Grafico relativo al nodo 45A della HFC.	231
Figura 74 Grafici relativi al nodo 44A e 43A della HFC.	232
Figura 75 Grafico relativo al nodo 42A della HFC.	233
Figura 76 Distribuzione delle unità sui piani fattoriali dei nodi 45, 44, 43 e 42 A.	236
Figura 77 Rappresentazioni delle variabili sui cerchi delle correlazioni prodotti dai primi quattro fattori.	238

INDICE DELLE FIGURE

Figura 78 Correlazioni delle componenti principali con le variabili dei nodi della gerarchia.	240
Figura 79 Correlazioni delle componenti principali con le variabili delle classi della gerarchia.	241
Figura 80 Andamento dei mesi e degli anni su piani fattoriali.	245
Figura 81 Andamento delle otto classi gerarchiche nel corso dell'anno.	247
Figura 82 Andamento delle otto classi gerarchiche nel corso dei quindici anni.	249
Figura 83 Struttura del transetto: 3 superfici da 1 m ² per il monitoraggio della rinnovazione e una trappola con area intercettante di 0.5 m ² per la raccolta dei semi.	254
Figura 84 Immagine ottenuta con volo SAPR e delimitazione delle chiome di alcune querce inserite nella rete di monitoraggio, sia all'interno che all'esterno della recinzione indicata con il tratteggio bianco.	258
Figura 85 Immagine ottenuta dal CHM del volo LiDAR e delimitazione delle chiome di alcune querce inserite nella rete di monitoraggio, sia all'interno che all'esterno della recinzione indicata con il tratteggio bianco.	258
Figura 86 Trappola di raccolta con <i>shelter</i> protettivo (Foto di Piccinno M.).	259
Figura 87 Transetto con trappola di raccolta (Foto Piccinno M.).	260
Figura 88 Superficie da 1 metro quadrato con demarcazione delle plantule della primavera del 2019 (Foto Piccinno M.).	260
Figura 89 Struttura dei transetti per il censimento della rinnovazione affermata nel 2020.	264
Figura 90 Valori di NDVI dal 2015 al 2020 per le querce oggetto di monitoraggio.	271
Figura 91 Analisi delle componenti principali del NDVI negli anni 2015-2020. Rappresentazione degli anni sui cerchi delle	

- correlazioni fra anni e fattori, sui piani generati dai fattori 1 e 2 (in alto) e 2 e 3 (in basso). 272
- Figura 92 Analisi delle componenti principali del NDVI negli anni 2015-2020. Rappresentazione delle querce sui piani fattoriali generati dai fattori 1-2 (in alto) e 2-3 (in basso). 274
- Figura 93 Dendrogramma relativo alla classificazione delle querce in base alle distanze. Sono contornate in rosso le cinque classi di querce formate. 276
- Figura 94 Dendrogramma relativo alla classificazione gerarchica fattoriale. Sono visibili quattro classi: una da 10 a 8, una da 1 a 9, una da 2 a 16 e infine una con le due querce 12 e 17. 278
- Figura 95 Andamento medio della rinnovazione naturale dentro e fuori dalla recinzione per la coorte 2018 e 2019 (n/m²). 285
- Figura 96 Tasso di mortalità all'esterno e all'interno dell'area recintata per la coorte 2018 nel primo e nel secondo anno (%). 286
- Figura 97 Tasso di mortalità all'esterno e all'interno dell'area recintata per la coorte 2019 nel primo anno (%). 286
- Figura 98 LAI e PAR, estivi e invernali medi per ogni transetto. 291
- Figura 99 Relazione tra i tassi di mortalità per la coorte 2018 nel primo e nel secondo anno, con l'andamento della PAR. 293
- Figura 100 Ghianda prodotta nell'autunno 2019 e plantule censite nella primavera 2020. Valori espressi in n/m². 296
- Figura 101 Analisi fattoriale multipla dei dati di rinnovamento 2019-2020. Rappresentazione dei fattori 1 e 2 delle analisi parziali sul cerchio delle correlazioni sui fattori 1-2 e 3-4 dell'analisi globale. 299
- Figura 102 Analisi fattoriale multipla dei dati di rinnovamento 2019-20. Rappresentazione dei caratteri quantitativi sui cerchi delle correlazioni sui piani fattoriali 1-2. 300

INDICE DELLE FIGURE

- Figura 103 Analisi fattoriale multipla dei dati di rinnovamento 2019-20. Rappresentazione dei caratteri quantitativi sui cerchi delle correlazioni sui piani fattoriali 3-4. 301
- Figura 104 Analisi fattoriale multipla sui dati di rinnovamento 2019-20. Rappresentazione delle modalità dei caratteri qualitativi sul piano fattoriale 1-2 e sul piano fattoriale 3-4. 302
- Figura 105 Risultati dell'Analisi delle componenti principali sulla rinnovazione delle ghiande. A sinistra il cerchio delle correlazioni sul piano generato dai fattori 1 e 2; a destra quello sul piano 2 e 3. 306
- Figura 106 Risultati dell'Analisi delle componenti principali sulla rinnovazione del 2020 tra i vari transetti. Le querce sono rappresentate sul piano generato dai fattori 1 e 2 (in alto) e 2 e 3 (in basso). In rosso la presenza/assenza di fauna. 309
- Figura 107 Densità di rinnovazione affermata (n) nelle otto superfici dei tre transetti interni alla recinzione. 312
- Figura 108 Densità di rinnovazione (n) per ogni classe d'altezza nei tre transetti interni alla recinzione (10, 13, 17). 312
- Figura 109 Numero medio di plantule per metro quadrato nelle quattro classi d'altezza per i tre transetti interni alla recinzione. 314
- Figura 110 Percentuale per ettaro di plantule presenti all'interno della recinzione nelle quattro classi d'altezza 315
- Figura 111 Classi colturali del querceto di caducifoglie. 321
- Figura 112 Distribuzione delle 110 aree di saggio virtuali. 326
- Figura 113 Individuazione della copertura di querce caducifoglie in ogni area di saggio per mezzo dello strato informativo relativo alle chiome. 327
- Figura 114 Numero medio di plantule per metro quadrato per le coorti del 1989, 1990, 1991 all'interno e all'esterno della recinzione. La linea di tendenza, ad esempio, della coorte del 1989 mostra un decremento maggiore all'interno della

- recinzione, riconducibile alla maggiore quantità di plantule germinate. 332
- Figura 115 Andamento medio della produzione di ghianda dalla stagione vegetativa 1995-1996 a quella 2013-2014, nei siti Selciatella verso Tellinaro e Selciatella verso Tor Paterno. 336
- Figura 116 Andamento delle coorti di semenzali dal 2012 al 2017 nell'Area 1, all'interno della superficie di querceto diradata con intensità del 70%. 337
- Figura 117 Andamento delle coorti di semenzali dal 2012 al 2017 nell'Area 2, all'interno della superficie di querceto diradata con intensità del 90%. 338
- Figura 118 Andamento delle coorti di semenzali dal 2012 al 2017 nell'Area 3, all'interno della superficie di querceto non diradata. 338
- Figura 119 Andamento delle coorti di semenzali dal 2012 al 2017, numero medio al m² nell'area recintata. 339
- Figura 120 Immagine 3D del rilievo LiDAR del 2010 relativa all'Unità Forestale (UFOR) dell'area recintata in località Campo di Rota (SIFTeC). 343
- Figura 121 Immagine 3D del rilievo LiDAR del 2010 relativa alle Unità Forestali (UFOR) del querceto in località Campo di Rota (SIFTeC). 344
- Figura 122 Plantula del genere *Quercus* nel primo anno con ancora la ghianda legata al fusto (Foto Piccinno M.). 347
- Figura 123 Andamento della rinnovazione naturale nel corso delle stagioni. Primavera: la chioma della quercia matura sta terminando di emettere le foglie, al di sotto la rinnovazione delle coorti degli anni precedenti insieme alle plantule appena germinate ricoprono la lettiera in modo denso e continuo. Estate: la quercia è nel pieno vigore vegetativo, al di sotto le plantule si sono ridotte per via della predazione da parte della fauna e per lo stress idrico determinato dal periodo di siccità estiva (Disegno Piccinno G.). 358

Figura 124 Andamento della rinnovazione naturale nel corso delle stagioni. Autunno: la quercia inizia a perdere le foglie a partire dagli apici, al di sotto della chioma le plantule sopravvissute allo stress estivo continuano ad accrescersi con minore competizione tra gli individui. Le ghiande della nuova stagione vegetativa cadono nella lettiera. Inverno: la quercia caducifoglia è ormai priva di foglie come anche le plantule che si apprestano a superare la stagione fredda (Disegno Piccinno G.). 359

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Prospetto sintetico del iter seguito nella ricerca.	17
Tabella 2 Stima del suolo consumato a livello Nazionale (%) e in km ² per anno (Munafò M., 2014).	49
Tabella 3 Habitat forestali presenti nella Tenuta presidenziale di Castelporziano ai sensi della Direttiva 92/43/CEE.	151
Tabella 4 Sistemi, sottosistemi e Unità Ambientali definite all'interno della Tenuta di Castelporziano.	156
Tabella 5 Stima della consistenza annuale complessiva delle tre specie di ungulati (cinghiali, daini, cervi), dal 2010 al 2020.	163
Tabella 6 Distribuzione percentuale tra le specie del genere <i>Quercus</i> presenti nell'area recintata di Campo di Rota ripartita fra tre classi di diametro del tronco in centimetri (Fonte Banca Dati Tenuta presidenziale di Castelporziano).	182
Tabella 7 Parametri ambientali monitorati nella stazione meteo.	193
Tabella 8 Media annuale delle temperature massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (°C).	195
Tabella 9 Media mensile delle temperature massime, medie e minime. Anni 2005-2019 (°C).	196
Tabella 10 Medie annuali di umidità dell'aria massime, medie e minime. Anni 2005-2019. (%).	197
Tabella 11 Medie mensili di umidità dell'aria massime, medie e minime registrate. Anni 2005-2019. (%).	198
Tabella 12 Precipitazioni cumulate annuali in condizioni di <i>campo aperto</i> (Pext) e di <i>sottochioma</i> (Pint). Anni 2005-2019.	199
Tabella 13 Precipitazioni cumulate mensili medie in condizioni di <i>campo aperto</i> (Pext) e di <i>sotto chioma</i> (Pint) Anni 2005-2019.	200

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 14 Media annuale delle umidità del terreno massima, media e minima, misurate a 10, 50 e 100 cm di profondità. Anni 2005-2019 (%).	202
Tabella 15 Media mensile delle umidità del terreno massima, media e minima, misurate a 10, 50 e 100 cm di profondità. Anni 2005-2019 (%).	203
Tabella 16 Profondità media annuale di falda 1998-2019 in metri sul livello del mare (m s.l.m.) e metri dal piano campagna (p.c.).	204
Tabella 17 Profondità media mensile di falda 1998-2019 (m s.l.m. e dal p.c.).	205
Tabella 18 Temperatura media annuale di falda 1998-2019 (°C).	206
Tabella 19 Temperatura media mensile di falda 1998-2019 (°C).	206
Tabella 20 Indice gerarchico ottenuto con la classificazione gerarchica fattoriale.	228
Tabella 21 Struttura delle correlazioni fra le variabili caratteristiche	235
Tabella 22 Autovalori estratti dall'Analisi delle componenti principali.	237
Tabella 23 Correlazioni delle componenti principali con le variabili delle classi e dei nodi della HFC.	242
Tabella 24 Scheda tecnica delle querce incluse nella rete di monitoraggio.	255
Tabella 25 Caratteristiche morfometriche delle piante e ubicazione dei transetti.	257
Tabella 26 Copertura erbacea e arbustiva presente in ogni superficie oggetto di monitoraggio e identificazione delle specie.	263
Tabella 27 Piante selezionate dalla rete di monitoraggio per quantificazione della rinnovazione affermata in transetti da 5 x 40 m di lunghezza secondo un orientamento cardinale casuale.	264

- Tabella 28 Valori dell'indice vegetazionale NDVI, per le 18 querce della rete di monitoraggio permanente, relativi al mese di giugno dal 2015 al 2019. 270
- Tabella 29 Contributi, correlazioni e qualità dei primi 3 fattori estratti dall'analisi delle componenti principali. 270
- Tabella 30 Analisi delle componenti principali del NDVI per le 18 querce: la distanza dal baricentro e per ogni fattore il contributo, la coordinata e la qualità di rappresentazione; infine la qualità cumulata nelle tre dimensioni. 273
- Tabella 31 Classificazione gerarchica ascendente, processo agglomerativo in tre e cinque classi (ultime due colonne a destra) in relazione all'indice NDVI 2015-2020. 275
- Tabella 32 Distribuzione delle diciotto querce in 3 e 5 classi gerarchiche in relazione all'indice NDVI 2015-2020. 276
- Tabella 33 Risultati del processo di classificazione gerarchica dei valori di NDVI (2015-2020) delle querce monitorate. 277
- Tabella 34 Numero medio di plantule al metro quadrato per la coorte 2018 e coorti precedenti, per singola pianta e complessiva mensile all'esterno della recinzione (1-9) e all'interno (10-18) (anno 2019). 280
- Tabella 35 Rinnovazione media per metro quadro per singola pianta, complessiva tra le varie coorti (anno 2019). Viene indicato inoltre il numero medio di plantule mensile complessivo all'esterno (1-9) e all'interno (10-18) della recinzione (Media mese/m²). 281
- Tabella 36 Numero medio di plantule per metro quadrato per la coorte del 2019, per la coorte del 2020. Viene indicato inoltre il numero medio mensile all'esterno (1-9) e all'interno (10-18) della recinzione. 282
- Tabella 37 Rinnovazione media al metro quadrato per singola pianta (anno 2020). Viene indicato inoltre il numero medio mensile complessivo all'esterno (1-9) e all'interno (10-18) della recinzione (Media mensile/m²). 283

- Tabella 38 Tassi di mortalità in ogni singolo transetto per la coorte 2018 e 2019, rispettivamente per i primi due anni e per il primo (%). 287
- Tabella 39 Rinnovazione media al metro quadrato in presenza di fauna (Med Est) e in sua assenza (Med Rec) per la coorte 2018 relativa agli anni 2019 e 2020, per la coorte 2019 relativa al 2020. Infine, la media mensile complessiva al metro quadrato. 288
- Tabella 40 Elenco delle superfici (*plot*) in cui la PAR estiva risulta inferiore del 28% e dell'8% della luce diurna. 290
- Tabella 41 Valori di PAR misurati a luglio e febbraio: media per transetto, PAR % della luce diurna totale misurata al di sopra delle chiome. Valori di LAI misurati nello stesso giorno e ora. 292
- Tabella 42 Ghianda prodotta nella stagione vegetativa 2019-2020 per le querce monitorate (n/m^2), Plantule censite nella primavera 2020 (n/m^2) e tasso di rinnovazione come percentuale di ghiande che attecchiscono (%). 295
- Tabella 43 Esame degli autovalori globale e dei due gruppi (qualitativi e quantitativi) separati. Vengono riportati i primi cinque valori estratti. 298
- Tabella 44 Correlazioni dei due gruppi in 4 dimensioni con le 4 dimensioni globali dell'analisi. La prima dimensione globale è correlata con la prima del gruppo qualitativo e le prime due del quantitativo, mentre la seconda è correlata con le prime due del gruppo quantitativo e debolmente colla seconda del qualitativo. Al contrario le prime due dimensioni del gruppo qualitativo sono fortemente correlate con la terza e quarta dell'analisi globale, solo la quarta debolmente correlata con la seconda del gruppo quantitativo. 298
- Tabella 45 Correlazioni dei due gruppi analizzati nel complesso con le 4 dimensioni. 299

Tabella 46 Autovalori risultanti dall'analisi delle componenti principali.	303
Tabella 47 Correlazioni e contributo delle variabili con ciascun fattore nelle tre dimensioni.	304
Tabella 48 Analisi delle componenti principali, correlazioni fra le variabili.	305
Tabella 49 Correlazioni e contributo dei diciotto transetti con ciascun fattore nelle tre dimensioni.	307
Tabella 50 Correlazioni della variabile fauna (si/no) con i fattori nella tre dimensioni.	308
Tabella 51 Correlazioni tra le variabili analizzate.	310
Tabella 52 Numero totale di plantule in ogni superficie rilevata e distinto in quattro classi d'altezza (H), numero complessivo numero medio al metro quadrato per transetto.	313
Tabella 53 Numero medio di plantule per metro quadrato nei tre transetti interni alla recinzione, quindi media per ettaro (ha) e stima del valore medio complessivo per l'area recintata.	314
Tabella 54 Dati SIFTeC relative al Querceto di caducifoglie (QC), Altezza del piano dominante e dominato, composizione delle specie forestali: Qp <i>Quercus pubescens</i> ; Qf <i>Quercus frainetto</i> ; Qr <i>Quercus robur</i> ; Qc <i>Quercus cerris</i> ; Qi <i>Quercus ilex</i> ; Qcr <i>Quercus crenata</i> ; Qs <i>Quercus suber</i> ; Co <i>Carpinus orientalis</i> ; Pp <i>Pinus pinea</i> ; Cb <i>Carpinus betulus</i> ; Um <i>Ulmus minor</i> ; Fo <i>Fraxinus oxycarpa</i> ; Pl <i>Phillyrea latifolia</i> ; Qpt <i>Quercus petraea</i> ; Ln <i>Laurus nobilis</i> ; Ac <i>Acer campestre</i> ; E <i>Erica</i> spp.; Cr <i>Crataegus</i> spp.; Mc <i>Myrtus communis</i> .	322
Tabella 55 Estensione di ogni classe colturale e corrispondente numero di aree di saggio virtuali. Campo di Rota rientra nella classe 8.	325
Tabella 56 Copertura di querce caducifoglie per ognuna delle otto classi colturali.	328
Tabella 57 Querce oggetto di monitoraggio, specie, diametro e numero di semi prodotti per m ² nel 1990 e 1991.	330

- Tabella 58 Numero medio di plantule per metro quadrato e deviazione standard relativi alla coorte del 1989, 1990, 1991 durante i rilievi condotti nel 1990, 1991 e 1992 all'interno della recinzione. 331
- Tabella 59 Numero medio di plantule per metro quadrato e deviazione standard relativi alla coorte del 1989, 1990, 1991 durante i rilievi condotti nel 1990, 1991 e 1992 all'esterno della recinzione. 332
- Tabella 60 Rinnovazione naturale tra il 1990 e il 1992. Numero medio di plantule per m² all'interno e all'esterno della recinzione, per ogni coorte. 333
- Tabella 61 Andamento della produzione di ghianda nei siti Selciatella verso Tellinaro e Selciatella verso Tor Paterno (5 e 6). S.V. indica la stagione vegetativa, per le specie: Ro corrispondente a *Quercus robur*, C a *Quercus cerris* e Fr a *Quercus frainetto*. Nell'identificativo numerico la prima cifra denota la località e la seconda la pianta. I valori si riferiscono a 0.5 m², ampiezza della trappola. Med corrisponde alla media complessiva per stagione vegetativa rapportata al metro quadrato, D.S. la deviazione standard del campione. 336
- Tabella 62 Dati della rinnovazione naturale nei nove transetti esterni alla recinzione (primavera 2019). 369
- Tabella 63 Dati della rinnovazione naturale nei nove transetti esterni alla recinzione (autunno 2019). 370
- Tabella 64 Dati della rinnovazione naturale nei nove transetti interni alla recinzione (primavera 2019). 371
- Tabella 65 Dati della rinnovazione naturale nei nove transetti interni alla recinzione (autunno 2019). 372
- Tabella 66 Dati di rinnovazione naturale nei nove transetti esterni alla recinzione (primavera 2020). 374
- Tabella 67 Dati di rinnovazione naturale nei nove transetti esterni alla recinzione (autunno 2020). 375

Tabella 68 Dati di rinnovazione naturale nei nove transetti interni alla recinzione (primavera 2020).	376
Tabella 69 Dati di rinnovazione naturale nei nove transetti interni alla recinzione (autunno 2020).	377
Tabella 70 Andamento della produzione di ghainda per mese e totale per stagione vegetativa (ghiande mature e immature, anno 2019).	378
Tabella 71 Andamento della produzione di ghainda per mese e totale per stagione vegetativa (ghiande mature e immature, anno 2020).	379
Tabella 72 Valori di PAR misurati sopra chioma in località Grotta di Piastra.	380
Tabella 73 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali e relativo Indice di area fogliare (LAI) per le analisi sotto chioma (Estate 2019). Transetti all'esterno della recinzione.	381
Tabella 74 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali e relativo Indice di area fogliare (LAI) per le analisi sotto chioma (Estate 2019). Transetti all'interno della recinzione.	382
Tabella 75 Valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali in alcuni punti, di coordinate X e Y, al di fuori della copertura delle chiome (Estate 2019).	383
Tabella 76 Valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali in alcuni punti, di coordinate X e Y, al di fuori della copertura delle chiome (Inverno 2020).	383
Tabella 77 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali e relativo Indice di area fogliare (LAI) per le analisi sotto la chioma (Inverno 2020). Transetti all'esterno della recinzione.	384
Tabella 78 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori di trasmittanza in cinque angoli zenitali e relativo Indice di area	

fogliare (LAI) per le analisi sotto la chioma (Inverno 2020). Transetti all'interno della recinzione.	385
Tabella 79 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori misurati e valore % in rapporto alla PAR misurata sopra chioma (luce diurna totale) in estate e in inverno. Transetti all'esterno della recinzione.	386
Tabella 80 Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), valori misurati e valore % in rapporto alla PAR misurata sopra chioma (luce diurna totale) in estate e in inverno. Transetti all'interno della recinzione.	387
Tabella 81 Scheda di campo del transetto 10. Sono riportati, per ognuno delle otto superfici corrispondenti: i valori di lunghezza del fusto (h), diametro al colletto (d), numero delle cicatrici da ricaccio vegetativo (n cic). (Parte 1 e 2).	390
Tabella 82 Scheda di campo del transetto 13. Sono riportati, per ognuno delle otto superfici corrispondenti: i valori di lunghezza del fusto (h), diametro al colletto (d), numero delle cicatrici da ricaccio vegetativo (n cic). (Parte 1 e 2).	392
Tabella 83 Scheda di campo del transetto 17. Sono riportati, per ognuno delle otto superfici corrispondenti: i valori di lunghezza del fusto (h), diametro al colletto (d), numero delle cicatrici da ricaccio vegetativo (n cic).	393
Tabella 84 Scheda di campo dei transetti esterni alla recinzione 2, 4,9. Il valore NA indica l'assenza di plantule.	393
Tabella 85 Copertura da querce caducifoglie per le 110 aree di saggio virtuali.	394

RINGRAZIAMENTI

In primo luogo, si ringrazia la Scuola di Dottorato in Paesaggio e Ambiente, la coordinatrice Prof.ssa Alessandra Capuano, il Collegio dei Docenti, il Comitato Scientifico degli Studiosi e i colleghi che hanno contribuito nell'iter di studi dell'ultimo grado d'istruzione universitaria.

Si esprime inoltre immensa stima e gratitudine per i quattro docenti di riferimento che hanno costantemente seguito gli sviluppi della ricerca supportando con la propria esperienza scientifica il lavoro svolto: il Prof. Sergio Camiz, la Prof. Donatella Cialdea, il Prof. Fabio Recanatesi e il Prof. Giuseppe Scarascia Mugnozza.

Si ringrazia il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, ovvero il Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano, per aver supportato le attività di ricerca mettendo a disposizione del personale nelle fasi iniziali di allestimento della rete di monitoraggio, consentendo l'accesso ai luoghi e alla strumentazione utilizzata per alcuni importanti rilievi. A tal proposito si ringrazia la Direzione della Tenuta, in particolare la Dott.ssa Giulia Bonella, il Dott. Daniele Cecca, il Dott. Luca Maffei, il Dott. Riccardo Salvati e il Dott. Giovanni Mastrandrea. Ringrazio altresì il Settore Bosco e Officina, il Sig. David Galli e il Sig. Bruno Trulli per aver predisposto parte del materiale utilizzato con precisione e pazienza.

La gratitudine è rivolta anche al Presidente del Consiglio Scientifico di Castelporziano, già presidente della

precedente Commissione Tecnico Scientifica, Prof. Alessandro Nardone per l'attenzione riservata anche a quest'attività di ricerca, consentendo la partecipazione a momenti di riflessione e dibattito con tutti i Componenti del Consiglio e della Commissione. A tal proposito si ringrazia il Prof. Ervedo Giordano per le lunghe conversazioni, per i consigli professionali e di vita, il Prof. Marco Petitta, con il Dott. Alessandro Lacchini, il Prof. Marco Apollonio con la Dott.ssa Barbara Franzetti e infine il Dott. Marco Massimi per la collaborazione.

Infinita riconoscenza si deve all'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL che ha reso possibile tutto ciò, finanziando le attività di ricerca già dal 2016 e consentendo di dedicare parte del tempo agli studi e alle attività previste dalla Scuola di Dottorato. Il ringraziamento è dunque rivolto al Presidente Prof. Annibale Mottana e alla Prof.ssa Emilia Chiancone, già Presidente dell'Accademia (2011-2018) per aver concesso il privilegio e l'onore della loro stima e fiducia professionale. Alla Prof.ssa Chiancone, per aver auspicato questa formazione di dottorato e per aver sempre dedicato una particolare attenzione al futuro, fino agli ultimi istanti di vita, viene dedicata questa tesi e questi anni di studio.

Ringrazio quindi tutta la mia famiglia, per il costante ma non scontato sostegno, e mio padre Giorgio per aver contribuito a questa tesi con le sue molteplici illustrazioni grafiche nel testo e in apertura di ogni capitolo.