



Università degli Studi della Tuscia di Viterbo

**Dipartimento di Scienze e Tecnologie per
l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia
(DAFNE)**

**Corso di Dottorato di Ricerca in
ORTOFLOROFRUTTICOLTURA - XXV Ciclo.**

APPROCCIO INTEGRATO PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DELLA VITICOLTURA

**Settore Scientifico-Disciplinare
(AGR/03 -05)**

Tesi di dottorato di:

Dott.ssa Elena BRUNORI

Coordinatore del corso

Dott. Giuseppe COLLA

Tutore

Prof.ssa Rita BIASI

25 Novembre 2013

APPROCCIO INTEGRATO PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DELLA VITICOLTURA

INDICE

RIASSUNTO	V
ABSTRACT	VII
ABBREVIAZIONI	IX
RINGRAZIAMENTI	XI
PREMESSA	XII
1. INTRODUZIONE	1
1.1. Il degrado delle terre coltivate	1
1.2 Il degrado nelle aree del bacino del Mediterraneo	3
1.3 Sostenibilità e multifunzionalità dell'agricoltura	4
1.4 Le risorse naturali	8
1.4.1 Il paesaggio	8
1.4.2 La biodiversità	20
1.4.3 Il suolo	24
1.4.4. L'atmosfera: i cambiamenti climatici	28
1.5 Metodologie per lo studio delle funzioni ambientali	31
1.5.1 Lo strumento dell'ecologia del paesaggio	31
1.5.2 Indici di funzionalità del suolo	37
1.5.3 Metodologie per lo studio del sequestro del carbonio nei sistemi produttivi arborei	39

1.6 La consistenza della viticoltura in Italia.....	43
1.7 La viticoltura a sostenibilità ambientale	44
1.8 Bibliografia di riferimento	47
 2.OBIETTIVI DELLA RICERCA.....	 57
 3. MATERIALI E METODI	 59
3.1 Individuazione delle aree territoriali viticole modello	59
3.2 Individuazione delle scale di analisi.....	60
3.3 Metodologia per lo studio del paesaggio viticolo e della biodiversità	63
3.3.1 Fotointerpretazione, restituzione dell' uso del suolo di dettaglio e analisi metrica del paesaggio viticolo	63
3.3.2 Trasformazione del paesaggio viticolo	66
3.4 Caratterizzazione climatica degli ambienti viticoli	67
3.5 Metodologie per la determinazione dello stoccaggio del carbonio nell' agro- ecosistema vigneto.....	68
3.6 Quantificazione della funzione ‘carbon sink’ nel suolo	72
3.6.1 Caratterizzazione degli indicatori di funzionalità del suolo	72
3.6.2 Il carbonio stoccato nel suolo	74
3.7 Il bilancio del carbonio in <i>Vitis vinifera</i> e nel vigneto	76
3.8 Analisi statistica	78
3.9 Bibliografia di riferimento	79

4. RISULTATI	82
4.1 Il paesaggio viticolo della <i>collina interna</i>.....	82
4.1.1 Analisi metrica del paesaggio (area vasta)	82
4.1.2 Analisi diacronica e dinamiche di trasformazione del paesaggio	87
4.1.3 Analisi metrica del paesaggio (aree di dettaglio).....	89
4.1.4 Il paesaggio di continuità del vigneto	94
4.2 Il paesaggio viticolo della <i>pianura costiera</i>	95
4.2.1 Analisi metrica del paesaggio (area vasta)	95
4.2.2 Analisi diacronica e dinamiche di trasformazione del paesaggio	99
4.2.3 Analisi metrica del paesaggio (aree di dettaglio).....	101
4.2.4 Il paesaggio di continuità del vigneto	104
4.3 Il paesaggio viticolo della <i>collina peri-urbana</i>	106
4.3.1 Analisi metrica del paesaggio (area vasta)	106
4.3.2 Analisi diacronica e dinamiche di trasformazione del paesaggio	111
4.3.3 Analisi metrica del paesaggio (aree di dettaglio).....	106
4.3.4 Il paesaggio di continuità del vigneto	117
4.4 Analisi statistica ed evoluzione della qualità del paesaggio viticolo	119
4.5 Evoluzione del clima	126
4.6 Il vigneto come ‘<i>carbon sink</i>’	128
4.6.1 Lo stoccaggio del carbonio nella vite: area <i>collina interna</i>	129
4.6.2 Stoccaggio del carbonio nel suolo (<i>collina interna</i>)	132
4.6.3 Il bilancio del carbonio nel vigneto (<i>collina interna</i>)	136
4.6.4 Statistica del bilancio del carbonio (<i>collina interna</i>)	136
4.6.5 Lo stoccaggio del carbonio nella vite: area <i>collina peri-urbana</i>	141
4.6.6 Stoccaggio del carbonio nel suolo (<i>collina peri-urbana</i>).....	143

4.6.7 Il bilancio del carbonio nel vigneto (<i>collina peri-urbana</i>)	145
4.6.8 Statistica del bilancio del carbonio (<i>collina peri-urbana</i>)	145
4.7 Analisi statistica multivariata applicata alla componente suolo	148
 5. DISCUSSIONE	 151
5.1 Il paesaggio dei territori viticoli	151
5.2 I caratteri del paesaggio della vite	151
5.3 La funzione '<i>carbon-sink</i>' nella vite	160
5.4 La funzione '<i>carbon-sink</i>' del suolo	163
5.5 Il bilancio del carbonio nell'agro-ecosistema vigneto	166
5.6 Bibliografia di riferimento	168
5.7 Risorse informatiche	175
 6. CONCLUSIONI GENERALI	 176

RIASSUNTO

Le attuali emergenze ecologico-ambientali quali il rapido consumo di suolo agricolo, i cambiamenti climatici, il depauperamento delle risorse naturali a causa della perdita di biodiversità, del degrado del paesaggio, l'impoverimento del suolo, impongono strategie di sviluppo sostenibile *in primis* in agricoltura. Anche in viticoltura, settore strategico nelle filiere produttive di molte economie rurali europee e attività agricola fra le più connotative dell'ambiente mediterraneo, si è imposta recentemente la necessità di coniugare l'innovazione tecnologica con una maggiore sostenibilità ambientale. Data la natura sistemica del carattere di sostenibilità solo l'adozione di strategie integrate coinvolgenti i diversi aspetti della filiera produttiva può consentire l'affermazione di una viticoltura a sostenibilità ambientale.

L'obiettivo generale della ricerca è la valutazione della sostenibilità ambientale di alcuni modelli di viticoltura rappresentativi della variabilità fisica degli ambienti in cui si pratica e delle tecniche di gestione del vigneto mediante un approccio integrato e multidisciplinare volto ad analizzare l'impatto degli agro-ecosistemi viticoli sull'ambiente inteso come sistema integrato di risorse. In particolare, obiettivi specifici della ricerca sono: i) l'analisi del ruolo dei vigneti nella definizione di struttura e funzionalità del paesaggio, ii) la valutazione della biodiversità nei territori viticoli, iii) la valutazione dell'effetto della pratica viticola sulla funzionalità del suolo, e infine ii) la quantificazione del contributo degli agro-ecosistemi viticoli allo stoccaggio del C e, conseguentemente, alla modifica della qualità dell'atmosfera. A tal fine sono state individuate tre aree modello in ambienti tradizionalmente vocati alla coltivazione della vite (*Vitis vinifera* L.) scelte sulla base della diversa incidenza della viticoltura (<20% SAU; 20-40% SAU; >40% SAU), delle variabili fisiografiche (pianura costiera e collina interna) e climatiche, del livello di antropizzazione (ad alta naturalità o fortemente antropizzate). Lo studio è stato condotto secondo un approccio multi-scalare, dall'area vasta del territorio alla scala di dettaglio della singola unità vitata. Alcune determinazioni sono state eseguite in vigneti a diversa conduzione, in convenzionale e in biologico.

Mediante l'approccio dell'ecologia del paesaggio e l'elaborazione di opportuni indici metrici (IM) in ambiente GIS è stata analizzata la struttura e funzionalità del

paesaggio nei territori viticoli e quantificata la biodiversità in termini di diversità e numerosità degli ecosistemi.

Attraverso l'applicazione di specifici indicatori di funzionalità del suolo (TOC, C_{min} , C_{bas} , qCO_2 , qM) è stata quantificata la funzionalità del suolo del vigneto relativamente allo stoccaggio del carbonio e alle perdite per respirazione. Il ruolo di *carbon sink* attribuibile all'agroecosistema vigneto in funzione dell'ambiente e del modello di conduzione è stato determinato attraverso la metodologia della Produzione Netta dell'Ecosistema (NEP) e il bilancio del carbonio calcolato al netto delle perdite di respirazione radicale e del suolo.

I risultati ottenuti evidenziano il ruolo dei diversi agro-ecosistemi viticoli nel determinare la struttura e la funzionalità del paesaggio in particolare influenzando il livello di biodiversità insita negli habitat naturaliformi dell'ecomosaico ambientale.

La viticoltura, rispetto ad altri usi del suolo, è garante di complessità paesaggistica e di equilibrio degli ecosistemi, fenomeni particolarmente ambiti nelle aree sensibili come quelle costiere e peri-urbane. I vigneti, con diversità per gli ambienti e le tecniche di gestione considerate, influenzano la capacità del suolo di stoccare C e di emettere CO_2 e conseguentemente la sua funzione di *carbon sink*. La quantificazione della funzione *carbon sink* nei ceppi di vite ha evidenziato il ruolo di centralità svolto dalla biomassa ipogea nello stoccaggio del C e differenze significative a seconda dell'ambiente (alta naturalità, rurale, peri-urbano) e del modello di conduzione (convenzionale vs biologico). I risultati del bilancio del C provano che gli agro-ecosistemi vigneto sono potenzialmente in grado di sottrarre ingenti quantità di CO_2 dall'atmosfera con livelli che, in ambienti dove tale funzione è particolarmente importante per la qualità ambientale, possono essere paragonabili a quelle delle foreste urbane.

Nella loro complesso i risultati ottenuti nella ricerca dimostrano che la viticoltura è sistema produttivo strategico per il mantenimento della qualità ambientale e che è in grado di fornire molteplici servizi ecosistemici che dovranno essere promossi nell'ottica di sviluppo sostenibile della filiera viti-vinicola.

Parole chiave: analisi multi-scalare, bilancio del Carbonio, biodiversità, biomassa ipogea, funzionalità del suolo, paesaggio sostenibile della vite, servizi ecosistemici, *Vitis vinifera* cv Merlot, viticoltura biologica, viticoltura peri-urbana.

ABSTRACT

Today's environmental emergences like the fast cropland consumption, the climate changes, the depletion of natural resources, i.e. the simplification of biodiversity, the landscape degradation, the loss of soil functionality, suggest the opportunity to develop strategies for a sustainable development of agriculture.

Viticulture represents a strategic sector in many European rural economies and one of the most connotative crop of the Mediterranean environment whose development should combine the technological innovation with the environmental sustainability. Owing to the systemic nature of sustainability, integrated approaches based on the control of the different aspects of the wine-grape supply chain are required to match the objective.

The overall objective of the research is the evaluation of the environmental sustainability of different viticulture models representative of the physiographic variability of the viticultural environments and of the management techniques. Through an integrated and multidisciplinary approach the follow specific objectives were pursued: i) evaluation of the impact of vineyards on the landscape structure and functionality, ii) measure of the biodiversity in the grapevine growing territories, iii) measure of the soil functionality in the vineyard, and ii) quantification of the contribution of vineyard agro-ecosystem at the carbon storage.

To the aim three model areas highly vocated to grapevine production (*Vitis vinifera* L.) have been selected for different vineyard surfaces (<20% UAA; 20-40% UAA; >40% UAA), physiographic characters (plane, hills), climate, anthropogenic pressure (areas of high naturality, rural and peri-urban). The study has been carried out following a multiple-scale approach, from the large scale (territory) to the detail scale of the vineyard. Some parameters have been measured under different management conditions, i.e. in conventional *versus* organic vineyards.

With the methodology of the landscape ecology a core set of landscape metric indexes (MI) have been calculated in GIS environment, and the structure and functionality of the landscape as well as the biodiversity, i.e. diversity and richness in ecosystems, measured. The measure of proper indexes for soil functionality characterization (TOC, C_{min} , C_{bas} , qCO_2 , qM) have been carried out for soil samples of the vineyards. Finally, the *carbon sink* function in the vineyard agro-

ecosystems has been evaluated through the methodology of Net Ecosystem Production (NEP) and the net ecosystem Carbon balance has been estimated.

The results prove that vineyards have a crucial role in maintaining a sustainable landscape structure and functions, by assuring a high diversity of semi-natural habitats. Viticulture, better than other land use classes, may guarantee the ecomosaic complexity and the balance among ecosystems, that is particularly damaged in sensible areas like the coastal and peri-urban ones.

Viticulture, although differently depending on the environment and the management techniques, influences soil Carbon storage ability as well as soil respiration. The measure of the *carbon sink* function in the grapevine proves that an high contribution can be recognized to the root system and that it is influenced by the environment or the management practice (conventional vs organic viticulture).

The estimation of the Carbon balance in the vineyard agro-ecosystems proves that this land use may contribute significantly to CO₂ depletion in the atmosphere; in the peri-urban areas, rich in agriculture, they could act similarly to urban forest.

Taken together the results prove that viticulture is a strategic agro-ecosystem for maintaining the environmental quality and providing ecosystem services that must be promoted in the future sustainable development of the wine-grape supply chains.

Key words: *below-ground biomass, Carbon balance, ecosystem services, multiple-scale analysis, organic viticulture, peri-urban viticulture, soil functionality, sustainable viticultural landscape, vineyard biodiversity, Vitis vinifera cv Merlot.*

ABBREVIAZIONI

AWMSI	<i>Area Weighted Mean Shape Index</i> – Complessità della forma pesata sull'area delle tessere;
<i>Cbas</i>	<i>Basal soil respiration Carbon</i> – Carbonio della respirazione basale;
<i>Ccum</i>	<i>Cumulative soil respiration Carbon</i> – Respirazione cumulata;
CLC	<i>Corine Land Cover</i> ;
<i>Cmin</i>	<i>Microbial biomass Carbon</i> – Carbonio della biomassa microbica;
CORINE.	<i>COoRdination of INformation about the Environment</i> – Coordinamento delle informazioni sull'ambiente ;
CS	<i>Carbon Sink</i> – Serbatoi di carbonio;
ED	<i>Edge Density</i> – Densità dei margini delle tessere;
eq. CO ₂	equivalenti di CO ₂ ;
ER	<i>Ecosystem Respiration</i> – Respirazione dell'ecosistema;
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> – Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura;
GG	Gradi Giorno;
GHGs	<i>Greenhouse gases</i> - Gas ad effetto serra;
GLASOD	<i>Global Land Assessment of Degradation</i> – Valutazione globale del degrado delle terre;
GPP	<i>Gros Primary Production</i> – Produzione primaria lorda;
HNV	<i>High Natural Value</i> – Alto valore naturale;
IC	<i>Inorganic Carbon</i> – Carbonio inorganico;
IF	Indice di Freschezza;
IH	Indice di Huglin;
LC	<i>Land Cover</i> – Copertura del suolo;
LD	<i>Land degradation</i> – Degrado delle terre coltivate;
LU	<i>Land Use</i> – Uso del suolo;
MedPS	<i>Median Patches Size</i> – Mediana della superficie delle tessere;
MPAR	<i>Mean Perimeter Area Ratio</i> – Rapporto tra la somma dei perimetri e delle aree delle tessere;
MPE	<i>Mean Patch Edge</i> – Perimetro medio delle tessere;
MPS	<i>Mean Patch Size</i> – Superficie medie delle tessere;
MPFD	<i>Mean Patch Fractal Dimension</i> – Dimensione frattale media delle tessere;
MSI	<i>Mean Shape Index</i> – Indice medio della complessità della forma delle tessere;
NEE	<i>Net Ecosystem Exchange</i> – Scambi netti dell'ecosistema;
NEP	<i>Net Ecosystem Production</i> – Produzione netta dell'ecosistema;
NP	<i>Patches Number</i> – Numerosità delle tessere;

OECD	<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i> ; Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico;
PAC	Politica Agricola Comune;
PAT	Paesaggio Agrari Tradizionali;
PD	<i>Patches Density</i> – Densità delle tessere;
Pg C	1 Pg = 1 miliardo di tonnellate;
PSCoV	<i>Patch Size Coefficient of Variation</i> – Coefficiente di variazione dell'area delle tessere;
PSR	Piano di Sviluppo Rurale;
PSSD	<i>Patch Size Standard Deviation</i> – Deviazione standard della superficie media delle tessere;
PRD	<i>Patches Richness Density</i> – Densità della ricchezza delle tessere;
qCO ₂	<i>Metabolic quotient of soil</i> – Quoziente metabolico del suolo;
qM	<i>Soil C mineralization quotient</i> – Quoziente di mineralizzazione del C nel suolo;
SA	<i>Sustainable Agriculture</i> – Agricoltura sostenibile;
SAT	Superficie Agraria Totale;
SAU	Superficie Agraria Utilizzata;
SDI	<i>Shannon's Diversity Index</i> – Indice di diversità di Shannon;
SEI	<i>Simpson's Evenness Index</i> – Indice di uniformità di Simpson;
STA	Sommatoria temperature attive (indice di Winkler);
TE	<i>Total Edge</i> – Perimetro totale delle tessere;
TLA	<i>Total Landscape Area</i> – Area totale del paesaggio;
TOC	<i>Total Organic Carbon</i> – Carbonio organico totale;
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> – Programma Ambientale delle Nazioni Unite;
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i> – Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo.

RINGRAZIAMENTI

La forza di volontà, l'entusiasmo e la passione mi hanno consentito di portare a termine l'avventura di questi tre anni di dottorato di ricerca.

L'inizio di questo percorso è stato reso possibile in primis dalla Prof.ssa Rita BIASI, con cui collaboro dai tempi della tesi e che vorrei ringraziare per il supporto teorico e metodologico, per essersi sempre prodigata a far sì che potessi fare esperienze costruttive e utili alla mia crescita come dottore di ricerca, ma soprattutto per la grande umanità e la stima che ogni giorno dimostra nei miei confronti.

Molte sono le persone che hanno contribuito alla nascita e allo sviluppo di questa tesi di dottorato: chi con una collaborazione costante, chi con un supporto morale o materiale, chi con consigli e suggerimenti o solo con parole di incoraggiamento, sono stati in tanti a dare il proprio apporto alla riuscita di questo lavoro.

La mia gratitudine va al CUV (Consorzio Universitario di Velletri) e al Dott. Avv. PALLICCIA della Banca Popolare del Lazio (BPL) per aver co-finanziato la borsa di studio del mio dottorato di ricerca, al Dott. Geatano CIOLFI, direttore del CRA-ENC Unità di ricerca per le produzioni enologiche dell'Italia centrale (Velletri), e al Dott. Giorgio CASADEI del Centro Viti-vinicolo Arsial di Velletri per i preziosi dati condivisi.

Ringrazio l'azienda agricola Castel de Paolis (Grottaferrata-RM) nella persona del On.Giulio Santarelli e del dott. Fabrizio Bono e l'azienda agricola Colle Valle AgriNatura (Bomarzo-VT), nella persona del Dott. Fabio Brugnoli e il Sig. Polleggioni, per aver messo a disposizione i vigneti ai fini della ricerca.

Inoltre desidero ringraziare il Direttore Dott.ssa Anna BENEDETTI, il Dott.Luca SALVATI, la Dott.ssa Roberta FARINA, la Dott.ssa Barbara FELICI, la Dott.ssa Melania MIGLIORE, il Dott. Gianluca RENZI e la Sig.ra Margherita FALCUCCI del CRA-RPS, centro di ricerca per lo studio delle relazioni pianta-suolo di Roma, il Dott. Giampiero UBERTINI (DAFNE) per la disponibilità e la collaborazione dimostrami.

Un sincero grazie ai tecnici Claudio e Maurizio che hanno fatto per me il lavoro 'duro', permettendomi di raccogliere dati fondamentali per la riuscita della ricerca. Voglio, inoltre, ringraziare tutti i colleghi e amici dottorandi con cui ho condiviso, impegni, preoccupazioni e frustrazioni, oltre a idee e soddisfazioni. In particolar modo Eleonora, Valentina, Cristian, Antonella e Federico la cui amicizia è stata un tesoro scoperto per caso e senza la quale questo dottorato non sarebbe mai stato altrettanto prezioso.

Ringrazio, infine, immensamente la mia FAMIGLIA per non avermi mai fatto mancare il proprio sostegno, per avermi cresciuta con la consapevolezza che «tutto si può fare»: si può conciliare il lavoro, lo studio con la famiglia, basta solo crederci. Senza di loro nulla di quanto ho fatto in questi tre anni sarebbe stato possibile: dottorato, matrimonio e una delle gioie più grandi della vita.... il sentirsi chiamare 'Mammaaaa' dalla mia piccola Agnese.

Grazie a tutti di cuore.

PREMESSA

Gli agro-ecosistemi rappresentano componenti importanti per gli equilibri ambientali. La loro forma, consistenza, organizzazione e funzione sono in continua evoluzione sotto la spinta di fattori di modificazione dovuti all'intensificarsi dei fenomeni di innovazione tecnologica, globalizzazione e liberalizzazione dei mercati, modificazione dei modelli sociali, e non ultimi di cambiamenti climatici. Eventi questi che possono condurre al degrado ambientale, alla perdita della produttività delle aree agricole, all'impoverimento della biodiversità e all'esaurimento delle risorse naturali.

A seguito di tali fenomeni l'Unione Europea, evidenziando che l'agricoltura rappresenta un elemento essenziale per uno sviluppo sostenibile, ha adottato ambiziose politiche agricole che mirano a migliorare la sostenibilità ambientale dei sistemi agricoli, e in particolare migliorare la loro redditività economica, l'utilità sociale e la salvaguardia dell'ambiente in cui sono inseriti (Reg. 1698/05).

La sostenibilità dei sistemi produttivi agricoli è argomento di grande attualità. Analizzando l'evoluzione del concetto di sostenibilità questo risulta inizialmente legato, all'uso più efficiente delle risorse disponibili e ad un minor dispendio energetico. *'Higher yield with lower input'* è il paradigma che ci guiderà negli anni a venire e richiederà inevitabilmente uno sforzo congiunto dei diversi attori dei settori della ricerca, della produzione e della normativa. In particolare nella Strategia "Europa 2020" (COM.2010), la Commissione Europea sottolinea il ruolo chiave della ricerca e dell'innovazione per preparare l'Unione europea alle sfide future, in quanto in questo scenario, entrambe sono essenziali per generare un flusso continuo di informazioni che nel breve, medio e lungo periodo possano contribuire alla definizione di nuovi sistemi produttivi, più efficienti e con ridotto impatto ambientale. Inoltre, la Commissione Europea mediante la nuova politica agricola comune (PAC), è chiamata ad affrontare scelte strategiche per il futuro a lungo termine del settore agricolo e delle zone rurali (COM. 2010). In particolare, si impegna a sostenere e preservare la vitalità delle comunità rurali, dove l'agricoltura costituisce un'attività economica rilevante. In tali aree la gestione attiva delle risorse naturali mediante l'adozione di un'agricoltura sostenibile (SA) è prerequisito

fondamentale per preservare il paesaggio rurale, contrastare la perdita di biodiversità naturale e coltivata, favorire l'adeguamento al cambiamento climatico e mitigarne gli effetti. Essa è essenziale per garantire la dinamicità del territorio e la vitalità economica a lungo termine.

La sensibilità scientifica, oltre che sociale e politica verso le problematiche ambientali è cresciuta significativamente nell'ultimo ventennio, come documentato dall'incremento esponenziale del numero di pubblicazioni associate in vario modo al concetto di sostenibilità (fonte WEB OF SCIENCE). In Europa i paesi più sensibili alla ricerca nel campo della sostenibilità ambientale si confermano i paesi del nord Europa, in particolare Gran Bretagna e Germania, mentre tra le aree tematiche ecologico-ambientali spicca il tema dell'agricoltura, evidenziandone la centralità in fatto di sviluppo sostenibile.

Il concetto di sostenibilità si è andato integrando di significati nel corso del tempo, ma è dalla fine degli anni '80 che assume un vero carattere multidisciplinare (ambientale, economico e socio-culturale) e transdisciplinare.

La valutazione della sostenibilità ambientale degli agro-ecosistemi in funzione del loro impatto sulla qualità dell'ambiente, inteso come sistema integrato di risorse (suolo, atmosfera, biodiversità, paesaggio) e dei molteplici servizi ecosistemici forniti, deve necessariamente basarsi su [...“un approccio interdisciplinare che unisce, interpretandole, la conoscenza di diverse discipline scientifiche per consentire una migliore comprensione dei fenomeni complessi”] (Van Ittersum 2008). Solo attraverso una metodologia di studio integrata e sistemica è possibile determinare il ruolo svolto dagli agro-ecosistemi nel mantenere l'integrità funzionale degli ecosistemi: contenere la perdita di biodiversità coltivata e naturale, contrastare l'erosione e la riduzione delle principali funzioni ecologiche del suolo (stoccaggio di carbonio, capacità di filtraggio degli inquinanti, capacità produttive, etc.), migliorare la qualità dell'aria (stoccaggio di carbonio, assorbimento di gas clima-alteranti) e del paesaggio (struttura, complessità, percezione, etc.).

Questo studio propone un approccio integrato per la valutazione della sostenibilità ambientale degli agro-ecosistemi viticoli in quanto fra gli usi agricoli maggiormente diffusi in ambito Mediterraneo e fortemente connotativi del territorio italiano. In particolare l'obiettivo generale è consistito nella identificazione di modelli viticoli

che soddisfino maggiormente i requisiti di sostenibilità ambientale, preservandone le risorse e mantenendo la funzionalità degli ecosistemi. In particolare la ricerca riguarda la verifica del ruolo della viticoltura nel: a) preservare la qualità del paesaggio (struttura e funzioni; b) contrastare la perdita della biodiversità naturale e coltivata; c) mantenere la funzionalità del suolo; d) esercitare la funzione di *carbon sink*.

1. INTRODUZIONE

1.1. Il degrado delle terre coltivate

Il degrado delle terre coltivate (Land degradation - LD) è da tempo oggetto di studio a livello mondiale per le importanti ripercussioni su clima, suolo, vegetazione (Salvati e Zitti 2009) e sulla sostenibilità del territorio (Stocking e Murnaghan 2000). La LD può essere definita come una riduzione temporanea della capacità produttiva del terreno e delle risorse del territorio (suolo, acqua, vegetazione, clima, etc.), (definizione UN/FAO 2006) e si traduce, più in generale, in un degrado dell'ambiente definito *“.....come sistema di relazioni fra i fattori antropici, naturalistici, chimico-fisici, climatici, paesaggistici, architettonici, culturali, agricoli ed economici...”* (D.legs. 4/2008, art. 5, comma 1, lettera c). L'ambiente rappresenta così un ambito integrato e complesso di risorse riassumibili nel suolo, il paesaggio, la biodiversità ed il clima.

Il Global Land Assessment of Degradation (GLASOD – Valutazione globale del degrado delle terre) (Oldeman et al. 1990), progetto finanziato dall' United Nations Environment Programme (UNEP), stima che degli 8,7 bilioni di ettari di superficie investita a sistemi agro-forestali (foreste, pascoli e terre coltivate) nel mondo, circa il 22,5% sono in stato di degrado già dalla metà del secolo scorso. Di questi il 3,5% mostrano un degrado severo ed irreversibile, circa il 10% un degrado moderato, mentre il 9% viene riportato come lievemente degradato (Oldeman et al. 1990).

Benché sia stato stimato che nel 40% delle terre agricole il degrado è indotto dalle attività antropiche (Dumanski e Pieri 2000; Oldeman et al. 1990), ancora non sono noti tutti i fattori che inducono il degrado delle terre coltivate e ancor meno sono definite le metodologie con cui questo processo può essere valutato.

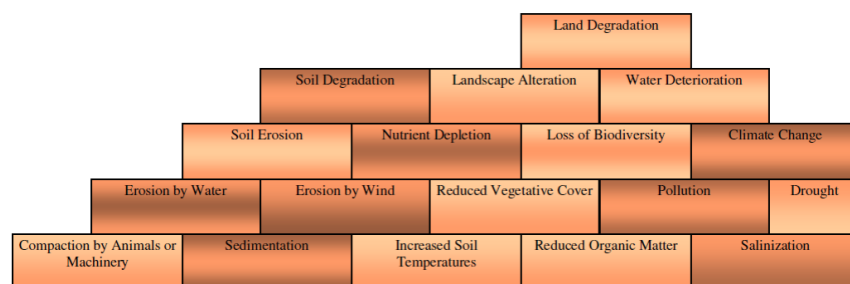


Fig.1- Il degrado delle terre coltivate (LD) è costituito da molti componenti, ognuno dei quali interagisce in maniera plurima con le altre componenti (fonte: Stocking e Murnaghan 2000).

Il degrado delle terre coltivate è sicuramente dovuto ad una molteplicità di fattori (Fig.1) (Stocking e Murnaghan 2000) e le cause scatenanti sono dipendenti dal contesto socio-economico, politico, culturale e fisico del territorio cui è riferito. Fra le cause maggiormente predisponenti il degrado ambientale vi sono i fenomeni di urbanizzazione, industrializzazione ed intensificazione dell' agricoltura, in particolare l'introduzione della monocoltura, la meccanizzazione e l'uso di pesticidi e molecole chimiche di sintesi.

Tra le manifestazioni più evidenti di tale processo di degrado a carico delle terre coltivate vi è non solo la perdita della funzionalità degli agro-ecosistemi, ma anche il consumo di suolo e l'alterazione del mosaico paesaggistico con semplificazione delle classi di uso del suolo, perdita della biodiversità naturale e coltivata, e i cambiamenti climatici dovuti ai gas serra (GHGs). Gli effetti che si registrano sono diversi in funzione della risorsa ambientale considerata.

A carico della risorsa suolo si riscontrano importanti fenomeni di alterazione fisica, chimica e biologica che comportano perdita di produttività potenziale del suolo e declino della qualità del terreno, quali i fenomeni di erosione, compattazione, perdita fertilità (SO), accumulo di inquinanti, salinizzazione (Eswaran et al. 2001).

Anche la risorsa biodiversità, coltivata e naturale, è fortemente compromessa dallo sviluppo di un agricoltura moderna che implica la semplificazione delle aree coltivate, riducendo le aree naturali, e la selezione di poche varietà per le principali specie da coltivare (Altieri 1999; CE 2008).

Oltretutto i fenomeni di intensificazione dell'agricoltura, la perdita e/o la frammentazione degli elementi naturaliformi del paesaggio (siepi, filari, macchie e

boschetti, etc.) l'urbanizzazione, semplificano il paesaggio, rendendolo instabile e compromettendone la resilienza. Funzione questa importante a seguito del crescente impatto del cambiamento climatico sulla qualità dell'aria, sulla pratica agricola e sugli ecosistemi naturali (Alberti e Marzluff 2004; Salvati e Carlucci 2013, Salvati et al 2013).

La perdita della biodiversità naturale e coltivata e il degrado del paesaggio, il peggioramento della qualità del suolo e dell'atmosfera evidenziano la necessità di preservare le risorse naturali promuovendone una gestione sostenibile che miri a ridurre e/o eliminare il rischio di un deterioramento irreversibile (Stocking e Murnaghan 2000).

1.2 Il degrado nelle aree del bacino del Mediterraneo

In Europa sono stati individuati oltre 20 milioni di ettari di suolo in stato di degrado per cause antropiche o naturali. Fra le aree più soggette vi sono quelle dell'ambiente mediterraneo e si stima che il 25% delle terre agricole ed il 35% di quelle a pascolo siano a rischio di degrado (AA.VV. 1999). Nel corso degli ultimi decenni l'area del bacino del Mediterraneo è stata oggetto di intensi cambiamenti di uso e copertura del suolo. In particolare, dagli anni Cinquanta ad oggi è avvenuto un rapido cambiamento dell'uso del suolo a seguito dell'intensificazione dell'agricoltura e dell'urbanizzazione delle aree rurali a cui si sono aggiunti, dalla metà degli anni '80, prolungate siccità, erosione dei suoli a causa di intense e concentrate precipitazioni, aumento della frequenza degli incendi, abbandono delle campagne, intenso sfruttamento delle riserve idriche e l'eccessiva antropizzazione delle aree costiere. Tutti questi eventi hanno condotto ad un profondo cambiamento climatico dell'area del bacino Mediterraneo rendendo più difficile la gestione delle risorse naturali di un ambiente già fragile (Burke e Thornes 2004; Symeonakis et al. 2007) e concorrendo ad accelerare i processi di desertificazione.

Attualmente circa il 41% della superficie dei principali ecosistemi mediterranei – solo il 5% di questi si trova in aree protette sottoposte a vincolo - si trova in stato di degrado (Hoekstra et al. 2005) e tale condizione mette a repentaglio fra l'altro un'attività agricola che possiede caratteri di peculiarità. Infatti, l'agricoltura mediterranea mostra caratteristiche piuttosto diversificate dall'agricoltura del resto

d'Europa e per questo negli ultimi decenni la ricerca ha focalizzato molto l'attenzione sull'area del bacino del Mediterraneo. In termini di uso del suolo, nei paesi mediterranei dell'UE si registra una più elevata incidenza delle colture arboree permanenti (vite, olivo, agrumi) - circa il 40% delle colture permanenti in Europa è concentrato nel bacino del Mediterraneo - sistemi questi di grande rilevanza economica (Olesen e Bindi 2002); essi rappresentano il 16% dei terreni agricoli, rispetto al 3% della media europea. Inoltre, una porzione considerevole di tali coltivazioni è ancora di tipo tradizionale (Cots-Folch et al. 2005; Olesen e Bindi 2002), basata su forme di coltura promiscua o ordinamenti policolturali. La presenza di queste coltivazioni di tipo tradizionale contribuisce a rendere unico il paesaggio rurale non solo per la diversità delle specie coltivate, ma anche per la caratteristica complessità strutturale insita nei sistemi arborei tradizionali come ad esempio le architetture dei muretti a secco a delimitazione dei terrazzamenti, le sistemazioni idrauliche e i complessi sistemi irrigui, i numerosi filari alberati e le siepi, la ricchezza dei manufatti e della diversità delle specie, tutti elementi di particolare pregio paesaggistico ed elevata funzione ecologico - ambientale (Borsotto e Henke 2007; Biasi e Barbera 2010).

1.3 Sostenibilità e multifunzionalità dell'agricoltura

Le colture specializzate, intensive e altamente meccanizzate sviluppatasi dal dopoguerra ad oggi hanno determinato un notevole impatto sulle qualità e sulla funzionalità ecologica dell'ambiente contribuendo a produrre effetti negativi sull'atmosfera, sul suolo, sulla biodiversità, sul paesaggio, sulla salute umana e sulla qualità dell'acqua (Bazzoffi 2007). Tuttavia, come già evidenziato in premessa, anche tramite la pratica agricola, se condotta in modo sostenibile, è possibile contenere il deterioramento delle risorse ambientali e, in generale, guidare lo sviluppo rurale sostenibile, dove per sviluppo sostenibile, termine introdotto per la prima volta dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED) nel 1987, si intende: *'una strategia di sviluppo che risponde alle necessità del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie esigenze'*. Per raggiungere tali obiettivi l'**agricoltura sostenibile** (SA) richiede la

conservazione del capitale naturale per preservare la produttività degli agro-ecosistemi e generare servizi ecosistemici a lungo termine (Abbona et al. 2007).

La nozione generale di agricoltura sostenibile è un concetto multidimensionale che include componenti ambientali, sociali e economiche (Smith e Smithers 1993). L'American Society of Agronomy (ASA 1989) afferma che *“l'agricoltura è sostenibile quando contribuisce a migliorare la qualità dell'ambiente e a preservarne le risorse, quando provvedere ai fabbisogni alimentari umani è economicamente attuabile e migliora la qualità della vita della società”*.

Si evidenzia quindi come all'agricoltura non sia più solo associata l'originaria funzione primaria di produrre alimenti e fibre, ma anche quella di disegnare il paesaggio, conservare la biodiversità, salvaguardare il suolo e la qualità dell'ambiente rurale e in definitiva attraverso la gestione sostenibile delle risorse ambientali contribuire alla sopravvivenza socio-economica delle aree rurali e garantire la sicurezza alimentare. Quando l'agricoltura aggiunge al suo ruolo primario una o più di queste funzioni può essere definita multifunzionale.

Il termine **multifunzionalità** fu coniato nel 1998 dalla OECD (*Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico*). Il termine però si affermò con il documento *'Agenda 2000. Per una Europa più forte e più ampia'* (Com C.E. (97), 2000 def.), gettando le basi per lo sviluppo di un'agricoltura sostenibile e concorrenziale.

La possibilità di mantenere la multifunzionalità degli agro-ecosistemi consentirebbe quindi di soddisfare i requisiti di sostenibilità dell'agricoltura.

Gli obiettivi specifici che devono essere perseguiti in tale senso sono:

- contrastare la perdita biodiversità;
- contrastare l'erosione e la riduzione delle capacità produttive del suolo;
- ridurre le emissioni di gas serra, e favorire l'assorbimento di CO₂;
- individuare l'ambiente più vocato a produzioni di qualità adattandosi ai cambiamenti climatici;
- migliorare la qualità del paesaggio rurale (struttura, complessità, percezione, etc.).

La valutazione dell'impatto della pratica agricola sulla qualità dell'ambiente come base di partenza per una gestione sostenibile del territorio rappresenta un tema multidisciplinare di stringente attualità. A tale riguardo, le problematiche

maggiormente sentite a livello mondiale (IPCC 2001) ed europeo (Freibauer et al. 2004; Smith 2004) riguardano tre grandi ambiti:

- 1- la relazione tra le dinamiche di cambiamento uso del suolo ed il processo di degrado ambientale, la salvaguardia della biodiversità naturale e coltivata, ed la tutela del paesaggio;
- 2- i mutamenti climatici in atto a scala globale e la loro influenza sui fenomeni di sequestro e di emissione del carbonio (C) negli ecosistemi terrestri;
- 3- la valutazione dell'impatto delle pratiche agricole sostenibili e convenzionali sulla qualità della risorsa ambientale suolo.

In merito al primo punto, le dinamiche dei cambiamenti di uso del suolo generalmente avvengano su scala locale, ma possono diventare delle forze guida con conseguenze a scala maggiore (Foley et al. 2005). Il disboscamento delle foreste, l'intensificazione colturale da un lato e l'abbandono di terre coltivate dall'altro, l'espansione urbana osservate negli ultimi anni hanno condotto al depauperamento delle risorse naturali (atmosfera, suolo, biodiversità, acqua) a scapito della qualità dell'ambiente (Foley et.al. 2005).

Molte ricerche hanno evidenziato come queste dinamiche siano alla base del declino della biodiversità naturale e coltivata degli ecosistemi attraverso la perdita, la modificazione e la frammentazione degli habitat, la degradazione del suolo e dell'acqua. (EEA 2009(a),(c),(d); EEA 2010 (b),(d),(e),(f),(g),(h); Foley et.al. 2005; Lobley e Winter 2009; Ramankutty 2010; Selman 2009; Turner et al. 2007). La quantificazione dell'intensità di tali fenomeni risulta, inoltre, essenziale per stimare le conseguenze a carico dei servizi ecosistemici offerti dagli agro-ecosistemi in particolare (Padilla et al. 2010).

Circa il secondo punto, il sequestro del carbonio rappresenta uno dei servizi più importanti offerto dagli ecosistemi e a sua volta dipende dai cambiamenti di uso del suolo (Schimel 1995; Padilla et al. 2010). I modelli previsionali indicano che il potenziale di sottrazione di carbonio da parte della vegetazione, ma anche del suolo, attraverso l'accumulo di sostanza organica possano essere in grado di compensare gli aumenti delle emissioni, prevalentemente di natura antropica. In tal modo la capacità di accumulo di C nella biosfera nei prossimi 20-30 anni è vista come una misura essenziale per poter mitigare gli aumenti di temperatura e poter stabilizzare le

emissioni (Smith 2004). Nel protocollo di Kyoto (1997) è stato sancito l'impegno a ridurre le emissioni di CO₂ o ad aumentare la sua sottrazione da parte di ecosistemi vegetali, nonché a monitorare i flussi di gas serra. Sebbene gli ecosistemi arborei abbiano una durata inferiore rispetto a quelli forestali e pertanto non coprano pertanto il suolo permanentemente, essi possiedono un potenziale di fissazione del C, sia nella componente vegetale in sé, sia nel suolo, probabilmente superiore a quello dei sistemi agrari erbacei annuali (Robertson et al. 2000). Negli agro-ecosistemi arborei l'adozione dell'inerbimento di una porzione di suolo aumenta la produttività primaria netta del sistema e determina accumuli di carbonio organico nel suolo; il sistema può beneficiare delle caratteristiche di forte accumulatore (*sink*) di sostanza organica (Robertson et al. 2000; 2005; Smith 2004).

Relativamente al terzo punto, misurare la sostenibilità non è semplice, data la complessità del concetto che si articola nella dimensione ecologica o ambientale, economica e sociale, sebbene la dimensione ecologica rimanga prerequisito fondamentale per le altre. In particolare, diverse metodologie sono state proposte, misure dirette, modelli di simulazione, l'utilizzo di indicatori agro-ambientali (Abbona et al. 2007; Gomez et al. 1996; Masera et al. 1999; Smyth e Dumansky 1993; Torquebiau 1992; Zhen et al. 2005), ovvero grandezze in grado di descrivere in modo sintetico la complessità di un sistema, rappresentando un parametro, o valore derivato, dal quale è possibile ricavare informazioni circa lo stato di un fenomeno, la sua entità o lo stato di un territorio (Silvestri et al. 2002). L'elaborazione di idonei indicatori di sostenibilità risulta complessa dovendo un indicatore soddisfare determinati requisiti ed essere (OECD 1997): a) di riconosciuta significatività e pertinenza paesaggistica, ecologica, storico-culturale ed economica; b) di vasta applicabilità; c) misurabile oggettivamente; riproducibile, condivisibile e confrontabile; d) di rilevamento semplice ed economico. In particolare, l'uso degli indicatori ha permesso di elaborare in tempi brevi sintesi sui processi ed i relativi impatti a diverse scale ed è per questo che hanno condotto allo sviluppo di una grande varietà di metodi per la valutazione degli impatti ambientali dell'agricoltura. Questi metodi tengono conto di una serie di obiettivi ambientali da raggiungere ed in genere si basano su l'uso di un *core set* di indicatori (OECD 1997).

Un sistema utile a valutare la sostenibilità delle produzioni agricole è il calcolo dell'impronta ecologica del sistema produttivo in riferimento all'uso di energia non

rinnovabile, uso del suolo, e delle emissioni di gas serra (EEA 1999) oppure si può giungere ad una valutazione degli input energetici (EEA 1999), ma anche dell'impatto potenziale dell'azienda sull'uso delle risorse dell'agro-ecosistema (acqua, suolo, biodiversità e paesaggio) (EEA 1999).

L'obiettivo primario di questi strumenti (indicatori) è quello di fornire una valutazione oggettiva dell'impatto della pratica agricola sui fattori responsabili del degrado delle risorse naturali al fine di contenere il deterioramento dell'ambiente.

1.4 Le risorse naturali

Una agricoltura sostenibile oltre a produrre alimenti di elevata qualità e salubri e garantire il risultato economico deve: preservare le risorse naturali, mitigare i cambiamenti climatici e adattarsi ad essi, fornire servizi ecosistemici. Questi vengono a coincidere con 1) la salvaguardia del paesaggio, 2) la conservazione della biodiversità (habitat, specie e genotipi), 3) conservare il suolo e 4) stoccare il carbonio, migliorando la qualità dell'aria.

1.4.1 Il paesaggio

L'agricoltura quale attività antropica rappresenta uno dei principali fattori che nel corso dei secoli ha modellato il paesaggio non solo dal punto di vista estetico, ma soprattutto funzionale. Il risultato della relazione tra uomo e territorio è definito dal paesaggio agrario come definito da Emilio Sereni (1972) *‘quella forma che l'uomo, nel corso ed ai fini delle sue attività produttive agricole, coscientemente e sistematicamente imprime al paesaggio naturale’*. Relazione questa caratterizzata da esigenze di natura economica e sociale che, nel corso del tempo, hanno definito gli elementi distintivi dei luoghi influenzandone l'organizzazione spaziale, le scelte produttive, le infrastrutture viarie e residenziali, ecc. L'attenzione rivolta negli ultimi decenni al paesaggio agrario è legata ad una profonda evoluzione culturale della società e delle politiche di sviluppo rurale, passate da un approccio settoriale, caratterizzato da interventi di tipo puntuale (aziendale), ad una concezione che valorizza la dimensione territoriale (Agnoletti 2010).

Nel corso del XX secolo la maturata consapevolezza di una complessa problematica ambientale dovuta al massiccio degrado generato dalle nuove forme di sviluppo economico e di sfruttamento delle risorse, ha evidenziato l'esigenza di adottare una disciplina di vincolo che ponesse freno al processo distruttivo del bene "paesaggio".

In Italia la prima legge sul paesaggio è la Legge n. 1497 del 1939, a cui ha fatto seguito la legge n. 431 del 8 agosto 1985, detta Galasso, in cui si concepisce il paesaggio come bellezza estetica connessa all'agire dell'uomo e il territorio come contesto naturale e storico unitario legato ad una moderna tipologia di pianificazione economica e sociale (Farina 2006).

La tutela del valore paesaggistico trova un ulteriore riconoscimento nell'ambito dell'art. 9 della Costituzione secondo cui "*La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico ed artistico della Nazione*", ed in particolare le successive modifiche apportate con legge costituzionale n. 3 del 18 ottobre 2001, attribuiscono alla legislazione esclusiva dello Stato un elenco tassativo di materie tra le quali sono integrate anche la tutela dell'ambiente, dell'ecosistema e dei beni culturali. Fatto questo che mette in luce come, solo recentemente, la tutela e il concetto di paesaggio sia interpretato in modo più ampio (Cortignani e Natali 2009).

Gli anni del dopoguerra e del 'boom economico' sono stati anni di profonda trasformazione del territorio italiano oggetto di una forte speculazione edilizia legata allo spopolamento delle aree rurali e alla conseguente urbanizzazione. Gli strumenti legislativi fino ad allora in vigore risultavano inadeguati a fronteggiare e ordinare uno sviluppo tanto rapido, quanto confuso, e a tutelare l'ambiente.

Sarà, in particolare, proprio la tematica della tutela dell'ambiente ad influenzare maggiormente il dibattito in Italia, e negli altri paesi europei, tanto da spostare l'attenzione legislativa da una tutela legata al concetto di bellezza del paesaggio ad una di tutela dell'ambiente in termini ecologici.

Eventi cruciali per l'attenzione al paesaggio sono stati la sottoscrizione della Convenzione Europea del Paesaggio (CEP), trattato internazionale promosso dal Consiglio d'Europa firmata a Firenze nel 2000 e ratificata dall'Italia nel 2006 (Priore 2006), e le prescrizioni indicate dal Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (d.lgs. 22 gennaio 2004, n.42 con modif. in legge 12 luglio 2011, n. 106, in G. U. 12 luglio 2011, n. 160). L'importanza di questi documenti consiste nell'aver dato una più

precisa definizione del concetto di paesaggio. In particolare con la CEP nasce la consapevolezza che il paesaggio, quale componente fondamentale del patrimonio culturale e naturale di ciascuna nazione, svolge importanti funzioni di interesse comune, sul piano culturale, ecologico, ambientale e sociale oltre a costituire una risorsa favorevole all'attività economica. Il paesaggio rappresenta un elemento importante per la qualità di vita delle popolazioni: nelle aree urbane e nelle campagne, nei territori degradati come in quelli di maggior valore, nei luoghi considerati come eccezionali, come in quelli della vita quotidiana, pertanto se salvaguardato, gestito e progettato in modo adeguato, può contribuire al benessere individuale e sociale e al consolidamento dell'identità territoriale.

La CEP all' articolo 1 fornisce la seguente definizione:[... Il *“Paesaggio”* designa una determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni”.

Anche il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (entrato in vigore il 1° maggio del 2004, con d.leg. n.42 del 22 gennaio 2004) ha definito il paesaggio come *“il territorio espressivo di identità, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali, umani e dalle loro interrelazioni”*. Fra i beni paesaggistici il Codice include immobili (case, ville, giardini, parchi, viste panoramiche etc.), le aree indicate dall'articolo 134 (zone di pregio, quali territori costieri di mari e laghi, fiumi e relative sponde, ghiacciai, parchi, foreste,etc.) costituenti espressione dei valori storici, culturali, naturali, morfologici ed estetici del territorio.

Il concetto di paesaggio compare nella Politica Agricola Comunitaria (PAC) a partire dalla fine degli anni 80 con le misure cosiddette agro-ambientali. Il paesaggio dell'agricoltura (Printsmann et al. 2012) è un paesaggio che è fortemente legato all'attività agricola passata e contemporanea, e può contenere una diversità di elementi strutturali e formali (...spazi coltivati, architetture rurali, residui di coperture naturali, infrastrutture etc...). In particolare tra gli obiettivi della nuova PAC (Politica Agricola Comune) (2014-2020), coerentemente con la promozione di una crescita più sostenibile dei territori rurali, particolare attenzione è stata riservata alle strategie per la salvaguardia del paesaggio agrario. La PAC ha cambiato così i suoi orientamenti, da una prima fase post bellica in cui si sostenevano con incentivi le produzioni e lo sfruttamento del territorio, ad una fase di *‘greening’* (Henke 2002) in cui ha acquisito sempre maggior importanza l'obiettivo legato alla tutela ambientale.

Questa seconda fase ha avuto inizio con la riforma Mac Sharry del 1992 con la quale la PAC ha promosso come obiettivi principali, la sicurezza alimentare, il rapporto agricoltura-ambiente e lo sviluppo economico delle campagne. Successivamente questa fase è proseguita mediante le riforme dell' *'Agenda 2000'* con la quale si sono inserite appunto all'interno dei Piani di Sviluppo Rurale (PSR) le misure agro ambientali

Le misure agro-ambientali che si configurano come azioni a sostegno della tutela del paesaggio rurale, riguardano il sostegno alla realizzazione/salvaguardia di : a) siepi, alberi, frangiventi, alberi fuori foresta e boschetti realizzati con essenze autoctone; questi creano microhabitat che, oltre ad apportare benefici alle produzioni agricole, sono fondamentali per il rifugio, l'alimentazione e la riproduzione di molte specie selvatiche; b) pozze, laghetti, fontanili di estensione limitata; questi sono vitali per numerose specie della piccola fauna (anfibi, rettili, insetti) e costituiscono aree di abbeverata per uccelli e mammiferi. Se realizzati in rete con boschetti, siepi e zone umide, assumono una forte valenza ecologica e paesaggistica; c) margini erbacei non coltivati, costituiti oltre che da siepi e boschetti, anche da fasce erbose lungo banchine e scarpate di strade, canali e fossi, attorno agli habitat acquatici o lungo i confini degli appezzamenti; essi diventano siti di alimentazione e rifugio, purché non siano sottoposti ad interventi di gestione di tipo chimico e meccanico dagli impatti ambientali rilevanti; d) prati, prati-pascoli, pascoli e radure; si tratta di sistemi di estrema importanza per il mantenimento dei paesaggi rurali montani che hanno subito la diminuzione delle aree erbose aperte dovuta all'esodo rurale e alla diminuzione delle attività zootecniche; e) il bosco con alcuni accorgimenti può favorire la conservazione della biodiversità: tutelare i grandi alberi, diversificare la struttura del bosco tutelando i microhabitat (radure, margini, piccole zone umide).

L'insieme di queste misure previste nell'ambito della nuova PAC rappresentano uno strumento essenziale per le politiche di conservazione e valorizzazione del paesaggio, in considerazione del ruolo storicamente svolto dall'agricoltura nel determinarne le diverse strutture e caratteristiche (Frascarelli 2011).

La gestione del territorio e la protezione ambientale hanno rappresentato il secondo asse dell'approccio *Leader* nell'ambito della politica di sviluppo rurale 2007-2013, tanto che tra le attività agricole sono prese in considerazione anche quelle di "manutenzione del paesaggio" (ISTAT 2010).

Infatti, tra le altre forme di tutela del paesaggio agrario vi è anche il Piano Strategico Nazionale per lo sviluppo rurale (art. 11 Reg. Ce 1698/2005), ovvero una strategia di riferimento per la programmazione dello sviluppo rurale nazionale e regionale che analizza e affronta molti aspetti legati al paesaggio e all'ambiente quali la tutela della biodiversità, dell'acqua e del suolo, indicando i problemi determinati dall'attività agricola e le misure finanziabili per farvi fronte nell'ambito dello sviluppo rurale.

Su di esso si basano i Programmi di Sviluppo Rurale (PSR - Regolamento (CE) 1698/2005) ed i Piani Operativi Regionali (POR) in cui sono state previste diverse misure volte alla valorizzazione dell'ambiente e dello spazio naturale. In primo luogo nei PSR con gli interventi dell'Asse II dedicati al miglioramento dell'ambiente e dello spazio rurale attraverso l'uso sostenibile dei terreni agricoli (favorito da indennità compensative per zone montane e svantaggiate, pagamenti agroambientali e investimenti non produttivi) e l'uso sostenibile delle superfici forestali (imboschimento di terreni agricoli e non, pagamenti silvo-ambientali, interventi preventivi e ricostituzione del potenziale forestale).

Dall'indagine sui risultati economici delle aziende agricole (ISTAT 2010) risulta che le aziende con attività di salvaguardia del paesaggio, come sfalcio dei prati, manutenzione di siepi, filari alberati, muretti a secco, sistemazioni idrauliche, etc. hanno registrato negli anni 2005-2006 un aumento significativo in numero (+1,3%), pur continuando a rappresentare appena lo 0,2% delle aziende agricole italiane.

La sfida futura per queste aziende, molto probabilmente, sarà quella di sfruttare gli aiuti della nuova PAC 2014-2020 per la gestione del territorio e la protezione ambientale al fine di rendere le attività di salvaguardia del paesaggio anche economicamente sostenibili. Da ultimo è recente (Dicembre 2012) in Italia la costituzione dell'Osservatorio Nazionale del paesaggio rurale e delle pratiche e conoscenze tradizionali (D. M. n. 17070 del 19.11.2012) che lascia intendere il consolidamento di una politica del paesaggio agrario.

Le dinamiche di trasformazione del paesaggio agrario - I paesaggi agrari mostrano una sempre più rapida trasformazione. In particolare, negli ultimi anni, si è affermato il paesaggio di una agricoltura fortemente produttiva, a ridotta diversità genetica, caratterizzata dalla semplificazione degli spazi coltivati a seguito anche del processo di innovazione tecnologica e della conseguente meccanizzazione. Inoltre la

rapida espansione delle aree urbane - queste oggi rappresentano circa il 2% della superficie totale della terra (Vimal et al. 2012) ha portato alla progressiva trasformazione di superfici naturali ed agricole in tessuto urbano. Le attuali dinamiche di urbanizzazione, infatti, implicano l'abbandono delle terre coltivate e benché questo fenomeno sia in parte quantitativamente compensato in termini di naturalità complessiva del territorio da un incremento dei boschi e degli arbusteti nelle aree di minor interesse per lo sviluppo urbano e per le coltivazioni, esse comportano la perdita di aree agricole di elevato valore ambientale e culturale (Duany et al. 2000). In particolare, il processo di urbanizzazione rappresenta la principale minaccia alla perdita di diversità ambientale. In primo luogo perché l'urbanizzazione comporta un cambiamento irreversibile dell'uso del suolo, e secondariamente perché l'urbanizzazione tende a inglobare aree agricole dotate di una elevata ricchezza in diversità biologica, ecologica e genetica. Infine, le aree urbane e sub-urbane concorrono a facilitare la diffusione di specie esotiche alloctone, e compromettendo la presenza delle specie native del luogo e i loro equilibri (Battisti 2004). Tutto ciò comporta la semplificazione e il deterioramento del paesaggio rurale (Salvati et al. 2012a). In diversi contesti geografici europei, ed in particolare nel bacino del Mediterraneo, lo sviluppo dell'urbanizzazione riferibile soprattutto agli ultimi due decenni, appare dilatato nello spazio secondo un modello diffuso (*sprawl*), discontinuo, a bassa densità ed alto consumo di suolo e di energia (Salvati et al. 2012). Il consumo di suolo, ovvero l'utilizzazione di suolo extraurbano, agricolo o naturale per usi insediativi (Oliva 2007), è una questione affrontata da tempo da paesi come Germania e Gran Bretagna che hanno fissato limiti severissimi per impedire la cementificazione dei terreni agricoli (Frisch 2006), mentre in Italia l'urbanizzazione continua ad avanzare senza una reale opposizione (Istat 2010). Il disegno di legge del 10/06/2013 sul '*Contenimento di uso del suolo e riuso del suolo edificato*' potrebbe in tal senso rappresentare un utile strumento di salvaguardia del paesaggio rurale (vedi paragrafo 1.4.3).

I principali impatti di questo modello di sviluppo territoriale diffuso sono la destrutturazione del tessuto insediativo e la frammentazione, l'isolamento, l'erosione e il degrado degli ambiti naturali e paesistici.

La frammentazione del paesaggio - Fra i principali fenomeni di deterioramento del paesaggio vi è la sua frammentazione. Il processo di frammentazione può essere definito come un processo dinamico di origine antropica, attraverso il quale un'area subisce una suddivisione in frammenti progressivamente più piccoli, isolati e di minor qualità (modifica dei pattern spaziali a determinate scale) (Fahrig 2003; McGarigal e Cushman 2002). In generale la frammentazione conduce ad una serie di habitat o usi del suolo, più o meno isolati, circondati da una matrice di aree più intensamente utilizzate ed ecologicamente disfunzionali in quanto comporta modifiche alle interrelazioni ecologiche tra habitat (Jochen 2000), interruzioni delle connessioni ecologiche tra gli elementi spazialmente separati e di conseguenza altera la struttura ma anche la funzionalità del paesaggio (Forman 1995; Jochen 2000).

La frammentazione del paesaggio di natura antropica è conosciuta come una delle cause principali di perdita di biodiversità. Il processo di frammentazione del paesaggio non risulta distribuito casualmente nello spazio: le aree più favorevoli alle attività umane, come ad esempio le zone costiere, sono state e vengono attualmente trasformate e frammentate per prime e con maggiore aggressività (Saunders et al. 1991; Orians e Soulé 2001; Battisti 2004).

La frammentazione interviene su una preesistente eterogeneità naturale (definita *patchiness* - mosaicità/eterogeneità naturale di origine non antropica), portando alla giustapposizione di tipologie ecosistemiche di tipo naturale, semi-naturale, artificiale, che differiscono fra loro strutturalmente e funzionalmente (Battisti 2004; Debinski e Holt, 2000; Farina 2006).

Il processo di frammentazione degli habitat è analizzabile nelle sue diverse componenti:

- scomparsa e/o riduzione in superficie di determinate tipologie ecosistemiche (*habitat loss and reduction*);
- insularizzazione progressiva (*habitat isolation*) e riorganizzazione spaziale dei frammenti ambientali residui;
- aumento dell'effetto margine (*edge effect*) indotto dalla matrice antropizzata limitrofa sui frammenti residui;
- creazione e aumento in superficie di tipologie ecosistemiche di origine antropogenica;
- incremento del numero delle patches di alcuni habitat;

- decremento della dimensione delle patches degli habitat (Battisti 2004; Fahrig 2003).

L'effetto più evidente della frammentazione è sicuramente la scomparsa di habitat, che può implicare diversi arrangiamenti spaziali (Fig.2).

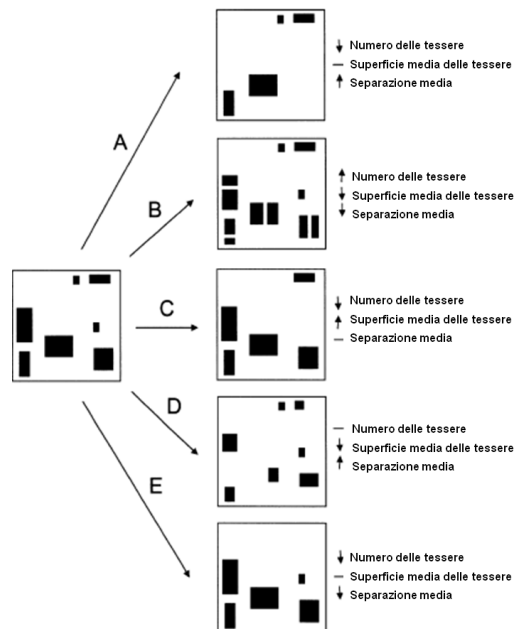


Fig.2 – Illustrazione del frammentazione degli habitat in funzione di alcuni effetti indotti sulla struttura del paesaggio (numerosità, superficie media ed isolamento delle tessere). Gli effetti attesi sono indicati con le frecce. *Immagine modificata da Farina 2006.*

I meccanismi che conducono alla frammentazione di un ambiente sono: perforazione, incisione e dissezione - creazione di una fascia deforestata con andamento lineare e poi riduzione delle dimensioni delle patches ed infine riduzione delle dimensioni effettive e del numero delle patches (*attrition*) (Fig .3).

MECCANISMI DELLA FRAMMENTAZIONE

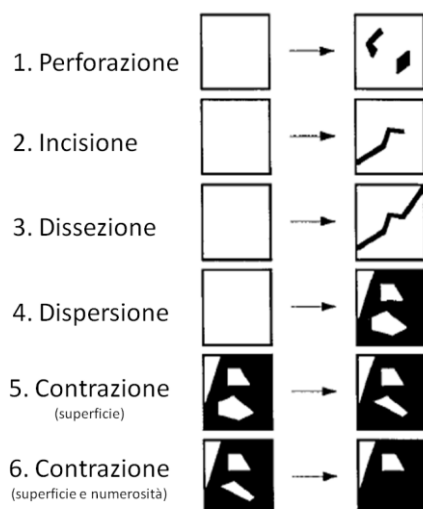


Fig.3 – Meccanismi del processo di frammentazione – *Immagine modificata da Farina 2006.*

In aree storicamente interessate dalla presenza umana, il processo di frammentazione ha portato alla strutturazione di ecomosaici paesistici nei quali è possibile distinguere una matrice antropica, venutasi a formare per scomparsa o alterazione di preesistenti tipologie ecosistemiche, all'interno della quale sono collocati i frammenti di ambienti naturali residui (Forman 1995). La struttura e il funzionamento degli ecosistemi residui in aree frammentate sono influenzati a loro volta da numerosi fattori di tipo fisico, spaziale, ecologico agenti sia alla scala dei singoli frammenti, sia a quella di paesaggio (Forman e Godron 1986).

Questi ecosistemi (definiti anche isole di habitat, isole ecologiche, *remnants*) (Saunders et al. 1991) mostrano caratteristiche proprie (per tipologia, superficie, forma, “qualità”, ecc.), un diverso grado di isolamento fra di loro e fra le aree non frammentate, oltre che una propria articolazione spaziale, e sono caratterizzati ciascuno da specifiche relazioni funzionali con la matrice limitrofa antropizzata (Forman e Godron 1986). La riduzione in superficie dei frammenti e l'aumento della distanza fra essi, possono, inoltre, influenzare marcatamente le dimensioni delle popolazioni e i movimenti degli organismi a scale differenti fino alla loro diminuzione o scomparsa (Battisti 2004; Celada 1995; Davies et al. 2001).

Le modalità con le quali gli organismi si muovono nel mosaico di paesaggio è, infatti, in gran parte funzione oltre che delle caratteristiche individuali (es. sesso, età, dimensioni corporee), di popolazione (es. densità) e intrinseche delle diverse specie, anche di fattori ambientali estrinseci legati alla configurazione spaziale dell'ecomosaico (Battisti 2004). La frammentazione degli habitat ha anche altre importanti ricadute sulla sostenibilità ambientale come: la riduzione dell'estensione degli habitat residui, l'effetto margini ed i cambiamenti climatici (Farina 2006).

L'area dei frammenti, la loro forma, il grado di isolamento, le caratteristiche fisionomico-strutturali, la connessione e collocazione spaziale nel mosaico paesistico sono alcuni dei fattori che possono influenzare sia la componente biotica, sia quella abiotica presente nei frammenti stessi. Infatti, frammenti ecosistemici di grandi dimensioni offrono una maggiore diversità di habitat, una maggior disponibilità di risorse e possono supportare popolazioni numericamente più grandi rispetto a frammenti di dimensione inferiore (Battisti 2004). La forma dei frammenti è un altro fattore che può influire sulle dinamiche biologiche (Battisti 2004; Saunders et al. 1991). La forma, quantificabile secondo diversi indici (Farina 2006), è un rapporto

tra le variabili perimetro ed area (o tra *edge/interior* habitat) dei frammenti. Tali indici di forma (rapporto area-perimetro, indice di complessità dei margini e/o della forma, etc..) risultano più elevati, ottimali, in frammenti di piccole dimensioni o di forma allungata e/o sottile che presentano quindi una superficie proporzionalmente maggiore di ambienti marginali.

Con il termine “effetto margine” (*edge effect*) si intende una serie di effetti fisico-chimici ed ecologici riscontrabili nelle aree di contatto/transizione fra tipologie ambientali strutturalmente e funzionalmente differenti. Queste aree di transizione tra sistemi ecologici adiacenti, dotate di un set di caratteri spazialmente e temporalmente definiti, prendono il nome di **ecotoni** (Ingegnoli 2002).

I caratteri funzionali di queste zone di transizione sono principalmente: la **persistenza** - capacità di mantenersi sotto la pressione di un agente modificatore; la **resilienza** - capacità a mantenere le proprie caratteristiche dopo un disturbo; la **porosità** - capacità di alternare il flusso energia, organismi e materia. Tali aree rappresentano spazi multifunzionali in quanto rappresentano vie di transito, zone tampone in grado di assorbire inquinanti (esempio i corridoi ripariali), barriere/filtri specie specifici (Farina 2006; Ingegnoli 2002). Importanti ecotoni sono le siepi ed i filari alberati, le aree boscate, i corridoi ripariali, le barriere frangivento naturali, etc. Gli ecotoni funzionalmente strategici appaiono tra aree coltivate e aree forestali, le prime caratterizzate da una struttura ecologica molto semplice, le seconde fortemente strutturate. È in questi ecotoni che si è osservato per la prima volta l'effetto margine. Margini altamente eterogenei e quindi caratterizzati da un elevato grado di biodiversità, fungono da garanti della connettività del ecomosaico ambientale (Farina 2006; Ingegnoli 2002).

L'effetto margine induce negli ecosistemi residuali una trasformazione della struttura vegetazionale, del microclima, della copertura del suolo che provoca, a sua volta, effetti diretti, indiretti e specie-specifici sulla distribuzione e abbondanza delle specie animali e vegetali (Battisti 2004; Laurance e Yensen 1991; Schonewald-Cox e Buechner 1992). In particolare sono soprattutto gli effetti sui microclimatici ad essere rilevanti (Ingegnoli 2002). Le caratteristiche termo-fisiche degli ecotoni, come la riflettanza superficiale, la conducibilità e la capacità termica, la capacità di ritenzione idrica e di evaporazione, li rendono in grado di abbassare notevolmente le temperature medie dell'aria, ed inoltre, quali sistemi suolo-vegetazione, sono in

grado si sequestrare anidride carbonica ed altri gas clima alteranti (GHGs), oltre ad avere un ruolo significativo come filtri per la riduzione del particolato atmosferico (Gerst 2011), ma il loro effetto si manifesta anche sulla velocità e turbolenza del vento.

Paesaggio sostenibile - I cambiamenti cui sono soggetti i paesaggi sono espressione della interazione dinamica tra le forze naturali e antropiche dettate dalla necessità di una innovazione delle tecniche e delle tecnologie. Per molti secoli questi cambiamenti sono stati localizzati e gradualisti, ma oggi a seguito degli intensi fenomeni di urbanizzazione, globalizzazione e dei cambiamenti climatici, possono rappresentare una minaccia, in quanto causa di perdita di diversità e di identità dei paesaggi, alcuni dei quali di grande significato ecologico-ambientale.

In particolare, i paesaggi dell'agricoltura tradizionale, paesaggi cosiddetti culturali, rappresentano l'espressione di massima interazione tra attività umane e dinamiche ambientali, dove la dimensione umana e quella naturale si integrano creando configurazioni spaziali che governano la presenza, la distribuzione e l'abbondanza delle specie. I paesaggi culturali sono quindi il risultato della riorganizzazione del territorio, al fine di adeguare il suo uso e la struttura spaziale al meglio per le mutevoli esigenze della società (Antrop 2005). Sono paesaggi caratterizzati da una lenta trasformazione, ad alta concentrazione di capitale umano, economico e naturale (Cullotta e Barbera 2011; Marino e Cavallo 2009). Vengono definiti paesaggi agrari tradizionali quando persistono in un determinato territorio da lungo tempo ed evolvono lentamente, e sono l'espressione della storia di un luogo, che ancora può essere letta dalla sua composizione e struttura. (Antrop 2005; Marino e Cavallo 2009). Si parla quindi di paesaggi identitari, ovvero di *contesti* di paesaggio che si distinguono per la combinazione peculiare dei caratteri storico-culturali, fisico-ambientali, insediativi, sociali, estetici e simbolici e dei valori conseguenti. (Torquati 2007). La maggior parte dei paesaggi culturali sono aree agricole eterogenee in cui il tipo di coltivazione e le decisioni gestionali sono basate sulle interazioni tra le caratteristiche dei suoli, del microclima e della convenienza economica (Farina 2006). Questi paesaggi agrari culturali in molte parti del mondo sono a rischio di scomparsa proprio per i modificati rapporti tra l'attività antropica e contesto ambientale (Farina 2006). L'Italia, con la sua lunga e complessa storia e con la sua

grande diversità culturale, è ricca di paesaggi agrari tradizionali, che formano parte integrante del patrimonio culturale nazionale. I paesaggi agrari tradizionali (PAT) pur nella loro diversità possiedono il carattere di sostenibilità (Barbera e Biasi 2011). Questi paesaggi sono fondamentali per il mantenimento della diversità sia biologica che culturale. Infatti, uno dei requisiti fondamentali dei paesaggi sostenibili è la presenza di una elevata diversità genetica, di specie ed ecosistemi. Tale caratteristica è prerequisito indispensabile per l'adattamento di sistemi agricoli ai cambiamenti climatici (Jackson et al. 2005; Scherr e McNeely 2008).

I paesaggi agricoli tradizionali sono caratterizzati da mosaici ambientali con habitat naturali e con sistemi agricoli che massimizzano sinergicamente la funzione ecologica, economica e sociale.

Il modello di sostenibilità del paesaggio riconoscibile nei PAT si basa innanzi tutto sulla complessità della loro struttura. Tre sono gli elementi fondamentali del loro mosaico ambientale:

- aree agricole produttive: aree che sono strutturate e gestite al fine di preservare la biodiversità naturale ed i servizi ecosistemici;
- aree di transizione, buffer, in grado di assicurare un graduale passaggio da habitat naturali ad habitat produttivi mantenendo elevata la connettività;
- aree naturali: habitat ad elevata qualità e /o nicchie specie-specifiche in aree agricole produttive. Queste rappresentano elementi essenziali dei paesaggi sostenibili in quanto sono in grado di garantire protezione a specie vulnerabili, mantenere le fonti d'acqua, etc..; In particolare, gli spazi coltivati dei paesaggi tradizionali: a) minimizzano l'impiego di prodotti chimici di sintesi, puntando su un'agricoltura conservativa e biologica, consentendo di incrementare/ conservare la biodiversità associata alle coltivazioni; b) gestiscono le risorse naturali in modo conservativo, migliorando la qualità dell'ambiente ad esempio mediante il mantenimento/creazione di habitat lineari che consentono di preservare/migliorare la connettività tra ambiente coltivato e non; c) usano le colture, i prati e le infrastrutture ecologiche (alberi isolati, siepi e filari, macchie,etc..) in combinazione cercando di imitare la struttura e la funzionalità ecologica degli habitat naturali.

L'architettura e la configurazione spaziale delle componenti produttive e naturali propria dei paesaggi tradizionali sono la chiave della progettazione dei paesaggi sostenibili moderni e ne rappresentano il modello per la progettazione e

pianificazione del futuro paesaggio agrario, attento all'innovazione tecnologica e alla sostenibilità ambientale (Scherr e McNeely 2008).

I paesaggi sostenibili vanno intesi quindi come dei serbatoi di diversità ecologica, biologica, oltretutto di diversità culturale. Sono luoghi in cui la produttività, e gli aspetti ambientali e culturali sono in equilibrio tra loro, fatto questo che consente una sostanziale stabilità dei sistemi produttivi.

1.4.2 La biodiversità

Nella Convenzione di Rio sulla Diversità Biologica (1992) con il termine biodiversità o diversità biologica s'intende la *'varietà tra gli organismi viventi di ogni origine includendo, fra gli altri, quelli di tipo terrestre, marino e di altri ecosistemi acquatici e dei complessi ecologici dei quali fanno parte'*; vi è inclusa la diversità all'interno di una stessa specie, cioè del corredo genetico, nonché la diversità degli ecosistemi. Tale definizione enfatizza le molteplici dimensioni della biodiversità. Essa riconosce esplicitamente che ogni biota - viene così definito il complesso degli organismi (vegetali, animali ecc.) che occupano un determinato spazio in un ecosistema - può essere caratterizzato da diversità tassonomica, genetica ed ecologica e che il modo in cui la diversità varia nello spazio e nel tempo (evoluzione della biodiversità) è determinante ai fini della sostenibilità ambientale. Pertanto, solo una valutazione multidimensionale della biodiversità può fornire informazioni su struttura e funzionamento degli ecosistemi e servizi elargiti in termini di sostenibilità (Caporali et al. 2008).

La relazione fra pratiche agricole e biodiversità è stata teorizzata nei primi anni '90; in Europa assume particolare importanza in quanto circa metà del territorio europeo è costituito da aree coltivate (APAT 2007) .

Che l'agricoltura sia legata alla biodiversità è evidente anche dal fatto che circa due terzi delle specie di uccelli minacciate e vulnerabili in Europa interessano aree agricole (EEA 2004).

Il paesaggio agrario italiano conserva ancor oggi una buona varietà di habitat di grande valore nei quali si mantengono elementi di biodiversità sia vegetale che animale, fra cui specie a rischio di estinzione. Si tratta di ambienti spesso unici, i

quali sono sottoposti a forti pressioni, con il rischio di un loro ridimensionamento o addirittura di una loro perdita definitiva (APAT 2007).

In ambito agricolo, generalmente, un maggior livello di biodiversità si riscontra in quelle aree dove i sistemi di produzione si basano su minori input produttivi come concimi, fitofarmaci, macchinari o, nelle aree semi-naturali ad agricoltura estensiva o, ancora, nelle aree agricole tradizionali, quelle che hanno conservato particolari elementi strutturali come siepi, fasce inerbite, filari di alberi, macchie di vegetazione spontanea. Tuttavia non è da escludere che anche nelle aree destinate ad un'agricoltura più intensiva si possano trovare delle situazioni caratterizzate da un alto livello di biodiversità (APAT 2007).

Baldock et al. (1995) hanno introdotto per primi il termine di 'aree agricole ad elevato valore naturale', definite in seguito (APAT 2007; EEA 2004) come: *“quelle aree dove l'agricoltura è la principale (normalmente anche la dominante) forma d'uso del suolo e dove l'agricoltura è associata ad un'alta diversità di specie e di habitat, oppure ospita specie la cui preservazione costituisce particolare attenzione e impegno in Europa”*. Secondo stime preliminari (EEA 2004), circa il 15-25% delle territorio rurale europeo è caratterizzato da aree agricole ad elevato valore naturalistico, ed in particolare queste sono concentrate soprattutto nelle zone orientali e meridionali, ovvero proprio nel bacino del Mediterraneo.

È con la Conferenza Pan-Europea su “Agricoltura e Biodiversità: verso l'integrazione della diversità biologica e del paesaggio per un'agricoltura sostenibile in Europa”, tenutasi a Parigi nel giugno del 2002, che l' UE ha invitato gli Stati Membri ad identificare aree ad alto valore naturale (HNV) nell'ambito degli ecosistemi agricoli allo scopo di poter attivare successivamente una gestione a favore del paesaggio e della biodiversità con gli strumenti di intervento previsti dal II Pilastro della PAC .

La *conservazione della biodiversità* è tema prioritario delle politiche ambientali volte a promuovere azioni di conservazione mirate alla valorizzazione e alla tutela delle risorse ecologiche e del paesaggio (APAT 2003).

L'integrazione della conservazione della biodiversità con lo sviluppo territoriale ha portato a un graduale spostamento degli obiettivi delle politiche ambientali, da un approccio principalmente centrato su azioni di tutela e conservazione del patrimonio naturale (anni '80), ad uno “ecosistemico” che considera le azioni di gestione delle

risorse naturali quali misure indispensabili per il mantenimento dell'equilibrio ecologico di un determinato sistema territoriale. Due sono le principali strategie intraprese: 1) l'integrazione della conservazione della natura e del paesaggio nei processi di pianificazione territoriale; 2) la valorizzazione della biodiversità esistente (Fabietti et al. 2011).

I destini dell'agricoltura e della biodiversità sono strettamente intrecciati, infatti dalla biodiversità naturale provengono la maggior parte delle specie e genotipi di piante utilizzate in agricoltura. Nel loro complesso esse formano la cosiddetta l'agro-biodiversità, di cui sono state date molteplici definizioni:

- la varietà e variabilità di animali, piante, microrganismi sulla terra che sono importanti per il cibo e l'agricoltura e che risultano dalle interazioni tra ambiente, risorse genetiche e pratiche culturali e gestionali usate dagli agricoltori (FAO 1999);
- una diversità biologica distinta in tre livelli: genetica entro specie (colture, bestiame, genotipi selvatici affini), specifica tra specie (numero e tipo di popolazioni di specie selvatiche che vivono nell'agroecosistema), di habitat degli ecosistemi (habitat comprendenti popolazioni di interesse agricolo o comunità dipendenti dall'agroecosistema) (OECD 2001);
- la ricchezza di varietà, razze, forme di vita e genotipi, nonché la presenza di diverse tipologie di habitat, di elementi strutturali (siepi, stagni, rocce, ecc.), di colture agrarie e modalità di gestione del paesaggio' (Büchs 2003).

Inoltre, nel 1996 il Consiglio d'Europa ha promosso la specifica *Strategia Pan-Europea per la Diversità Biologica e Paesistica*, che consente di delineare le linee generali di un approccio comune al tema della conservazione della biodiversità e con cui viene riconosciuto e sancito, a livello politico oltre che scientifico, l'importante principio dell'esistenza di relazioni fra la biodiversità e la diversità paesistica. Come si evince dal paragrafo precedente vi è infatti uno stretto legame tra paesaggio e biodiversità. Tale strategia prevede anche la costituzione di una Rete Ecologica Paneuropea allo scopo di conservare la diversità dell'intera gamma di paesaggi, ecosistemi, habitat e specie di importanza europea. Per raggiungere questi obiettivi è stato indicato come sia necessario il mantenimento in buono stato di conservazione delle specie 'sensibili' (a rischio di erosione genetica), favorendone la dispersione e la migrazione oltre che il recupero degli ecosistemi chiave e mitigando l'effetto dei disturbi di origine antropica (ELN-FAB 2012).

La rete ecologica diviene così strumento prioritario per rafforzare le politiche di tutela e di valorizzazione del patrimonio naturale ed ecologico europeo.

Le principali azioni di politica ambientale, relative alla salvaguardia della biodiversità riguardano: a) la promozione di reti ecologiche europee come proposto nell'azione in "Natura 2000"; b) l'introduzione del concetto di biodiversità nelle politiche di settore, in particolare nell'agricoltura; c) l'introduzione di strumenti fiscali che riconoscano l'importanza ecologica delle aree protette ed ecologicamente sensibili; d) l'elaborazione di politiche di controllo dei processi di erosione del suolo non urbanizzato; e) l'applicazione della valutazione ambientale e territoriale con l'obiettivo di integrare le domande di salvaguardia ambientale ed ecologica con le istanze di sviluppo territoriale (COM 24.1.2001, 31).

La proposta di rete ecologica europea comprende, oltre alle parti di territorio già interessate da politiche speciali di protezione ambientale, territori rurali e habitat semi-naturali in cui possono essere mantenute pratiche di uso del suolo compatibili con le esigenze di "conservazione". La ricostituzione di sistemi ecologici efficaci in contesti biologicamente molto impoveriti da secoli di attività umana e di trasformazioni del territorio, mediante la valorizzazione degli elementi naturali residuali anche oltre la dimensione locale (siepi, filari alberati, canali, porzioni forestali), consentirebbe di giungere ad una pianificazione sostenibile del territorio.

Promuovere un' agricoltura sostenibile è possibile se ci si pone l'obiettivo di preservare anche nelle terre agricole alcuni degli habitat naturali esistenti, assicurando in tal modo la disponibilità di servizi ecologici all'agricoltura. Inoltre, il mantenimento e l'incremento dell' agro-biodiversità consentono un uso migliore delle risorse naturali e quindi garantiscono una maggiore stabilità dell'agro-ecosistema.

Il grado di biodiversità negli agro-ecosistemi dipende da una serie di fattori riconducibili alla varietà della vegetazione dentro e intorno al sistema, alla durata delle diverse colture adottate, all'intensità della gestione, al grado di isolamento delle aree coltivate dalla vegetazione spontanea (Caporali et al. 2008).

In tale prospettiva, il processo di frammentazione degli ambienti naturali per cause antropiche costituisce, per le sue conseguenze ai diversi livelli ecologici, ambientali, paesistici e territoriali, una priorità di indagine multidisciplinare, in quanto causa primaria della perdita di biodiversità.

1.4.3 Il suolo

Il suolo, inteso come risorsa ambientale non rinnovabile (Bazzoffi 2007), gioca un ruolo fondamentale nella definizione della qualità dei diversi territori per la sua capacità, entro i confini di un ecosistema naturale o gestito, di sostenere la produttività delle piante e degli animali, condizionare la qualità delle acque e dell'atmosfera e, conseguentemente, influire sul benessere e l'insediamento dell'uomo negli spazi rurali (Violante 2009).

Il suolo ha una natura polifunzionale in quanto concorre a mantenere la biodiversità degli ecosistemi terrestri, esercita l'azione di filtro biologico e di trasformazione di sostanze di vario tipo; è l'elemento essenziale del paesaggio e regola la stabilità dei bacini imbriferi, esercita la funzione di *carbon sink* fondamentale per regolare i cambiamenti della qualità dell'aria e dell'acqua (Violante 2009). Il Protocollo di Kyoto (1997) riconosce che le emissioni nette dei GHGs possono essere ridotte o diminuendo il tasso con cui i gas serra vengono emessi nell'atmosfera o aumentando la velocità con cui tali gas sono rimossi dall'atmosfera attraverso i cosiddetti 'serbatoi di carbonio' (*carbon sinks* - CS) (FAO 2001). I suoli agricoli sono tra i serbatoi di carbonio più grandi del pianeta ed in particolare il Protocollo di Kyoto descrive le caratteristiche che rendono i terreni agricoli e forestali efficienti CS (FAO 2001). Varie pratiche agricole sono note per promuovere l'accumulo di sostanza organica (SO) nel suolo, fatto questo che ha effetti diretti significativi sulle proprietà fisico-chimiche del suolo e un impatto positivo sulle qualità ambientali, agricole e sulla biodiversità, aiutando quindi a prevenire o mitigare il degrado delle risorse naturali terrestri. Il suolo ha un importante ruolo all'interno del ciclo del carbonio degli ecosistemi terrestri (FAO 2001; Lal 2008; Stockmann et al. 2013). In questo ciclo, il carbonio organico sequestrato dal suolo nel primo metro di profondità si stima ammonti a circa 1500 Pg C (circa 2 456 Pg C a 2m profondità) – FAO 2001 - mentre la vegetazione (650 Pg) e l'atmosfera (750 Pg) immagazzinano molto meno C di quanto i suoli riescano a fare. I flussi di CO₂ tra carbonio organico del suolo e l'atmosfera sono importanti e possono comportare un incremento della SO (sequestro) o un decremento (emissione). In passato, lo sviluppo dell'agricoltura intensiva è stato indicato come la causa principale delle crescenti concentrazioni di

CO₂ atmosferica, mentre oggi la maggior parte delle emissioni di CO₂ sono legate alla combustione di C fossile nell'industria e nei trasporti (6,5 Pg anno⁻¹). Un punto importante è che, attualmente, mentre la deforestazione in molte zone tropicali produce emissioni di C stimate in circa 1,5 Pg C all'anno, in altre aree del pianeta circa 1,8-2 Pg C anno⁻¹ sono accumulati negli ecosistemi terrestri, grazie alla funzione di *carbon sink* del suolo (Lal 2008; FAO 2001).

L'evoluzione della SO del suolo dipende dalla vegetazione (residui colturali e la composizione vegetale), dai fattori climatici (temperatura, umidità) e dalle proprietà del suolo (tessitura, contenuto di argilla e mineralogia, acidità).

Altri fattori, come la fertilizzazione del suolo (N, P, o S), o l'irrigazione, hanno un effetto sulla produzione e, quindi indiretto sul contenuto di SO. Il tasso di mineralizzazione della SO dipende principalmente dalla temperatura e dalla disponibilità di ossigeno (drenaggio), dall'uso del suolo e dal sistema di coltivazione, dal tipo di suolo e dalla gestione colturale (Lal 2008). Lo stock di carbonio organico presente in terreni naturali è invece in un equilibrio dinamico tra l'immissione di materiale vegetale morto e le perdite da decomposizione (mineralizzazione). In condizioni di aerobiosi la maggior parte del carbonio che entra nel sistema suolo è labile e solo una piccola frazione (1%) di quanto fluisce nel suolo (55 Pg anno⁻¹) si accumula in una forma stabile, frazione umica (0.4 Pg anno⁻¹) della SO. La parte labile della SO è rappresentata dalla biomassa microbica, che è particolarmente sensibile ai cambiamenti di uso del suolo indotti ad esempio dalle tecniche di gestione colturale ed dai cambiamenti climatici (FAO 2001).

I caratteri fisici del suolo quali l'aggregazione, la tessitura e la composizione minerale determinano le dimensioni dei serbatoi, la capacità del suolo di stoccare il C e di fissarlo in forma stabile.

Al suolo sono quindi associate importanti funzioni ecologiche globali, tuttavia oggi tale importante risorsa naturale è soggetta ad intensi fenomeni di degrado, tanto da rappresentare uno delle principali emergenze in tema di sostenibilità ambientale. Si tratta di un'emergenza tanto più pressante in Italia a causa dell'alta variabilità dell'ambiente, ma anche della presenza di molti tipi di suolo caratterizzati da vulnerabilità senza dubbio più alta rispetto agli altri Paesi Europei (Salvati 2013). Molti dei disastri ambientali a cui spesso si assiste è riconducibile, almeno in parte, proprio alla mancanza di attenzione al suolo nella gestione dei sistemi agrari e

forestali e al continuo consumo di suolo agricolo da parte degli intensi fenomeni di urbanizzazione che coinvolgono soprattutto le regioni mediterranee (Salvati 2013). Inoltre, le lavorazioni profonde, realizzate per aumentare il franco di coltivazione e migliorare la capacità di immagazzinamento dell'acqua hanno determinato effetti indesiderati sul suolo come l'aumento della velocità di mineralizzazione della SO. Questi effetti negativi sono stati accentuati dalla contemporanea riduzione degli apporti di SO al suolo, in passato originati dal ciclo produttivo all'interno dell'azienda.

Nonostante il suo importante ruolo di serbatoio di stoccaggio del C, il suolo continua ad essere consumato. Il problema del consumo di suolo si pone come una ulteriore criticità ambientale soprattutto nelle cosiddette 'aree sensibili' (Salvati et al. 2012 (a)) come ad esempio le aree peri-urbane.

A partire dagli anni '80, infatti, i poli urbani hanno subito una rapida transizione dal tradizionale modello di 'crescita compatta' a quello di 'crescita scatterizzata' (*sprawl* urbano) a bassa densità e forte dispersione (Schneider e Woodcock 2008, Salvati et al. 2012(a)). Quest'ultima interessa direttamente le aree rurali circostanti i poli urbani e peri-urbani ed innesca fenomeni di cambiamenti di uso del suolo irreversibili anche in terreni agricoli di qualità (Salvati 2013), portando indirettamente anche alla frammentazione delle coltivazioni arboree perenni e delle aree boscate contrapponendo così al caratteristico paesaggio rurale il '*non farm landscape*' (Genske 2003; Johnson e Lewis 2007; Portnov e Safriel 2004; Salvati et al. 2012(a)).

L'attenzione rivolta al consumo di suolo è tuttavia recente e sebbene una serie di studi abbiano analizzato le conseguenze ecologiche di espansione urbana sulla risorsa suolo, con particolare attenzione alla sua contaminazione, pochi si sono concentrati sulla degradazione fisica e biologica del suolo delle aree peri-urbane (Salvati 2013).

Inoltre, pochi sono gli studi che hanno analizzato il tasso di consumo di suolo, in relazione alla perdita di terre coltivate e di vegetazione semi-naturale. Uno dei risultati più visibili di cambiamenti di uso del suolo è, infatti, proprio la scomparsa delle foreste, delle terre coltivabili e, soprattutto, nel bacino del Mediterraneo, di vigneti.

Dalla formulazione delle azioni dell' 'Agenda 2000', una serie di strategie sono state delineate al fine di tutelare anche il suolo. A esempio la riforma Fischler (2003) annovera tra i suoi obiettivi principali la promozione di un'agricoltura sostenibile e socialmente accettabile e il rafforzamento dello sviluppo rurale e la salvaguardia del suolo. In particolare, alcune norme dettate da tale riforma prevedono di assicurare un 'livello minimo di mantenimento' dei terreni per evitare il deterioramento degli habitat e garantire il presidio di zone rurali altrimenti destinate all'abbandono. Ad esempio è garantito un livello minimo di mantenimento del potenziale produttivo e della fertilità dei terreni abbandonati, e di quelli investiti ad oliveti e vigneti, oltre a regolare il mantenimento degli elementi caratteristici del paesaggio, vietando l'eliminazione dei terrazzamenti e l' esecuzione di livellamenti non controllati, potenziando quindi fattori di controllo dell'erosione del suolo.

Nel 2006 la Commissione Europea ha adottato un nuovo quadro di riferimento sull'erosione di suolo introducendo una direttiva per la protezione di questa risorsa. Una novità di rilievo è l'intenzione della Commissione di garantire che gli interventi mirati alla protezione del suolo trovino realizzazione pratica all'interno dei Piani di Sviluppo Rurale (PSR) per il 2007-2013.

Tra le strategie di tutela del suolo ritroviamo: la protezione del suolo dall'erosione e dai dissesti idrogeologici, il mantenimento e l'incremento della SO nel suolo, mantenimento e miglioramento della struttura del suolo, la prevenzione della contaminazione diffusa dei suoli, la promozione dell'equilibrio territoriale tra zone urbane e rurali.

Nei PSR sono previste delle specifiche misure agro-ambientali che sono state finalizzate alla diffusione di sistemi di produzione a basso impatto ambientale, alla conservazione degli spazi naturali, alla tutela della biodiversità, alla cura e al ripristino del paesaggio. Alcune di queste azioni promosse dai PSR hanno effetti positivi nel contrastare il degrado del suolo, come ad esempio mantenimento/incremento della SO del suolo, inerbimento e interrimento dei residui colturali per le colture permanenti.

Infine con il recentissimo disegno di legge sul 'Contenimento del consumo del suolo e riuso del suolo edificato' (giugno 2013) si è determinata l'estensione massima di superficie agricola consumabile sul territorio nazionale, con l'obiettivo di una progressiva riduzione del consumo di terre coltivate. Uno degli strumenti utilizzabili

è rappresentato ad esempio dal veto posto ad un uso diverso da quello agricolo per almeno cinque anni dall'ultima erogazione di tutte le superfici agricole in favore delle quali sono stati erogati aiuti di Stato o aiuti europei. Si vuole così contenere il consumo di suolo quale bene comune e risorsa non rinnovabile che esplica funzioni e produce servizi ecosistemici e che va tutelato anche in funzione della prevenzione e mitigazione degli eventi di dissesto idrogeologico. In particolare, tale decreto ha come obiettivo la tutela e la valorizzazione della funzione agricola attraverso la riduzione del consumo di suolo e l'utilizzo agroforestale dei suoli agricoli abbandonati, privilegiando gli interventi di riutilizzo e di recupero di aree urbanizzate, ed limitando il continuo **"consumo del suolo"**, inteso come riduzione di superficie agricola per effetto di interventi di impermeabilizzazione, urbanizzazione ed edificazione non connessi all'attività agricola.

1.4.4 L'atmosfera: i cambiamenti climatici

Fra le emergenze che giustificano la necessità dell'adozione di sistemi produttivi sostenibili in agricoltura vi sono sicuramente i cambiamenti climatici. Infatti, gli attuali mutamenti climatici stanno avvenendo con una intensità e ad una velocità senza precedenti e l'aumento della temperatura media globale negli ultimi decenni ne è un segno evidente. La temperatura media del globo nell'ultimo secolo (1906-2005) è aumentata di 0,74°C (IPCC 2007), mentre l'Europa è stata interessata da un riscaldamento maggiore mostrando aumenti di quasi 1°C. Da analisi condotte su l'andamento di alcune variabili climatiche in Italia, mediante l'elaborazione di serie storiche di circa 140 anni, la temperatura media evidenzia un aumento di $1,0 \pm 0,1$ °C per secolo (Brunetti et al. 2006) con un riscaldamento più marcato in Italia a partire dagli anni '80 (Toreti et al. 2009). Inoltre, si assiste ad un considerevole aumento della CO₂ e di altri gas clima alteranti (GHGs) come metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O), evento questo accelerato dall'industrializzazione, dal conseguente incremento dell'uso di combustibili fossili e da un'agricoltura di tipo intensivo. I trend evidenziano come tra il 1750 (inizio dell'era industriale) e il 2008 la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera sia passata da 280 a oltre 387 ppm; il tasso attuale di incremento di CO₂ è di 3,2 petagrammi (Pg) di C all'anno (1 Pg = 1 miliardo di tonnellate), mentre le concentrazioni atmosferiche di metano e protossido

di azoto registrano incrementi percentuali rispettivamente del 150% e 16% per lo stesso arco temporale (IPCC 2007). Tale incrementi hanno portato ad una riduzione della radiazione infrarossa uscente e ad un *forcing* radiativo positivo, generando così un incremento globale della temperatura terrestre dalla fine del XIX secolo, con un tasso di riscaldamento attuale pari a circa 0,17 °C/ decade (IPCC 2000; 2001). Il contributo maggiore alle emissioni nazionali è quello del settore energetico (82,8%) seguito dall'agricoltura (7,0%) e dei processi industriali (6,1%) (Ispra 2011).

Anche altri processi concorrono indirettamente a favorire questi cambiamenti climatici, come i cambiamenti di uso del suolo dovuti all' intenso sviluppo urbano, all'abbandono delle terre coltivate e alla deforestazione, fattori questi che tendono ad amplificare gli eventi climatici estremi in quanto responsabili del declino degli habitat naturali, della perdita di biodiversità naturale e coltivata, della frammentazione degli ecosistemi e del deterioramento della qualità dell'aria e dell'acqua. E' stato stimato che in Italia l'agricoltura produca una quantità di emissioni di GHGs pari a circa 39Mt CO₂ eq. che corrispondono al 6,5% del totale nazionale delle emissioni di natura antropica (Ciccarese 2007).

Tuttavia per quanto riguarda il settore agricolo, a livello europeo, è stata registrata una riduzione delle emissioni dei GHGs pari al 14%, dal 1990 al 2009 (Ispra 2011), grazie alla profonda revisione dei processi produttivi a cui si sta assistendo da alcuni anni, al fine di conciliare le esigenze produttive con quelle della salvaguardia dell'ambiente. In particolare, il settore primario si sta orientando verso la ricerca di un rapporto ottimale tra la gestione della pratica agricola, della conservazione dell'ambiente e della redditività aziendale orientandosi verso l'uso di strategie sostenibili, alternative ai sistemi convenzionali.

Il settore primario gioca invero un duplice ruolo nei confronti dei cambiamenti climatici. Da una parte può concorrere all'aggravamento del problema, in quanto fonte di CO₂, mentre dall'altra può contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici in quanto in alcune sue forme può configurarsi come serbatoio di C e quindi di stoccaggio di CO₂. L'agricoltura pertanto non è soltanto fonte di emissione di GHGs, ma può concorrere attivamente alla riduzione e mitigazione delle emissioni attraverso l'adozione di buone pratiche agricole che consentono di ridurre del 60-75% a livello globale le perdite di CO₂ derivanti da sistemi agricoli a gestione convenzionale (IPCC 1995).

Da alcuni anni (Conferenza di Marrakeseh – COP7, Novembre 2001) si sta discutendo in merito al ruolo positivo che anche il settore agricolo possa giocare nel contenimento e mitigazione dei cambiamenti climatici, in qualità di “serbatoio” (*sink*) di carbonio. Le piante, infatti, assorbendo CO₂ attraverso il processo di fotosintesi, consentono di fissare temporaneamente il carbonio nella biomassa e nel suolo, entrambi considerati delle vere e proprie riserve di carbonio (*carbon stocks*) del pianeta. Il potenziale di assorbimento del carbonio attraverso la gestione di risorse vegetali è stato stimato in un range di 60 e 87 Gt di C per un periodo di 50 anni, pari al 7-15% delle emissioni medie di combustibili fossili per il periodo 2000-2050 (Huoghton 2003; IPCC 2000). Inoltre, proprio gli ecosistemi arborei rappresentano un importante potenziale di fissazione del carbonio (Robertson et al. 2000) grazie alla possibilità di non lavorazione del suolo e alla presenza di specie erbacee a costituire l'inerbimento dell'interfila.

Di contro l'agricoltura risente molto degli effetti dei cambiamenti climatici. Infatti, pur potendo le colture rispondere positivamente all'aumento della concentrazione di CO₂, gli impatti collegati all'aumento della temperatura, all'alterazione del regime delle precipitazioni, alla maggiore frequenza e intensità di eventi climatici estremi, quali siccità e alluvioni, potrebbero condurre ad una riduzione delle produzioni e della qualità e ad un aumento dello sviluppo di fitopatie per alcune coltivazioni (Fischer et al. 2005; Houghton et al. 2001).

I cambiamenti climatici e di uso del suolo impongono da un lato lo sviluppo di nuove tecnologie in grado di ridurre le emissioni di gas serra, e dall'altro, la massimizzazione dell'efficienza con cui le colture sono grado di sequestrare il C, al fine di preservare l'ambiente dal deterioramento e salvaguardare la sostenibilità territoriale.

E' pertanto importante, e sicuramente anche economicamente strategico, acquisire dati sulle capacità di sequestro di C da parte delle principali colture arboree soprattutto per le aree maggiormente sensibili ai cambiamenti climatici come quelle del bacino del Mediterraneo (Salvati e Zitti 2009; Salvati et al. 2013).

1.5 Metodologie per lo studio delle funzioni ambientali

1.5.1 Lo strumento dell'ecologia del paesaggio

Da quando Carl Troll verso la prima metà del secolo scorso riconobbe le potenzialità descrittive delle foto aeree per l'interpretazione dei mosaici ambientali, l'ecologia del paesaggio (*Landscape ecology*) ha compiuto grandi passi. Dal dopoguerra questa disciplina ha preso gradualmente campo grazie alle opere di Naveh e Lieberman (1994) e di Forman e Godron (1986) e alla fondazione nel 1987 della prima rivista di *Landscape ecology*, diretta da Frank Golley.

Nata e sviluppatasi dapprima in Europa come scienza applicata alla gestione delle risorse naturali in ambienti antropizzati, solo verso la fine degli anni '80 si differenzia in una disciplina più orientata allo studio dei cambiamenti di uso del suolo e della struttura del paesaggio (Lipsky 2007), oltre che alle interazioni tra processi naturali e processi antropici. In accordo con Forman e Godron (1986) l'ecologia del paesaggio focalizza la propria attenzione su: la distribuzione degli elementi e degli ecosistemi del paesaggio; il flusso di animali, piante, energia, nutrienti ed acqua attraverso questi elementi; i cambiamenti ecologici nel mosaico ambientale in funzione del tempo (Botequilha e Ahern 2002; Turner et al. 2001).

Due importanti aspetti distinguono l'ecologia del paesaggio dalle altre discipline ecologiche:

1. L'ecologia del paesaggio riconosce che gli ecosistemi si distribuiscono nello spazio non solo in risposta ai gradienti topografici, climatici, e pedologici, ma anche in funzione delle interazioni biotiche e delle attività antropiche (Turner et al. 2001). La configurazione spaziale dell'ecomosaico regola, così, i processi ecologici.
2. Altro elemento innovativo dell'ecologia del paesaggio è il concetto di scala ed di modello gerarchico del paesaggio, che viene visto come un insieme di sistemi tra di loro gerarchicamente organizzati. In ogni paesaggio è possibile identificare altri paesaggi di dimensioni inferiori e/o maggiori secondo un modello gerarchico e lo studio di ciascun livello implica una opportuna scala di analisi (Farina 2006; Turner et al. 2001).

Il paesaggio è quindi un mosaico di ecosistemi più o meno antropizzati (agro-ecomosaico), costituito da tante unità fondamentali dette ecotopi e definiti come: la più piccola unità spaziale omogenea individuabile tramite la fotografia aerea

(Caporali et al. 2008; Ingegnoli 2002; Naveh e Lieberman 1994).

Tre sono gli elementi fondamentali della struttura del paesaggio considerati dall'ecologia del paesaggio: le patches (tessere), i corridoi e la matrice.

La matrice rappresenta il contesto territoriale in cui sono immersi tutti gli elementi naturali e di origine antropica.

Patches e corridoi possono essere definiti come ecotopi differenti per forma.

Le patches (tessere) sono definite come delle superfici/aree non lineari, mentre i corridoi sono elementi lineari, entrambi individuabili in quanto differenti in apparenza ed in sostanza dall'ambiente circostante (Ingegnoli 2002).

I caratteri strutturali di questi ecotopi (patches e corridoi) sono: a) dimensione; b) forma; c) lunghezza dei bordi (perimetro).

La forma delle patches riflette il processo che le ha determinate e mantenute, così che patches di forma dendritica saranno originate da corsi d'acqua, patches lineari e/o geometriche sono in genere di origine antropica. La lunghezza dei bordi risente delle caratteristiche morfologiche ed aumenta in funzione della complessità delle forme. Forma e dimensione delle patches condizionano i processi interni alle patches stesse.

I caratteri corologici, quelli che regolano i rapporti tra gli elementi dello stesso spazio geografico, associati a quelli strutturali di una patches sono: la distanza da altre patches della stessa tipologia (importante per la teoria delle metapopolazioni); il contrasto con le patches limitrofe o alla matrice (paradigma dei ecotoni); la stabilità e la permanenza morfo-strutturale nel tempo (importante per il mantenimento della biodiversità); l'estensione della area '*core*' (area lontana dai bordi estensione strategica per il mantenimento di una determinate specie); il livello di permeabilità dei bordi (importante per il movimento dispersivi delle specie tra patches di qualità differenti). Questi sono solo alcuni dei caratteri strutturali che appaiono importanti da definire nell'ecologia del paesaggio quando si considerano le patches come entità funzionali.

I corridoi possono essere ulteriormente classificati in relazione alla loro origine (Fig.4, Bennet e Mulongoy 2006).

- corridoi lineari: lunghe strisce di vegetazione, come siepi, corridoi di foreste, o ripariali continue o discontinue;

- *stepping stone*: una serie di piccoli e non connessi habitat naturali utilizzati come fonte di cibo, riparo o per riposo;
- corridoi di paesaggio: che consistono in diversi elementi naturali del paesaggio, che non mostrano interruzioni tra loro e che offrono una copertura sufficiente per lo spostamento da una *core area* – area naturale di estese dimensioni- ad un'altra.

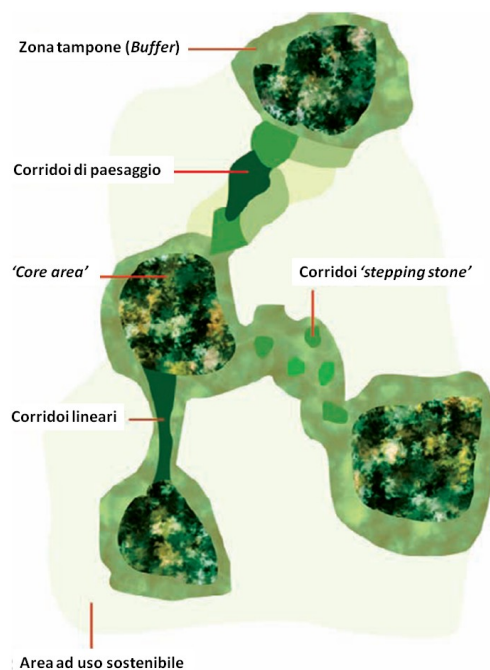


Fig. 4 – Rappresentazione degli elementi della rete ecologica e loro configurazione spaziale – Immagine modificata da Bennet e Mulongoy 2006.

Questi elementi, insieme con gli ecotoni, alle *buffer zones* (aree cuscinetto, di transizione, in grado di attenuare danni potenziali alle aree interne) e alle aree ad uso sostenibile (aree in cui sono inserite le infrastrutture ecologiche che mettono a disposizione le risorse naturali) sono importanti per mantenimento della biodiversità e per il controllo dei flussi all'interno del paesaggio, e concorrono a definire la cosiddetta rete ecologica (Bennet e Mulongoy 2006).

Il concetto di rete ecologica è recente e risale agli anni '70-'80, e può essere visto come un sistema di elementi paesaggistici naturali e/o semi-naturali configurato e gestito con l'obiettivo di mantenere o ripristinare le funzioni ecologiche del paesaggio.

Dato che l'ecologia del paesaggio sottolinea il legame tra la struttura spaziale ed i processi ecologici, la quantificazione della conformazione spaziale degli elementi del paesaggio sopra descritti ha ricevuto considerevole attenzione da parte del mondo

scientifico in quanto elemento chiave per una gestione sostenibile del territorio, per la determinazione della stabilità/diversità degli ecomosaici ambientali e per la sostenibilità delle produzioni.

L'analisi di un paesaggio attraverso immagini provenienti da foto aeree (*remote sensing*) consente di ottenere informazioni sulla struttura, composizione, diversità ed evoluzione di un mosaico ambientale. Tale analisi consente di raccogliere in forma numerica e grafica le informazioni sulla distribuzione delle patches componenti la matrice (Farina 2006). Tre sono le principali tipologie di dati disponibili: foto aeree, disponibili dal 1930 rimangono ad oggi un importante documento per lo studio delle dinamiche dei paesaggi; telerilevamento digitale, ovvero immagini satellitari ad alta risoluzione (15m) interessano vaste regioni della terra, ed inoltre sono disponibili cartografie come carte fitoclimatiche, idrogeologiche, geologiche, litologiche, podologiche, tecniche regionali, catastali, di uso del suolo, delle unità fisiografiche di paesaggio, cartografia rete Natura 2000, carte di copertura del suolo e degli habitat ed anche censimenti, strumenti questi utili per integrare le informazioni registrate dalle foto aeree o satellitari (Ingegnoli 2002).

Le informazioni cartografiche e fotografiche permettono di monitorare, a mezzo di interpretazione, comparazione e misurazione, gli elementi del paesaggio (ecotipi e componenti lineari del paesaggio) in termini di quantità, estensione, distribuzione e forma. Queste misure costituiscono la base per il calcolo di indicatori, ossia il rapporto tra gli elementi del paesaggio più significativi per dare giudizi su biodiversità e sostenibilità di un territorio. Questa tecnica costituisce un processo di valutazione di biodiversità basata sugli elementi del paesaggio in base al concetto di mosaico, secondo il quale la ricchezza di specie, in una data area, aumenta in relazione alla variabilità ed alla eterogeneità degli habitat. I dati rilevati sono catalogati, con l'ausilio della tecnologia GIS, in database specifici per ogni carattere e poi esportati su foglio di calcolo per le successive operazioni di calcolo ed elaborazione (Caporali et al. 2008).

Nella metodologia per l'analisi del paesaggio la prima tappa del lavoro riguarda la definizione dell'ecoregione da analizzare e studiare. L'ecoregione (o regione ecologica), talvolta chiamata anche bioregione, è una zona o unità territoriale ecologicamente e geograficamente distinta. Gli elementi di distinzione riguardano caratteristiche di omogeneità biofisica e/o socio-economica. Pertanto, l'ecoregione

può essere un'area relativamente ampia ed omogenea per topografia, vegetazione naturale e potenziale, peculiarità di tipo e uso del suolo, economia e cultura derivata dalla tradizione. Le indagini a livello di ecoregione sono favorite dal crescente interesse per lo studio degli ecosistemi in rapporto alla utilizzazione umana. Una volta definita l'ecoregione, l'area da sottoporre ad analisi è virtualmente circoscritta. All'interno di tale aree di studio si rilevano quindi la diversità, l'estensione, il perimetro, e la disposizione nello spazio delle componenti strutturali del paesaggio (ecotopi o *patches*) per rilevare l'uso del suolo e determinare la complessità paesaggistica. Questa metodologia prevede la foto-interpretazione per rilevare le classi di ecotopo costituenti il paesaggio.

Nella costruzione dell'ecomosaico ambientale, attraverso l'uso di un software GIS, è assolutamente necessario distinguere e individuare le classi di copertura del suolo (ecotopi) sull'aerofotogrammetria (Caporali et al. 2008; Lausch e Herzog 2002).

La successiva analisi territoriale mira a classificare il paesaggio in base a classi d'uso del suolo sulla base di zone omogenee di copertura o ecotopi. Al fine di rispettare e comprendere meglio le caratteristiche di tutte le tipologie di copertura presenti sul territorio in esame, vengono definite le classi d'uso o "*landscape complexes*" (LCs) (Caporali et al. 2008; Osinki 2003) secondo la classificazione del progetto COR.IN.E. (COOrdination de l'INformation sur l'Environnement 1985).

Nello studio del territorio, rispetto alla classica COR.IN.E. Land Cover, (che lavora ad una risoluzione di 25 ha) con la diretta fotointerpretazione si rilevano le aree di ogni ecotopo e i loro perimetri che li distinguono gli uni dagli altri. Lo studio degli ecotoni risulta quindi utile alla valutazione della biodiversità (Burgio et al. 1997) ed il loro ruolo ecologico-funzionale – garanti della connettività dell'ecomosaico – risulta più evidente se si considera la loro lunghezza piuttosto che la loro area (Wagner et al. 2000).

Lo strato informativo di Uso del Suolo realizzato mediante fotointerpretazione a video delle ortofoto viene infine analizzato e interpretato mediante opportuni **indici metrici del paesaggio** (Forman e Godron 1986). Il ricorso agli indicatori consente la lettura della complessità del paesaggio attraverso l'interpretazione quantitativa e qualitativa dei risultati metrici, ed inoltre permette il confronto tra ecoregioni diverse (Burgio et al. 1997; Forman e Godron 1986; Lausch e Herzog 2002; OECD 2001; Szabo et al. 2008; Turner et al 2001; Wagner et al. 2000). La metrica del paesaggio

si basa sul numero, dimensione, forma, diversità e disposizione delle patches dei diversi tipi di copertura/uso del suolo ed insieme ad appropriate analisi consentono di quantificare la struttura e la composizione del paesaggio (Lausch e Herzog 2002). Inoltre, essa lavora su tre livelli: (1) il livello ‘tradizionale’ delle tessere, (2) il livello delle classi, (3) il livello del paesaggio. Al primo livello gli indici descrivono le caratteristiche delle patches: area, perimetro, rapporto perimetro-area, mentre a livello di classi si usano i dati aggregati opportunamente pesati delle singole tessere per dare informazioni in merito a ciascuna tipologia di uso del suolo. Infine, a livello di paesaggio fornisce informazioni in merito alla totalità della biodiversità/uniformità del contesto analizzato (Szabo et al. 2008).

Numerosi indici metrici del paesaggio sono stati proposti e sviluppati a partire dagli anni '80 (Forman e Godron 1986; Lausch e Herzog 2002; OECD 2001; Turner et al. 2001; Szabo et al. 2008). In particolare questi possono essere raggruppati nelle seguenti classi (Lausch e Herzog 2002):

- **Metrica delle aree:** misure che analizzano la composizione del paesaggio (indice Area delle classi di uso del suolo/ tessere (patches) (CA); area totale dell'ecomosaico ambientale (TLA));
- **Metrica della densità, dimensione e variabilità delle tessere:** misure che descrivono a livello quantitativo la struttura del paesaggio (indici di numerosità delle patches (NP), superficie media delle patches (MPS) e deviazione standard della superficie media (PSSD), mediana della superficie media (MedPS) e coefficiente di variazione della superficie delle patches (PSCoV));
- **Metrica della forma delle tessere:** indici che contribuiscono alla descrizione dei fattori di forma (indici indice medio della complessità della forma delle patches (MSI) e complessità della forma pesata sull'area delle patches (AWMSI));
- **Metrica dei margini delle tessere:** indici che quantificano la lunghezza e la distribuzione dei bordi/margini delle tessere (indici di perimetro totale (TE) e perimetro medio delle patches (PME) e densità dei margini (ED));
- **Metrica della diversità del paesaggio:** indici che quantificano la diversità paesaggistica (indice di diversità di Shannon (SDI), indice di uniformità di Simpson (SEI), densità della ricchezza delle patches (PRD));

Questi indici metrici del paesaggio permettono di quantificare la struttura, la conformazione del paesaggio, fornendo una valutazione anche della biodiversità

dell'ecomosaico ambientale.

Di questi indici metrici del paesaggio ne sono stati sviluppati una grande quantità, tuttavia già nel 1995 Riitter evidenziava come spesso questi fossero ridondanti e fortemente correlati tra loro. È quindi necessario, a seguito dell'utilizzo di numerosi indici metrici del paesaggio, definire un *core set* di indicatori che siano significativi per lo studio della struttura del paesaggio, evitando di incorrere nella ridondanza associata agli indici e limitando il numero delle variabili da analizzare, in modo tale da facilitarne la comprensione.

L'ecologia del paesaggio diviene così strumento basilare per molte delle fasi di pianificazione, gestione e conservazione del territorio, nonché per la valutazione della sostenibilità delle coltivazioni, in quanto consente la comprensione della struttura, della complessità e delle dinamiche del territorio (Caporali et al. 2008). L'ecologia del paesaggio è stata solo recentemente utilizzata per lo studio dei paesaggi viticoli a varia scala (Agnoletti et al. 2011; Barbera et al. 2011; Hilty e Merenlender 2004; Merenlender 2000)

1.5.2 Indici di funzionalità del suolo

Ai fini della misura della sostenibilità delle produzioni agricole è opportuno valutare la qualità della risorsa suolo mediante indicatori fisici, chimici e biologici della fertilità. Il monitoraggio della qualità del suolo è finalizzato alla conservazione, incremento e ripristino della fertilità fisica, chimica e biologica, alla pianificazione territoriale (vocazionalità d'uso) e alla difesa del suolo dall'impatto di fattori antropici e biotici (Sequi et al. 2006).

Tra gli indicatori della fertilità fisica del suolo vengono annoverati numerosi parametri/indici/indicatori, quali: la porosità, la stabilità degli aggregati (resistenza all'azione disagregante dell'acqua), il grado di compattamento e suscettibilità al compattamento, gli strati compatti lungo il profilo (suola d'aratura), la degradazione della struttura (effetto di interventi antropici: lavorazioni, sbancamenti etc.), erodibilità (Sequi et al. 2006). Tra gli indicatori chimici utili per definire la qualità del suolo ritroviamo: il contenuto di SO e C organico, il contenuto delle frazioni umica e fulvica, grado, tasso e indice di umificazione, il rapporto C/N, mentre per gli

indicatori biologici, quelli legati alla presenza dei microrganismi nel suolo, escludendo tutti gli altri organismi viventi, ritroviamo: il Carbonio della biomassa microbica (C_{min}), la respirazione del terreno (C_{bas}), il quoziente metabolico (qCO_2) e di mineralizzazione della sostanza organica (qM) (Sequi et al. 2006).

Tuttavia, appare evidente come non esista un parametro o un gruppo minimo di indici univocamente definito per la qualità del suolo, ma di volta in volta i parametri vanno individuati in funzione delle destinazioni d'uso del suolo da un lato e delle problematiche territoriali dall'altro, nonché del livello di approfondimento richiesto dall'indagine (caratterizzazione di primo, secondo livello). Come già detto, per l'Italia e per l'area del Mediterraneo, in generale, le problematiche principali del suolo sono: il pericolo di desertificazione, l'erosione e il consumo. In questo contesto parametri relativi alla quantità e alla qualità della SO del suolo, quelli tipici relativi alla struttura ed al grado di compattamento del suolo e quelli relativi alla quantità ed attività della biomassa microbica del suolo sembrano essere al momento i più idonei per definire le condizioni di qualità dei suoli italiani (Sequi et al. 2006).

In particolare, la SO, caratterizzata sotto diversi aspetti, è un indicatore di qualità. Il suo contenuto nel suolo, infatti, è un potenziale indicatore ambientale in quanto si correla con numerosi aspetti della produttività e sostenibilità degli agro-ecosistemi e della conservazione ambientale (Smith 2004).

La SO è il determinante principale di attività biologica. La quantità, la diversità e l'attività della fauna del suolo e dei microrganismi sono direttamente correlate alla materia organica. Inoltre, la dotazione di SO e l'attività biologica che essa genera, hanno una grande influenza sulle proprietà fisiche e chimiche dei suoli, migliorando ad esempio la dinamica e la biodisponibilità di principali elementi nutritivi vegetali. In particolare l'aggregazione e la stabilità della struttura del suolo aumentano con il contenuto di materia organica.

La SO e la biomassa ed attività microbica definiscono la fertilità biologica del terreno. Questa unitamente alla fertilità fisica e chimica costituisce la fertilità agronomica o integrale dalla quale dipende la produttività del suolo, che è strettamente correlata al concetto di qualità (FAO 2001).

1.5.3 Metodologie per lo studio del sequestro del carbonio nei sistemi produttivi arborei

Agli ecosistemi produttivi arborei, e più in generale a quelli agricoli, sono attribuiti ruoli e potenzialità rilevanti nel condizionare la qualità dell'ambiente a livello globale. Nelle ultime decadi si è assistito ad un crescente interesse per il bilancio di carbonio negli ecosistemi terrestri (Janssens et al. 2003; Smith 2004). La gestione ottimale del bilancio del carbonio è un obiettivo comune e trasversale ad ogni coltivazione agraria e forestale. Essa implica, in genere, la massimizzazione della capacità di sintesi di sostanza secca (crescita), la riduzione dei consumi per respirazione e soprattutto l'ottimizzazione dei processi di ripartizione. Nell'attuale gestione, le terre emerse del continente europeo sono in grado di assorbire dal 7 % al 12 % delle emissioni antropiche di CO₂. Tuttavia, si ritiene che gli effetti positivi delle foreste e delle praterie siano in parte annullati dai sistemi agricoli di tipo arativo che sono visti come emettitori netti di C (Reicosky et al. 2000; Tagliavini et al. 2007). Gli ecosistemi arborei possiedono un potenziale di fissazione del carbonio, sia nella componente vegetale sia in quella suolo, in gran parte inesplorato (Giovannini et al. 2003; Robertson et al. 2000) ed è pertanto, scientificamente importante e forse anche economicamente strategico acquisire informazioni sulle capacità di sequestro delle colture arboree prevalenti. Lo studio delle potenzialità dei sistemi produttivi arborei di accumulare C sono ancora agli inizi. Gli scambi di C tra ecosistema e atmosfera (Aber e Melillo 2001) derivano in pratica dal bilancio tra la sua fissazione (ad opera della fotosintesi) e la sua emissione ad opera della respirazione delle piante (respirazione autotrofa), dei microrganismi (soprattutto del suolo) e degli altri organismi eterotrofi (respirazione eterotrofica). Il bilancio tra entrate e perdite di carbonio, costituisce la produttività netta dell'ecosistema (Grappadelli et al. 2007). A differenza di ciò che accade in un ecosistema naturale, lo studio del ciclo del C in un frutteto deve inoltre tenere in considerazione almeno la rimozione dal sistema di una parte più o meno consistente del C fissato, attraverso i frutti e, talvolta, i residui della potatura, quando per motivi sanitari sono rimossi e bruciati. Se un'elevata ripartizione del C fissato nei frutti è auspicabile da un punto di vista della massimizzazione del risultato economico, ciò comporta una riduzione del C che rimane nel sistema. Diverse sono le metodologie di indagine nate al fine di indagare

il potenziale di fissazione del C negli ecosistemi produttivi arborei, in particolare le più utilizzare sono le tecniche eco-fisiologiche, micrometeorologiche e computazionali.

La **Produzione Netta** di un **Ecosistema (NEP)** è una proprietà fondamentale dell'ecosistema; è stato originariamente definita da Woodwell e Whittaker (1968) come la differenza tra la quantità di carbonio organico fissato attraverso la fotosintesi in un ecosistema (produzione primaria lorda o GPP) e la respirazione totale (Re, somma della respirazione autotrofica e eterotrofica) dell'ecosistema. Definita in questo modo la NEP rappresenta il carbonio organico disponibile per lo stoccaggio all'interno del sistema pianta-suolo o perso da esso attraverso esportazione o ossidazione non biologica. Il segno della NEP definisce se un sistema è autotrofico (NEP maggiore di zero, tipico delle foreste e dei pascoli o eterotrofico (NEP minore di zero, cioè se di fatto fissa più di quanto perde o viceversa). Le valutazioni della NEP per i diversi ecosistemi sono cresciute negli ultimi anni in seguito all'attenzione posta dalle politiche europee per il controllo del bilancio del carbonio della biosfera. NEP può essere più dettagliatamente definito dall'equazione [1] di seguito riportata (Lovett et. al. 2006):

$$NEP = \Delta C_{org} + E + O_{xnb} - I \quad [1]$$

Dove ΔC_{org} rappresenta la variazione di carbonio organico immagazzinato dall'ecosistema, I il carbonio organico importato, E quello esportato e O_{xnb} l'ossidazione non biologica del carbonio.

Misurare la NEP può essere impegnativo, soprattutto negli ecosistemi terrestri. Le stime di produzione e respirazione in un ecosistema terrestre, considerando l'accumulo di C nel suolo e nella vegetazione in genere hanno elevati margini di incertezze. La Produzione Netta dell' Ecosistema è un parametro utile ma concettualmente diverso dall' accumulo C. In sostanza rappresenta la quantità di C organico fissato in un ecosistema che non è respirato ed è quindi disponibile per accumulo, l'esportazione, o ossidazione non biologica.

La NEP può essere una buona approssimazione del tasso di accumulo del C organico

all'interno di un agro-ecosistema se gli ingressi e le uscite di C organici sono trascurabili, ma non è corretto assumere che NEP e l'accumulo di C organico siano equivalenti. Molti studi in letteratura hanno usato NEP e l'accumulo di C organico in modo intercambiabile, con il presupposto implicito che l'importazione, l'esportazione, e l'ossidazione non biologica di C organico siano trascurabili.

Negli ultimi anni la tecnica '**eddy covariance**' è stata frequentemente utilizzata per la stima della NEP. Questa tecnica micrometeorologica consente di misurare il flusso netto di CO₂, acqua ed energia tra biosfera e atmosfera alla scala ecosistemica (Papale et al. 2006) mediante l'allestimento di specifiche stazioni. A partire dalla fine degli anni '80, grazie allo sviluppo tecnologico e strumentale, e allo sviluppo di algoritmi di calcolo sempre più perfezionati, questo metodo ha sostituito le tecniche tradizionali delle misure di gradiente, molto limitate nelle loro condizioni di applicabilità. Il suo uso è stato comunque fino ad ora circoscritto alle attività di ricerca, dato che prevede elaborazioni matematiche complesse e il processamento di grandi quantità di dati. L'affidabilità dei dati ottenuti utilizzando l'eddy covariance, e lo sviluppo di software semplificati per l'analisi dei dati stessi, spinge comunque verso un suo utilizzo anche in settori applicativi, sia come metodo di monitoraggio puntuale degli scambi tra piante e atmosfera, sia come appoggio alla modellistica dei processi stessi.

Dai dati ottenuti è possibile determinare le diverse componenti del bilancio del carbonio nell'ecosistema frutteto" e più precisamente:

- NEE, Net Ecosystem Exchange ovvero la quantità di carbonio fissato dai processi fotosintetici al netto della respirazione;
- GPP, Gros Primary Production che equivale al carbonio fissato più la respirazione dell'ecosistema;
- ER, Ecosystem Respiration ovvero il carbonio utilizzato per i processi respirativi sia autotrofi che eterotrofi.

Poiché la stazione misura anche i flussi di calore latente è anche possibile determinare l'evaporazione effettiva (ET_c) e il WUE (Water Use Efficiency), cioè il rapporto tra carbonio fissato e l'acqua utilizzata (Panzacchi 2006).

Appositi strumenti, come analizzatori di gas ad infrarosso, anemometri ad ultrasuoni ed altri sensori, posti sopra la vegetazione acquisiscono le misurazioni di velocità e direzione del vento, nonché le concentrazioni di CO₂ e H₂O, e le fluttuazioni di

questi valori ad alta frequenza (10 – 20 Hz). Questi flussi dipendono da: i) numero di oggetti che insistono sull'area da analizzare, ii) dalla dimensione dell'area e iii) il tempo necessario per attraversare questa zona.

L'area di indagine deve essere particolarmente ampia e uniforme nell'uso del suolo e nella topografia in modo da evitare che i flussi di CO₂ di ecosistemi diversi vengano presi in considerazione. Tra gli altri svantaggi c'è il fatto che la stazione registra un'ampia varietà di dati, quindi le misure possono essere effettuate solo per brevi periodi di tempo, limitando così la tecnica a rilievi puntuali (Burba e Anderson 2006).

Negli ultimi 25 anni i **modelli di simulazione** applicati alla *Vitis vinifera* L. sono aumentati in modo considerevole interessando numerosi aspetti quali la fenologia, la crescita vegeto-produttiva e la maturazione, l'intercettazione/distribuzione della luce, la fotosintesi nella chioma e l'accumulo-ripartizione della sostanza secca, gli effetti di stress ambientali o indotti da fattori biotici (Poni et al. 2000; 2006). Alcuni di questi modelli riguardano il bilancio del C nella pianta. In particolare il software Stella (High Performance Systems, versione 7.2 sviluppato da Isee Systems – Lebanon, N.H.) è stato ideato come modello stagionale semplificato di previsione della sostanza secca totale in alberi di melo (Lakso et al. 2001), successivamente validato per il genere Vitis. I primi tentativi di modellizzazione del bilancio giornaliero del carbonio fissata da chiome di *Vitis vinifera* L. basati sull'utilizzo di Stella risalgono al 2006 (Poni et al. 2006).

Il modello è suddiviso in tre sub modelli: i) fotosintesi; ii) respirazione; iii) sviluppo dell'area fogliare, ed gli input da fornire sono riportati in figura 5 (Poni et al. 2006).

Sub model	Parameter input	Unit
Canopy leaf area	Maximum daily T	°C
	Minimum daily T	°C
	Leaf area/DD – pre-trimming	cm ² /°C
	Leaf area/DD – post-trimming	cm ² /°C
	Initial shoot no. per vine	no.
	Increment of shoot no. after trimming	no.
	LA removed with trimming	% of pre-trimming LA
	FGS before trimming	%
	FGS after trimming	%
Photosynthesis	Daylength	S
	Total radiation	MJ m ⁻² d ⁻¹
	Maximum leaf P _n	mg m ⁻² s ⁻¹
	Canopy light interception	% of allotted ground area per vine
	Light extinction coefficient (K)	dimensionless
	Quantum yield	µg J ⁻¹
	Allotted ground area per vine ^a	m ²
Respiration ^b	Leaves	
	Slope	dimensionless
Clusters	Intercept	mg m ⁻² s ⁻¹
	Slope	dimensionless
Stems	Intercept	mg g ⁻¹ h ⁻¹
	Clusters per vine	no.
	Cluster weight	g
	Slope	dimensionless
	Intercept	mg m ⁻² s ⁻¹
	Surface area	m ² /vine

^aT = air temperature, DD = degree days; LA = leaf area; FGS = fraction of growing shoots; P_n = net photosynthesis.

^bRespiration sub models use also minimum daily temperature (T_{min}), maximum daily temperature (T_{max}) and day length, as specified in Fig. 1.

^cAllotted ground area per vine calculated as the product of light bar length (2.205 m) by total cane length per vine (2.1 m for low shoot density and 2.6 m for high shoot density).

^dSingle value due to absence of trimming.

Fig.5 – Lista degli input richiesti dal software Stella per la modellizzazione del bilancio giornaliero di C della *Vitis vinifera* (fonte Poni et al. 2006).

Il limite oggettivo del modello è la mancanza della componente ipogea nella stima bilancio giornaliero del C nella vite. L'apparto radicale infatti sembra avere una capacità di stoccare il carbonio rilevante, tuttavia il turnover radicale è difficile da valutare e quindi da modellizzare (Poni et al. 2006). Lo sviluppo pertanto di metodi di stima della fissazione di C nella vite e nel vigneto sono comunque basati per lo più su stime e non misurazioni di pianta. (Castelan-Estrada 2002; Mullins 1992; Poni et al. 2006).

1.6 La consistenza della viticoltura in Italia

La coltivazione della vite rappresenta, insieme alla quella dell'olivo, una delle colture arboree dominanti nel paesaggio del bacino del Mediterraneo, e può concorrere alla salvaguardia del degrado ambientale in funzione dei molteplici servizi ecosistemi ad essa associati.

Con i suoi 3,64 milioni di ettari di superficie, di cui il 96% destinato alla coltivazione di uva da vino, l'Unione Europea è la più grande regione viticola del mondo (Eurostat 2010). Il 76% della viticoltura europea si concentra nei paesi del Mediterraneo, dove l'Italia è il terzo Paese per superficie vitata, preceduta da Spagna e Francia. La viticoltura italiana rappresenta con i suoi 632.140 ettari di superficie il 5% della SAU nazionale (Istat 2010). La SAU media delle aziende viticole italiane è circa 1,7 ha e negli ultimi 10 anni ha subito un notevole aumento, circa 9% annuo. In particolare nello stesso arco temporale (5° Censimento generale dell'agricoltura 2000, e 6° Censimento generale dell'agricoltura 2010) si è assistito ad un progressivo impoverimento del patrimonio viticolo nazionale, con un'erosione media annua di superficie vitata del 1,2% , e circa 8500 ha di superficie vitata all'anno persa. Tale continua erosione di suolo vitato sicuramente rappresenta una perdita in termini di diversità ambientale e biologica, oltre che un rischio di alterazione di equilibri degli ecosistemi agro-forestali, e può condurre al degrado ambientale. Il ruolo svolto dalla viticoltura nel contenere tale fenomeno appare evidente quanto rilevante. Recenti studi hanno dimostrato che la viticoltura partecipa alla tutela e valorizzazione degli agro-ecosistemi attraverso la creazione di habitat favorevoli allo sviluppo di comunità biologiche diversificate, funge da presidio del territorio (Agnolletti et al. 2010; Biasi et al. 2010(b); Biasi e Brunori 2012) ed inoltre è garanzia di reddito e di

occupazione. La viticoltura rappresenta quindi un fattore basilare dei processi di sviluppo rurale contraddistinti dai requisiti di sostenibilità e valorizzazione delle risorse locali.

Tra le regione che maggiormente evidenziano questa erosione c'è la regione Lazio (Istat 2010). Qui la viticoltura rappresenta il 2,5% della SAU regionale, con i suoi 16082 ha di superficie. Il tasso di erosione annuo di superficie nella regione Lazio è pari al 4,6%, contemporaneamente la SAU media aziendale è raddoppiata arrivando nel 2010 al valore di 0,8 ha (Istat 2010). La regione Lazio, rappresenta uno dei territori italiani maggiormente vocati alla coltivazione della vite. In particolare con le sue 27 DOC e 3 DOCG è tra le regioni con maggior riconoscimenti nazionali. Le trasformazioni negli assetti, entità e modelli produttivi fanno della viticoltura laziale un sistema modello. Altro carattere che contraddistingue la viticoltura laziale, è la cospicua presenza delle coltivazione biologica della vite. In particolare, in Italia la viticoltura biologica raggiunge nel 2011 (SINAB 2011) i 52812 ha di superficie; di questi circa il 97% è destinata alla coltivazione delle uve da vino, la restante percentuale alla coltivazione di uve da tavola e da essiccare. Tale superficie rappresenta circa il 8% della superficie vitata italiana, il 5% della produzione biologica nazionale, e i trend evidenziano una crescita annua pari al 4,9%. La superficie investita a viticoltura biologica nel Lazio caratterizza il 2% della superficie destinata ad agricoltura biologica regionale con i suoi 1832 ha e rimane pressoché stabile, mostrando una leggera riduzione del 1,5% rispetto all'anno 2010 (SINAB 2011).

1.7 La viticoltura a sostenibilità ambientale

La sostenibilità in viticoltura, come necessità nella futura gestione dei sistemi viticoli, comporta l'individuazione di modelli produttivi in cui la tecnica viticola per produzioni di qualità possa coincidere con l'innovazione tecnologica (OIV-VITI 2011), le tecniche agronomiche, la salvaguardia dell'ambiente (Di Lorenzo 2011) e delle sue risorse, nonché il rispetto del paesaggio (Biasi 2011), rendendole parti integranti dello sviluppo del comparto. A questo si aggiunge la necessità di sviluppare una viticoltura in grado non solo di contrastare i cambiamenti climatici, ma anche e soprattutto di adattarsi ad essi.

Il clima è il principale responsabile dei diversi caratteri e della diversa distribuzione degli ecosistemi naturali e coltivati della Terra.

I cambiamenti climatici in atto rientrano tra le principali cause del degrado ambientale, in quanto l'innalzamento delle temperature, la variazione nella frequenza ed intensità delle precipitazioni e l'aumento delle emissioni di gas serra (GHGs), stanno modificando la vocazionalità ambientale per determinati obiettivi qualitativi delle produzioni.

Tra i settori potenzialmente vulnerabili, ossia dove gli impatti dovuti al cambiamento climatico sono attesi con una maggiore probabilità, al primo posto ritroviamo l'agricoltura (EEA 2005) ed in particolare la viticoltura. Il clima, infatti, rappresenta un fattore fondamentale per regolare il successo produttivo di tutti i sistemi viticoli, in quanto influenza la durata dei cicli colturali, la fenologia e la diffusione delle varietà più idonee ad essere coltivate in una determinata regione, determinare il controllo della produzione e della qualità, e in ultima analisi guida la sostenibilità economica (Jones 2010).

Oggigiorno le regioni viticole di qualità sono localizzate in fasce o nicchie geografiche piuttosto ristrette, fatto questo che le rende sensibilmente più a rischio nei confronti della variabilità climatica a breve e a lungo termine, rispetto a quanto normalmente avviene per altre colture di natura più estensiva (Jones 2008). I trend climatici monitorati nelle aree viticole a maggior vocazione nel corso dell'ultimo secolo rivelano che il riscaldamento terrestre è asimmetrico rispetto agli andamenti stagionali e diurni "attesi" in quanto l'incremento di temperatura è stato maggiore in inverno e primavera e durante la notte (Easterling 2000; Karl et al. 1993; Jones 2008). Tali andamenti sono stati poi efficacemente correlati con la produzione mediante effetti che interessano la resistenza al freddo invernale, la probabilità di gelate tardive e la lunghezza del ciclo vegeto-produttivo. La temperatura e il bilancio radiativo sono considerati i fattori climatici che maggiormente influenzano la qualità della produzione viticola; infatti, indici bioclimatici basati sulla valutazione delle temperature nel corso del ciclo vegeto-produttivo della vite sono comunemente usati per indicare l'idoneità climatica alla coltivazione della vite a lungo-termine, consentendo inoltre di definire unità viticole vocazionali in cui l'espressione dell'interazione genotipo-ambiente di determinati vitigni può raggiungere livelli ottimali (Jones 2005). Le alterazioni del clima in atto comportano un allungamento

della stagione vegetativa, una maturazione più repentina, una ridotta maturazione del legno, e la possibilità di incorrere in gelate improvvise, fatto questo che limita la vocazionalità dei territori compromettendo la qualità delle produzioni viticole (Jones 2005). È evidente che il riscaldamento progressivo finirà per spingere le regioni viticole oltre il limite termico massimo entro il quale è ancora possibile, con le varietà attuali, produrre vini di elevata qualità.

Nel complesso, gli effetti di uno slittamento di una regione viticola verso una fascia termica più alta si possono manifestare attraverso una crescita vegetativa più rapida e la tendenza a sviluppare profili aromatici sbilanciati. Infine indagini modellistiche di tipo spaziale hanno chiaramente indicato traslazioni e/o ampliamenti di regioni viticole prevedendo, per alcune aree del sud Europa, un riscaldamento tale da rendere in pratica impossibile la produzione di vini di alta gamma e, viceversa, per regioni nordiche, la possibilità di diventare ospitali nei confronti di vitigni non necessariamente precoci nonché di garantire una maggiore stabilità aromatica (Butterfield et al. 2000; Jones 2008; Kenny e Harrison 1992). Le ripercussioni di queste variazioni possono coinvolgere anche le avversità della vite. In alcuni ambienti è previsto un aumento della pressione della peronospora (*Plasmopara viticola*) nelle prime fasi vegetative, in seguito al verificarsi di condizioni favorevoli per le infezioni nei mesi primaverili (Salinari et al. 2006). L'aumento della temperatura potrà determinare profonde modificazioni nella fenologia degli insetti, un aumento del numero di generazioni per unità di tempo e un ampliamento degli areali di alcune specie (Gutierrez et al. 2008; Tobin et al. 2008). In Europa, alcune problematiche tipiche di aree meridionali potranno coinvolgere le regioni centro-settentrionali ma tali eventi non sono prevedibili con sicurezza. Infatti, le connessioni tra cambiamenti climatici e incidenza dei fitofagi sono caratterizzate da un elevato grado di complessità che coinvolge anche i rispettivi antagonisti naturali (Gutierrez et al. 2008). Tra gli altri cambiamenti climatici vi è sicuramente anche la riduzione delle risorse idriche, e quindi l'aumento dello stress idrico per la piante, che se prolungato può anche comportare un calo della produzione e della qualità della bacca, e di conseguenza un aumento del rischio di impresa e dei costi di gestione. In tal modo, studi che aiutino a comprendere il comportamento vegeto-produttivo di questa specie in funzione di ambienti caratterizzati da mesoclimi o microclimi

diversi possono concorrere a costruire una strategia di gestione sostenibile del vigneto.

1.8 Bibliografia di riferimento

AA.VV. 1999. '*Comunicazione Nazionale per la Lotta alla Siccità ed alla Desertificazione*'. Ministero dell'Ambiente, Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione, pp. 115.

Aber J., Melillo G., 2001. '*Terrestrial Ecosystems*'. Hartcourt Academic Press. San Diego. USA. ISBN-10: 0120417553, pp. 556.

Abbona E.A., Sarando'n S.J., Marasas M.E., Astier M., 2007. "*Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina*". Agriculture, Ecosystems and Environment 119:335–345.

Agnoletti M. 2010. '*Paesaggi rurali storici. Per un catalogo nazionale*' a cura di. Ed. Laterza. ISBN: 9788842094319.

Altieri M.A., 1999. '*The ecological role of biodiversity in agroecosystems*'. Agriculture, Ecosystems and Environment 74:19–31.

Alberti M., Marzluff J.M., 2004. '*Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions*'. Urban Ecosystems, 7: 241–265.

Antrop M., 2005. '*Why landscapes of the past are important for the future*'. Landscape And Urban Planning. 70,1-2:21-34.

APAT, 2003. '*Gestione delle aree di collegamento ecologico funzionale Indirizzi e modalità operative per l'adeguamento degli strumenti di pianificazione del territorio in funzione della costruzione di reti ecologiche a scala locale*'. Manuali e linee guida 26/2003. ISBN 8844801116.

APAT, 2007. Atti Convegno '*Aree agricole ad alto valore naturalistico: individuazione, Conservazione, valorizzazione*'. Roma, 21 giugno 2007. ISBN 9788844803360.

ASA, 1989. 'Decision reached on sustainable ag.' Agronomy News. January:15, Madison, Wisconsin.

Baldock D., Beaufoy G., Clark J., 1995. '*The nature of farming. Low intensity farming systems in nine European countries*'. Report IEEP/ WWF/JNRC, London/Gland/Peterborough.

Barbera G., Biasi R., 2011. '*I paesaggi agrari tradizionali dell'albero: il significato moderno di forme d'uso del suolo del passato*'. Italus Hortus 18, 2: 21-38, ISSN: 11273496.

Barbera G., Cullotta S., Marino E., 2011 '*I macro territori studiati*' in '*Modelli viticoli e gestione del vigneto in Sardegna. Linee guida per la coltivazione emerse dai risultati del progetto SQFVS*' (a cura di Gianni Nieddu), pp. 19-47. ISBN 9788890664526, pp. 204.

Battisti C., 2004. '*Frammentazione ambientale, connettività, reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica*'. Provincia di Roma, Assessorato alle politiche ambientali, Agricoltura e Protezione civile. ISBN: 8890029765, pp. 249.

Bazzoffi P., 2007. '*Erosione del suolo e sviluppo rurale sostenibile*' Edagricole –Bologna. ISBN 9788850652280, pp. 264.

Bennet G., Mulongoy K.J., 2006. '*Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones*'. CBD Technical Series No. 23. Published by the Secretariat of the convention on Biological Diversity. ISBN: 9292250426: pp 103.

Biasi R., 2011. *‘Dalla viticoltura sostenibile alla sostenibilità del paesaggio’*. Atti Convegno ‘La viticoltura e l’oenologia trapanese in futuro e sostenibilità ambientale’, pp.35-36.

Biasi R., Brunori E., 2012. *“Linee guida per la valorizzazione del paesaggio viticolo”* in Modelli viticoli e gestione del vigneto in Sardegna Le linee guida per la coltivazione emerse dai risultati del progetto SQFVS, a cura di Gianni Nieddu, pp.104-115. ISBN 9788890664526, pp. 204.

Biasi R., Botti F., Marino E., Nieddu G., Cullotta S., Barbera G., 2010. *‘Studio della multifunzionalità dei sistemi viticoli: valenza ecologico-ambientale, storico-culturale e paesaggistica di vigneti della Gallura’*. Italus Hortus 17, 2: 24.

Biasi R., Barbera G., Marino E., Brunori E., Nieddu G., 2010(b). *‘Viticulture as crucial cropping system for counteracting the desertification of coastal land’*. 28 th International Horticultural Congress Lisboa , August 22-27, 2010, ISHS, Volume 2, pag.723. Acta Hort. (ISHS) 931:71-77.

Borsotto P., Henke R., 2007. *‘Diversificazione dei redditi nell’agricoltura mediterranea: il caso italiano’* AgrireioneUmbria anno3/n°10: 1-9

Botequilha L.A., Ahern J., 2002. *‘Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning’*. Landscape and urban Planning 59: 65-93.

Brunetti M., Maugeri M., Monti F. e Nanni T, 2006. *‘Temperature and precipitation variabilità in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series’*. Internation Journal of Climatology 26: 345-381.

Büchs W., 2003. *‘Biotic indicators for biodiversity and sustainable agriculture—introduction and background’*. Agriculture, Ecosystems and Environment 98: 1–16.

Burba G., AndersonD., 2006. *‘Introduction to eddy covariance methods. General Guidelines, and COnventional Workflow’*. Li-Cor Bioscience manual.

Burgio G., Ferrari R., Boriani L., 1997. *‘Il ruolo delle siepi nell’ecologia del campo coltivato: analisi della comunità di Ditteri Sirfidi in aziende della Provincia di Bologna’*. Boll. Ist. Ent. “G. Grandi” Univ. Bologna, 51: 69- 77.

Burke S.M., Thornes J.B., 2004. *‘A thematic review of EU Mediterranean desertification research in Frameworks III and IV: Preface.’* Adv. Envir. Monit. Model. 1:1–14.

Butterfield R.E., Gawith M.J., Harrison P.A., Lonsdale K.J., Orr J., 2000. *‘Modelling climate change impacts on wheat,potato and grapevine in Great Britain’*: In Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe: An IntegratedAssessment. Environmental Change Institute, University of Oxford, pp. 313-332. ISBN 9282794334, pp. 445.

Caporali F., Mancinelli R., Campiglia R., Di Felice V., Vazzana C., Lazzerini G., Bebedetti A., Mocali S., Calabrese J., 2008 (a cura di). *‘Indicatori di Biodiversità per la sostenibilità in Agricoltura Linee guida, strumenti e metodi per la valutazione della qualità degli agroecosistemi’*. ISPRA, Manuali e linee guida 47/2008 ISBN 9788844803377, pp. 280.

Castelan-Estarda M, Vivin P., Gaudillere J.P., 2002. *‘Allometric relationships to estimate seasonal above-ground vegetative and reproductive biomass of Vitis Vinifera L.’*. Annuals of Botany 89: 401-408.

Celada C., 1995. *‘Frammentazione degli ambienti e conservazione: approcci empirici e modelli’*. Suppl. Ric. Biol. Selvaggina, 22: 293-297.

Ciccarese L., 2007. *‘Importante ruolo dell’agricoltura nel contenere i gas serra.’* L’informatore agrario 28:16-18.

COM(2001) 31. *'Ambiente 2010: il nostro futuro, la nostra scelta'*. Sesto programma di azione per l'ambiente della Comunità europea.

COM(2010) 672/5. *'La PAC verso il 2020: rispondere alle future sfide dell'alimentazione, delle risorse naturali e del territori'*.

CE (Commissione Europea), 1997. *'Agenda 2000. Per un'Europa più forte e più ampia'*. Supplemento al Bollettino dell'Unione Europea n. 5, 1997.

CE (Commissione Europea) 2008. *'L'economia degli ecosistemi e della biodiversità'*. Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee 64 pagg. ISBN 978-92-79-09446-0.

Cortignani R., Natali A., 2009. *'Politica agricola comunitaria e paesaggio: quali opportunità per la risorsa paesaggio con la riforma dell'Health check?'*. Agriregione Europa 5,19.

Cots-Folch R., Martí'nez-Casasnovas J.A., Ramos M.C., 2006. *'Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring'*. Agriculture, Ecosystems and Environment 115: 88–96.

Cullotta S., Barbera G., 2011. *'Mapping traditional cultural landscapes in the Mediterranean area using a combined multidisciplinary approach: Method and application to Mount Etna (Sicily; Italy)'*. Landscape and Urban Planning 100: 98–108.

Davies K.F., Gascon C., Margules C.R., 2001. *'Habitat fragmentation: consequences, management, and future research priorities'*. In: Soulé M.E., Orians G.H., 2001 (eds.). Conservation biology. Research priorities for the next decade. Society for Conservation Biology, Island Press: 81-97. ISBN: 9781559638692, pp. 307.

Debinski D.M., Holt R.D., 2000. *'A survey and overview of habitat fragmentation experiments'*. Conserv. Biol., 14: 342-355.

Di Lorenzo R., 2011. *'Problematiche agronomiche in una viticoltura sostenibile'*. Atti Convegno 'La viticoltura e l'enologia trapanese in futuro e sostenibilità ambientale', pp.23-24.

Duany A., Plater-Zyberk, E., Speck, J., 2000. *'Suburban Nation: The Rise of Sprawl and the Decline of the American Dream'* North Point Press, New York. ISBN 9780865476066, pp. 320.

Dumanski J., Pieri C., 2000. *'Land quality indicators: research plan'* Agriculture, Ecosystems and Environment 81 : 93–102.

Easterling D.R., 2000. *'Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review'*. Bull. Am. Meteorol. Soc. 81: 417-425.

EEA 1999. *'Technical report No 25 Environmental indicators: Typology and overview'*.

EEA (European Environment Agency) Technical report No 1/2004 *'High nature value farmland. Characteristics, trends and policy challenges'*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-9167-664-0, pp. 32.

EEA (European Environment Agency) Technical report No 1/2005 *'EEA core set of indicators. Guide'*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2005 — ISSN 1725-2237: 38 pp.

EEA, 2009a. *'Progress towards the European 2010 biodiversity target'*. EEA Report No 4/2009. European Environment Agency. ISBN 978-92-9167-993-5, pp. 56.

EEA, 2009c. *'Distribution and targeting of the CAP budget from a biodiversity perspective'*. EEA Technical report No 12/2009. European Environment Agency. ISBN 9291677574, pp. 90.

EEA, 2009d. *'Progress towards the European 2010 biodiversity target — indicator fact sheets'*. Compendium to EEA Report No 4/2009. European Environment Agency. ISBN 9789291679997, pp. 82

EEA, 2010b. *The territorial dimension of environmental sustainability — Potential territorial indicators to support the environmental dimension of territorial cohesion*. European Environment Agency. ISBN 9789292131043, pp. 96

EEA, 2010d. *EU Biodiversity Baseline*. EEA Technical report No 12/2010. European Environment Agency. Pp.18.

EEA, 2010e. *10 messages for 2010 — Agricultural ecosystems*. European Environment Agency. ISBN : 9789292131425, pp.16.

EEA, 2010f. *The European environment — state and outlook 2010: urban environment*. European Environment Agency. ISBN 9789292131142, pp.

EEA, 2010g. *The European environment — state and outlook 2010: consumption and the environment*. European Environment Agency. ISBN 9789291679317. Pp.182.

EEA, 2010h. *The European environment — state and outlook 2010: water resources: quantity and flows*. European Environment Agency. ISBN: 9789292131623, pp. 32.

ECNC – European Center for Nature Conservation. www.ecnc.nl

ELN-FAB [European Learning Network on Functional AgroBiodiversity] 2012. *'Functional agrobiodiversity: Nature serving Europe's farmers'*. Tilburg, the Netherlands: ECNC-European Centre for Nature Conservation., pp.55.

Eswaran H., Lal R., Reich. P.F., 2001. *'Land degradation: an overview.'* In: Bridges, E.M., I.D. Hannam, L.R. Oldeman, F.W.T. Pening de Vries, S.J. Scherr, and S. Sompatpanit (eds.). Responses to Land Degradation. Proc. 2nd. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. Oxford Press, New Delhi, India.

Eurostat, 2010. *'Agricultural statistics. Main result – 2008-09.'* In Eurostat pocketbooks. ISBN: 9789279152467, pp.

Fabietti V., Gori M., Guccione M., Musacchio M.C., Nazzini L., Rago G., (a cura di), 2011. *'Frammentazione del territorio da infrastrutture lineari. Indirizzi e buone pratiche per la prevenzione e la mitigazione degli impatti'*. ISPRA, Manuali e Linee Guida 76.1 ISPRA 76.1 2011.

FAO, 1999. *'The Future Of Our Land Facing The Challenge'*. Guidelines for integrated planning for sustainable management of land resources. United Nations Environment Programme (UNEP). ISBN: 9251043669, pp.300.

FAO 2001. *'Soil carbon sequestration for improved land management'*. ISBN: 9251046905, pp.221.

Fahrig, L., 2003. *'Effects of habitat fragmentation on biodiversity'*. Ann. Rev. Ecol., Evol. Syst. 34:487–515.

Farina A., 2006. *'Ecologia del Paesaggio. Principi, metodi e applicazioni'*. UTET Libreria,Torino. ISBN: 9788877507389, pp.673.

Fischer G., Shah M., Tubiello F.N., Van Velhuizen H., 2005. *'Socio-economic and climate change impact on agriculture:an integrated assessment, 1990-2080'*. Phil. Trans. Royal Soc. B Biol. Sci. 360: 2067-2073.

- Foley J. A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonanet G., et al. 2005. 'Global Consequences of Land Use' Science 309, 570.
- Forman R.T.T., 1995. 'Land mosaics. The ecology of landscapes and regions'. Cambridge Univ. Press. ISBN: 0521479800, pp. 656.
- Forman, R.T.T., Godron M., 1986. "Landscape Ecology." John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, USA. ISBN 0471870374, pp.619.
- Frascarelli A., 2011. 'Greening, verà novità della PAC'. Terra e Vita 23, 8-10.
- Freibauer A., Rounsevell M., Smith P., Verhagen A., 2004. 'Carbon sequestration in European Agricultural soils'. *Geoderma*.122, 1-23.
- Frisch G.J., 2006. 'Politiche per il contenimento del consumo di suolo in Europa' in Gibelli, M.C., Salzano, E. (a cura di), No Sprawl, Alinea editrice, Firenze. ISBN: 9788860550637, pp.26.
- Genske D. D., 2003. 'Urban land – Degradation, investigation, remediation'. Berlin:Springer. ISBN 3540438459, pp. 331.
- Gerst F., Bubenzer O., Mächtle B., 2011. 'Climatic Impacts of Urban Soil Consumption'. A contribution to WP6 'acceptance and awareness' in the EU Project URBAN-SMS.
- Giovannini D., Merli M., Marangoni B., 2003. 'Gestione integrata e convenzionale del pescheto: influenza sulle caratteristiche vegeto-produttive degli alberi e sulla fertilità del terreno'. Rivista di Frutticoltura. 7-8: 39-48.
- Gómez A.A., Swete Kelly D.E., Syers J.K., Coughlan K.J., 1996. 'Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level'. In: Methods of Assessing Soil Quality, SSSA, Wisconsin, USA, pp. 401– 410 (special publication 49). ISBN 0891188266, pp.506.
- Grappadelli L.C., Tagliavini M., Tonon G., 2007. 'Fisiologia dell'albero e dell'ecosistema frutteto'. In Sansavini S. (a cura di), 2007. Nuove frontiere dell'arboricoltura italiana'. Oasi Alberto Perdisa Editore/Airplaane srl, Bologna: 443-460. ISBN:9788883724183, pp. 561.
- Gutierrez A.P., Daane K.M., Ponti L., Walton V.M., Ellis C.K., 2008. 'Prospective evaluation of the biological control of vine mealybug: Refuge effects and climate'. Journal of Applied Ecology 45: 524-536.
- Henke R., 2002. 'Dalla riforma Mac Sharry ad Agenda 2000: il processo di greening della Pac.' In: QA – La Questione Agraria – Fascicolo 1. Francoangeli editore, Milano
- Hilty J.A., Merenlender A.M., 2004. 'Use of riparian corridors and vineyards by mammalian predators in Northern California'. Conservation Biology, 18,1:126-135.
- Hoekstra, J.M., Boucher T.M., Ricketts T.H., Roberts C., 2005. "Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection." Ecology Letters, 8:23-29.
- Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., Van der Linden P.J., Xiaosu D., 2001. 'The scientific basis contribution of working group I to the Third Assessment Report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC)'. Cambridge University Press, UK. ISBN:4887880324, pp. 881.
- Houghton R.A., 2003. 'Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000'. Tellus 55: 378-390.
- Karl T.R., 1993. 'A new perspective on global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature'. Bulletin of the American Meteorological Society, 74:1007-1023.

Kenny G.J., Harrison P.A., 1992. 'The effects of climate variability and change on grape suitability in Europe'. J. WineResearch. 3:163-183.

Ingegnoli V., 2002. 'Landscape Ecology: A Widening Foundation'. Springer; 2002 edition (August 26, 2002) ISBN: 3540427430, pp. 340.

IPCC, 1995. 'Second Assessment Report: Climate Change 1995' (SAR) Working Group II: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. .)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. ISBN: 4887880324. pp. 32.

IPCC, 2000. Summary for Policymakers in : *A Special Report Emissions scenarios of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Based on a draft prepared by: Nebojs'a Nakićenović, Ogunlade Davidson, Gerald Davis, Arnulf Grubler, Tom Kram, Emilio Lebre La Rovere, Bert Metz, Tsuneyuki Morita, William Pepper, Hugh Pitcher, Alexei Sankovski, Priyadarshi Shukla, Robert Swart, Robert Watson, Zhou Dadi. 2000, Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN: 9291691135, pp. 27.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., and Johnson C.A.(eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. ISBN: ISBN 0521807670 pp.94.

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22. ISBN: 4887880324, pp.976.

ISPRA, 2011. 'Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2009'. Rapporti 139/2011. National Inventory Report 2011. ISBN 9788844804961, pp. 491.

ISTAT – 6° e 5° Censimento generale dell'agricoltura, 2010 – 2000.

ISTAT, 2010. 'Le interrelazioni del settore agricolo con l'ambiente' a cura di Luca Salvati. Temi di ricerca Argomenti n. 39 Istat, Servizio Editoria. ISBN: 9788845816543.

Jackson, L., Bawa, K., Pascual. U., Perrings, C., 2005. 'AgroBiodiversity: a new science agenda for biodiversity in support of sustainable agroecosystems'. Diversitas report no. 4. Davis, CA: Diversitas. ISBN:9782952298223, pp.40.

Janssens I.A., Freibauer A., Ciais P., Smith P., Nabuurs G.-J., Folberth G., Schlamadinger B., Hutjes R.W.A., Ceulemans R., Schulze E.-D., Valentini R. E., Dolman H., 2003. 'Europe's terrestrial biosphere absorbs 7-12% of European anthropogenic CO₂ emissions'. Science 300,1538-1542.

Joachen A.G.J., 2000. 'Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation'. Landscape Ecology 15: 115–130.

Johnson, D. L., Lewis, L. A., 2007. 'Land degradation – Creation and destruction'. Lahnam: Rowman & Littlefield. ISBN: 9780742519473, pp. 303.

Jones G., 2005. 'Climate change in the western United States grape growing regions'. Acta Horticulturae, 689: 41-60.

Jones G., 2008. 'Il cambiamento climatico: osservazioni, proiezioni e conseguenze sulla vitivinicoltura'. Review n. 7 – Italus Hortus 15, 1: 3-14.

Jones G. 2010. "Climate, grapes, and wine: structure and suitability in a variable and changing climate" VIII INTERNATIONAL TERROIR CONGRESS, Soave 14-18 Giugno 2010.

Lakso A.N., White M.D., Tustin D.S., 2001. '*Simulation modelling of the effect of short and long-term climatic variation on carbon balance tree*'. Acta Hort. 557:473-480.

Lal. R., 2008. '*Soil carbon stocks under present and future climate with specific reference to European ecoregions*'. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 81: 13-127.

Laurance W.F., Yensen E., 1991. '*Predicting the impacts of edge effects in fragmented Habitats*'. Biol. Conserv. 55: 77-92.

Lausch A., Herzog F., 2002. '*Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability*'. Ecological Indicators 2:3-15.

Lipský Z., 2007. '*Methods of monitoring and assessment of changes in land use and landscape structure*'. Journal of Landscape Ecology 0, 2007.

Lobley M., Winter M., 2009. '*Introduction: Knowing the Land*'. In: What is Land For? The Food, Fuel and Climate Change Debate. Ed. Winter, M., Lobley, M. Earthscan. ISBN: 9781844077205, pp. 362.

Lovett G. M., Lovett J., Cole J., Pace M.L., 2006. '*Is Net Ecosystem Production Equal to Ecosystem Carbon Accumulation?*'. Ecosystems 9: 152-155.

Marino D., Cavallo A., 2009. '*Il paesaggio agrario tradizionale. Riflessioni per un inquadramento metodologico per l'analisi e la catalogazione*'. Agriregiioneumbria Anno 5, Numero 19.

Masera O., Astier M., Lòpez-Ridaura S., 1999. '*Sustainability and Natural Resource Management*'. The MESMIS Evaluation Framework. Mundi- Prensa-GIRA-UNAM, Mexico City.

McGarigal K., Cushman S.A., 2002. '*Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects*'. Landscape Ecology 15: 633-641.

Merenlender A.M., 2000. '*Mapping vineyard expansion provides information on agriculture and the environment*'. California Agriculture May-Jun, 7-12.

Mullins, M.G., Bouquet, A., Williams, L.E., 1992. '*4. Developmental physiology: the vegetative grapevine*'. In 'Biology of the grapevine': 80-106. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN:0521-305071, pp.239.

Naveh Z., Lieberman A. S., 1994. '*Landscape Ecology – Theory and Applications, Second Edition*'. Springer-Verlag, New York. ISBN: 9780387940595, pp. 329.

OECD, 2001. '*Multifunctionality: Towards an Analytical Framework*'. OECD Publications, 2, Rue André-Pascal. 75775 Paris Cedex 16 Printed In France (51 2001 04 1 P) ISBN 9264186255 , pp.66.

OECD,2001(b). '*Environmental Indicators. Towards sustainable development*'. OECD PUBLICATIONS, 2, rue André-Pascal, 75775 75775 Paris Cedex 16 Printed In France (97 2001 09 1 P) ISBN 9264187189 , pp. 155.

OIV-VITI 2012. www.oiv.int

Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G., 1990. '*World map of human-induced soil degradation*'. ISRIC, Wageningen, The Netherlands, UNEP, Nairobi. ISBN:9066720425, pp.69.

Olesen J.E., Bindi M., 2002. '*Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy*'. European Journal of Agronomy 16 : 239-262.

Oliva F., 2007. '*Limitare il consumo di suolo*'. Atti del Convegno Limitare il consumo di suolo e costruire ambiente. Promuovere un governo sostenibile del territorio, Politecnico di Milano, 7 novembre 2007.

Orians G.H., Soulé M.E., 2001. *Introduction*. In: Soulé M.E., Orians G.H. (eds.). *Conservation Biology*. Society for Conservation Biology, Island Press: 1-9. ISBN: 1559638699, pp. 307.

Osinski E., 2003. '*Operationalisation of a landscape-oriented indicator*'. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98: 371–386.

Padilla F.M., Vidala B., Sánchez J., Pugnaire F.I., 2010. '*Land-use changes and carbon sequestration through the twentieth century in a Mediterranean mountain ecosystem: Implications for land management*'. *Journal of Environmental Management* 91, 12:2688–2695.

Panzacchi P., Tonon G., Scandellari F., Ventura M., Ceccon C., Zibordi M., Corelli Grappadelli L., Tagliavini M., 2006. '*Net primary and ecosystem productivities in a apple (*Malus domestica*) orchard*'. Open Science Conference on The GHG Cycle in the Northern Hemisphere. November 14-18, pp.95.

Papale M., Reichstein M., Aubinet E., Canfora C., Bernhofer W., Kutsch B., Longdoz S., Valentini R., Vesala T., Yakir D., 2006. '*Towards a standardized processing of Net Ecosystem Exchange measured with eddy covariance technique: algorithms and uncertainty estimation*'. *Biogeosciences*, 3: 571–583.

Poni S., Intrieri C., Magnanini E., 2000. '*Seasonal growth and gas exchange of conventionally and minimally pruned Chardonnay canopies*'. *Vitis* 39, 1:13-18.

Poni S., Palliotti A., Bernizzoni F., 2006. '*Calibration and evaluation of a STELLA Software-based Daily CO₂ balance model in Vitis vinifera L.*'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131, 2:273-283.

Portnov, B. A., Safriel, U.N., 2004. '*Combating desertification in the Negev: Dryland agriculture vs. dryland urbanization*'. *Journal of Arid Environment* 56: 659–680.

Printsmann A., A. Kruse, M. Roth., 2012. '*Introduction for living in agricultural landscapes: practice, heritage and identity*'. *Europ. Countrys*. 2: 89-100.

Priore R., 2006. '*Convenzione europea del paesaggio, il testo tradotto e commentato*'. IRITI Editore, Reggio Calabria. ISBN:8889367016, pp. 95.

Ramankutty N., 2010. '*Agriculture and forests — recent trends, future prospects*'. In: *Linkages of sustainability*, Ed. Thomas E. Graedel and Ester van der Voet, MIT Press, pp. 11–31. ISBN 9780262013581, pp. 532.

Reicosky D.D., Hatefield J.L., Sass. R.L., 2000. '*Agricultural Contributions to greenhouse gas emissions*'. Pp 37-50 In KR Reddy e H F Hodges ed. *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing Wallingfor UK. ISBN: 0851994393, pp.457.

Riitters K.H., O'Neill R.V., Hunsaker C.T., Wickam J.D., Yankee D.H., Timmins S.P., Jones K.B., Jackson B.L., 1995. '*A factor analysis of landscape pattern and structure metrics*'. *Landscape Ecology*, 10: 23-29.

Robertson G.P., Swinton S.M., 2005. '*Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture*'. *Front Ecol Environ*; 3,1: 38–46.

Robertson, G.P., Eldor A. Paul, Richard R. Harwood. 2000. '*Greenhouse Gases in Intensive Agriculture: Contributions of Individual Gases to the Radiative Forcing of the Atmosphere*'. *Science*, 289,5486: 1922-1925.

Salinari F., Giosue S., Tubiello F.N., Rettori A., Rossi V., Spanna F., Rosenzweig C., Gullino M.L., 2006. '*Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change*'. *Global Change Biology*. 12: 1299-1307.

Salvati L. 2013. '*Monitoring high-quality soil consumption driven by urban pressure in a growing city (Rome, Italy)*'. *Cities* 31, 349–356.

- Salvati L., M. Zitti, 2009. 'Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis'. *Ecological Indicators* 9:357-363.
- Salvati L., Carlucci M., 2013. 'The impact of mediterranean land degradation on agricultural income: A short-term scenario'. *Land Use Policy* 32: 302– 308.
- Salvati L., Gemmiti R., Perini L., 2012. 'Land degradation in Mediterranean urban areas: an unexplored link with planning?'. *Area* 44,3:317–325.
- Salvati L., Munafo M., Morelli V. G., Sabbi A., 2012. 'Low-density settlements and land use changes in a Mediterranean urban region'. *Landscape and Urban Planning* 105: 43– 52.
- Salvati L., Tombolini I., Perini L., Ferrara A., 2013. 'Landscape changes and environmental quality: the evolution of land vulnerability and potential resilience to degradation in Italy'. *Reg Environ Change* DOI 10.1007/s10113-013-0437-3.
- Saunders D.A., Hobbs R.J., Margules C.R., 1991. 'Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review'. *Conserv. Biol.* 5: 18-32.
- Scherr S.J., McNeely J.A., 2008. 'Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of 'eco-agriculture' landscapes'. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363: 477–494.
- Schimel, D., 1995. 'Terrestrial ecosystems and the carbon-cycle'. *Global Change Biology* 1: 77-91.
- Schneider A., Woodcock C. E., 2008. 'Compact, dispersed, fragmented, extensive? A comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information'. *Urban Studies* 45,3: 659–692.
- Schonewald-Cox C., Buechner M., 1992. 'Park protection and public roads'. In: Fiedler P.L., Jain S.K. *Conservation Biology*. Chapman and Hall, New York and London: 373-395.
- Selman P., 2009. 'Planning for landscape multifunctionality'. *Sustain. Sci. Pract. Policy* Fall. 5, 2.
- Sequi P., Benedetti A., Dell'Abate M.T. (a cura di) 2006. 'ATLAS Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo'. Copyright 2003 by CRA - Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante.
- Sereni E., 1972. 'Storia del paesaggio agrario italiano'. Ed. Laterza Ristampa 1996. ISBN: 884202094X, pp 499.
- Silvestri N., Bellocchi G., Bonari E., 2002. "Possibilità e limiti dell'uso degli indicatori nella valutazione agro-ambientale dei sistemi colturali". *Rivista di Agronomia* 3: 232-240.
- SINAB, 2011. 'Bio in cifre 2010' Elaborazione grafica: Chieco Sistemi srl Bari – Italia. www.sinab.it
- Smith P., 2004. 'Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context'. *European Journal of Agronomy*. 20: 229-236.
- Smith A.J, Dumanski J., 1993. 'FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management' World Soil Resources Report 73. Rome. U.N. Food and Agriculture Organization.
- Smith B., Smithers J., 1993. 'Sustainable Agriculture: Interpretations, analyses and prospect'. *Canadian Journal of Regional Science* XVI:3, 499:524. ISSN 0705-4580.
- Stocking M., Murnaghan N., 2000. 'Land degradation – Guidelines for field assessment' People, Land Management and Environmental Change (PLEC) project. ISBN 1853838314, pp.169.
- Stockmann U., Adams M.A., Crawford J.W., Field D.J. et al. 2013. 'The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon'. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164:80– 99.

Symeonakis E., Calvo-Cases A., Arnau-Rosalen E., 2007. '*Land Use Change and Land Degradation in Southeastern Mediterranean Spain*'. Environ Manage 40:80–94.

Szabó S., Csorba P., Varga K., 2008. '*Landscape indices and land use - tools for landscape management*'. Methods Of Landscape Research. Dissertations Commission of Cultural Landscape No. 8. Commission of Cultural Landscape of Polish Geographical Society, Sosnowiec, 2008.

Tagliavini M., Tonon G., Scandellari F., Quionones A., Palmieri S., Menarbin G., Gioacchini P., Masia A., 2007. '*Nutrient recycling during the decomposition of apple leaves (*Malus domestica*) and mowed grasses in an orchard*'. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 191 – 200.

Tobin P.C., Nagarkatti S., Loeb G., Saunders M.C. 2008. '*Historical and projected interactions between climate change and insect voltinism in a multivoltine species*'. Global Change Biology, 14, 951-957.

Toreti A., Fioravanti G., Perconti W., Desiato F., 2009. '*Annual and Seasonal precipitation over Italy from 1961 to 2006*'. International Journal of Climatology 29, 13: 1976–1987.

Torquati B.M., 2007. '*Agricoltura e paesaggio in Umbria e nel Lazio. Le politiche, gli strumenti di lettura e di valutazione*'. A cura di. Ed. Franco Angeli, Milano, Italy. ISBN: 9788846488848, pp. 248.

Torquebiau, E., 1992. '*Are tropical agroforestry home gardens sustainable?*'. Agric. Ecosyst. Environ. 41:189–207.

Turner M. G., Gardner, R. H., O'Neill R. V., 2001. '*Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*'. Ed. Springer. ISBN 0387951229, pp.401.

Turner II B.L., Lambin E.F., Reenberg A., 2007. '*The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability*'. PNAS 104,52: 20666-20671.

Van Ittersum M. K., Ewert F., Heckelei T., Wery J., et al. 2008. '*Integrated assessment of agricultural systems – A component-based framework for the European Union (SEAMLESS)*'. Agricultural Systems 96: 150–165.

Vimal R., G. Geniaux, P., Pluvinet, C. Napoleone, J. Lepart, 2012. '*Detecting threatened biodiversity by urbanization at regional and local scales using an urban sprawl simulation approach: Application on the French Mediterranean region*'. Landscape and Urban Planning 104:343– 355.

Violante P., 2009. '*Il suolo e la qualità dell'ambiente*'. Ed. Il Sole 24 Ore Edagricole, Bologna. ISBN: 9788850652617, pp.290.

Vos W., Meekes H., 1999. '*Trends in European cultural landscape development: perspectives for a sustainable future*'. Landscape and Urban Planning 46:3-14.

Zhen L., Routray J.K., Zebisch M.A., Chen G., Xie G., Cheng S., 2005. '*Three dimensions of sustainability of farming practices in the North China Plain. A case study from Ningjin County of Shandong Province, PR China*'. Agric. Ecosyst. Environ. 105:507–522.

Wagner H.H., Wildi O., Ewald K.C., 2000. '*Additive partitioning of plant species diversity in an agricultural mosaic landscape*'. Landscape Ecology, 15: 219–227.

Woodwell GM, Whittaker RH., 1968. '*Primary production in terrestrial ecosystems*'. Am Zoologist 8:19–30.

2.OBIETTIVI DELLA RICERCA

L'obiettivo di una agricoltura sostenibile impone che nella valutazione della qualità di produzioni e processi delle colture arboree vengano anche considerati i servizi ecosistemici offerti, in accordo con gli obiettivi delineati dalle nuove politiche internazionali. Fra questi vi sono la salvaguardia delle risorse ambientali come la biodiversità e il paesaggio e il contrasto ai fenomeni di degrado di suolo e atmosfera. In tale ottica si inserisce la presente ricerca il cui l'obiettivo generale è lo studio della sostenibilità ambientale degli agro-ecosistemi viticoli attraverso un approccio integrato e transdisciplinare. La specie e l'agro-ecosistema oggetto di indagine, la vite (*Vitis vinifera* L.) e il vigneto, si configurano come sistemi modello in quanto la viticoltura rappresenta una delle produzioni maggiormente connotative dell'ambiente mediterraneo, fra i più fragili in termini di integrità delle risorse ambientali. Al fine di meglio rappresentare la varietà degli ambienti e dei modelli viticoli, lo studio è stato condotto in tre aree viticole tradizionali contraddistinte da produzioni enologiche di qualità e discriminabili sia per le caratteristiche fisiografiche del territorio (pianura costiera e collina interna) sia per il livello di antropizzazione presente (aree ad alta naturalità, rurali e peri-urbane). Per gli agro-ecosistemi viticoli l'obiettivo è stato quello di valutare il loro ruolo nel mantenere la qualità di alcune risorse ambientali, in particolare del paesaggio, della biodiversità, del suolo e dell'atmosfera.

Gli obiettivi specifici della ricerca sono stati: i) l'analisi comparata della struttura, conformazione e funzionalità del paesaggio in ambienti caratterizzati da una diversa incidenza delle superfici a vigneto secondo la metodologia definita dall'ecologia del paesaggio al fine di evincere il ruolo della viticoltura alla costruzione della qualità paesaggistica (paesaggio sostenibile); ii) la misura della biodiversità in termini di diversità di ambienti e habitat in aree caratterizzate da differente incidenza della viticoltura e differenti modelli viticoli (moderni vs tradizionali), al fine di conoscerne il ruolo nel mantenimento della diversità biologica; iii) la valutazione dell'impatto della coltivazione della vite sulla qualità e funzionalità del suolo attraverso indagini analitico-strumentali per la valutazione della funzionalità del suolo di primo livello

su campioni provenienti da vigneti oggetto di indagine; iii) la quantificazione della funzione di serbatoio di carbonio (funzione *carbon-sink*) negli agro-ecosistemi viticoli, in diversi ambienti e in condizioni di diverse tecniche colturali, attraverso il calcolo di un bilancio del C basato su misure dirette *in planta* secondo il metodo della NEP (Produzione Netta dell'Ecosistema) e misure dirette sul suolo al fine di stimare gli equivalenti di CO₂ che il vigneto può abbattere nell'atmosfera.

L'obiettivo finale è la comprensione, attraverso l'analisi integrata dei risultati, di come la continua erosione di superfici vitate, l'evoluzione della organizzazione spaziale del vigneto, l'evoluzione della tecnica viticola possano influenzare la fornitura dei servizi ecosistemici e in definitiva la sostenibilità ambientale della viticoltura.

3. MATERIALI E METODI

La metodologia integrata scelta per la valutazione della sostenibilità ambientale della viticoltura è stata validata in tre aree modello opportunamente selezionate e a tre scale di indagine: area vasta, aree di dettaglio e singola unità vitata. In questi ambiti si sono valutate le funzioni ecologico-ambientali della viticoltura mediante l'approccio dell'ecologia del paesaggio (indici metrici e loro evoluzione), e la funzione di *carbon sink*, nei singoli ceppi e nel vigneto.

3.1 Individuazione delle aree territoriali viticole modello

Le aree territoriali modello per lo studio della sostenibilità ambientale della viticoltura sono state scelte nella regione Lazio e ricadono in due contesti viticoli per eccellenza, la collina e la pianura costiera. In tali ambienti sono stati scelti tre modelli viticoli discriminati sulla base oltre che della variabilità fisiografica degli ambienti, della tipicità delle produzioni enologiche (DOC) e della incidenza delle superfici viticole sulla SAU (Tab. 1).

Tab.1- Aree e modelli viticoli oggetto di indagine

Ambiente	DOC	Area territoriale	Modello viticolo	SAU viticola (ISTAT 2010)
COLLINA interna Alto Lazio, complesso dei Monti Vulsini.	DOC Est!Est!!Est!!! – classico e DOC Colli Etruschi Viterbesi (CEV)	Comprensorio del Lago di Bolsena (VT) - Montefiascone	Viticultura specializzata e promiscua	12% della SAU
COLLINA periurbana Colli Albani	DOC Castelli Romani	Area dei Castelli Romani – Marino/Grottaferrata	Viticultura specializzata	45,7% della SAU
PIANURA COSTIERA Maremma laziale	DOC Cerveteri	Cerveteri (RM)	Viticultura specializzata	20,7% della SAU

In particolare:

- L'area *collinare interna* di Montefiascone (Viterbo) - area rurale intermedia (PSR 2007-2013 Lazio) - per la DOC CEV in cui la viticoltura (specializzata e promiscua) rappresenta solo il 12% della SAU comunale, con i suoi 433 ha;
- L'area della *pianura costiera* di Cerveteri (Roma) - area rurale con agricoltura intensiva specializzata (PSR 2007-2013 Lazio) - per l'omonima DOC in cui la viticoltura specializzata con i suoi 419 ha rappresenta il 20,7% della SAU comunale;
- L'area *collinare peri-urbana* di Marino – Grottaferrata (Roma) - area rurale con agricoltura intensiva specializzata (PSR 2007-2013 Lazio) - per la DOC 'Castelli Romani', dove la viticoltura fortemente specializzata, con i suoi 313 ha rappresenta il 45,7% della SAU comunale.

3.2 Individuazione delle scale di analisi

Nella metodologia formulata l'ambito di partenza è rappresentato dallo studio della complessità/eterogenità e funzionalità dell'ecomosaico ambientale focalizzando l'attenzione sul ruolo svolto dagli agro-ecosistemi viticoli, e dallo studio delle dinamiche dei cambiamenti di uso del suolo e loro ricadute. A tal fine le scale di analisi prescelte per ciascun ambiente sono state: *i) l'area vasta*, una superficie quadrata di 6 km di lato e 3600 ha di estensione (Fig. 1), *ii) l'area di dettaglio* di 400 ha in cui ciascuna area vasta è stata scomposta ai fini dell'analisi (9 aree di dettaglio (o quadranti) di uguale estensione (400 ha) (Fig. 2) e *iii) l'area puntuale* rappresentata dalle singole unità vitate (appezzamenti a vigneto) (Fig.3). Questi ultimi sono stati scelti per le due aree collinari (interna e peri-urbana) e per la rappresentatività e omogeneità delle tecniche viticole adottate. In particolare le singole unità vitate sono state scelte per omogeneità di

-varietà: cv Merlot;

-sesto di impianto (0,80 x 2,30m);

-portainnesto: *V. berlandieri* x *V. rupestris* (1103 P);

-forma allevamento: spalliera;

-età impianto: 2002-2003.

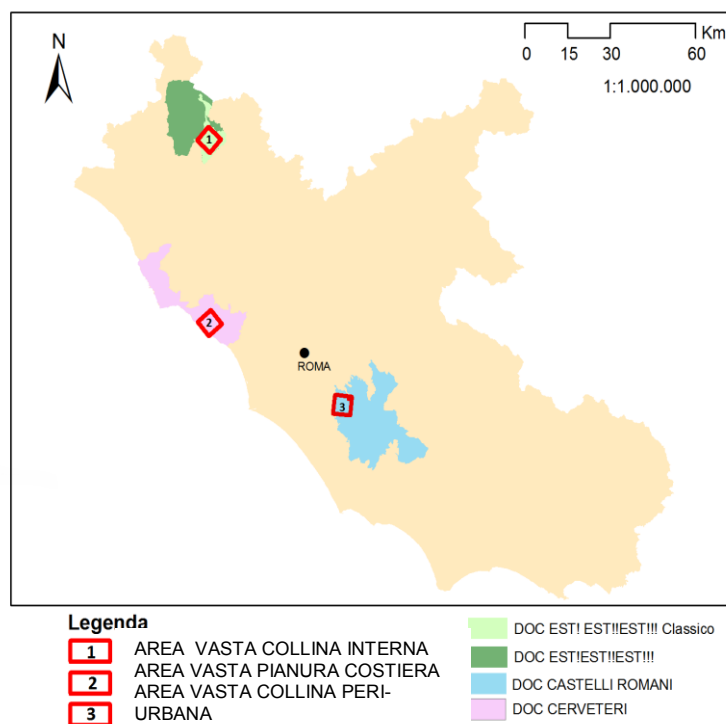


Fig.1 – Aree vaste (3600 ha) ricadenti nei comuni di Montefiascone - [1] area vasta *collina interna*; di Cerveteri - [2] area vasta *pianura costiera*; di Marino-Grottaferrata [3] area vasta *collina peri-urbana* e delimitazione delle relative DOC.

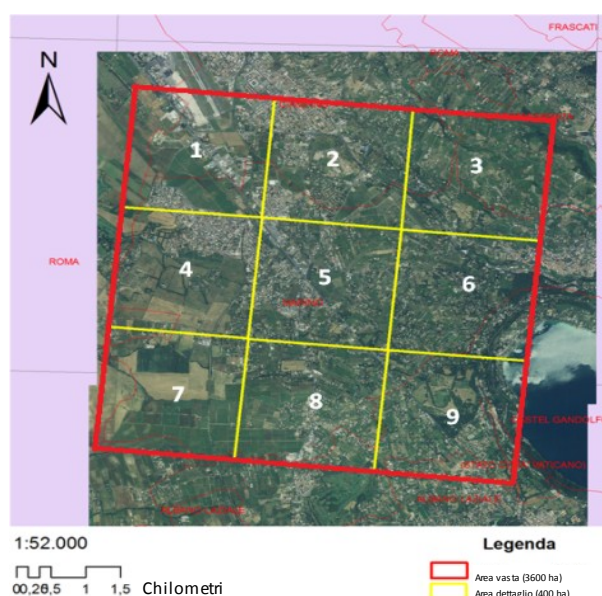


Fig. 2 – Esempio di delimitazione dell'area vasta (rosso), e dei quadranti di dettaglio, (giallo). Caso studio: area collina *peri-urbana* (Marino-Grottaferrata).

Per l' ambiente della *collina interna*, sono state messe a confronto due unità vitate che differiscono per le tecniche colturali adottate (Tab.2) e condotte in biologico e convenzionale. Mentre il vigneto ricadente nell'area *peri-urbana* pur essendo in convenzionale può ritenersi in conversione dal biologico al convenzionale dall'anno 2011.

Tab.2 – Tecniche colturali adottate nei vigneti oggetto di indagine.

CONDUZIONE PARAMETRI	COLLINA INTERNA BIOLOGICO	COLLINA INTERNA CONVENZIONALE	COLLINA PERI-URBANA IN CONVERSIONE (da biologico a convenzionale)
GESTIONE DEL SUOLO	Inerbito con essenze spontanee a file alterne, 3 lavorazioni all'anno.	Inerbito con essenze spontanee, trattamenti erbicidi, 'non lavorazione del suolo'.	Inerbito con essenze spontanea a file alterne, 3 lavorazioni all'anno. trattamento erbicida lungo la fila.
FERTILIZZAZIONE	Letame ovino	Fertilizzazione empirica al suolo	Fertilizzazione empirica al suolo
POTATURA	Interramento dei residui di potatura, 1 lavorazione all'anno.	Interramento dei residui di potatura, 1 lavorazione all'anno.	Interramento dei residui di potatura, 1 lavorazione all'anno.



Fig. 3 – Unità vitate individuate nelle aree viticole prescelte. A) unità vitata della *collina interna*, (loc.Colle Valle - Bomarzo, Vt), conduzione in biologico; B) unità vitata della *collina interna* (loc.Colle Valle - Bomarzo, Vt), conduzione convenzionale; C) unità vitata della *collina peri-urbana* (loc.Castel de Paolis - Grottaferrata, RM) in conversione da biologico a convenzionale, primo anno 2011.

3.3 Metodologia per lo studio del paesaggio viticolo e della biodiversità

3.3.1 Fotointerpretazione, restituzione dell'uso del suolo di dettaglio e analisi metrica del paesaggio viticolo

In ambiente GIS (software ArcMap 9.3) è stato possibile mappare vettorialmente, come poligoni, le differenti classi di uso del suolo delle aree viticole oggetto di indagine sulla base di foto aeree degli anni 2000 e 2008 (foto-interpretazione), lavorando ad una scala di dettaglio di 1:2000.

L'identificazione e la classificazione dell'uso del suolo di dettaglio utili allo studio della struttura e funzionalità del paesaggio viticolo, sono state condotte seguendo la nomenclatura del programma Corine Land Cover (CLC) (Bossard et al. 2000), come riportato in tabella 3. In particolare per la produzione di carte dell'uso del suolo 'objective –oriented' sono state discriminate 16 classi di uso e copertura del suolo, ripartite in aree artificiali, agricole, e naturali (Tab. 3).

Tab. 3 - Classificazione dell'uso e copertura del suolo (LU/LC) utilizzate per la fotointerpretazione di foto aeree in base alla nomenclatura Corine Land Cover (CLC) (Bossard et al. 2000).

Classificazione CLC Livello 1 e 2	CLC - Livello 3	CLC - Livello 4	LU/LC per la fotointerpretazione
1. Area artificiali	1.1.1 Tessuto urbano continuo	1.1.1.1 Tessuto urbano residenziale continuo e denso	Tessuto urbano
		1.1.1.2 Tessuto urbano residenziale mediamente denso	Tessuto urbano rado
	1.1.2 Tessuto urbano discontinuo	1.1.2.2 Tessuto urbano discontinuo	Tessuto agro-residenziale
2. Aree Agricole 2.1 Seminativi	2.1.1 Seminativi non irrigui	2.1.1.1 Seminativi in aree non irrigue 2.1.1.2 Prati artificiali	Aree agricole e naturali rimanenti (MATRICE) Aree agricole e naturali rimanenti (MATRICE)
2.2 Colture permanenti	2.2.1 Vigneti	2.1.2.4 Colture in serra 2.2.1.1 Vigneti 2.2.1.2 Vigneti associati all'olivo	Colture in serra (dove presenti) Vigneti specializzati Vigneti tradizionali
2.3 Pascoli	2.2.2 Frutteti 2.2.3 Oliveti	-	Frutteti Oliveti Aree agricole e naturali rimanenti (MATRICE)
2.4 Aree agricole eterogenee	2.4.1 Colture annuali associate alle colture permanenti	2.4.1.1 Colture annuali associate all'olivo	Colture annuali associate all'olivo
3. Aree boscate ed altre aree semi-naturali 3.1 Zone boscate	-	-	Zone boscate
3.2 Associazioni vegetali arbustive e/o erbacee	3.2.1 Aree a pascolo naturale		Aree agricole e naturali rimanenti (MATRICE)

3.3 Zone aperte con vegetazione rada o assente	3.2.2. Cespuglieti e arbustati	3.2.2.2 Vegetazione ripariale	Vegetazione ripariale
	3.2.3 Aree a vegetazione sclerofilla	3.2.3.1 Macchia mediterranea	Macchia mediterranea
	3.3.1. Spiagge, dune e sabbie	-	Spiagge, dune e sabbie
	3.4 Siepi e filari alberati	-	Siepi
	3.4.1 Siepi	-	Filari alberati
	3.4.2 Filari alberati	-	

Al fine di giungere ad una valutazione strutturale e funzionale delle aree viticole oggetto di studio si è eseguita un' analisi metrica del paesaggio (Farina 2006; Forman 1995; Forman e Godron 1986; Ingegnoli 2002), per descrivere e quantificare la composizione, la complessità e l'eterogeneità dell' ecosistema ambientale. L'analisi metrica del paesaggio è stata condotta utilizzando l'estensione Patch Analyst in ArcView 9.3 (Elkie et al. 1999; Van Eetvelde e Antrop 2009 (a); (b)) da cui si ottengono indici metrici del paesaggio (Tab.4), comunemente utilizzati per descrivere la complessità e l'eterogeneità dell' ecosistema ambientale.

Tab. 4 - Principali indici metrici del paesaggio (Farina 2006; Forman 1995; Forman e Godron, 1986; Ingegnoli 2002)

INDICI METRICI DEL PAESAGGIO	DESCRIZIONE
NUMERO DELLE TESSERE (NP)	Numero delle Tessere presenti in ogni tipo di classe di uso del suolo individuata; in linea generale, più elevata è il NP e maggiore è la diversità del paesaggio, la probabilità di contaminazione fra le formazioni, la resistenza a certe avversità (trasmissione di funghi, fuoco, ecc.)
DENSITÀ DELLE TESSERE (PD) $PD_i = \frac{NP_i}{A_i} * 100$	Densità delle Tessere: numero delle tessere di mosaico ogni 100 ha; si calcola dividendo NP per A (superficie totale del paesaggio) e moltiplicando per 100; ha significato analogo a NP, col pregio di renderlo confrontabile con altri essendo riferito alla stessa unità di superficie;
VALORE DELLA DEVIATIONE STANDARD DELL'AREA DELLE PATCHES (PSSD) $PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[a_{ij} - \left(\frac{A}{N} \right) \right]^2}{N}} \left(\frac{1}{10,000} \right)$	Fornisce delle informazioni sull'oscillazione dei valori dell'area delle patches. Valori bassi indicano omogeneità nella grandezza delle patches, valori alti forti oscillazioni. La crescita del valore indica un aumento della complessità della struttura del paesaggio.
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE DELL'AREA DELLE PATCHES (PSCV) $PSCV = \frac{PSSD}{MPS} (100)$	Fornisce indicazione sull'oscillazione dei valori dell'area delle tessere rispetto alla dimensione media patch per un paesaggio

SUPERFICIE MEDIA DELLE TESSERE (MPS) $MPS_i = \frac{a_{ij}}{NP_i}$	Superficie media delle Tessere: ottenuta dividendo l'area (ha) di ogni classe di uso del suolo per il NP corrispondente; si tratta di un indicatore di notevole efficienza in quanto legato alla diversità del paesaggio: più questa è elevata più il paesaggio tende ad essere uniforme;
PERIMETRO TOTALE DELLE TESSERE (TE)	
PERIMETRO MEDIO DELLE TESSERE (MPE) $MPE = \frac{P}{NP}$	Valori elevati del perimetro medio indicano una maggiore probabilità di presenza di più specie vegetali o animali.
DENSITÀ DEI MARGINI (ED) $ED_i = \frac{\sum_{j=1}^m e_{ij}}{A} (10,000)$	Densità dei margini: indica il confine tra due classi di uso del suolo differenti, ed è uguale alla somma delle lunghezze (m) di tutti i segmenti di margine, ovvero i perimetri di una data classe di uso del suolo, divisa per l'area totale indagata (m ²), moltiplicata per 10.000 (per convertire in ettari). È un'espressione della forma e della complessità delle tessere di una classe, nonché dell'eterogeneità del mosaico che costituisce la scena.
COMPLESSITÀ DELLA FORMA (MSI) $MSI_i = \sum \frac{[p_{ij} / (2\sqrt{\pi a_{ij}})]}{n_{ij}}$	Complessità della forma delle tessere: L'indice assume valore 1 quando la tessera è circolare oppure quadrata e aumenta senza limite all'aumento dell'irregolarità del perimetro.
COMPLESSITÀ DELLA FORMA PESATA SULLA DIMENSIONE DELLE TESSERE (AWMSI) $AWMSI = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$	Differisce dal MSI in quanto pesa l'influenza esercitata dalla dimensione delle patch, evidenziando ad esempio se gli elementi di dimensione maggiore giocano un ruolo dominante. L'indice assume valore 1 quando la macchia è circolare oppure quadrata e aumenta senza limite all'aumento dell'irregolarità del perimetro.
RAPPORTO TRA LA SOMMA DEI PERIMETRI E DELLE AREE DELLE PATCHES (MPAR)	Valori elevati indicano forme delle tessere irregolari, viceversa valori ridotti indicano tessere di grandi dimensioni e dai bordi di ridotta complessità.
DIMENSIONE FRATTALE MEDIA DELLE PATCHES (MPFD) $FRACT = \frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}}$	Indica il grado di complessità in funzione del rapporto tra area e perimetro delle tessere. Assume valori bassi, vicino a 1, quando la macchia è circolare o quadrata in quanto forme caratterizzate da perimetri semplici, e quindi da ridotto rapporto perimetro-area. Valori alti, vicino a 2, indicano l'aumento della complessità del perimetro e sono associati a strutture irregolari.
INDICE DI DIVERSITÀ DI SHANNON (SDI) $SDI = -\sum_{i=1}^{NP} F_i \ln F_i$	Indice di diversità di Shannon: misura la diversità degli elementi costitutivi dell'ecomosaico partendo dalle estensioni relative delle diverse classi di uso del suolo presenti. L'indice può variare tra zero e l'infinito, aumentando quando la distribuzione nell'ecomosaico tra i tipi di tessere è più equilibrata.

INDICE DI UNIFORMITÀ DI SHANNON (SEI) $SEI = SDI / \ln NP$	Indice di uniformità di Shannon: rileva quanto un sistema si avvicina al perfetto equilibrio fra le estensioni relative delle diverse tipologie ambientali. Valori dell'indice prossimi a 1, indicano che il paesaggio considerato è formato da elementi con estensioni relative simili. Bassi valori, prossimi a 0, indicano che il paesaggio è dominato da elementi con estensioni relative molto diverse.
--	--

Questi due ultimi indici ecologici (SDI, SIE) assieme agli indici di conformazione e struttura di classi di uso del suolo attribuibili alle infrastrutture ecologiche, in particolare le aree boscate, formazioni ripariali, siepi, alberate sono stati utilizzati per quantificare il livello di biodiversità mantenuto nella aree viticole e per evidenziare il livello di connettività tra gli habitats (Tischendorf e Fahrig, 2000) presenti nell'area vasta di riferimento ad opera di infrastrutture ecologiche e vigneti.

3.3.2 Trasformazione del paesaggio viticolo

Il trend evolutivo dell' uso del suolo nelle aree viticole modello è stato analizzato mediante la tecnica del “*change detection*” (estensione per ambiente GIS) (Jensen et al.1993; Narumalani et al. 2004), che ha consentito di effettuare un confronto diacronico delle foto interpretazioni derivanti dalla poligonazione delle foto aeree degli anni 2000 e 2008. Questo arco temporale è stato prescelto proprio in quanto negli ultimi dieci anni si è assistito ad una consistente erosione della superficie vitata. In Europa tra il 2009-2012 sono stati espianati 175.000 ha a vigneto e altri 100.000 ha sono passati ad una condizione di abbandono (OIV- VITI 2012). Con tale analisi in ambiente GIS si sono potute evidenziare le trasformazioni occorse nell'arco temporale di riferimento, quantificando, in particolare per la classe dei vigneti, i cambiamenti in termini quantitativi e qualitativi attraverso la produzione di matrici di trasformazione (Jensen e Narumalani 1992; Oldfield et al. 2000).

I risultati ottenuti per le diverse aree viticole studiate sono stati confrontati per evidenziare i caratteri distintivi, attuali e passati, di ciascun ambiente viticolo, e per individuare l'impatto delle trasformazioni sulle funzioni ecologico-ambientali della viticoltura.

3.4 Caratterizzazione climatica degli ambienti viticoli

I singoli ambienti viticoli sono stati caratterizzati attraverso il calcolo di opportuni indici bioclimatici nel breve periodo fino all'attualità.

In particolare, la variabilità climatica è stata osservata nel periodo 2004-2012 mediante elaborazione di dati climatici derivanti dalle stazioni meteorologiche dell' ARSIAL (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura nel Lazio) situate nelle rispettive aree vaste oggetto di studio e più prossime alle unità vitate campione. I dati elaborati hanno riguardato i valori giornalieri di temperatura massima (T max), temperatura minima (T min), temperatura media (T med) e precipitazioni. A partire da questi valori sono stati determinati gli andamenti termopluviometri e calcolati gli indici bio-climatici (Tab. 5)(Fregoni 1999). In particolare, sono stati calcolati per le tre aree viticole alcuni indici proposti da Tonietto e Carbonneau (2004) per la classificazione degli areali viticoli secondo un approccio multicriteriale: Indice eliotermico di Huglin (HI); Indice di Freschezza della notte (IF) - media delle temperature minime del mese di settembre.

Tab. 5 - Indici bioclimatici utilizzati per la caratterizzazione climatica delle aree viticole oggetto di studio.

INDICI BIOCLIMATICI	ALGORITMO	DESCRIZIONE
WINKLER	$STA = \sum_{31/10}^{1/04} (T_m - 10^{\circ}\text{C})$ Dove: t_m : temperatura media giornaliera	Detto anche Sommatoria delle Temperature Attive (STA) - (zero vegetazionale per Vitis vinifera = a 10°C (Fregoni, 1999)
HUGLIN	$HI = \sum_{01.04}^{30.09} \frac{[(T - 10) + (T_x - 10)]}{2} d$ Dove: T temperatura media; T_x Temperatura massima, d coefficiente lunghezza del giorno	Indice è utilizzato in viticoltura per descrivere la vocazionalità potenziale e la disponibilità termica del territorio. Elevati valori di tale indice sono indicati per i vitigni a maturazione tardiva, viceversa bassi valori si adattano per i vitigni a maturazione precoce (Tonietto e Carbonneau, 2004, Bello e Tonietto, 2008)
Indice Freschezza della Notte (IF)	Media delle temperature minime del mese di settembre.	Utile per valutare l'effetto degli sbalzi termici notturni sulla qualità delle uve. (Tonietto e Carbonneau, 2004, Bello e Tonietto, 2008)
Numero giorni con temperatura massima maggiore 30°C	N° giorni Tmax $\geq 30^{\circ}\text{C}$	Indice che consente di valutare gli eventi estremi. (Jones and Davis, 2000)

3.5 Metodologie per la determinazione dello stoccaggio del carbonio nell' agro-ecosistema vigneto

La quantificazione della funzione di *carbon sink* e il bilancio del carbonio sono stati effettuati per due delle tre aree territoriali modello, la *collina interna* e la *collina peri-urbana* e per due modalità di conduzione del vigneto, in convenzionale e in biologico.

Tra gli obiettivi della ricerca vi è la possibilità di validare l'ipotesi che il vigneto, quale ecosistema produttivo arboreo fra i più diffusi sul territorio nazionale e nell'ambiente mediterraneo in generale, possa essere in grado di sequestrare alti quantitativi di C atmosferico e quindi di mostrare un bilancio positivo del ciclo di carbonio tra assorbimenti ed emissioni. La stima della Produzione Netta dell'Ecosistema (NEP) (Lovett et al. 2006) è stata valutata alla scala puntuale delle **singole unità vitate** individuate all'interno delle aree viticole modello. La metodologia NEP (Lovett et al. 2006) consente di valutare l'accumulo di C da parte degli ecosistemi mediante la determinazione del peso secco (PS) accumulato nei 3 principali centri di accumulo di C e rappresentati da: *i*) biomassa epigea, *ii*) biomassa ipogea, e *iii*) C fissato al suolo sotto forma di sostanza organica (SO).

Ai fini della determinazione del C fissato nella biomassa ipogea ed epigea di *Vitis vinifera* L. sono state individuate 6 repliche (ceppi) a coppia frontali lungo il filare e distribuite a *random* nelle unità vitate oggetto di indagine.

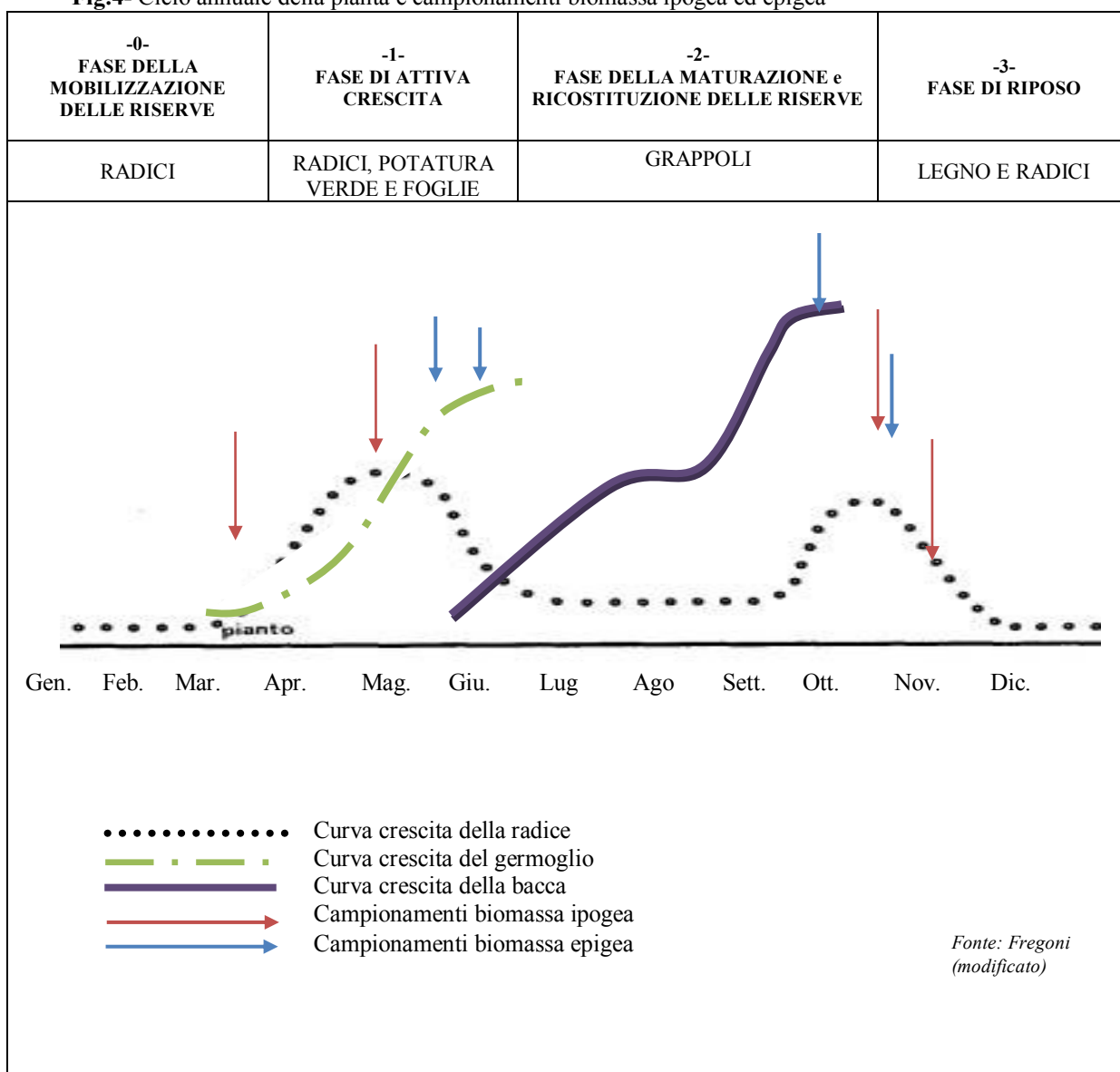
Le determinazioni della biomassa epigea ed ipogea, ai fini del calcolo della fissazione stagionale del C da parte della vite, sono state condotte in 4 momenti distinti del ciclo annuale di crescita della pianta (Fig.4):

- 0) FASE della MOBILIZZAZIONE DELLE RISERVE (PUNTO 0) – per la quantificazione del C della biomassa ipogea (radici fini) prima della ripresa dell'attività radicale.
- 1) FASE DI ATTIVA CRESCITA, per la quantificazione del C accumulato nelle radici di neoformazione imputabili al primo picco di attività dell'apparato radicale, nei germogli anticipati, asporati a seguito di operazioni di potatura verde e nelle foglie mature.
- 2) FASE DI MATURAZIONE e DI RICOSTITUZIONE DELLE RISERVE, per la quantificazione del C accumulato nei grappoli;

3) FASE DI RIPOSO per la quantificazione del C accumulato nei tralci e nelle radici di neoformazione imputabili al secondo picco di attività radicale.

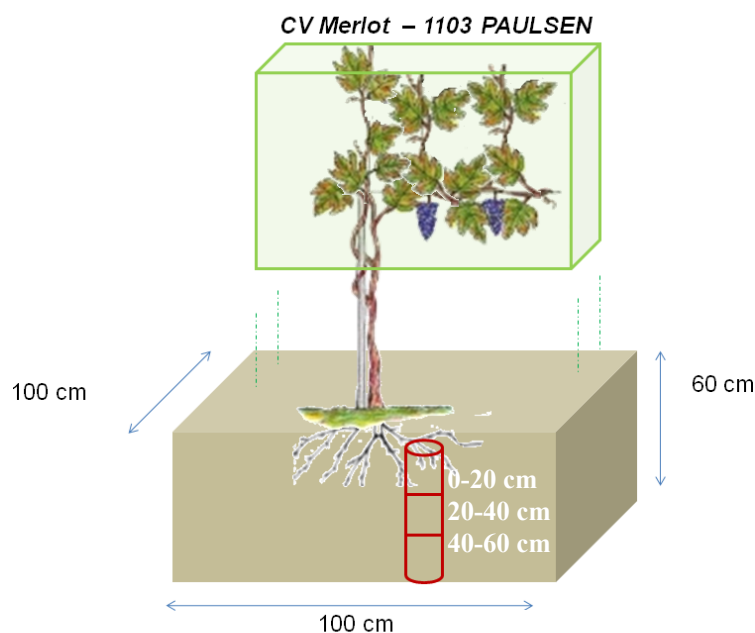
Per la stima della **biomassa ipogea** stagionale prodotta si è ricorso alla tecnica del **ingrowth -cores** (Flower-Ellis e Persson 1980; Vogt et al. 1998), che consiste nel rimpiazzare il volume di suolo asportato con un carotaggio con un equivalente volume di suolo privo di radici (Fig.6) La successiva crescita di radici in questa porzione (carota) viene utilizzato per stimare la produzione di radici fini dell'unità vitata oggetto di studio. Per il calcolo del C fissato stagionalmente nell'apparato radicale (Fig. 5) si è considerato un volume di rizosfera esplorato da ciascun ceppo (Fig. 5) in funzione della distanza di impianto e dalla proiezione della chioma a terra.

Fig.4- Ciclo annuale della pianta e campionamenti biomassa ipogea ed epigea



In particolare essendo le unità vitate dei due ambienti testati omogenee per questi parametri (sesto 0,8 x 2,30 m e spessore chioma di 0,60m ed altezza di 1,75 m) il volume totale di rizosfera attribuito a ciascun ceppo è stato di 0,6 m³, come rappresentato nel modello (Fig.5). La quantificazione del turn-over radicale stagionale è stato effettuato a tre profondità (0-20), (20-40) e (40-60) cm mantenendosi ad una distanza di 50 cm dal ceppo lungo l'interfilare (Fig. 5).

Fig. 5 – Modello adottato per il calcolo del C fissato dall'apparato radicale e nel volume di rizosfera esplorato da ciascuna pianta di vite.



Il primo carotaggio, tempo 0, è stato effettuato nella fase di mobilitazione delle riserve, valutata mediante l'osservazione della fase del pianto; il secondo carotaggio è stato effettuato in post-germogliamento, quando l'apparato radicale raggiunge il massimo dell'accrescimento nel primo picco di attività (marzo-aprile), il terzo carotaggio è stato effettuato al picco massimo di accrescimento del secondo ciclo di attività radicale e l'ultimo nella fase terminale di crescita delle radici – inizio fase di riposo .



Fig.6 – Posizionamento del carotaggio eseguito per il campionamento delle radici fini.

Per la stima della biomassa epigea per ciascuno dei 6 ceppi selezionati in ciascun ambiente e tipologia di conduzione, sono stati determinati alcuni parametro vegeto-produttivi e in particolare: *i*) il numero medio di germogli/ceppo, il numero medio di foglie/germoglio uvifero, ed il peso secco medio delle foglie, il peso secco delle femminelle asportate con la potatura verde (fase di attiva crescita, Fig.4); *ii*) il carico produttivo (grappoli/ ceppo), il peso secco dei grappoli (fase di maturazione); *iii*) il peso secco del legno di potatura (fase di riposo).

La NEP annua della *Vitis vinifera* L. (biomassa ipogea più biomassa epigea), esprime la quantità totale di carbonio assorbito dalle piante e fissato nelle strutture vegetali. Il contenuto di carbonio del materiale vegetale è stato stimato considerando che 1g di SS è pari a circa 0,50 g di C (50%) (Anfodillo et al.2006).

Conseguentemente, dalla formula riportata di seguito [1] sono stati calcolati gli equivalenti di CO₂ totale fissata da ciascun ceppo stagionalmente, sulla base della conversione del PS stagionalmente prodotto e ripartito fra i vari organi in C fissato. Il dato è stato rapportato all'ettaro di superficie.

$$\text{Eq. CO}_2/\text{ha} = \frac{3,666}{2 \cdot 10^4} \cdot \text{N}^\circ \text{ p.te} \cdot \sum_0^3 (\text{PS}_{\text{Ri}} + \text{PS}_{\text{Gr}} + \text{PS}_{\text{Fi}} + \text{PS}_{\text{Li}}) \quad [1]$$

dove: PS_{Ri} : peso secco delle radici determinato nelle fasi _i della mobilizzazione delle riserve, attiva crescita e di riposo.

PS_{Gri} : peso secco dei grappoli nella fase _i della maturazione.

PS_{Fi} : peso secco delle foglie nella fase _i di attiva crescita.

PS_{Li}: peso secco del legno di potatura nella fase _i di riposo.

N°p.te: Numero dei ceppi (densità di impianto).

10⁴ fattore di conversione ad ettaro di superficie.

½ : fattore di conversione da (g) PS a gC (il 50% del peso secco è rappresentato dal carbonio fissato secondo (Anfodillo et. al 2006)).

3,666: fattore conversione da carbonio ad equivalenti di CO₂ (rapporto tra peso molecolare CO₂ e del C) (Coto-Millan et al. 2008; IPCC 2001).

3.6 Quantificazione della funzione ‘*carbon sink*’ nel suolo

La quantificazione del C stoccato nel suolo del vigneto è stata preliminarmente preceduta dalla definizione di alcuni indicatori di funzionalità dello stesso utilizzati in bibliografia per una caratterizzazione di primo livello (Sequi et al. 2006).

3.6.1 Caratterizzazione degli indicatori di funzionalità del suolo

Per la caratterizzazione di I livello della funzionalità del suolo si sono utilizzati 3 campioni di suolo prelevati a *random* negli interfilari dei vigneti in autunno, prima delle lavorazioni superficiali, ed setacciati a 2mm e fatti essiccare in stufa a 38° C. Aliquote degli stessi campioni sono state quindi utilizzate per la determinazione di indicatori fisici di qualità quali la tessitura, indicatori chimici quali il pH, il contenuto totale di carbonio (TOC) individuabile nella frazione organica e nella frazione inorganica, l’azoto totale (N), il rapporto carbonio-azoto (C/N), ed infine indicatori microbiologici quali biomassa microbica del terreno (*Cmin*) e la respirazione potenziale.

- La determinazione della **granulometria** del suolo, condotta su aliquote di 10 g di suolo in duplice replica dai campioni di suolo dei vigneti oggetto di studio, si basa sul prelievo della sospensione di particelle con diametro inferiore a 200 µm a diverse altezze ed a tempi prestabiliti per ogni frazione di particelle (Tab.6).

Tab. 6 - Tempi di sedimentazione per la temperatura di 20°C delle frazioni di particelle secondo il sistema ISSS.

<i>Tempo di sedimentazione</i>	<i>Profondità di prelevamento</i>	<i>Frazione</i>
9' 36''	20 cm	A+L
16 h	20 cm	A

La quantità delle diverse frazioni di particelle viene espressa in g/Kg della terra fine essiccata a 105°C e sottoposta a dispersione. Per il calcolo sono state utilizzate le espressioni secondo il Metodo Ufficiale n°II.5, Suppl. Ord. G.U. n°248 del 21.10.99.

- La reazione del suolo (**pH**) è stata misurata tramite determinazione potenziometrica, su sospensioni di suolo-acqua (Sequi e De Nobili, 2000). Per tale determinazione a 10 g di ciascun campione sono stati aggiunti 25 ml di H₂O, e lasciati in agitazione magnetica per almeno due ore. Dopo aver lasciato sedimentare la sospensione per alcuni minuti, è stato introdotto il sistema elettrodo nel surnatante ed è stato rilevato il valore di pH dei campioni (Metodo Ufficiale n°III.5, Suppl. Ord. G.U. n°248 del 21.10.99).

- La determinazione dell'azoto totale (**N**) è stata condotta mediante il metodo Kjeldahl. Il metodo si basa sulla trasformazione dell' azoto organico in ammoniaca mediante digestione in acido solforico e catalizzatore. Il metodo ufficiale prevede prima la Mineralizzazione Kjeldahl all'idrogeno perossido e successivamente la determinazione dell'azoto totale per distillazione secondo Kjeldahl. Il distillato di ciascun campione, a cui vengono aggiunti 20 ml di H₂SO₄ 0,1N, 4 gocce di indicatore Tashiro (rosa), e H₂O distillata vino al volume di 100 ml, è stato titolato con soda NaOH 0,1N fino a viraggio della soluzione da rosa a incolore. L'azoto totale Kjeldahl (TKN, Total Kjeldahl Nitrogen) viene definito come la somma dell'azoto ammoniacale e dell'azoto organico che vengono trasformati in solfato d'ammonio nelle condizioni di mineralizzazione adottate dal Metodo Ufficiale n° XIV.3, Suppl. Ord. G.U. n°248 del 21.10.99.

3.6.2 Il carbonio stoccato nel suolo

- Il contenuto di Carbonio Organico Totale (**TOC**) è stato determinato su aliquote di 100 mg di suolo per mezzo di un analizzatore elementare Carbon analyzer LECO RC-612 (3000 Lakeview Avenue, St. Joseph, MI 49085) (Quijano-Gaudes et al. 2011). Il metodo analitico originale (Dumas 1831) è basato sulla completa e istantanea ossidazione del campione per “flash combustion” con conseguente conversione di tutte le sostanze organiche ed inorganiche in prodotti gassosi (Sequi e al. 2006), ed in particolare in CO₂. La combustione è alimentata da una fornace fino alla temperatura di 600°C (valore limite per non intaccare la frazione inorganica (temp. ≥ 600°C- , misurazione del C imputabile alla frazione inorganica (IC). La formazione di CO₂ viene rilevata attraverso una cella a infrarossi IR, ed un segnale digitale genera un picco la cui area è proporzionale alla concentrazione del campione esaminato.

Il risultato esprime la percentuale di C presente nel campione analizzato, peso noto.

- La valutazione della biomassa microbica del suolo (**C_{min}**) è giustificata dalla funzione di controllo che essa esercita oltre che sui maggiori processi che coinvolgono il rilascio degli elementi nutritivi, il miglioramento ed il mantenimento della struttura dei suoli, soprattutto sul turnover della sostanza organica (Moscatelli et al. 2005). La biomassa microbica viene generalmente espressa come mg C-CO₂·kg suolo⁻¹. Il metodo utilizzato è stato della fumigazione-estrazione (Vance et al. 1987). La fumigazione uccide le cellule microbiche provocando la lisi cellulare e rendendo possibile l'estrazione del materiale cellulare. Sugli estratti così ottenuti si procede alla determinazione del C organico totale della biomassa microbica mediante il metodo dell'ossidazione rapida del bicromato. I risultati sono espressi in µg di C per grammi di peso secco di suolo. Il valore della biomassa microbica è dato da: $B_c (\mu\text{g C} \cdot \text{g terreno}^{-1}) = E_c \times 2,64$, dove 2,64 è il fattore di proporzionalità. I valori del carbonio della biomassa sono da riferire al peso secco del suolo, moltiplicandoli per il fattore di conversione $100/(100 - U\%)$, dove il valore dell'umidità percentuale (U%) corrisponde alla sua capacità di campo riportata a peso umido. I valori medi più comuni sono compresi tra i 100 ed i 300 µg di C · g di terreno⁻¹, considerando che la

quantità di biomassa diminuisce scendendo in profondità lungo il profilo del terreno (Metodo Ufficiale n. I.1. Supplemento Ordinario G.U. n. 61 del 13.03.2004).

- La respirazione basale (*C_{bas}*) è una misura della respirazione microbica essenziale ed è comunemente considerata come decomposizione complessiva della sostanza organica (Anderson 1982). La respirazione basale indica il potenziale dei microrganismi del suolo di degradare la sostanza organica nelle condizioni ambientali stabilite. A partire da questa si può ottenere la respirazione cumulativa che rappresenta la misura dell'andamento di mineralizzazione della sostanza organica durante l'intera durata della misurazione (28 gg).

La determinazione della concentrazione di CO₂ prodotta dalla biomassa microbica (respirazione basale) presente in un campione di suolo viene effettuata per via trimetrica, modificando il metodo proposto da Jenkinson (1976) - Metodo Ufficiale n. II.1. Supplemento Ordinario G.U. n. 61 del 13.03.2004. La biomassa microbica infatti, respirando, produce CO₂ che viene "intrappolata" da una soluzione di idrossido di sodio (NaOH) a concentrazione nota, dove si trasforma in carbonato di sodio (Na₂CO₃). Il dosaggio della CO₂ prodotta viene effettuato tramite precipitazione del carbonato per aggiunta di cloruro di bario (BaCl₂) 1M (reazione immediata); tutto l'idrossido di sodio che non è entrato nella reazione può essere titolato con acido cloridrico (HCl). Ai fini del risultato, la differenza dei volumi fra HCl titolante per i campioni e per il bianco fornisce le informazioni sulla quantità di CO₂ prodotta dalla biomassa microbica presente in ogni campione. Il risultato della titolazione è stato quindi indicato come valore della respirazione per quel determinato giorno. I risultati si esprimono in ppm, ossia in mg di C sviluppati in forma di CO₂ per ogni kg di suolo (mg C- CO₂· kg di terreno⁻¹).

Per riportare il valore di CO₂ ottenuto al peso secco a 105°C si moltiplica il risultato per il fattore 100/100-U%.

-Il quoziente metabolico (*qCO₂*) o tasso di respirazione specifica è la respirazione basale (*C_{bas}*) in rapporto al C della biomassa (*C_{mic}*) e rappresenta il livello dell'attività specifica di evoluzione di C- CO₂ in condizioni basali della biomassa microbica per unità di tempo (Anderson e Domsch, 1985), cioè la quantità

di anidride carbonica prodotta per unità di biomassa e di tempo. Si esprime in (10^{-2}) h^{-1} e viene calcolato secondo la formula [2] di seguito riportata.

$$qCO_2 = \frac{C_{bas}}{C_{mic}} \times 100 \quad [2]$$

- Il quoziente di mineralizzazione (**qM**) rappresenta il rapporto tra le respirazione cumulata al 28° giorno di determinazione e il TOC, formula [3], ed è espresso come percentuale. Questo misura dell'attività totale di mineralizzazione della frazione più labile della sostanza organica da parte della biomassa microbica. (Dommergues, 1960). È un ottimo indicatore dello stato di stress del sistema suolo (Sequi et al. 2006).

$$qM = \frac{C_{cum}}{TOC} \times 100 \quad [3]$$

- Altro indicatore funzionale a descrivere la qualità del suolo è il quoziente che si ricava dal rapporto tra il C della biomassa microbica (C_{min}) e il TOC, equazione [4]. Questo quoziente indica la frazione di biomassa vivente rispetto al carbonio organico del suolo ed è utile a definire condizioni di stress/stabilità del suolo (Sequi et al. 2006).

$$\frac{C_{min}}{TOC} \cdot 100 \quad [4]$$

3.7 Il bilancio del carbonio in *Vitis vinifera* e nel vigneto

Il bilancio del carbonio nella vite e nel vigneto è stato calcolato al netto delle perdite per respirazione del suolo e delle radici.

In particolare, il tasso di respirazione del suolo in presenza delle radici è stato misurato tramite sistema BaPS (Barometric Process-Separation) (comunicazione

personale Farina 2013, metodologia CRA-RPS). Il metodo BaPS si basa sulla registrazione tramite sensori specifici di valori di pressione dell'aria e pressione parziale dell'ossigeno e della CO₂ all'interno di una camera barometrica in cui siano stati inseriti dei cilindretti di metallo contenenti un volume noto di suolo. Lo strumento è composto da una camera barometrica in alluminio alla quale sono collegati dei sensori di pressione e temperatura, a loro volta collegati ad un'unità di interfaccia dei sensori, che trasmette i dati ad un apposito software. Poiché il software rielabora i valori sulla base di trasformazioni isoterme, è necessario porre la camera barometrica all'interno di un bagno termostatico settato alla temperatura desiderata. Attraverso una serie di equazioni il software per la raccolta e l'elaborazione dei dati calcola i diversi parametri di respirazione, nitrificazione e denitrificazione mediante i delta di pressione dei gas rilevati in base ai seguenti presupposti.

I campioni da analizzare sono stati prelevati da sei piante di Merlot/1103P di due anni di età, poste in vaso con lo stesso terriccio utilizzato per i carotaggi. Il materiale è stato mantenuto in condizioni vegetative ottimali e tenuto all'esterno fino al momento del campionamento.

Sono stati prelevati campioni con degli appositi cilindri di acciaio ed analizzati in presenza ed assenza di radici. I campioni sono rimasti all'interno della camera barometrica per 24h, al termine delle quali sono stati essiccati in stufa a 105°C al fine di ottenere l'effettivo peso secco del campione, parametro necessario al software d'analisi per il calcolo di respirazione, nitrificazione e denitrificazione. Inserendo a fine corsa il valore del suolo essiccato a 105°C il software infatti corregge i risultati anche sulla base dell'area del campione.

Il bilancio netto tra la CO₂ assorbita, ovvero stoccata nelle strutture vegetali della pianta (ipogee ed epigea), e la CO₂ emessa dalla respirazione radicale, ci ha consentito di determinare il bilancio del carbonio in *Vitis vinifera* L. . A livello di unità vitata, invece, il bilancio del carbonio è stato quantificato considerando come input la capacità di *carbon sink* degli organi della pianta (ipogei ed epigei) rapportata all'ettaro di superficie, a cui sono stati sottratti gli output – le perdite di CO₂ – sia per respirazione radicale che per respirazione del suolo. Valori positivi del bilancio denotano l'immissione in atmosfera di CO₂ , mentre valori negativi di tale bilancio

indicano la capacità del vigneto di sequestrare CO₂ dall'atmosfera, e quindi di concorrere a migliorare la qualità del suolo e dell'aria.

3.8 Analisi statistica

L'utilizzo di numerosi indici metrici del paesaggio impone spesso la necessità di definire un *core set* di indicatori che siano significativi per lo studio della struttura del paesaggio, evitando di incorrere nella ridondanza associata agli stessi e limitando il numero delle variabili da analizzare, facilitandone la loro comprensione. Il calcolo del coefficiente di correlazione di Pearson è utile per effettuare uno screening tra gli indici metrici del paesaggio (Riitters et al. 1995). Quando il valore assoluto di questo coefficiente tra due indici metrici è uguale o maggiore a 0,9 allora i due indicatori sono tra loro fortemente correlati ed uno dei due può essere selezionato come rappresentante per entrambi (Lausch e Herzog 2002). Inoltre l'elevato numero di variabili da analizzare anche a seguito dello screening effettuato ha suggerito la necessità di ricorrere all'analisi statistica multivariata, in particolare all'analisi delle componenti principali (PCA). L'obiettivo della PCA è di rendere le variabili osservate facilmente interpretabili e di evidenziare e sintetizzare l'informazione insita in esse. Tale analisi statistica è stata condotta sia sui set di indici metrici del paesaggio per le tre aree vaste oggetto indagine e per i due anni di riferimento 2000 e 2008, che sui dati relativi alla determinazione della funzione di *carbon sink* del vigneto, data la complessità delle variabili e le molteplici informazioni ad esse associate. La PCA è stata eseguita usando il software statistico R (R Development Core Team - 2008). Tale software è stato utilizzato anche per verificare la significatività delle differenze tra le medie riscontrate nei dati del bilancio del carbonio. Lo stesso software di dati è stato utilizzato per l'analisi statistica della varianza, test t-student e di wilcoxon per campioni appaiati.

3.9 Bibliografia di riferimento

Anderson J.P.E. 1982. *Soil respiration*. In Page, A.L. (ed.) *Methods of soil analysis, Part.2 Chemical and Microbial Properties*. Vol. 9, 2nd edn ASA-SSSA. Madison, WI, pp 831-871. ISBN: 9780891180883, pp.1188.

Anderson T.H., Domsh K.H. 1985. '*Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state*'. *Biology and Fertility of Soils* 1: 81-89.

Anfodillo T., Pilli R., Carrer M., Carraro V., Rossi S., 2006. '*Stima della biomassa forestale: le nuove potenzialità delle relazioni allometriche*'. *Atti del 42° corso di Cultura in ecologia*, Università di Padova: 161-183.

Bello Fialho F., Tonietto J., 2008. '*The International internet site of the geoviticulture MCC (multicriteria climatic classification) system*'. VII Congrès International des terroirs viticoles.

Bossard M., Feranec J., Otahel J., 2000. '*CORINE land cover technical guide – Addendum 2000*'. Technical report No 40. Ed. European Environment Agency (EEA) Kongens Nytorv 6 DK-1050 Copenhagen K Denmark., Copenhagen, pp. 105.

Coto-Millan P., Domenech Quesad J. L., Mateo Mantecon I., 2008. "*Corporate Ecological Footprint: New Conversion Factors*". *Research Letters in Ecology*, Article ID 415934.

Dommergues, Y., 1960. '*La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans le sols*'. *L'Agronomie Tropicale* XV, 1: 54–60

Dumas, 1831. In '*ATLAS Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*. Sequi P., Benedetti A., Dell'Abate M.T. (a cura di) 2006. Ed. CRA - Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante.

Elkie P., Rempel R., Carr A. 1999. '*Patch analyst user's manual*'. Ontario Ministry of Natural Resources Northwest Science & Technoogy. Thunder Bay, Ontario, Canada, TM-002. ISBN 0777882957, pp.28.

Farina A., 2006. '*Ecologia del Paesaggio. Principi, metodi e applicazioni*'. UTET Libreria, Torino. ISBN: 9788877507389, pp.673.

Flower-Ellis J.G.K., Persson H., 1980. "*Investigations of structural properties and dynamics of Scots pine stands. Structure and Function of Northern Coniferous Forests – An Ecosystem Study*". Ed. T Persson. pp 125-138. *Ecol. Bull. (Stockholm)* 32. ISBN: 9157622671, pp. 188.

Forman R.T.T., 1995. '*Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*'. Cambridge Univ. Press. ISBN: 0521479800, pp. 656.

Forman, R.T.T., Godron M., 1986. '*Landscape Ecology*'. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, USA. ISBN 0471870374, pp.619.

Fregoni M., 1999. '*Viticultura di qualità*'. Ed. L' Informatore Agrario – Verona. ISBN: 9788848120364, pp. 1000.

Ingegnoli V., 2002. '*Landscape Ecology: A Widening Foundation*'. Springer; 2002 edition. ISBN: 3540427430, pp. 340.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., and Johnson C.A.(eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. ISBN: ISBN 0521807670 pp.94.

ISTAT 2010 – 6° Censimento generale dell'agricoltura..

ISTAT, 2010. *‘Le interrelazioni del settore agricolo con l’ambiente’* a cura di Luca Salvati. Temi di ricerca Argomenti n. 39 Istat, Servizio Editoria. ISBN 978-88-458-1654-3.

Jensen J. R., Narumalani S., 1992. *‘Improved remote sensing and GIS reliability diagrams, image genealogy diagrams, and thematic map legends to enhance communication’*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 6,B6: 125– 132.

Jensen J. R., Cowen D. J., Narumalani S., Althausen J. D., e Weatherbee O., 1993. *‘An evaluation of Coastwatch change detection protocol in South Carolina. Photogrammetric Engineering and Remote’*. Sensing, 59,4: 519– 525.

Jones G., Davis R., 2000. *‘Using a synoptic climatological approach to Understand climate–viticulture relationships’*. Int. J. Climatol. 20: 813–837.

Lausch A., Herzog F., 2002. *‘Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability’*. Ecological Indicators 2:3–15.

Lovett G. M., Lovett J., Cole J., Pace M.L., 2006. *‘Is Net Ecosystem Production Equal to Ecosystem Carbon Accumulation?’*. Ecosystems 9: 152–155.

Moscatelli M.C., Lagomarsino A., Marinari S., De Angelis P., Grego S., 2005. *‘Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation’*. Ecological Indicators 5 :171–179.

Narumalani S., Mishra D.R., Rothwell R.G., 2004. *‘Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area’*. Remote Sensing of Environment 91: 478–489

OIV-VITI 2012. www.oiv.int

Oldfield, F., Dearing, J. A., Gaillard, M. J., Bugmann, H. 2000. *‘Ecosystem processes and human dimensions—The scope and the future of HITE’* (Human Impacts on Terrestrial Ecosystems). Pages Newsletter 8: 21–23.

Quijano-Gaudes L., Gaspar L., Navas A., 2011. *‘Soil organic carbon fractions in uncultivated and tilled profiles of mountain Mediterranean agroecosystems’*. Geophysical Research Abstracts 13:11478

Programma di Sviluppo Rurale per il periodo 2007-2013 - Lazio. Reg (CE) 1698/2005

R Development Core Team, 2008. *‘R: A language and environment for statistical computing’*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Riitters K.H., O’Neill R.V., Hunsaker C.T., Wickam J.D., Yankee D.H., Timmins S.P., Jones K.B., Jackson B.L., 1995. *‘A factor analysis of landscape pattern and structure metrics’*. Landscape Ecology 10: 23-29.

Sequi P., De Nobili M. 2000. *“Carbonio organico”* in Metodi di analisi chimica del suolo, FrancoAngeli Editore Cap.VII. ISBN 9788846422408, pp.536.

Sequi P., Benedetti A., Dell’Abate M.T. (a cura di) 2006. *‘ATLAS Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo’*. Ed. CRA - Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante.

Tischendorf L., L. Fahrig, 2000 *‘How should we measure landscape connectivity?’* Landscape Ecology 15: 633–641.

Tonietto J., Carbonneau A., 2004. *‘A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide’*. Agricultural and Forest Meteorology 124,1-2: 81-97.

Van Eetvelde V., Antrop M., 2009(a). *"Indicators for assessing changing landscape character of cultural landscapes in Flanders (Belgium)." Land Use Policy* 26,4:901-910.

Van Eetvelde V., Antrop M., 2009(b). *'A stepwise multi-scaled landscape typology and characterization for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium'*. *Landscape and Urban Planning* 91: 160–170.

Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., 1987. *'An extraction method for measuring microbial biomass C'*. *Soil Biol.& Biochem.* 19:703-707.

Vogt K.A., Vogt D. J., Bloomfield J., 1998. *'Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level'*. *Plant and Soil* 200:71–89.

4. RISULTATI

I risultati ottenuti sulle tre aree territoriali modello individuate concorrono a migliorare le conoscenze sul ruolo strategico che gli ecosistemi vigneto possono avere nel preservare le risorse naturali. In particolare è stato possibile identificare quei modelli viticoli che soddisfano i requisiti di sostenibilità ambientale (paesaggio e biodiversità, suolo e aria), evidenziano le componenti strutturali e funzionali che concorrono a migliorarne le funzioni ecologico-ambientali.

4.1 Il paesaggio viticolo della *collina interna*

La valutazione della sostenibilità ambientale della pratica viticola sulla risorsa paesaggio e biodiversità (diversità degli habitat) per l'area *collina interna* viene riportata seguendo le tre scale di indagine individuate: area vasta, di dettaglio e l'unità vitata.

4.1.1 Analisi metrica del paesaggio (area vasta)

L'area vasta della *collina interna* (3600 ha) presenta un elevato livello di naturalità essendo le infrastrutture ecologiche la copertura del suolo prevalente (Fig. 1). Queste sono rappresentate da aree boscate, siepi, filari alberati, formazioni ripariali e complessivamente ricoprono circa un terzo della SAT dell'area (1014,7 ha). Qui la viticoltura (specializzata e promiscua), in totale 264,24 ha, rappresenta solo il 7,4% sulla SAT dell'area. La classe dei vigneti specializzati (207,77 ha) rappresenta la seconda classe tra le colture arboree dopo quella degli oliveti. Sul territorio risultano avere una forte incidenza anche i terreni incolti e gli agro-ecosistemi erbacei.

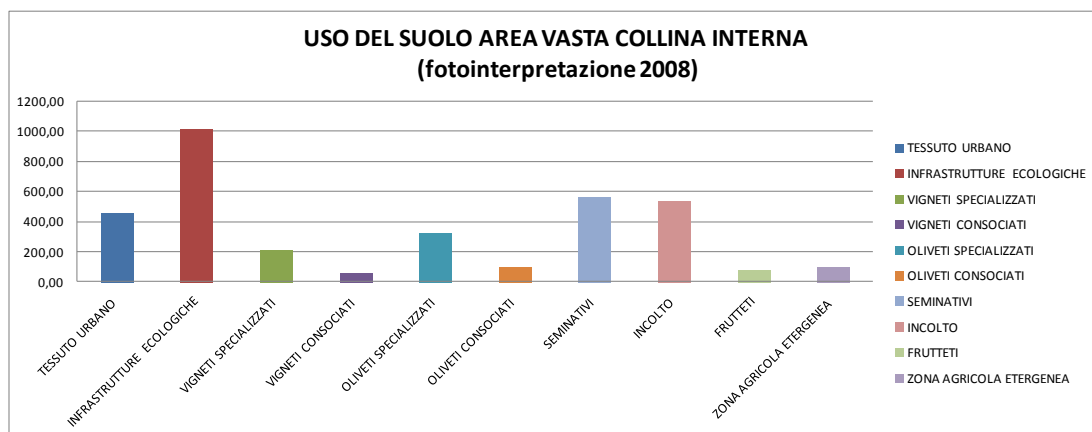


Fig. 1 – Uso del suolo di dettaglio (scala 1:2000) dell’area vasta *collina interna*, derivante da fotointerpretazione di foto aree per l’anno 2008.

La diagnosi del paesaggio che deriva da tale analisi metrica mette in evidenza un ambiente frammentato, con tessere (poligoni) delle classi di uso del suolo di dimensioni elevate, con una scarsa diversità degli usi del suolo, un ecomosaico piuttosto omogeneo. Questi caratteri sono attestati dal valore assunto dagli indici ecologici riportati in tabella 1.

Tab. 1 - Principali indici metrici del paesaggio calcolati per l’area vasta *collina interna*.

INDICI DI STRUTTURA	Definizione	Valore assunto
Numerosità delle tessere (NP)	A valori elevati corrisponde una elevata diversità del paesaggio	3178, 00
Superficie media delle tessere_ (MPS)	Ad alti valori (ha) di tale indice corrisponde un paesaggio omogeneo	1,13
INDICI DI FORMA E DIVERSITÀ		
Complessità della forma (MSI)	L'indice assume valore 1 quando la tessera è circolare oppure quadrata e aumenta senza limite all'aumento dell'irregolarità del perimetro.	1,85
Diversità di Shannon (SDI)	Varia da 0 ad infinito e fornisce informazioni circa la diversità degli elementi costitutivi del paesaggio	2,37
Uniformità di Simpson (SEI)	Assume valori tra 0 e 1. Valori dell'indice prossimi a 1, indicano che il paesaggio è in equilibrio in quanto formato da elementi con estensioni relative simili	0,77

Con riferimento al paesaggio della vite, l'elevata numerosità delle tessere (patches) a vigneto e le ridotte superfici (Fig.2, Tab.2a e 2b), soprattutto per la tipologia dei vigneti specializzati, evidenzia un'elevata frammentazione e dispersione di questo uso del suolo. I valori più elevati per quanto riguarda la densità delle tessere del mosaico paesaggistico (PD) sono risultati appartenere ad alcune componenti delle infrastrutture ecologiche, in particolare le siepi, i filari e le formazioni ripariali, oltre che alla classe dei vigneti.

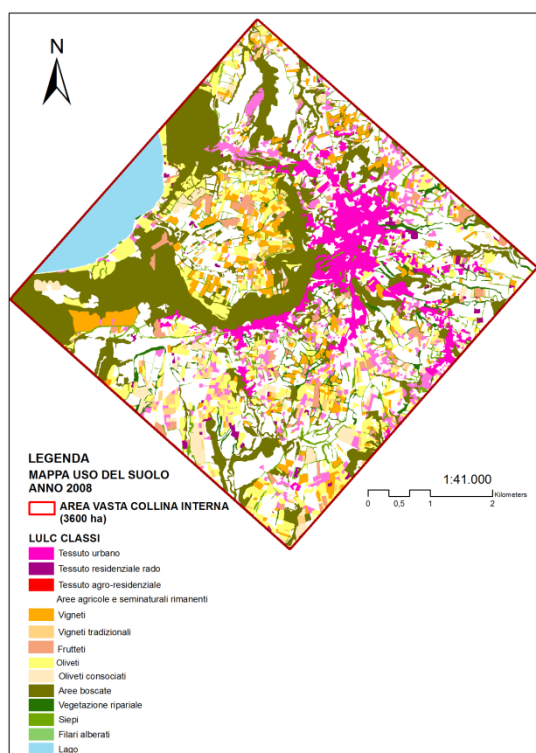


Fig. 2 – Ecomosaico dell'area vasta *collina interna*, ottenuti da foto interpretazione di ortofoto (2008), scala 1:2000

I più elevati valori di densità dei margini (ED) – indice associato alla complessità del mosaico ambientale (Fig.4, Tab.2b) – sono risultati attribuibili alle aree boscate, alle siepi, agli oliveti ed ai vigneti specializzati. In particolare alti valori di densità delle tessere (PD) e dei margini (ED) sono risultati propri della viticoltura, sia tradizionale che specializzata (Fig.3, Tab.2a, 2b).

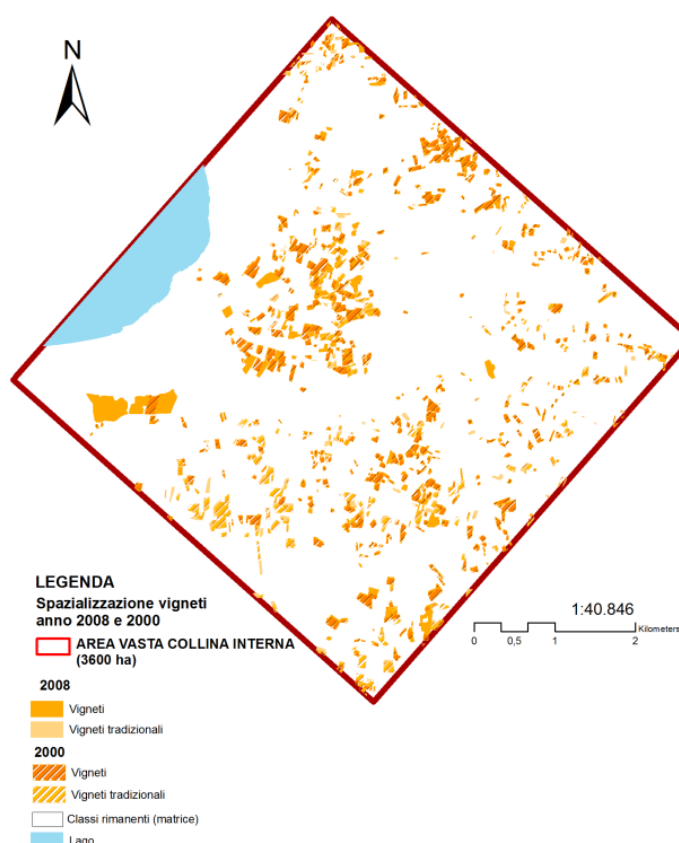


Fig. 3 – Spazializzazione dei vigneti per l'area vasta *collina interna*, ottenuta da foto interpretazione di ortofoto (2008). Scala 1:2000.

Il ruolo ecologico-ambientale legato alla viticoltura è ulteriormente evidenziato dai valori degli indici metrici del paesaggio riportati nelle Tabelle 2a,2b e2c .

Tab. 2a - Indici metrici di configurazione del paesaggio per ciascun uso del suolo per l'area vasta *collina interna*, ricavati dalla foto interpretazione di ortofoto (2008). (NP: numerosità delle tessere, PD: densità delle tessere, MPS: superficie media delle tessere, PSCoV: coefficiente di variazione dell'area delle tessere, PSSD: valore della deviazione standard dell'area delle tessere, MedPS: valore della mediana della dimensione delle tessere).

CLASSILULC	INDICI METRICI DI CONFIGURAZIONE					
	NumP	PD	MPS	PSCoV	PSSD	MedPS
TESSUTO URBANO	81,00	33,4%	3,00	131,71	3,95	1,59
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	293,00	176,7%	0,57	125,62	0,71	0,34
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	66,00	271,3%	0,37	115,12	0,42	0,22
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	948,0	79,6	1,2	142,2	2,0	0,7
VIGNETI	358,00	172,3%	0,58	246,78	1,43	0,26
VIGNETI TRADIZIONALI	117,00	207,2%	0,48	86,67	0,42	0,38
OLIVETI	373,00	115,1%	0,87	140,19	1,22	0,40
COLTURE ASSOC. OLIVO	114,00	114,4%	0,87	168,42	1,47	0,41
FRUTTETI	83,00	105,3%	0,95	103,07	0,98	0,59
ZONA BOSCATI	168,00	20,1%	4,97	341,71	16,98	1,08
FORMAZIONI RIPARIALI	103,00	163,5%	0,61	86,18	0,53	0,48
FILARI ALBERATI	32,00	673,8%	0,15	80,98	0,12	0,11
SIEPE	355,00	317,0%	0,32	110,08	0,35	0,20

Tab. 2b - Indici metrici di complessità dei margini delle tessere di ciascun uso del suolo per l'area vasta *collina interna*, ricavati dalla foto interpretazione di ortofoto (2008). (TE: perimetro totale delle tessere (m), MPE: perimetro medio delle tessere, ED: densità dei margini).

CLASSI LULC	INDICI METRICI COMPLESSITÀ DEI MARGINI		
	TE	MPE	ED
TESSUTO URBANO	94463,05	1166,21	26,30
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	119097,99	406,48	33,16
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	18870,82	285,92	5,25
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	556209,53	577,69	51,62
VIGNETI	121429,83	339,19	33,81
VIGNETI TRADIZIONALI	36721,61	313,86	10,22
OLIVETI	173640,90	465,53	48,34
COLTURE ASSOC. OLIVO	48004,51	421,09	13,36
FRUTTETI	35002,23	421,71	9,74
ZONA BOSCATI	264419,62	1573,93	73,62
FORMAZIONI RIPARIALI	84074,01	816,25	23,41
FILARI ALBERATI	10548,81	329,65	2,94
SIEPE	184249,15	519,01	51,30

Tab. 2c - Indici metrici di complessità della forma delle tessere di ciascun uso del suolo per l'area vasta *collina interna*, ricavati dalla foto interpretazione di ortofoto (2008). (MSI: complessità della forma delle tessere, AWMSI: complessità della forma pesata sulla dimensione delle tessere, MPAR: rapporto tra la somma dei perimetri e delle aree delle tessere, MPFD: dimensione frattale media delle tessere; AWMPPFD: complessità ambientale pesata sulla dimensione delle tessere).

CLASSI LULC	INDICI METRICI DI COMPLESSITÀ DELLA FORMA				
	MSI	AWMSI	MPAR	MPFD	AWMPFD
TESSUTO URBANO	2,02	2,43	736,69	1,41	1,39
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1,58	1,90	1463,29	1,42	1,41
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	1,43	1,54	1091,75	1,42	1,39
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	1,64	1,91	7155,51	1,40	1,38
VIGNETI	1,44	1,41	1106,40	1,41	1,37
VIGNETI TRADIZIONALI	1,36	1,83	943,51	1,39	1,36
OLIVETI	1,52	1,56	3677,71	1,40	1,38
COLTURE ASSOC. OLIVO	1,46	1,41	841,43	1,39	1,35
FRUTTETI	1,35	1,41	787,42	1,37	1,33
ZONA BOSCATI	2,53	3,15	844,81	1,45	1,39
FORMAZIONI RIPARIALI	3,06	3,26	1694,54	1,56	1,54
FILARI ALBERATI	2,44	2,71	2616,73	1,61	1,59
SIEPE	2,63	3,19	2170,30	1,57	1,56

Infatti, alle tessere a vigneto sono associati i valori più elevati di NP, PD e PSCoV tra le classi di uso del suolo agricole. In particolare, sia i vigneti tradizionali, che quelli specializzati si estendono su superfici ridotte rispetto alle altre classi di uso del suolo agricole (colture erbacee) e non (boschive), rispettivamente con un valore di MPS di 0,48 e 0,58 ha, a dimostrazione dell'elevato grado di frammentazione che li

caratterizza (bassi valori MPS ed elevati valori di PD). Ai vigneti specializzati è associato anche un valore elevato del PSCoV (Coefficiente di variazione dell'area delle tessere) evidenziando una maggiore eterogeneità della superficie e di complessità dei margini, come dimostrano i valori per gli indici di complessità della forma (Tab. 2b). I vigneti sono secondi solo alla coltivazione dell'olivo per i valori di TE e ED (Fig. 4), espressione della complessità delle tessere e dei margini di una classe, che determinano l'eterogeneità del mosaico ambientale.

Inoltre anche gli indici di complessità della forma delle tessere (Tab.2c) confermano la complessità della forma delle tessere a vigneto.

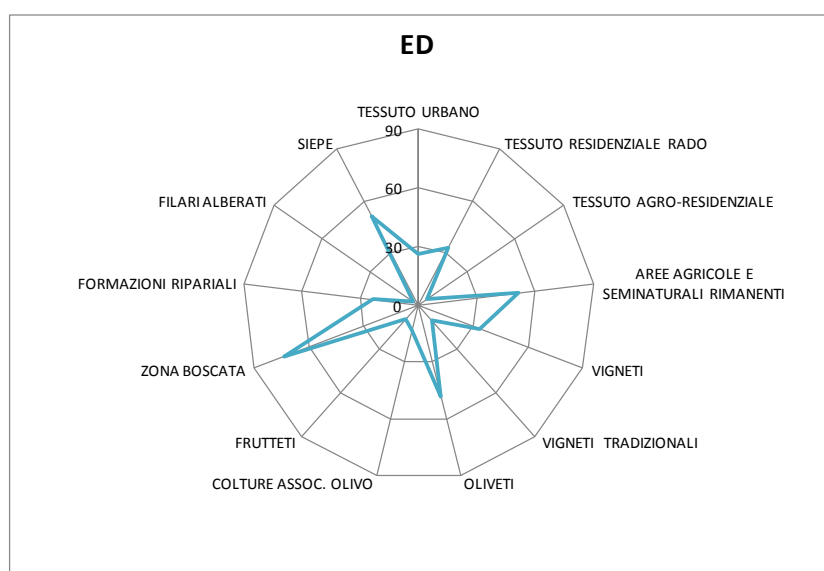


Fig. 4 – Indice metrico di complessità dei margini (ED) – area vasta *collina interna* (2008).

4.1.2 Analisi diacronica e dinamiche di trasformazione del paesaggio

Le dinamiche di trasformazione di uso del suolo analizzate nell'arco temporale di riferimento (2000-2008), evidenziano come la viticoltura specializzata abbia subito in questa area un incremento dell' 11, 3% (+ 21,17 ha) a scapito dei sistemi viticoli tradizionali, interessati invece da un' erosione della superficie pari al 29,3% (Fig. 5; Tab. 3).

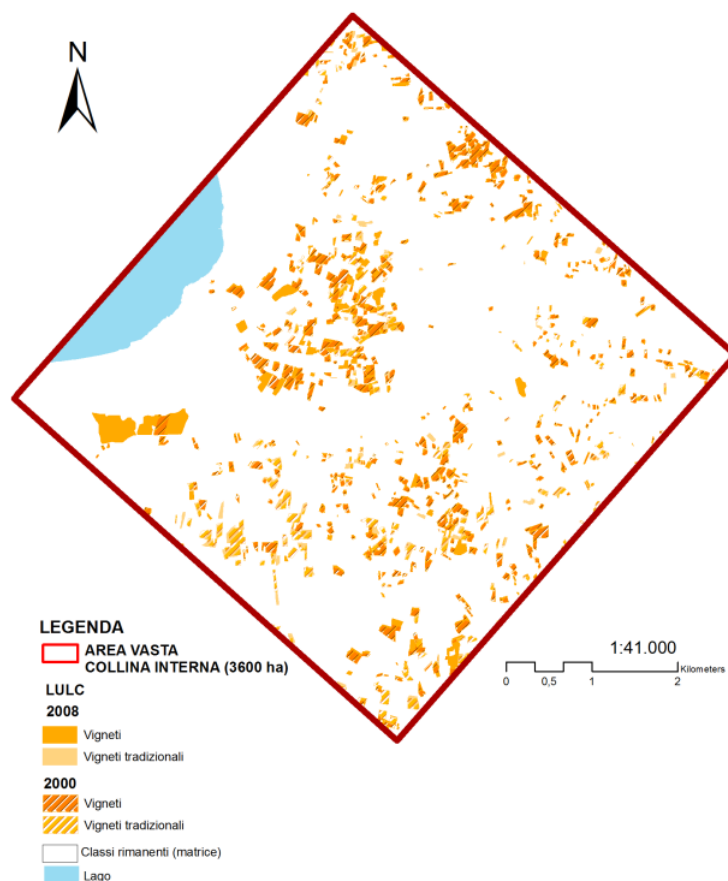


Fig. 5 – Dinamica di trasformazione delle superfici investite a vigneto per l’area vasta *collina interna*, per l’arco temporale 2000-2008. Tratteggiate le superfici erose.

Dalla matrice di trasformazione dell’uso del suolo per il periodo 2000- 2008 (Tab. 3) è possibile effettuare la lettura dei cambiamenti quantitativi e qualitativi delle varie classi di uso del suolo individuate. In particolare sono 106,73 gli ettari di superficie a vigneto che rimangono persistenti sulla medesima superficie (aree di persistenza d’uso del suolo), mentre i nuovi vigneti derivano soprattutto da spazi precedentemente destinati ad incolti e colture industriali (seminativi irrigui e non irrigui), e a vigneti tradizionali, riconvertiti in vigneti specializzati. Le superfici a vigneto erose risultano convertite soprattutto in tessuto urbano e colture industriali (seminativi irrigui e non irrigui, ortive). Inoltre in tale area le dinamiche di uso del suolo mettono in luce l’erosione dei principali sistemi produttivi tradizionali (-10,6% olivo) e contestualmente si osserva la perdita degli elementi lineari della rete ecologica, quali filari e siepi (-11,1% pari a 14,8 ha). Tale area, risulta solo in parte

soggetta ai processi di urbanizzazione, evidenziando un incremento dello sviluppo urbano del 20,3% negli ultimi anni (2000-2008).

Tab. 3 – Matrice di trasformazione dell' area vasta *collina interna* (superficie in ettari)

Area vasta <i>collina interna</i> (fotointerpretazione 2000) → ↓ Area vasta <i>collina interna</i> (fotointerpretazione 2008)	boschi	siepi e filari alberati	formazioni ripariali	aree urbane e periurbane	vigneti in consociazione	oliveti	vigneti	frutteti	altre classi	superficie 2000
boschi	694,05	14,30	12,54	20,13	0,97	13,21	5,50	3,13	61,73	825,56
siepi e filari alberati	23,56	32,40	11,56	12,59	1,29	8,59	4,56	2,66	35,14	132,35
formazioni ripariali	5,95	4,71	10,06	1,09	0,25	1,30	1,09	0,47	10,07	34,99
aree urbane e periurbane	13,61	7,81	2,28	293,96	1,32	6,01	2,47	0,94	45,73	374,13
vigneti in consociazione	1,01	1,74	0,92	3,76	29,14	19,13	8,46	0,67	15,31	80,14
oliveti	12,51	5,98	2,63	10,31	5,65	154,59	12,09	20,98	38,75	263,49
vigneti	4,43	5,99	2,32	6,48	5,98	9,78	106,73	6,03	39,85	187,59
frutteti	0,83	1,27	0,70	0,81	0,00	2,27	1,92	31,40	6,64	45,84
altre classi	80,81	43,49	19,95	101,05	12,01	109,37	65,97	13,47	1196	1.642,12
superficie 2008	836,76	117,69	62,96	450,18	56,61	324,25	208,79	79,75	1.296,40	

4.1.3 Analisi metrica del paesaggio (aree di dettaglio)

Per le 9 aree di dettaglio (400 ha) in cui è stata divisa l'area vasta, si è condotta l'analisi metrica del paesaggio. In funzione dell' incidenza della viticoltura in ciascun area di dettaglio (quadrante) (Tab. 4) si riscontrano i casi in cui la viticoltura ha un' incidenza inferiore al 10%, 20% e al 30%. In nessun caso la viticoltura supera il 40% della SAU.

Tab. 4 – Superficie vitata ed incidenza percentuale della coltivazione della vite nelle 9 aree dettaglio (400 ha) per l' aree vasta *collina interna*.

AREA VASTA COLLINA INTERNA (2008)	SAU (ha)	SUPERFICIE VITATA (ha)	INCIDENZA VITICOLA (%)	RANGE INCIDENZA
AREA DI DETTAGLIO				
1	171,87	19,05	11,08%	<20%
2	166,01	22,9	13,79%	<20%
3	256,21	15,23	5,94%	<10%
4	169,92	18,85	11,09%	<20%
5	193,65	43,85	22,64%	<30%
6	265,05	31	11,70%	<20%
7	120,64	25,92	21,49%	<30%
8	280,92	7,26	2,58%	<10%
9	282,29	23,89	8,46%	<10%

Analizzando i valori assunti dagli indici metrici NP (numerosità delle tessere), MPS- (superficie media delle tessere) incidenza delle diverse classi di uso del suolo, etc (Tab.5), che consentono di valutare la maggiore complessità ed eterogeneità del mosaico ambientale in tali aree a maggior/minor concentrazione di superficie vitata, si è giunti alla classificazione di **Aree con stabilità ambientale a rischio** e **Aree in equilibrio**.

Sono definite **Aree in equilibrio**, le aree caratterizzate da superfici medie delle tessere (MPS) a vigneto inferiori ad 1 ha e inserite in un ambiente dal forte carattere naturale (le classi degli elementi naturaliformi e delle aree boscate mostrano tra i valori più elevati di incidenza) a cui è associato anche un alto valore della diversità di uso del suolo (NP) e della biodiversità (indice di Shannon-SDI). Si identifica così un ecomosaico eterogeneo e frammentato. In questa classificazione rientrano le aree in cui l'incidenza della viticoltura sulla SAU è per lo più inferiore al 20% (aree di dettaglio 1, 2, 4 e 6) e l'area di dettaglio 5 in cui la viticoltura ha l'incidenza più alta riscontrata in nell'area vasta di Montefiascone (27,5 %). Sono aree che si differenziano tuttavia per l'incidenza dello sviluppo urbano. In particolare dove questo risulta più elevato (aree di dettaglio 1 e 4) la viticoltura specializzata, quale classe prevalente di uso del suolo, risulta fortemente connessa alla matrice urbana. In questo caso la rete ecologica è in parte compromessa (Fig. 6). **L'Area con stabilità ambientale a rischio** individuata è l'area di dettaglio 7. Questa è un area caratterizzata da una bassa diversità uso del suolo (numerosità delle tessere ridotta) (Tab.5), e da una elevata incidenza viticola (< 30%) , con una superficie media dei sistemi vigneto di 3,24 ha. Vigneti specializzati di grandi dimensioni, l'assenza di forme di agricoltura tradizionale (viticoltura e olivicoltura promiscua) e di elementi naturaliformi, aree boscate particolarmente estese, e una forte espansione urbana (+ 305,0% tra 2000 - 2008) concorrono a definire un mosaico paesaggistico omogeneo, povero in biodiversità e quindi soggetto ad instabilità ecologica (Fig. 6).

Tab. 5 – Indici metrici del paesaggio per le 9 aree di dettaglio (400 ha) dell’area vasta collina interna (fotointerpretazione 2008)

AREA VASTA COLLINA INTERNA		NUMERO DELLE PATCHES NP							
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	57	18	50	23	29	61	16	2	62,00
2	61	9	23	4	30	54	5	5	67,00
3	59	9	53	12	25	60	2	31	75,00
4	35	8	45	11	29	36	3	4	42,00
5	64	27	70	15	44	68	0	17	53,50
6	83	20	87	16	22	54	5	41	73,00
7	8	0	13	1	9	14	0	0	11,50
8	35	30	64	25	15	55	4	27	0,00
9	42	15	56	19	20	45	1	13	0,00
AREA VASTA COLLINA INTERNA		DENSITÀ DELLE PATCHES PD							
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	€ 299,21	€ 271,49	€ 206,78	€ 210,43	€ 22,44	€ 546,59	€ 1.134,75	€ 666,67	94,33
2	€ 266,38	€ 430,62	€ 223,08	€ 392,16	€ 47,38	€ 407,85	€ 588,24	€ 91,41	108,60
3	€ 387,39	€ 489,13	€ 277,92	€ 175,95	€ 53,57	€ 363,42	€ 540,54	€ 171,56	77,25
4	€ 185,68	€ 490,80	€ 106,66	€ 98,83	€ 24,77	€ 425,03	€ 833,33	€ 239,52	145,28
5	€ 145,95	€ 285,11	€ 181,54	€ 217,71	€ 33,43	€ 537,97	€ 0,00	€ 345,53	153,62
6	€ 267,74	€ 247,52	€ 154,64	€ 243,53	€ 61,40	€ 381,09	€ 505,05	€ 233,62	103,90
7	€ 30,86	€ 0,00	€ 55,67	€ 17,12	€ 4,64	€ 220,47	€ 0,00	€ 0,00	49,89
8	€ 482,09	€ 148,96	€ 108,07	€ 85,09	€ 29,33	€ 438,60	€ 1.333,33	€ 246,58	84,66
9	€ 175,81	€ 224,55	€ 107,38	€ 89,58	€ 28,81	€ 262,85	€ 294,12	€ 310,26	471,23
AREA VASTA COLLINA INTERNA		SUPERFICIE MEDIA DELLE TESSERE (ha) MPS							
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	0,33	0,37	0,48	0,48	4,46	0,18	0,09	0,15	1,49
2	0,38	0,23	0,45	0,25	2,11	0,25	0,17	1,09	0,99
3	0,26	0,2	0,36	0,57	1,87	0,28	0,18	0,58	1,60
4	0,54	0,2	0,94	1,01	4,04	0,24	0,12	0,42	0,82
5	0,69	0,35	0,55	0,46	2,99	0,19	0	0,29	0,71
6	0,37	0,4	0,65	0,41	1,63	0,26	0,2	0,43	1,03
7	3,24	0	1,8	5,84	21,54	0,45	0	0	2,93
8	0,21	0,67	0,93	1,18	3,41	0,23	0,08	0,41	1,67
9	0,57	0,45	0,93	1,12	3,47	0,38	0,34	0,32	1,46
AREA VASTA COLLINA INTERNA		DENSITA' DEI MARGINI ED							
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	36,02	12,06	37,46	18,83	114,08	57,37	8,42	2,32	83,11
2	41,49	4,76	18,11	2,14	85,68	43,95	3,28	11,31	83,30
3	31,22	4,54	34,63	10,42	62,73	66,83	2,12	54,61	106,88
4	27,40	4,24	57,54	13,79	96,09	43,81	2,17	6,02	44,03
5	57,91	17067,00	58,84	12,53	110,53	63,67	0,00	20,64	51,02
6	56,80	14,37	87,01	12,81	52,76	52,15	5,22	66,99	79,09
7	15,60	0,00	20,35	3,54	55,55	23,09	0,00	0,00	21,43
8	17,51	27,28	74,56	30,17	46,31	52059,00	2,72	37,32	72,04
9	33,97	10,02	66,60	21,17	71,90	62,13	1,20	16,59	85,78
AREA VASTA COLLINA INTERNA		PERIMETRO MEDIO DELLE TESSERE (m) MPE							
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	256,83	272,27	304,42	332,72	1598,64	382,20	213,94	470,54	585,26
2	272,71	212,19	315,73	214,10	1145,09	326,33	262,96	906,84	531,28
3	210,42	4,54	34,63	10,42	62,73	66,83	421,87	700,58	640,80
4	312,58	211,44	510,57	500,48	1323,19	486,00	289,34	601,22	442,71
5	361,40	261,39	335,74	333,56	1003,29	373,97	0,00	484,99	460,62
6	272,86	286,57	398,76	319,25	956,13	385,05	416,55	651,49	466,74
7	775,51	0,00	622,73	1409,81	2455,18	656,19	0,00	0,00	781,56
8	199,69	363,09	465,10	481,80	1232,55	381,74	271,32	551,91	598,09
9	326,28	269,59	479,80	449,39	1450,26	556,96	485,32	514,82	608,66
AREA VASTA COLLINA INTERNA		COMPLESSITA' DELLA FORMA MSI							
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	1,38	1,37	1,40	1,49	2,50	2,47	2,05	3,07	1,64
2	1,42	1,32	1,49	1,24	2,48	2,02	1,88	2,85	1,62
3	1,34	1,34	1,34	1,42	2,16	2,44	2,62	2,60	1,64
4	1,41	1,44	1,58	1,50	2,37	2,82	2,29	3,04	1,53
5	1,35	1,29	1,44	1,69	2,21	2,52	0,00	2,63	1,53
6	1,35	1,37	1,48	1,49	2,26	2,16	2,66	2,91	1,53
7	1,40	0,00	1,49	1,65	2,09	2,70	0,00	0,00	1,69
8	1,39	1,35	1,50	1,46	2,37	2,42	2,78	2,73	1,53
9	1,44	1,41	1,54	1,45	2,39	2,61	2,34	2,60	1,63
AREA VASTA COLLINA INTERNA		PERIMETRO TOTALE DELLE TESSERE (m) TE							
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	14639,29	4900,92	15220,87	7652,50	46360,47	23314,42	3423,06	941,09	33772,84
2	16635,16	1909,67	7261,83	856,39	34352,57	17622,01	1314,79	4534,21	33399,12
3	12414,88	180481,00	13773,76	4145,35	24950,44	26577,81	843,74	21718,13	42507,46
4	10940,28	1691,50	22975,62	5505,30	38372,58	17495,88	868,03	2404,88	17583,41
5	23129,33	7057,45	23501,62	5003,40	44144,94	25429,86	0,00	8244,88	20375,63
6	22647,32	5731,47	34692,08	5107,99	21034,85	20792,73	2082,74	26710,69	31531,95
7	6204,11	0,00	8095,48	1409,81	22096,58	9186,71	0,00	0,00	8522,23
8	6989,28	10892,72	29766,53	12045,04	18488,30	20995,60	1085,27	14901,52	28760,93
9	13703,89	4043,91	26869,07	8538,37	29005,24	25063,22	485,32	6692,70	34601,75

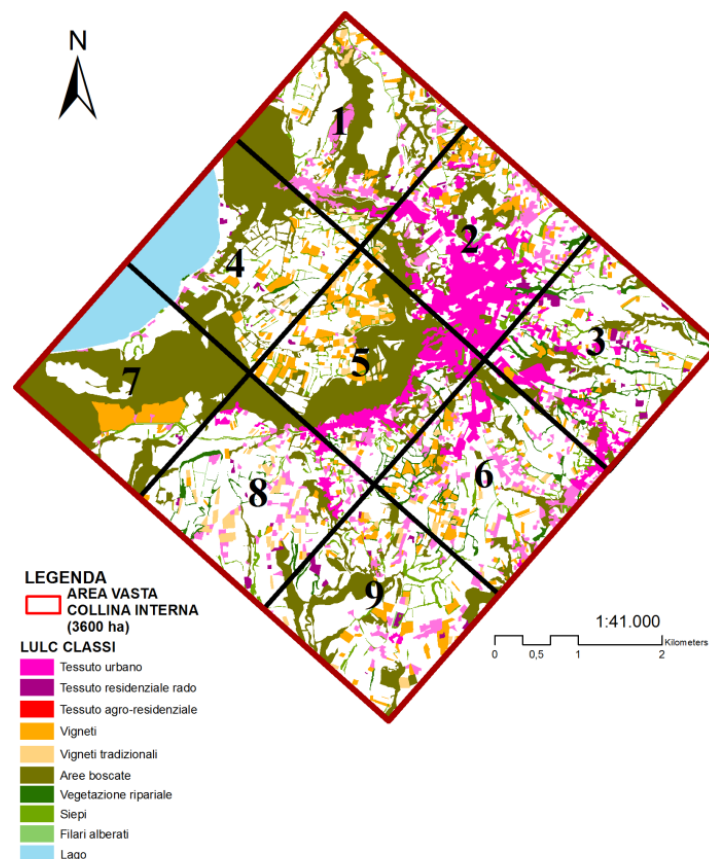


Fig.6 – Aree vitate, tessuto urbano e infrastrutture ecologiche delle 9 aree di dettaglio della zona vasta collina interna.

In particolare, è stata riscontrata la relazione esistente tra l'aumento dell'incidenza della superficie viticola sulla SAU e l'aumento della superficie media dell'unità vitata (Fig.7). La relazione è esponenziale, per cui all'aumentare dell'incidenza della viticoltura sul territorio questa tende a svilupparsi su superfici di maggiori dimensioni o a frammentarsi in numerose e piccole superfici con effetti diversi sulla stabilità ambientale. Le due aree di dettaglio con incidenza della viticoltura sulla SAU minore al 30% si differenziano proprio in relazione alla superficie media delle tessere a vigneto: ampia per la zona di dettaglio 7, area con instabilità ambientale a rischio, e ridotta per la zona di dettaglio 5, area in equilibrio.

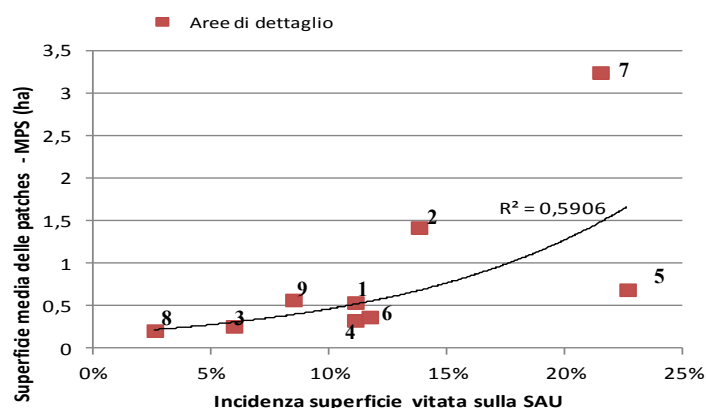


Fig.7 – Andamento della superficie media delle tessere a vigneto (ha) in funzione dell'incidenza della superficie vitata sulla SAU.

La qualità del paesaggio è quindi stata anche valutata attraverso gli indici di diversità del paesaggio che consentono di definire la diversità degli elementi costitutivi del paesaggio (l'indice di diversità di Shannon - SDI) e quanto un sistema, a prescindere dal numero di elementi che contiene, si avvicini al perfetto equilibrio fra le estensioni relative delle diverse tipologie ambientali (indice di uniformità di Simpson - SEI). In particolare per le **Aree con stabilità ambientale a rischio** (quadrante 7) si riscontrano valori bassi per questi indici di diversità (Fig. 8), evidenziando un elevato rischio di depauperamento della biodiversità del paesaggio in concomitanza alla forte incidenza di una viticoltura specializzata, condotta su grandi superficie, di colture industriali, ed al notevole sviluppo urbano (Fig. 8).

**Diversità del paesaggio
nelle 9 aree di dettaglio per l'area vasta
collina interna**
(fotointerpretazione foto aeree 2008)

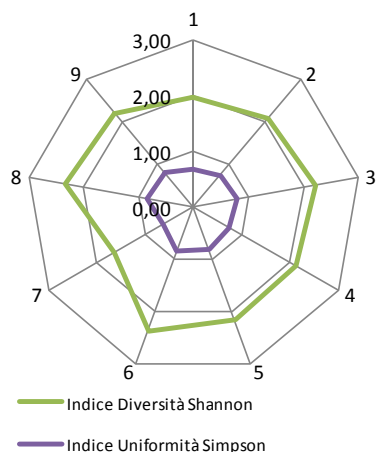


Fig.8 – Indice di diversità (SDI) e uniformità (SEI) del paesaggio per le aree di dettaglio dell'area vasta *collina interna*.

4.1.4 Il paesaggio di continuità del vigneto

Lo studio del paesaggio viticolo ha riguardato anche la misura della biodiversità associata alle unità vitate. In particolare, vista la complessità associata ai margini delle tessere a vigneto (Tab. 2b), lo studio ha focalizzato la sua attenzione sull'area circostante il perimetro del vigneto (fascia tampone) per un'estensione di 25m (Fig.9 e Tab. 6). Questo spazio può essere definito come il paesaggio di continuità del vigneto.

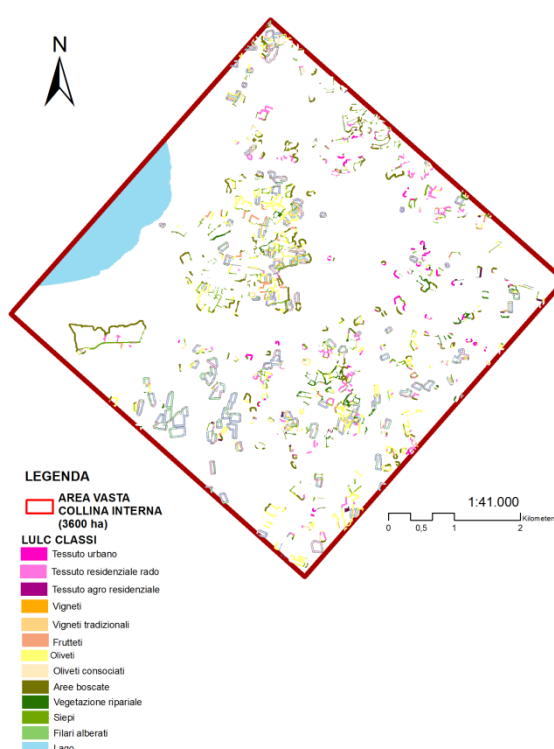


Fig. 9 – Uso del suolo della fascia tampone (*buffer*) circostante le unità vitate (25m di profondità) per l'area vasta *collina interna*.

Dall'analisi dell'uso del suolo (Tab.6) della fascia tampone emerge che la fascia tampone circostante sia i vigneti specializzati che i tradizionali è interessata per un terzo del perimetro e un quarto dell'area dalla presenza di infrastrutture ecologiche, o altre colture arboree permanenti (oliveti e frutteti). Contenuti i valori associati al tessuto urbano.

Tab. 6 – Uso del suolo della fascia tampone (25 m profondità) circostante l'unità vitata – area vasta *collina interna*

USO DEL SUOLO FASCIA TAMPONE VIGNETI MODERNI

UDS	Area (ha)	Perimetro (Km)	% Area	% Perimetro
TESSUTO URBANO	39,02	57,80	12,15%	12,81%
ZONA BOSCATO	40,86	53,82	12,72%	11,93%
FILARI E E SIEPI	27,13	60,15	8,44%	13,33%
OLIVETI E FRUTTETI	73,02	89,06	22,73%	19,74%
FORMAZIONI RIPARIALI	14,20	24,96	4,42%	5,53%
VIGNETI SPECIALIZZATI	0,00	0,00	0,00%	0,00%
VIGNETI TRADIZIONALI	8,05	10,75	2,51%	2,38%
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	118,98	154,58	37,04%	34,27%
TOTALE	321,26	451,13	100,00%	100,00%

USO DEL SUOLO FASCIA TAMPONE VIGNETI TRADIZIONALI

UDS	Area (ha)	Perimetro (Km)	% Area	% Perimetro
TESSUTO URBANO	11,89	17,23	11,34%	12,12%
ZONA BOSCATO	11,05	13,57	10,53%	9,55%
FILARI E E SIEPI	6,22	14,07	5,93%	9,90%
OLIVETI E FRUTTETI	35,71	41,59	34,06%	29,26%
FORMAZIONI RIPARIALI	3,49	7,29	3,32%	5,13%
VIGNETI SPECIALIZZATI	8,72	11,55	8,31%	8,13%
VIGNETI TRADIZIONALI	0,00	0,00	0,00%	0,00%
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	27,79	36,81	26,50%	25,90%
TOTALE	104,86	142,10	100,00%	100,00%

4.2 Il paesaggio viticolo della *pianura costiera*

4.2.1 Analisi metrica del paesaggio (area vasta)

L'ecomosaico ambientale ottenuto da fotointerpretazione di orto foto (2008) rivela un'area a prevalenza di seminativi e con un elevato livello di antropizzazione (tessuto urbano) (Fig.10). Tuttavia, la coltivazione della vite, con i suoi 349,51 ha di superficie, soprattutto nella forma di impianti specializzati, è la principale classe tra le colture permanenti rappresentando circa il 11,1 % della SAT (Fig.10).

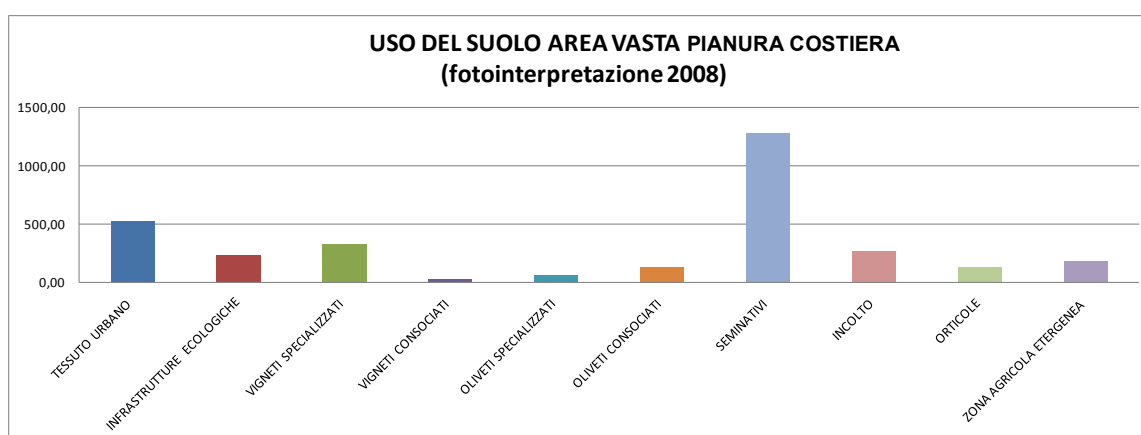


Fig.10 – Uso del suolo di dettaglio (scala 1:2000) dell'area vasta *pianura costiera*, derivante da fotointerpretazione (ortofoto 2008).

La presenza di infrastrutture ecologiche, quali siepi, filari alberati, macchia mediterranea, aree boscate etc. risulta particolarmente ridotta appena il 7,1% della superficie totale dell'area (Fig.10). In particolare le zone boscate e la macchia mediterranea raggiungono appena i 30 ha di superficie ciascuno, rappresentando rispettivamente il 1 e 0,9 % della SAT.

La diagnosi dello stato del paesaggio che deriva da tale studio mette in evidenza un ambiente semplificato, con poche tessere di mosaico e di dimensioni medie maggiori di 1 ettaro (Tab.7). Basso anche il valore assunto dagli indici metrici di complessità della forma e diversità del paesaggio (Tab.7).

Tab. 7 - Principali indici metrici del paesaggio valutati per l'area vasta *pianura costiera*.

INDICI DI STRUTTURA	Definizione	Valore assunto
Numerosità delle tessere (NP)	A valori elevati corrisponde una elevata diversità del paesaggio	2936, 00
Superficie media delle tessere_ (MPS)	Ad alti valori (ha) di tale indice corrisponde un paesaggio omogeneo	1,15
INDICI DI FORMA E DIVERSITÀ		
Complessità della forma (MSI)	Compreso nel range 0-1, assume valore 1 quando la forma delle tessere è circolare o quadrata.	1,72
Diversità di Shannon (SDI)	Varia da 0 d infinito ed fornisce informazioni circa la diversità degli elementi costitutivi del paesaggio	2,42
Uniformità di Simpson (SEI)	Assume valori tra 0 e 1, Valori dell'indice prossimi a 1, indicano un paesaggio in equilibrio in quanto formato da elementi con estensioni relative simili	0,67

Dalla valutazione della distribuzione spaziale del paesaggio della vite nell' area costiera (Fig.11) emerge la ridotta numerosità delle tessere a vigneto, a cui sono associate dimensioni medie rilevanti (>1 ha). Inoltre le tessere a vigneto caratterizzati da una forma di allevamento a spalliera sono più frammentate e con dimensioni ridotte rispetto ai vigneti con forma di allevamento a tendone.

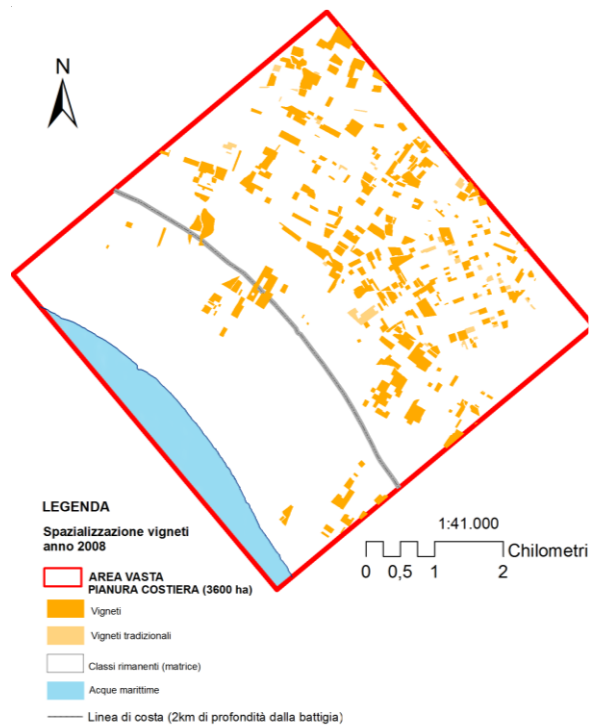
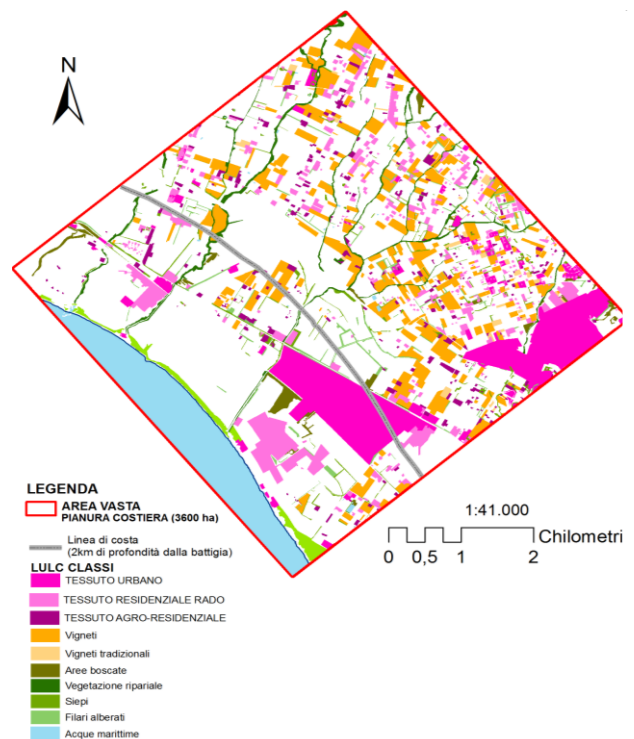


Fig. 11 – Spazializzazione dei vigneti per l'area vasta *pianura costiera*, ottenuta da foto interpretazione di orto foto (2008).

Fig.12 – Ecomosaico ambientale dell'area vasta *pianura costiera*, ottenuto da foto interpretazione di orto foto (2008).



L'ecomosaico ambientale risulta particolarmente omogeneo (Fig.12), con valori ridotti di densità dei margini e scarsa differenziazione ed estensione delle classi di uso del suolo (Tab. 8a, b e c). La viticoltura concorre ad accrescere la complessità dell'ecomosaico ambientale, come mostrano i valori degli indici metrici del paesaggio (Tab. 7a, b, c). In particolare la classe dei vigneti presenta elevati valori di numerosità delle tessere (NP) (Tab. 8a), soprattutto i vigneti tradizionali appaiono fortemente frammentati (elevati valori di PD e ridotta superficie MPS). Inoltre i valori elevati per PSSD, PSCoV e MedPS evidenziano l'ampia variabilità associata alle superfici a vigneto.

Tab. 8a - Indici metrici di configurazione del paesaggio per ciascun uso del suolo per l'area vasta *pianura costiera*, ricavati dalla foto interpretazione di orto foto (2008). (NP: numerosità delle tessere, PD: densità delle tessere, MPS: superficie media delle tessere, PSCoV: coefficiente di variazione dell'area delle tessere, PSSD: valore della deviazione standard dell'area delle tessere, MedPS: valore della mediana della dimensione delle tessere).

CLASSI LULC	INDICI METRICI DI CONFIGURAZIONE					
	NP	PD	MPS	PSCoV	PSSD	MedPS
TESSUTO URBANO	4,00	1,52	66,00	99,47	65,65	60,20
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	388,00	204,53	0,49	478,25	2,34	0,17
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	297,00	435,91	0,23	119,04	0,27	0,14
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	625,00	40,04	2,53	227,35	3,29	2,59
VIGNETI	317,00	95,54	1,05	235,57	3,10	4,86
VIGNETI TRADIZIONALI	35,00	224,23	0,45	75,29	0,19	3,30
OLIVETI	125,00	199,97	0,50	174,09	0,73	1,50
COLTURE ASSOC. OLIVO	134,00	106,59	0,94	141,21	0,57	2,43
FRUTTETI	24,00	178,52	0,56	111,56	0,45	2,01
ZONA BOSCATI	27,00	86,07	1,16	193,05	1,86	1,50
FORMAZIONI RIPARIALI	63,00	98,13	1,02	95,52	0,77	1,31
MACCHIA	12,00	40,02	2,50	84,08	0,55	1,53
FILARI ALBERATI	156,00	336,51	0,30	120,49	0,26	1,30
SIEPE	197,00	384,93	0,26	129,15	0,23	2,08
COLTURE IN SERRA	33,00	94,57	1,06	47,29	0,37	1,36
COLTURE ORTICOLE PIENO CAMPO	50,00	56,61	1,77	0,00	0,00	1,81

Tab. 8b - Indici metrici di complessità dei margini delle tessere di ciascun uso del suolo per l'area vasta *pianura costiera*, ricavati dalla foto interpretazione di orto foto (2008). (TE: perimetro totale delle tessere (m), MPE: perimetro medio delle tessere, ED: densità dei margini).

CLASSI LULC	INDICI METRICI COMPLESSITÀ DEI MARGINI		
	TE	MPE	ED
TESSUTO URBANO	15583,20	3895,80	4,61
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	98665,28	254,29	29,17
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	58217,26	196,02	17,21
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	407285,27	740,69	40,13
VIGNETI	135929,10	428,80	40,18
VIGNETI TRADIZIONALI	10249,03	292,83	3,03
OLIVETI	40308,82	322,47	11,92
COLTURE ASSOC. OLIVO	61111,28	456,05	18,07
FRUTTETI	7973,17	332,22	2,36
ZONA BOSCATI	19736,66	730,99	5,83
FORMAZIONI RIPARIALI	74838,48	1187,91	22,12
MACCHIA	11440,56	953,38	3,38
FILARI ALBERATI	75278,77	482,56	22,25
SIEPE	82690,07	419,75	24,44
COLTURE IN SERRA	13977,59	423,56	4,13
COLTURE ORTICOLE PIENO CAMPO	29405,42	588,11	8,69

Tab. 8c - Indici metrici di complessità della forma delle tessere di ciascun uso del suolo per l'area vasta *pianura costiera*, ricavati dalla foto interpretazione di orto foto (2008). (MSI: complessità della forma delle tessere, AWMSI: complessità della forma pesata sulla dimensione delle tessere, MPAR: rapporto tra la somma dei perimetri e delle aree delle tessere, MPFD: dimensione frattale media delle tessere; AWMPPD: complessità ambientale pesata sulla dimensione delle tessere).

CLASSILULC	INDICI METRICI DI COMPLESSITÀ DELLA FORMA				
	MSI	AWMSI	MPAR	MPFD	AWMPFD
TESSUTO URBANO	1,66	1,66	309,30	1,31	1,26
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1,29	1,29	1664,08	1,41	1,35
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	1,30	1,30	2333,39	1,43	1,38
AREE AGRICOLE E SEMINANTURALI RIMANENTI	1,60	1,67	1799,22	1,39	1,34
VIGNETI	1,31	1,57	706,45	1,35	1,32
VIGNETI TRADIZIONALI	1,31	1,41	806,19	1,37	1,36
OLIVETI	1,40	1,68	1071,59	1,40	1,37
COLTURE ASSOC. OLIVO	1,44	1,61	1790,74	1,38	1,35
FRUTTETI	1,32	1,41	791,80	1,37	1,35
ZONA BOSCATI	2,08	2,50	982,77	1,45	1,42
FORMAZIONI RIPARIALI	3,30	3,78	4357,52	1,57	1,55
MACCHIA	1,96	1,40	9354,54	1,52	1,39
FILARI ALBERATI	2,50	3,04	2240,32	1,57	1,56
SIEPE	2,43	2,76	2875,81	1,56	1,53
COLTURE IN SERRA	1,33	3,04	663,87	1,36	1,32
COLTURE ORTICOLE PIENO CAMPO	1,38	1,83	516,26	1,34	1,32

I vigneti specializzati e tradizionali mostrano inoltre valori elevati per indici di complessità della forma e dei margini (Tab. 8c e 8b, rispettivamente). In particolare quelli specializzati mostrano una maggiore eterogeneità legata ai margini, indice di un maggior contatto con altri usi del suolo.

La rete ecologica dell'area appare molto semplificata (Fig.12), soprattutto in termini di filari e siepi, elementi importanti per la connettività ecologica dell'ambiente.

4.2.2 Analisi diacronica e dinamiche di trasformazione del paesaggio

Le dinamiche di trasformazione dell'uso del suolo analizzate nell'arco temporale di riferimento (2000-2008), evidenziano un'erosione contenuta della superficie vitata di 37,22 ha pari al 10% (1,3% anno rispetto alla media regionale del 4,6% - Fonte Istat 2010). I vigneti consociati rimangono pressoché stabili (Fig.13).

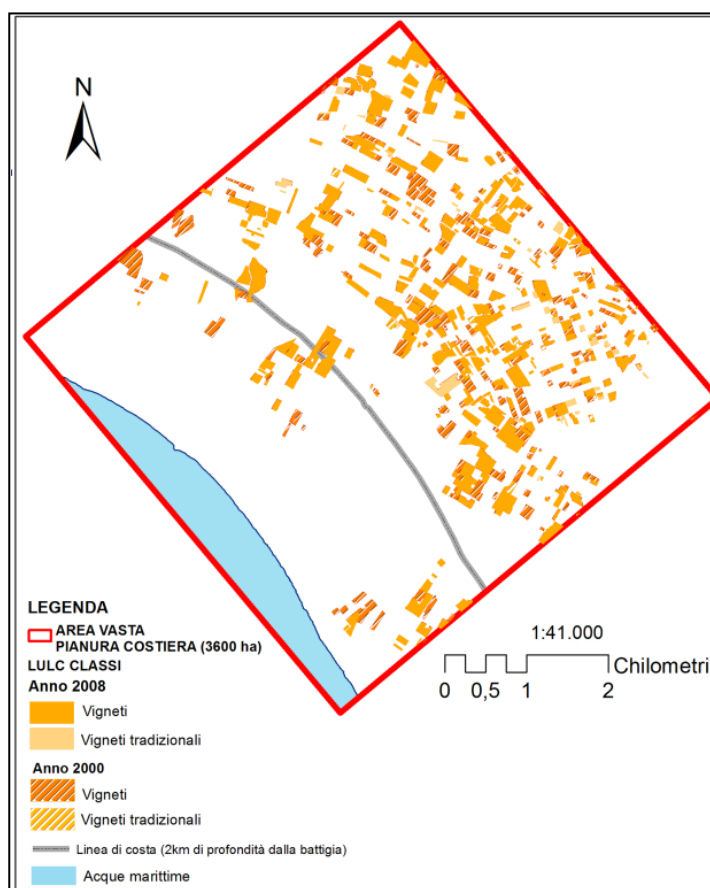


Fig. 13 – Dinamica di trasformazione delle superficie investite a vigneto per l'area vasta *pianura costiera*, per l'arco temporale 2000-2008. Tratteggiate le superfici erose.

Dalla matrice di trasformazione dell'uso del suolo (Tab.9) per il periodo 2000-2008, è possibile effettuare la lettura dei cambiamenti quantitativi e qualitativi per le varie classi di uso del suolo individuate.

In particolare sono 213,79 gli ettari di superficie a vigneto che persistono sulla stessa area, mentre i nuovi vigneti specializzati derivano soprattutto da spazi precedentemente destinati ad incolti e colture industriali. Le superfici a vigneto erose, circa 37 ha di vigneti specializzati, sono convertiti soprattutto in tessuto urbano e colture industriali (seminativi irrigui e non irrigui, ortive), usi del suolo che richiedono elevati input tecnologici e che concorrono a definire un paesaggio semplificato, omogeneo, fragile.

Tale area, risulta particolarmente soggetta ai processi di urbanizzazione, evidenziando un incremento dello sviluppo urbano del 64,4%. Tale processo di urbanizzazione e cementificazione interessa in modo particolare la zona inclusa nella linea di costa (2,5 km dalla battigia), dove ben 268,5 ha di macchia mediterranea si sono persi (-90% tra il 2000 e il 2008) a favore del tessuto urbano.

La rete ecologica, garantita dalle infrastrutture ecologiche come gli elementi lineari (siepi e filari alberati), le formazioni ripariali e le aree boscate, rimane abbastanza stabile, sebbene altamente frammentata.

Tab. 9 – Matrice di trasformazione area vasta *pianura costiera*. (Superficie in ettari)

Area vasta <i>pianura costiera</i> (fotointerpretazione 2000)	boschi	siepi e filari alberati	formazioni ripariali	macchia mediterranea	aree urbane e periurbane	vigneti in consociazione	oliveti	vigneti	frutteti	altre classi	superficie 2000
Area vasta <i>pianura costiera</i> (fotointerpretazione 2008)	boschi	11,51	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	1,74	13,71
	siepi e filari alberati	4,16	23,46	0,75	0,00	9,14	0,34	0,76	2,32	0,07	64,04
	formazioni ripariali	1,79	5,07	41,69	0,00	1,82	0,01	0,71	2,20	0,22	69,03
	macchia mediterranea	4,87	1,34	4,97	16,78	50,55	0,00	0,22	0,13	0,02	298,52
	aree urbane e periurbane	0,00	0,00	0,00	0,00	308,23	0,00	0,00	0,00	0,00	317,51
	vigneti in consociazione	0,00	0,04	0,53	0,00	0,433	2,28	1,41	2,23	0,57	12,03
	oliveti	0,22	0,00	0,21	0,00	3,66	0,63	16,86	2,77	0,00	42,25
	vigneti	0,51	4,27	2,01	0,00	19,39	4,30	3,15	213,79	5,99	369,02
	frutteti	0,00	1,15	0,15	0,00	1,39	0,00	4,17	2,70	10,56	22,65
	altre classi	8,31	62,21	13,88	13,20	126,79	10,16	35,24	105,66	6,00	1372,73
superficie 2008	31,37	97,54	64,20	29,98	521,84	17,71	62,51	331,80	13,44	1.782,54	

4.2.3 Analisi metrica del paesaggio (aree di dettaglio)

Anche per le 9 aree di dettaglio (400 ha) in cui è stata divisa l'area vasta *pianura costiera* si è condotta l'analisi metrica del paesaggio. In funzione dell'incidenza della viticoltura sulla SAU in ciascun quadrante si riscontrano due casi: aree di dettaglio aree 1,3,4,5 – Tab. 10,11 Fig. 14) in cui la viticoltura ha un'incidenza mediamente compresa tra il 10 e il 20%, e aree in cui la viticoltura ha un'incidenza inferiore al 10% (aree 7,8 e 9 – Tab.10,11 e Fig. 14). Due sole le aree dove la viticoltura è più diffusa (aree 2 e 6) con incidenza compresa tra il 20 e 30%.

Tab.10 – Superficie vitata ed incidenza della coltivazione della vite nelle 9 aree di dettaglio (400 ha) per l'area vasta *pianura costiera*.

AREA VASTA PIANURA COSTIERA	SAU (ha)	SUPERFICIE VITATA (ha)	INCIDENZA VITICOLA (%)	RANGE INCIDENZA
AREE DI DETTAGLIO				
1	318,21	62,18	19,54%	<20%
2	295,61	79,14	26,77%	<30%
3	202,97	34,67	17,08%	<20%
4	334,04	35,31	10,57%	<20%
5	325,17	49,94	15,36%	<20%
6	246,91	52,74	21,36%	<30%
7	273,61	1,24	0,45%	<10%
8	203,31	2,93	1,44%	<10%
9	177,66	13,63	7,67%	<10%

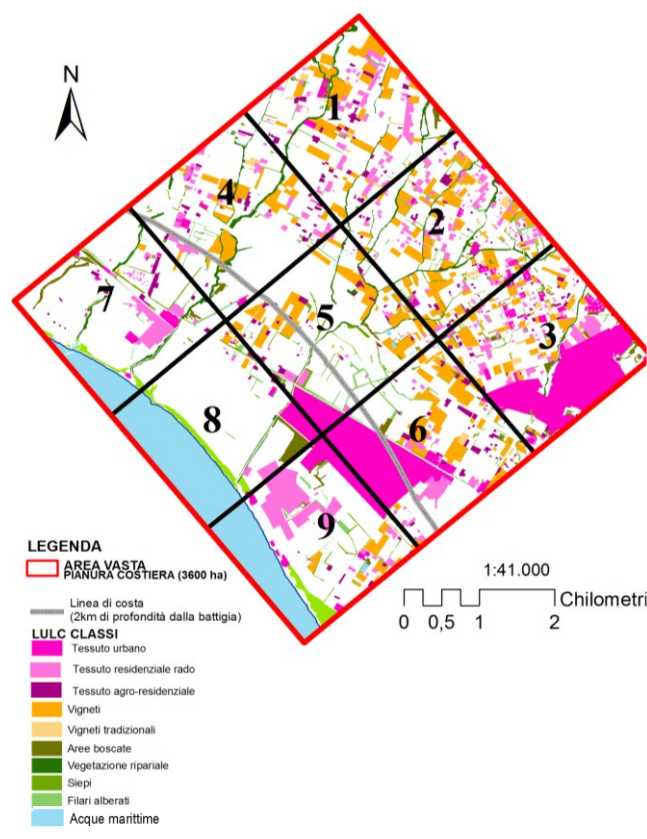


Fig.14 – Aree vitate, urbane e infrastrutture ecologiche delle 9 aree di dettaglio della area vasta *pianura costiera*.

Dove la viticoltura ha un' incidenza maggiore del 10%, e la superficie media delle tessere a vigneto si mantiene bassa (≤ 1 ha), ed anche le infrastrutture ecologiche sono bene conservate, si ha una maggiore complessità ed eterogeneità del mosaico ambientale da cui deriva la stabilità – **aree in equilibrio**.

Dove la viticoltura ha un' incidenza minore del 10% - spazio entro la linee di costa - le colture industriali tendono ad omogeneizzare l'ecomosaico riducendo sia la biodiversità coltivata che quella naturale – **aree con stabilità ambientale a rischio**. Inoltre, in tale contesto ambientale la macchia mediterranea risulta erose da parte dell'intenso sviluppo urbano.

Dove la viticoltura raggiunge il massimo in termini di incidenza percentuale sulla SAU (26,77%) (aree di dettaglio 2 e 6), con dimensioni medie delle patches a vigneto inferiori ad 1 ha, e le infrastrutture ecologiche sono ben conservate , la stabilità e la diversità dell'ecosistema risultano particolarmente rinforzate - **aree in equilibrio**.

Tab. 11 – Indici metrici del paesaggio per le 9 aree di dettaglio (400 ha) dell’area vasta *pianura costiera* (fotointerpretazione 2008).

AREA VASTA PIANURA COSTIERA		NUMERO DELLE TESSERE								
		NP								
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATA	MACCHIA MEDITERRANEA	SIEPI	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	41	8	19	27	1	0	16	17	12	31,5
2	97	8	40	32	2	0	46	39	18	50
3	55	4	23	47	10	0	40	27	6	57,5
4	27	2	18	11	1	0	23	20	14	37
5	54	1	17	4	2	0	32	19	9	42,5
6	49	3	11	15	1	0	42	0	0	37,5
7	3	0	2	7	5	9	12	13	14	34
8	6	0	4	1	1	2	8	10	4	18
9	15	0	0	2	5	2	17	10	0	34
AREA VASTA PIANURA COSTIERA		DENSITA' DELLE TESSERE								
		PD								
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATA	MACCHIA MEDITERRANEA	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	65,94	235,99	173,20	89,94	48,54	0,00	432,43	521,47	80,81	78,62
2	122,57	197,53	206,50	112,36	259,74	0,00	717,63	436,24	130,81	92,75
3	158,64	65,90	221,58	131,03	198,81	0,00	579,71	671,64	194,17	143,17
4	76,47	128,21	306,64	94,83	77,52	0,00	491,45	561,80	102,64	56,55
5	108,13	344,83	171,37	261,44	190,48	0,00	205,00	182,52	116,58	11,35
6	92,89	142,86	283,51	182,04	48,08	0,00	397,73	0,00	0,00	67,36
7	241,94	0,00	178,57	92,35	69,93	163,04	283,02	436,24	152,34	78,97
8	204,78	0,00	400,00	54,35	11,68	15,58	402,01	363,64	206,19	52,92
9	110,05	0,00	0,00	377,36	148,37	17,23	409,64	295,86	0,00	60,63
AREA VASTA PIANURA COSTIERA		SUPERFICIE MEDIA DELLE TESSERE (ha)								
		MPS								
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATA	MACCHIA MEDITERRANEA	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	1,52	0,42	0,58	1,11	2,06	0	0,23	0,19	1,24	1,695
2	0,82	0,51	0,48	0,89	0,38	0	0,14	0,23	0,92	1,28
3	0,63	0,36	0,45	0,76	0,5	0	0,17	0,15	0,52	0,865
4	1,31	0,78	0,33	1,05	1,29	0	0,2	0,18	0,97	2,515
5	0,92	0,29	0,58	0,38	0,53	0	0,49	0,55	0,86	2,515
6	1,08	0,7	0,35	0,55	2,08	0	0,31	0	0	2,145
7	0,41	0	0,56	1,08	1,43	0,61	0,35	0,23	0,66	3,7
8	0,49	0	0,25	1,84	8,56	6,42	0,25	0,28	0,48	7,23
9	0,91	0	0	0,27	0,67	5,81	0,24	0,34	0	2,315
AREA VASTA PIANURA COSTIERA		DENSITA' DEI MARGINI								
		ED								
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATA	MACCHIA MEDITERRANEA	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	52,37	6,56	15,87	31,20	2,01	0,00	14,00	14,10	40,82	52,69
2	88,66	5,50	29,35	35,14	2,12	0,00	34,08	35,92	42,84	64,96
3	43,84	10,65	16,97	47,94	10,92	0,00	28,48	19,52	10,76	59,07
4	32,55	1,94	11,21	12,36	1,93	0,00	20,66	16,95	29,25	68,00
5	52,03	0,55	15,39	2,83	2,27	0,00	40,87	38,58	25,56	71,07
6	51,00	0,55	6,86	12,45	1,96	0,00	21,83	0,00	0,00	55,89
7	2,34	0,00	1,77	11,39	15,12	10,22	18,87	13,53	27,78	65,99
8	6,34	0,00	3,45	2,01	7,99	18,51	14,20	14,86	15,73	50,86
9	19,69	0,00	0,01	1,42	12,31	9,28	34,04	13,61	0,00	64,11
AREA VASTA PIANURA COSTIERA		PERIMETRO MEDIO PATCHES								
		MPE								
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATA	MACCHIA MEDITERRANEA	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	511,98	328,72	334,73	463,18	805,16	0,00	350,60	332,33	1363,55	580,24
2	389,21	292,54	312,48	467,61	451,48	0,00	315,48	392,16	1216,18	540,79
3	322,45	253,53	298,56	412,65	441,74	0,00	288,09	292,44	725,40	417,88
4	484,15	389,84	250,00	451,26	773,62	0,00	360,79	340,43	839,14	693,25
5	393,53	224,81	369,65	288,92	463,56	0,00	521,55	829,19	1159,91	649,17
6	417,40	218,98	250,17	332,76	787,83	0,00	406,62	0,00	0,00	603,35
7	279,17	0,00	317,97	583,44	1084,91	407,38	563,92	373,38	711,71	731,22
8	288,65	0,00	235,76	550,33	2181,52	2528,33	484,85	405,80	1074,10	958,99
9	404,64	0,00	3,24	219,28	758,74	1429,57	617,01	419,31	0,00	603,54
AREA VASTA PIANURA COSTIERA		COMPLESSITA' DELLA FORMA								
		MSI								
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATA	MACCHIA MEDITERRANEA	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	1,33	1,51	1,33	1,47	1,58	0,00	2,14	2,11	3,44	1,41
2	1,34	1,23	1,42	1,48	2,01	0,00	2,35	2,33	3,27	1,50
3	1,31	1,27	1,44	1,45	1,79	0,00	2,00	2,12	2,79	1,55
4	1,37	1,38	1,40	1,34	1,92	0,00	2,25	2,31	2,37	1,49
5	1,31	1,18	1,49	1,43	1,82	0,00	2,52	2,97	3,46	1,52
6	1,31	1,24	1,36	1,36	1,54	0,00	2,32	0,00	0,00	1,55
7	1,27	0,00	1,21	1,66	2,48	1,81	2,63	2,49	3,17	1,52
8	1,29	0,00	1,65	1,14	2,10	2,57	2,73	2,27	3,86	1,55
9	1,29	0,00	2,82	1,23	2,57	1,65	3,36	2,44	0,00	1,40
AREA VASTA PIANURA COSTIERA		PERIMETRO TOTALE PATCHES								
		TE								
AREA DI DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOC. OLIVO	ZONA BOSCATA	MACCHIA MEDITERRANEA	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI
1	20991,02	2629,75	6359,94	12505,73	805,16	0,00	5609,65	5649,61	16362,57	21119,52
2	37753,20	2340,29	12499,07	14963,41	902,96	0,00	14512,27	15294,10	18242,69	27661,06
3	17734,94	4309,95	6866,82	19394,75	4417,36	0,00	11523,65	7895,88	4352,42	23895,45
4	13071,92	779,68	4499,99	4963,89	773,62	0,00	8298,06	6808,53	11747,98	27308,68
5	21250,37	224,81	6284,02	1155,68	927,12	0,00	16689,75	15754,57	10439,21	29024,64
6	21250,37	224,81	6284,02	1155,68	927,12	0,00	16689,75	15754,57	10439,21	29024,64
7	837,51	0,00	635,94	4084,06	5424,54	3666,40	6767,09	4854,00	9963,91	23670,45
8	1731,88	0,00	943,04	550,33	2181,52	5056,67	3878,79	4057,99	4296,39	13892,84
9	6069,58	0,00	3,24	438,56	3793,68	2859,14	10489,09	4193,12	0,00	19758,41

La diversità del paesaggio della vite anche per l'area vasta *pianura costiera* è stata valutata in ciascun area caratterizzata da una specifica incidenza della viticoltura attraverso due degli indici metrici di diversità: l'indice di diversità di Shannon (SDI) e di uniformità di Simpson (SEI).

Qui i valori più elevati di diversità ed uniformità si riscontrano nelle aree di dettaglio in cui la superficie vitata ha una incidenza superiore al 15% (Fig.15). Complessità, e diversità dell' ecomosaico ambientale appaiono correlabili alle estensioni delle superfici vitate.

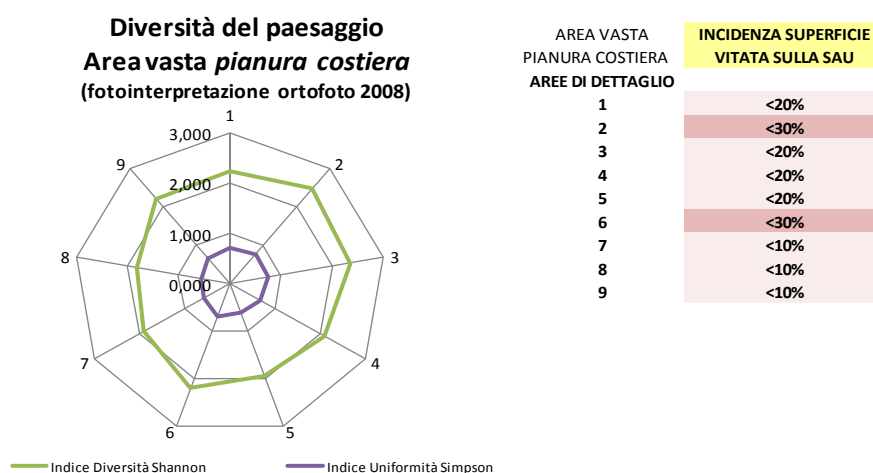


Fig.15 – Indice di diversità (SDI) e uniformità (SEI) del paesaggio per l'aree di dettaglio per l'area vasta *pianura costiera* –fotointerpretazione di ortofoto (2008).

4.2.4 Il paesaggio di continuità del vigneto

Anche per l'area vasta *pianura costiera* l'indagine a scala di unità viatta ha permesso di analizzare l'uso del suolo della fascia tampone circostante i vigneti (Fig. 16).

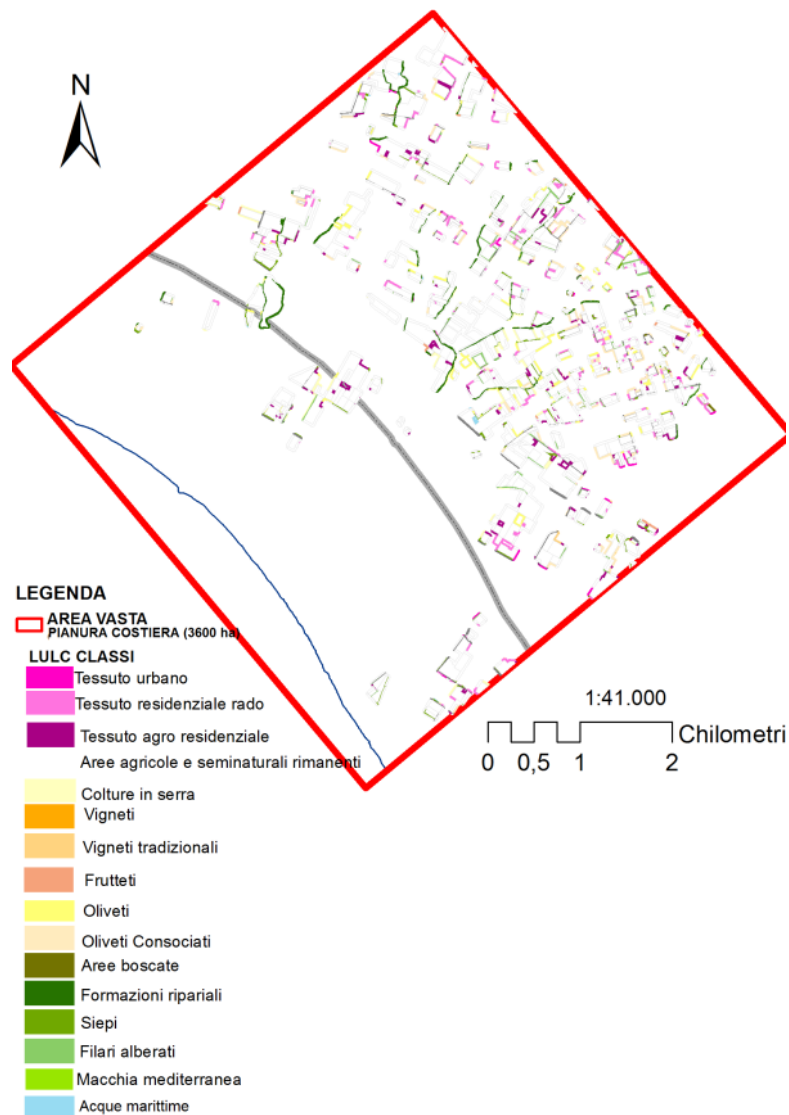


Fig.16 – Uso del suolo della fascia tampone circostante le unità vitate per l’area vasta *pianura costiera*.

Dall’analisi dell’uso del suolo della fascia tampone circostante gli agro-ecosistemi vigneto emerge come sia vigneti specializzati che quelli tradizionali sono fortemente integrati al tessuto urbano, che interessa rispettivamente il 44% ed il 48% del perimetro della fascia tampone. Ridotta la presenza delle infrastrutture ecologiche nel paesaggio di continuità del vigneto, che in entrambe le tipologie di vigneto rappresentano solo il 5% dell’area della fascia tampone. Alta l’incidenza delle aree agricole e seminaturali (seminativi ed incolti).

Tab. 12 – Uso del suolo della zona tampone circostante le unità vitate (25 m di profondità) ottenute da foto interpretazione di orto foto (2008).

UDS ZONA TAMPONE VIGNETI MODERNI				
	Area (Ha)	Perimetro (Km)	% Area	% Perimetro
TESSUTO URBANO	417,90	192,72	26,85%	44,38%
ZONA BOSCATI	9,03	7,15	0,58%	1,65%
SIEPE	20,52	38,19	1,32%	8,79%
FILARI ALBERATI	18,58	31,73	1,19%	7,31%
FORMAZIONI RIPARIALI	37,67	46,09	2,42%	10,61%
VIGNETI	88,15	38,26	5,66%	8,81%
VIGNETI TRADIZIONALI	5,58	3,82	0,36%	0,88%
OLIVETI	36,63	20,82	2,35%	4,79%
OLIVETI CONSOCIATI	74,79	34,76	4,81%	8,00%
FRUTTETI	6,58	3,61	0,42%	0,83%
COLTURE IN SERRA ED ORTICOLE IN PIENO CAMPO	53,47	16,79	3,44%	3,87%
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	787,24	36,46%	50,59%	0,08%
TOTALE	1556,15	434,30	100,00%	100,00%

UDS ZONA TAMPONE VIGNETI TRADIZIONALI				
	Area (Ha)	Perimetro (Km)	% Area	% Perimetro
TESSUTO URBANO	168,48	67,95	38,76%	48,83%
ZONA BOSCATI	3,41	2,13	0,79%	1,53%
SIEPE	3,38	4,67	0,78%	3,35%
FILARI ALBERATI	1,42	2,77	0,33%	1,99%
FORMAZIONI RIPARIALI	14,11	12,68	3,25%	9,11%
VIGNETI	37,28	11,82	8,58%	8,49%
VIGNETI TRADIZIONALI	0,00	0,00	0,00%	0,00%
OLIVETI	8,41	4,12	1,94%	2,96%
OLIVETI CONSOCIATI	42,16	17,94	9,70%	12,89%
FRUTTETI	0,62	0,33	0,14%	0,23%
COLTURE IN SERRA ED ORTICOLE IN PIENO CAMPO	37,91	14,74	8,72%	10,59%
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	117,47	2,60%	27,03%	0,02%
TOTALE	434,65	139,16	100,00%	100,00%

4.3 Il paesaggio viticolo della *collina peri-urbana*

4.3.1 Analisi metrica del paesaggio (area vasta)

L'uso del suolo derivante da fotointerpretazione ha evidenziato l'alta incidenza degli agro-ecosistemi a vigneto nell'area della *collina peri-urbana*. Qui la coltivazione della vite, per lo più specializzata, si estende su 791,93 ha di superficie, rappresentando circa il 21,5 % della SAT (Fig.17).

USO DEL SUOLO – AREA VASTA *COLLINA PERI-URBANA*

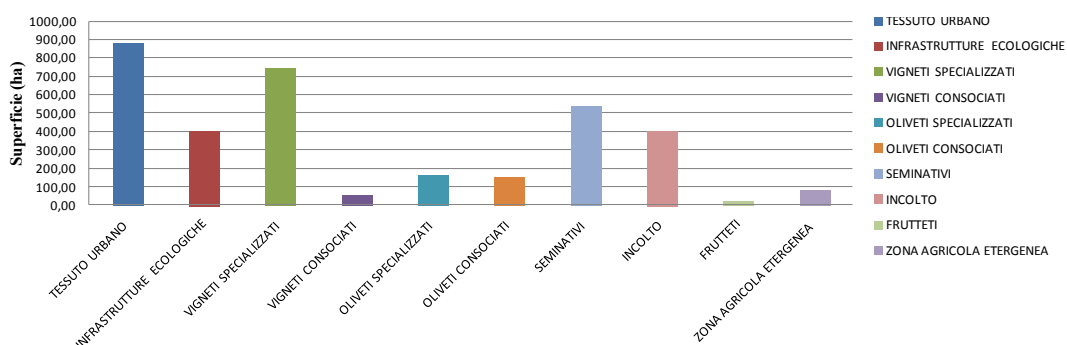


Fig. 17 – Uso del suolo di dettaglio (scala 1:2000) dell’area vasta *collina peri-urbana*, derivante da fotointerpretazione di ortofoto (2008).

In particolare, la classe dei vigneti specializzati è seconda solo al tessuto urbano. Nell’area hanno una forte incidenza anche i terreni incolti, e le infrastrutture ecologiche, la cui composizione risulta particolarmente diversificata in siepi, filari alberati, aree boscate, formazioni ripariali (Fig. 18).

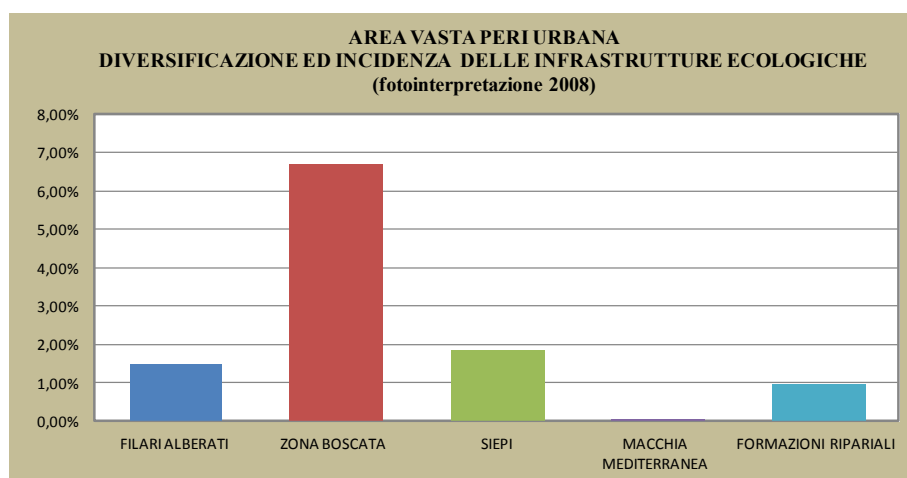


Fig. 18– Incidenza percentuale sull’uso del suolo delle infrastrutture ecologiche nell’area vasta *collina peri-urbana*, derivanti da fotointerpretazione di orto foto (2008).

L’analisi metrica del paesaggio mette in evidenza un ambiente frammentato, con tessere delle classi di uso del suolo (NP) di dimensioni ridotte (MPS), eterogenee (MSI), ma con un buon equilibrio tra la diversità degli usi del suolo. Ciò è dimostrato dal valore assunto da alcuni indici ecologici riportati in tabella 13.

Tab. 13- Principali indici metrici del paesaggio valutati per l'area vasta *collina peri-urbana*.

INDICI DI STRUTTURA	Definizione	Valore assunto
Numerosità delle tessere (NP)	A valori elevati corrisponde una elevata diversità del paesaggio	5002, 00
Superficie media delle tessere (MPS)	Ad alti valori (ha) di tale indice corrisponde un paesaggio omogeneo	0,73
INDICI DI FORMA E DIVERSITÀ		
Complessità della forma (MSI)	L'indice assume valore 1 quando la macchia è circolare oppure quadrata e aumenta senza limite all'aumento dell'irregolarità del perimetro.	1,75
Diversità di Shannon (SDI)	Varia da 0 ad infinito e fornisce informazioni circa la diversità degli elementi costitutivi del paesaggio	2,56
Uniformità di Simpson (SEI)	Assume valori tra 0 e 1, Valori dell'indice prossimi a 1, indicano che il paesaggio considerato è in equilibrio in quanto formato da elementi con estensioni relative simili	0,77

Dalla valutazione del paesaggio viticolo della *collina peri-urbana* emerge l'elevata numerosità delle tessere a vigneto (Fig.19), oltre che un'elevata frammentazione e dispersione. Le tessere a vigneto a spalliera sono più frammentate e con dimensioni ridotte rispetto a quelle relative ai vigneti con forma di allevamento a tendone.

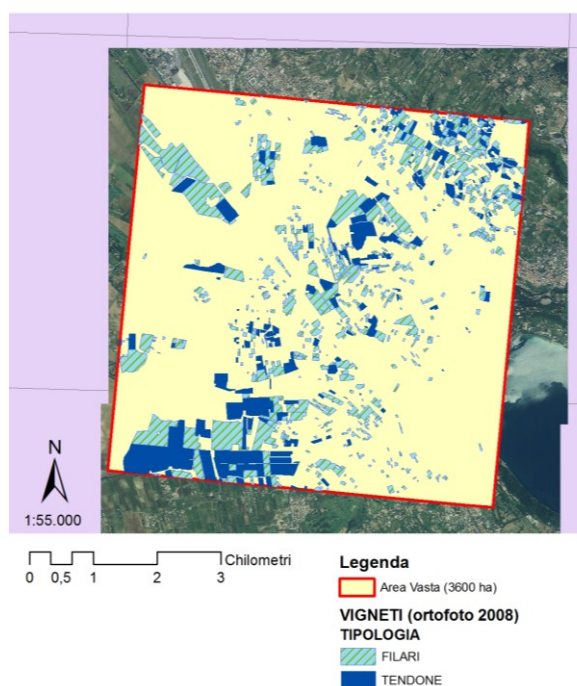


Fig. 19– Spazializzazione dei vigneti per l'area vasta *collina peri-urbana*, ottenuta da foto interpretazione di ortofoto (2008).

Carattere di quest'area è una viticoltura fortemente integrata al tessuto urbano nelle sue diverse tipologie, (urbano, residenziale rado, agro-residenziale) (Fig.20) , inoltre mentre le aree agricole e seminaturali rimanenti (soprattutto seminativi) sono poche ed omogenee, i vigneti nel complesso determinano la complessità del paesaggio. Considerevole anche la numerosità/densità delle tessere ascrivibili alle infrastrutture ecologiche.

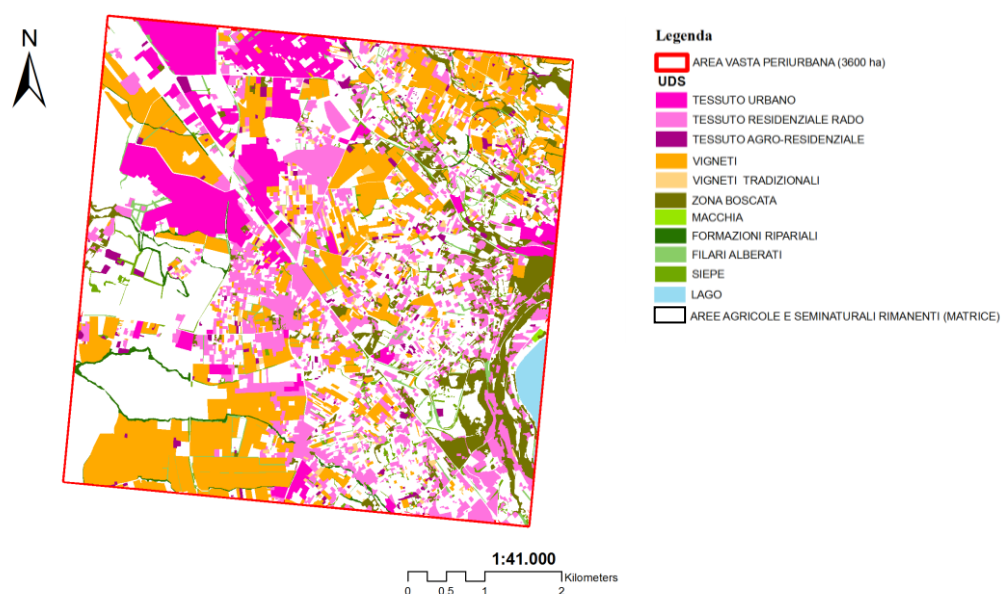


Fig. 20 – Ecomosaico ambientale dell'area vasta *collina peri-urbana*, ottenuto da fotointerpretazione di ortofoto (2008).

I valori degli indici metrici del paesaggio per le diverse classi di uso del suolo, e per i vigneti in particolare, sono riportati nelle Tabelle 14a,b,c.

Tab. 14a - Indici metrici di configurazione del paesaggio per ciascun uso del suolo per l'area vasta *collina peri-urbana*, ricavati dalla foto interpretazione di ortofoto (2008). (NP: numerosità delle tessere, PD: densità delle tessere, MPS: superficie media delle tessere, PSCoV: coefficiente di variazione dell'area delle tessere, PSSD: valore della deviazione standard dell'area delle tessere, MedPS: valore della mediana della dimensione delle tessere).

CLASSI LULC	INDICI METRICI DI CONFIGURAZIONE					
	NumP	PD	MPS	PSCoV	PSSD	MedPS
TESSUTO URBANO	20,00	9,01	11,09	187,22	20,77	5,30
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	773,00	149,32	0,67	198,63	1,33	0,32
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	231,00	456,70	0,22	143,29	0,31	0,11
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	7,00	210,87	0,47	131,30	0,62	0,20
VIGNETI	563,00	76,08	1,31	235,57	3,10	0,39
VIGNETI TRADIZIONALI	201,00	387,36	0,26	75,29	0,19	0,22
OLIVETI	375,00	237,66	0,42	174,09	0,73	0,21
COLTURE ASSOC. OLIVO	368,00	246,64	0,41	141,21	0,57	0,25
FRUTTETI	40,00	248,20	0,40	111,56	0,45	0,23
ZONA BOSCATI	255,00	103,80	0,96	193,05	1,86	0,47
FORMAZIONI RIPARIALI	44,00	124,30	0,80	95,52	0,77	0,53
MACCHIA	2,00	153,19	0,65	84,08	0,55	0,65
FILARI ALBERATI	246,00	454,73	0,22	120,49	0,26	0,12
SIEPE	374,00	550,48	0,18	129,15	0,23	0,11

Tab. 14b - Indici metrici di complessità dei margini delle tessere di ciascun uso del suolo per l'area vasta *collina peri-urbana*, ricavati dalla foto interpretazione di ortofoto aree (2008). (TE: perimetro totale delle tessere (m), MPE: perimetro medio delle tessere, ED: densità dei margini).

CLASSI LULC	INDICI METRICI COMPLESSITÀ DEI MARGINI		
	TE	MPE	ED
TESSUTO URBANO	38867,74	1943,39	10,58
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	313088,66	405,03	85,21
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	47126,43	204,01	12,83
AREE AGRICOLE E SEMINANTURALI RIMANENTI	380836,56	441,08	34,55
VIGNETI	262347,08	465,98	71,40
VIGNETI TRADIZIONALI	47461,82	236,13	12,92
OLIVETI	116435,35	310,49	31,69
COLTURE ASSOC. OLIVO	113718,00	309,02	30,95
FRUTTETI	11417,01	285,43	3,11
ZONA BOSCATI	172268,65	675,56	46,88
FORMAZIONI RIPARIALI	45193,66	1027,13	12,30
MACCHIA	700,25	350,12	0,19
FILARI ALBERATI	100842,36	409,93	27,45
SIEPE	122949,00	328,74	33,46

Tab. 14c - Indici metrici di complessità della forma delle tessere di ciascun uso del suolo per l'area vasta *collina peri-urbana*, ricavati dalla foto interpretazione di ortofoto aree (2008). (MSI: complessità della forma delle tessere, AWMSI: complessità della forma pesata sulla dimensione delle tessere, MPAR: rapporto tra la somma dei perimetri e delle aree delle tessere, MPFD: dimensione frattale media delle tessere; AWMPPFD: complessità ambientale pesata sulla dimensione delle tessere).

CLASSI LULC	INDICI METRICI DI COMPLESSITÀ DELLA FORMA				
	MSI	AWMSI	MPAR	MPFD	AWMPFD
TESSUTO URBANO	1,96	2,07	334,71	1,35	1,32
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1,56	1,86	4723,08	1,42	1,39
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE	1,38	1,48	1570,02	1,45	1,40
AREE AGRICOLE E SEMINANTURALI RIMANENTI	1,50	1,70	1177,61	1,40	1,40
VIGNETI	1,44	1,57	1094,21	1,39	1,33
VIGNETI TRADIZIONALI	1,37	1,41	1113,66	1,41	1,40
OLIVETI	1,50	1,68	1924,95	1,43	1,39
COLTURE ASSOC. OLIVO	1,47	1,61	1187,35	1,42	1,39
FRUTTETI	1,43	1,41	1116,84	1,41	1,37
ZONA BOSCATI	2,17	2,50	1518,91	1,47	1,43
FORMAZIONI RIPARIALI	3,33	3,78	1643,83	1,56	1,55
MACCHIA	1,39	1,40	983,20	1,40	1,35
FILARI ALBERATI	2,56	3,04	2534,95	1,60	1,57
SIEPE	2,21	2,76	4920,34	1,56	1,55

Alle tessere a vigneto sono associati i valori più elevati di NP e PD tra le classi di uso del suolo agricole. In particolare i vigneti tradizionali si estendono su superfici ridotte rispetto ai vigneti (specializzati), e sono ad essi associati elevati valori della PD, a dimostrazione dell'elevato grado di frammentazione a cui sono soggetti. Ai vigneti (specializzati) è associata una maggiore eterogeneità della superficie (PSSD più elevato) e della forma (MSI) (Tab. 14c), sono caratterizzati da perimetri complessi (MPAR e MPFD) e da strutture piuttosto irregolari (MSI), l'effetto

marginale (MPE) è elevato e il grado di contatto con altri usi del suolo risulta così ottimizzato (TE, ED).

In particolare la densità dei margini (ED) (Fig. 21), associata ai vigneti (specializzati) assume i valori più elevati tra le classi agricole di uso del suolo.

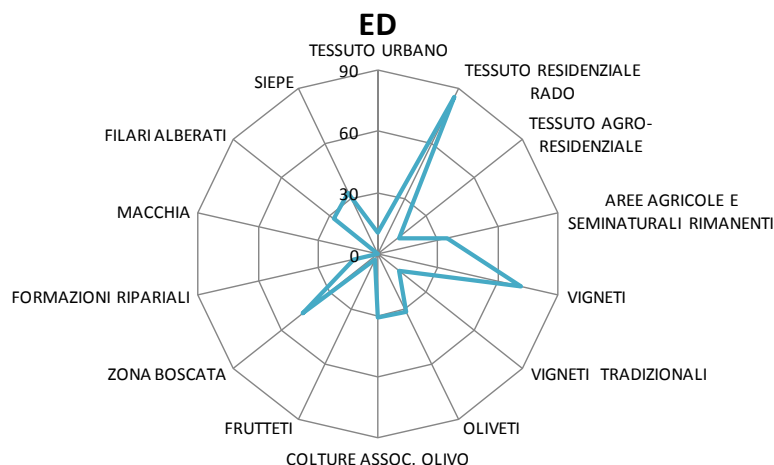


Fig. 21 – Indice metrico di complessità dei margini (ED) – area vasta *collina peri-urbana* (2008).

4.3.2 Analisi diacronica e dinamiche di trasformazione del paesaggio

Le dinamiche di trasformazione dell'uso del suolo analizzate nell'arco temporale di riferimento (2000-2008), evidenziano un'erosione della superficie vitata di 140,04 ha pari al 16%, e al 2% annuo rispetto alla media regionale del 4,6% (fonte Istat), mentre i vigneti tradizionali (consociati) rimangono pressoché stabili (Fig. 22).

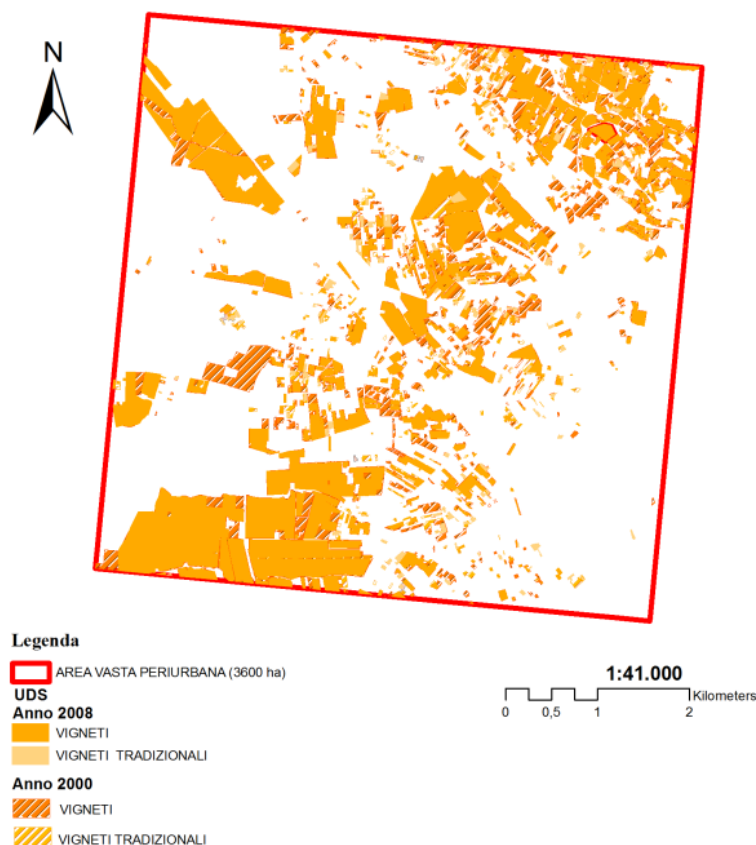


Fig. 22 – Dinamica di trasformazione delle superficie vitate per l'area vasta *collina peri-urbana*, per l'arco temporale 2000-2008. Tratteggiate le superfici erose.

Dalla matrice di trasformazione dell'uso del suolo (Tab. 15) per il periodo 2000-2008 è possibile effettuare la lettura dei cambiamenti quantitativi e qualitativi delle varie classi di uso del suolo.

In particolare l'88% dei vigneti (specializzati), con i loro 652,72 ha, permangono nelle stesse aree di produzione, evidenziando un contenuto turn-over della superficie viticola. I nuovi vigneti derivano soprattutto da spazi precedentemente destinati ad incolti e colture industriali (seminativi irrigui e non irrigui); mentre le superfici a vigneto erose, circa 80 Ha, risultano convertiti in tessuto urbano e incolti. L'area della *collina peri-urbana* è particolarmente soggetta ai processi di urbanizzazione, evidenziando un incremento dello sviluppo urbano del 9,5% negli ultimi anni (2000-2008).

La rete ecologica, data dagli elementi lineari (siepi e filari alberati), le formazioni ripariali e le aree boscate (stepping stones), rimane stabile, ben conservata, ma

frammentata, come dimostrano gli indici ecologici relativi a queste coperture del suolo (Tab. 14a, b e c).

Tab. 15 – Matrice di trasformazione area vasta *collina peri-urbana* (superficie in ettari).

AREA VASTA COLLINA PERI-URBANA (foto interpretazione 2000)	boschi	siepi e filari alberati	formazioni ripariali	aree urbane e periurbane	vigneti in consociazione	oliveti	vigneti	frutteti	altre classi	superficie 2000
AREA VASTA COLLINA PERI-URBANA (foto interpretazione 2008)	boschi	siepi e filari alberati	formazioni ripariali	aree urbane e periurbane	vigneti in consociazione	oliveti	vigneti	frutteti	altre classi	superficie 2000
boschi	140,35	13,33	1,86	54,40	1,72	3,60	0,97	0,78	14,53	231,54
siepi e filari alberati	18,97	12,73	0,00	28,49	0,00	3,19	5,06	0,22	47,35	115,99
formazioni ripariali	6,33	2,39	19,29	2,56	0,00	0,00	1,20	0,00	6,88	38,65
aree urbane e periurbane	0,00	0,00	0,00	381,93	0,00	0,00	6,85	0,00	411,98	800,76
vigneti in consociazione	9,57	3,81	0,00	7,159	17,03	5,02	4,81	0,25	9,35	56,99
oliveti	0,00	0,00	0,00	14,82	2,15	91,72	7,14	0,75	68,67	185,25
vigneti	6,72	0,00	3,06	79,95	30,43	11,85	652,72	8,17	96,22	880,95
frutteti	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00	1,04	0,70	5,98	8,09
altre classi	63,71	85,98	11,19	300,22	0,57	37,39	60,25	5,71	311,45	876,48
superficie 2008	245,65	122,04	35,40	876,70	51,89	157,79	740,04	16,12	972,40	

4.3.3 Analisi metrica del paesaggio (area di dettaglio)

Anche per le 9 aree di dettaglio (400 ha) in cui è stata divisa l'area vasta *collina peri-urbana*, si è condotta l'analisi metrica del paesaggio. In funzione dell'incidenza della viticoltura sulla SAU in ciascun quadrante (Tab. 16) si possono discriminare due classi: aree di dettaglio in cui la viticoltura ha un'incidenza sulla SAU maggiore del 40% (aree 1, 3, 5, 7 e 8 – Figura 23), e aree in cui la viticoltura ha un'incidenza inferiore al 40% (aree 2, 4, 6 e 9 – Figura 23). Predominano le classi in cui la viticoltura supera il 40% della SAU (Tab.16), portandosi talvolta oltre il 50% - area 8.

Tab. 16– Superficie vitata ed incidenza della coltivazione della vite nelle 9 aree di dettaglio (400ha) per l'area vasta *collina peri-urbana*.

AREA VASTA PERIURBANA	SAU	SUPERFICIE VITATA	INCIDENZA VITICOLA	RANGE di INCIDENZA
	(ha)	(ha)	(%)	
AREA DI DETTAGLIO				
1	214	90,27	42,18%	>40%
2	205,33	71,52	34,83%	20-40%
3	273,15	134,49	49,24%	>40%
4	250,23	23,16	9,26%	<20%
5	230,02	93,65	40,71%	>40%
6	170,98	23,73	13,88%	<20%
7	362,36	160,22	44,22%	>40%
8	268,51	136,18	50,72%	>40%
9	160,47	5,98	3,73%	<20%

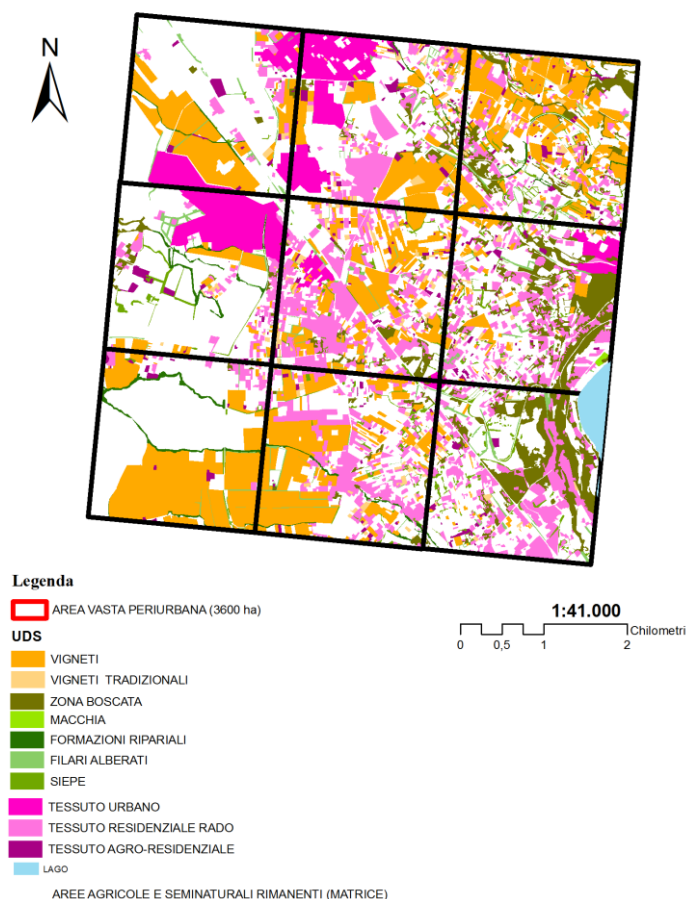


Fig. 23 – Aree vitate, tessuto urbano e infrastrutture ecologiche delle 9 aree di dettaglio della area vasta *collina peri-urbana*.

L'incidenza della superficie viticola è stata analizzata in rapporto alla presenza di infrastrutture ecologiche. Le aree di dettaglio 3 e 7 mostrano entrambe un'incidenza della viticoltura maggiore del 40%, ma si differenziano per la struttura e forma delle tessere a vigneto. In particolare nel quadrante 3 i sistemi viticoli sono caratterizzati da superfici ridotte (Tab.17, Fig. 23), frammentati e attraversati da una fitta rete ecologica. Nell'area di dettaglio 7 i vigneti coprono ampie superfici (Tab.17, Fig. 23), e la rete ecologica è estremamente ridotta. In generale, quando la superficie media delle tessere a vigneto si mantiene bassa (≤ 1 ha), le infrastrutture ecologiche si conservano, mentre quando la superficie media delle tessere a vigneto è elevata, - 3,2 e 4,4 ha - si osserva la semplificazione della rete ecologica (Fig.23, Tab. 17).

Inoltre, nelle aree con vaste estensioni delle unità vitate si riscontrano i valori più bassi per l'indice di numerosità delle tessere (NP), con valori di 253 e 193, rispettivamente per le aree 1 e 7, estremamente più bassi dei valori massimi che si registrano per il quadrante 3 (1048 tessere). Valori questi che insieme all'indice di superficie media delle tessere (MPS) evidenziano l'elevata uniformità delle stesse.

Per le aree in cui la viticoltura presenta un'incidenza inferiore al 40% della SAU (aree 2,4,6,9), le tessere a vigneto si mantengono di ridotte dimensioni (<1ha). (Tab.17). Le infrastrutture ecologiche, in questo caso le formazioni boscate, le siepi, i filari alberati e le formazioni ripariali, sono numerose (NP e ED) (Tab. 17), con elevati valori di densità dei margini, perimetro medio delle tessere, complessità della forma (Tab. 15).

Sulla base del valore degli indici ecologici e del loro significato è stato possibile giungere a una classificazione delle aree di dettaglio per l'area vasta collina peri-urbana in funzione dell'incidenza, complessità e forma delle superfici vitate. Si identificano pertanto: a) **aree con stabilità ambientale a rischio**, caratterizzate da una elevata incidenza viticola (quadrante 1 e 7 incidenza superficie vitata maggiore del 40%) con vigneti di grandi dimensioni, che concorrono a definire un ecosistema omogeneo e povero di biodiversità; e b) **aree in equilibrio** (tutti gli altri quadranti con varie incidenze della viticoltura sulla SAU) caratterizzate da numerosità elevata e ridotta superficie media delle tessere a vigneto, tali da generare un ecosistema se pur frammentato, diversificato ed equilibrato.

La diversità del paesaggio viticolo nelle aree di dettaglio della *collina peri-urbana* è stata valutata attraverso gli indici metrici di diversità: l'indice di diversità di Shannon (SDI) e di uniformità di Simpson (SEI).

In particolare per le **aree con stabilità ambientale a rischio** (area di dettaglio 7, in particolare) si riscontrano valori bassi per entrambi gli indici di diversità (Fig. 24). Paragonabili i valori nelle altre aree di dettaglio.

Tab. 17 –Indici metrici del paesaggio per le 9 aree di dettaglio (400ha) dell'area vasta *collina peri-urbana* (fotointerpretazione 2008).

AREA VASTA PERIURBANA		NUMERO DELLE PATCHES NumP								
AREA DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOCIATE ALL' OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	
1	28	3	8	6	4	8	39	6	25	
2	73	40	17	47	22	34	28	8	50,5	
3	177	43	85	53	66	97	35	8	72	
4	36	10	11	20	14	17	26	9	40,5	
5	148	42	47	71	31	56	61	0	78	
6	49	27	73	98	110	72	30	0	81,5	
7	36	3	17	10	3	16	13	9	16,5	
8	111	31	86	49	19	51	39	11	57,5	
9	29	16	68	59	53	107	29	3	67,5	
AREA VASTA PERIURBANA		DENSITÀ DELLE PATCHES PD								
AREA DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOCIATE ALL' OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	
1	31,0	174,4	184,8	280,4	209,4	754,7	468,8	200,0	✓ 46,0	
2	102,1	163,3	22,4	393,3	220,4	665,4	669,9	470,6	✓ 239,2	
3	131,6	423,2	249,6	428,5	164,5	710,6	712,8	210,5	✓ 202,3	
4	155,4	571,4	312,5	230,9	168,7	200,0	377,4	104,8	✓ 58,4	
5	158,0	391,8	408,3	315,0	204,8	800,0	993,5	0,0	194,6	
6	206,5	520,2	293,1	318,8	138,0	926,6	495,0	0,0	219,1	
7	22,5	909,1	363,2	200,8	428,6	617,8	490,6	70,7	✓ 93,5	
AREA VASTA PERIURBANA		SUPERFICIE MEDIA DELLE PATCHES MPS								
AREA DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOCIATE ALL' OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	
1	3,22	0,57	0,54	0,36	0,48	0,13	0,21	0,5	3,67	
2	0,98	0,25	0,61	0,51	0,45	0,15	0,14	0,21	0,49	
3	0,76	0,24	0,4	0,23	0,61	0,14	0,14	0,48	0,535	
4	0,64	0,18	0,32	0,43	0,59	0,5	0,27	0,95	3,25	
5	0,63	0,26	0,24	0,32	0,49	0,13	0,1	0	0,525	
6	0,48	0,19	0,34	0,31	0,72	0,11	0,2	0	0,46	
7	4,45	0,11	0,28	0,5	0,23	0,16	0,2	1,41	8,25	
8	1,23	0,22	0,28	0,36	0,36	0,15	0,16	0,46	0,65	
9	0,21	0,2	0,38	0,45	1,56	0,13	0,3	0,16	0,745	
AREA VASTA PERIURBANA		DENSITÀ DEI MARGINI ED								
AREA DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOCIATE ALL' OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	
1	51,95	2,56	7,4	4,99	3,24	4,85	34,32	12,36	40,445	
2	65,63	25,81	33,75	35,33	27,71	24,39	21,41	9,01	42,335	
3	169,94	23,14	56,73	30,93	88,49	71,21	25,07	15,65	58,345	
4	27,29	4,26	7,13	13,28	18,91	28,1	25,32	26,77	59,77	
5	123,33	23,98	26,07	45,16	32,74	34,47	36,39	0	61,62	
6	36,33	13,36	47,99	65,3	137,44	37	22,91	0	64,6	
7	65,83	1,09	10,53	8,39	2,34	11,08	15,51	28,66	29,935	
8	122,114	15,68	53,75	32,55	17,27	33,54	37,73	17,42	54,095	
9	13,58	8,04	47,61	47,77	105,5	59,42	30,74	1,87	66,17	
AREA VASTA PERIURBANA		PERIMETRO MEDIO PATCHES MPE								
AREA DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOCIATE ALL' OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	
1	750,67	345,45	374,35	336,77	327,94	245,36	356,04	833,79	779,245	
2	364,15	222,45	341,77	304,47	510,07	290,6	289,25	456,19	313,34	
3	392	219,71	56,73	238,29	547,4	279,75	292,49	798,94	351,205	
4	308,28	173,42	263,54	269,91	549,18	672,11	395,94	1209,69	699,995	
5	343,05	235,03	228,31	261,88	434,83	253,39	245,61	NP	343,495	
6	301,61	201,24	267,45	271,06	508,29	209,05	310,64	NP	331,565	
7	745	148,06	252,47	341,65	317,38	282,03	485,95	1297,18	898,245	
8	449,39	206,57	255,25	271,3	371,1	268,57	395,04	646,8	385,655	
9	192,52	206,56	287,83	332,85	818,33	228,29	435,79	255,7	434,66	
AREA VASTA PERIURBANA		COMPLESSITÀ DELLA FORMA MSI								
AREA DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOCIATE ALL' OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	
1	1,44	1,35	1,5	1,62	1,37	1,94	2,25	3,23	1,485	
2	1,36	1,31	1,45	1,41	2,18	2,17	2,25	2,71	1,47	
3	1,41	1,32	1,41	1,45	2,15	2,34	2,29	3,26	1,51	
4	1,35	1,21	1,42	1,33	1,96	2,82	2,34	3,68	1,48	
5	1,45	1,37	1,39	1,41	1,88	2,04	2,26	NP	1,46	
6	1,39	1,35	1,44	1,45	1,94	1,9	2,13	NP	1,505	
7	1,34	1,28	1,54	1,49	1,95	1,95	3,01	3,35	1,515	
8	1,43	1,31	1,5	1,41	1,77	1,98	2,83	2,61	1,55	
9	1,4	1,35	1,47	1,5	2,1	1,84	2,47	1,77	1,625	
AREA VASTA PERIURBANA		PERIMETRO TOTALE PATCHES TE								
AREA DETTAGLIO	VIGNETI	VIGNETI TRADIZIONALI	OLIVETI	COLTURE ASSOCIATE ALL' OLIVO	ZONA BOSCATI	SIEPE	FILARI ALBERATI	FORMAZIONI RIPARIALI	AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	
1	21018,86	1036,36	2994,76	2020,61	1311,77	1962,92	13885,55	5002,76	16366,065	
2	26582,87	10455,07	13760,93	14310,02	11221,61	9880,25	8677,39	3649,49	17146,76	
3	69384,37	9447,55	23160,31	12629,42	36128,21	29075,3	10237,21	6391,51	23820,825	
4	11098,24	1734,2	2898,97	5398,27	7688,58	11425,9	10294,46	10887,19	24308,345	
5	50771,37	9871,44	10730,46	18593,23	13479,85	14189,9	14982,44	NP	25366,96	
6	14778,93	5433,57	19524,2	26563,44	55911,47	15051,3	9319,15	NP	26277,895	
7	26820	444,19	4291,94	3416,46	952,14	4512,42	6317,37	11674,58	12195,33	
8	49881,97	6403,78	21951,41	13293,88	7050,85	13697,2	15406,47	7114,79	22092,11	
9	5582,94	3304,89	19572,61	19638,15	43371,72	24427,4	12638,03	767,09	27205,105	

**Diversità del paesaggio
nelle 9 aree di dettaglio per l'area vasta *collina peri-urbana*
(fotointerpretazione ortofoto 2008)**

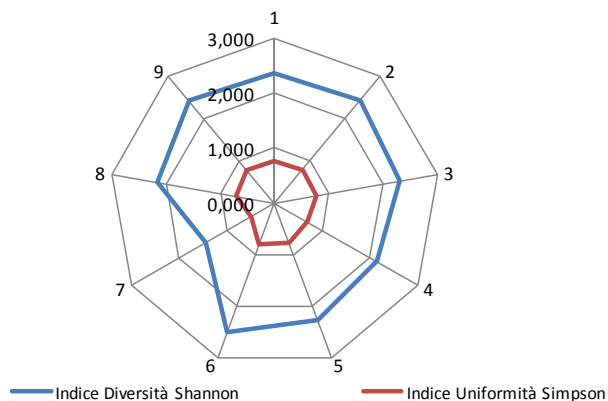


Fig. 24 – Indice di diversità (SDI) e uniformità (SEI) del paesaggio per l'aree di dettaglio dell'area vasta *collina peri-urbana*.

4.3.4 Il paesaggio di continuità del vigneto

Dall'analisi dell'uso del suolo della fascia tampone (Fig. 25, Tab.18) emerge che un quarto del perimetro dei vigneti (specializzati) è interessato da formazioni naturaliformi - siepi e filari alberati in particolare. Al contrario per i vigneti tradizionali, quelli maggiormente frammentati (Tab. 14a), ed integrati al tessuto urbano, la classe di uso del suolo predominante nell'area tampone è proprio il tessuto urbano. Le infrastrutture ecologiche risultano ridotte al 16%.

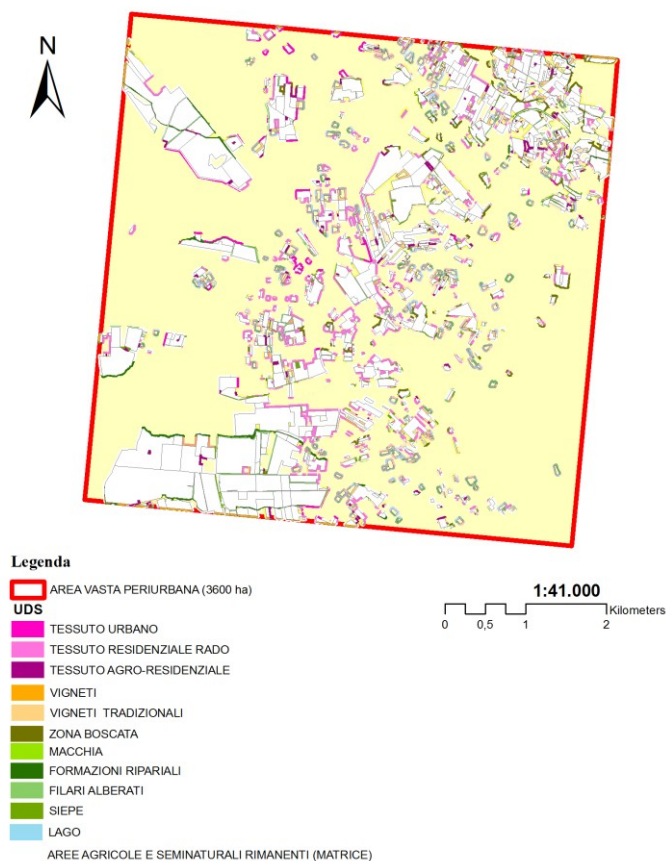


Fig. 25 – Composizione (uso del suolo) della fascia tampone (25 m di profondità) circostante le unità vitate (tessere bianche) per l'area vasta collina peri-urbana (2008).

Tab. 18 : Uso del suolo (UDS) per la fascia tampone circostante (25 m di profondità) l'unità vitata.

USO DEL SUOLO FASCIA TAMPONE VIGNETI MODERNI					
UDS	Area (Ha)	Perimetro (Km)	% Area	% Perimetro	
TESSUTO URBANO	147,18	214,18	31,34%	31,03%	
ZONA BOSCATI	31,69	45,86	6,75%	6,64%	
FILARI E E SIEPI	40,11	96,67	8,54%	14,00%	
OLIVETI E FRUTTETI	74,79	102,32	15,93%	14,82%	
FORMAZIONI RIPARIALI	14,83	23,06	3,16%	3,34%	
VIGNETI	8,75	10,18	1,86%	1,47%	
VIGNETI TRADIZIONALI	18,77	25,11	4,00%	3,64%	
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	133,43	172,94	28,42%	25,05%	

USO DEL SUOLO FASCIA TAMPONE VIGNETI TRADIZIONALI					
UDS	Area (Ha)	Perimetro (Km)	% Area	% Perimetro	
TESSUTO URBANO	46,57	67,78	32,25%	31,40%	
ZONA BOSCATI	8,49	14,34	5,88%	6,64%	
FILARI E E SIEPI	8,68	16,25	6,01%	7,53%	
OLIVETI E FRUTTETI	19,63	29,84	13,60%	13,83%	
FORMAZIONI RIPARIALI	1,72	3,27	1,19%	1,51%	
VIGNETI	25,17	33,88	17,43%	15,70%	
VIGNETI TRADIZIONALI	0,54	0,99	0,38%	0,46%	
AREE AGRICOLE E SEMINATURALI RIMANENTI	33,58	49,48	23,26%	22,93%	

4.4 Analisi statistica ed evoluzione della qualità del paesaggio viticolo

Ai fini di una più immediata interpretazione dei risultati sulla qualità del paesaggio viticolo e sulla funzionalità degli ecosistemi e soprattutto ai fini della comprensione di come questa si sia modificata nell'arco temporale analizzato (2000-2008) è stata condotta l'analisi statistica delle componenti principali (PCA). Gli indici metrici maggiormente significativi ai fini della valutazione, per le tre aree vaste oggetto di studio, sono stati selezionati sulla base del valore dell'Indice di correlazione di Paerson (Tab.19).

Tab. 19 – Indice di correlazione di Pearson per gli indicatori metrici del paesaggio

	AWMPFD	AWMSI	CA	ED	MedPS	MPAR	MPE	MPFD	MPS	MSI	NumP	PD	PSCoV	PSSD	TE
AWMPFD															
AWMSI	0.0001														
CA	0.0438	0.3096													
ED	0.6870	0.7941	0.0001												
MedPS	0.1606	0.9054	0.9135	0.3229											
MPAR	0.0227	0.1943	0.8991	0.0713	0.1466										
MPE	0.5345	0.1887	0.8477	0.4177	0.0000	0.2014									
MPFD	0.0000	0.0002	0.1472	0.9126	0.1010	0.0237	0.4560								
MPS	0.1122	0.9957	0.6427	0.4420	0.0000	0.1426	0.0000	0.0884							
MSI	0.0006	0.0000	0.3030	0.6205	0.7719	0.3856	0.1197	0.0005	0.8386						
NumP	0.8624	0.4535	0.0061	0.0000	0.1185	0.0217	0.0850	0.9978	0.1644	0.2889					
PD	0.0097	0.7294	0.0264	0.4047	0.0485	0.0529	0.0141	0.0144	0.0367	0.8925	0.8465				
PSCoV	0.0340	0.3636	0.0000	0.0210	0.6163	0.7621	0.5595	0.1663	0.3485	0.3943	0.1496	0.0254			
PSSD	0.0675	0.8688	0.3673	0.6194	0.0000	0.1423	0.0000	0.0758	0.0000	0.9505	0.2416	0.0267	0.1178		
TE	0.6870	0.7941	0.0001	0.0000	0.3229	0.0713	0.4177	0.9126	0.4420	0.6204	0.0000	0.4047	0.0210	0.6194	

Lo screening iniziale condotto mediante indice di correlazione di Pearson ha ridotto il numero delle variabili a 10. Gli indici metrici di seguito presi in considerazione ai fini della statistica sono: CA (area delle classi - %), PD (densità delle tessere), MSI (complessità della forma delle tessere), MPAR (rapporto tra la somma dei perimetri e delle aree delle tessere), AWMPFD (complessità ambientale pesata sulla dimensione delle tessere), ED (densità dei margini), MPE (perimetro medio delle tessere), MPS (superficie medie delle tessere), AWMSI (complessità della forma pesata sulla dimensione delle tessere) e PSCoV (valore della deviazione standard dell'area delle tessere). L'elevato numero di correlazioni significative (significatività $p=0,05$, tabella 20) ha suggerito la necessità di ricorrere all'analisi statistica multivariata.

Tab. 20 – Significatività a coppie per gli indicatori metrici del paesaggio con l'asterisco rosso sono indicate le correlazioni significative (livello 0.05).

	AWMPFD	AWMSI	CA	ED	MedPS	MPAR	MPE	MPFD	MPS	MSI	NumP	PD	PSCoV	PSSD	TE
AWMPFD	1														
AWMSI	ns	1													
CA	ns	**	1												
ED	**	**	**	1											
MedPS	**	**	**	**	1										
MPAR	ns	**	**	**	**	1									
MPE	**	**	**	**	ns	**	1								
MPFD	ns	ns	**	**	**	ns	**	1							
MPS	**	**	**	**	**	ns	**	**	1						
MSI	ns	ns	**	**	**	**	**	**	ns	**	1				
NumP	**	**	ns	**	ns	ns	**	**	**	**	**	1			
PD	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	1		
PSCoV	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	1	
PSSD	**	**	**	**	ns	**	ns	ns	ns	**	**	**	ns	**	1
TE	**	**	ns	ns	**	ns	**	**	**	**	**	ns	**	ns	**

Autovalori, variabilità spiegata e contributo alla costruzione delle componenti principali

In Tabella 21 a, b e c è riportato il set di autovalori della PCA delle tre aree vaste, con i relativi valori di variabilità spiegata e cumulata per ciascun autovettore o asse individuato. Le prime tre componenti principali spiegano il 90,45% della variabilità dei dati per l'area vasta *collina interna*, il 73,4% per l'area vasta *pianura costiera*, e il 89,06% per l'area vasta *collina peri-urbana*.

Tab. 21a - PCA: autovalori e variabilità spiegata-cumulata , area vasta *collina interna*.

N.	autovalori	variabilità spiegata	variabilità cumulata	
1	3,89	38,85	38,85	
2	3,36	33,64	72,49	
3	1,80	17,96	90,45	
4	0,45	4,48	94,92	
5	0,28	2,76	97,69	
6	0,14	1,36	99,05	
7	0,07	0,71	99,76	
8	0,02	0,20	99,96	
9	0,00	0,03	99,99	
10	0,00	0,01	100,00	

Tab. 21b- PCA: autovalori e variabilità spiegata-cumulata- area vasta *pianura costiera*.

N.	autovalori	variabilità spiegata	variabilità cumulata	
1	2,61	26,06	26,06	
2	2,48	24,81	50,87	
3	2,25	22,53	73,40	
4	1,02	10,15	83,55	
5	0,84	8,43	91,98	
6	0,59	5,88	97,86	
7	0,16	1,64	99,51	
8	0,04	0,41	99,92	
9	0,01	0,06	99,98	
10	0,00	0,02	100,00	

Tab. 21c - PCA: autovalori e variabilità spiegata-cumulata- area vasta *collina peri-urbana*.

N.	autovalori	variabilità spiegata	variabilità cumulata	
1	5,64	37,59	37,59	
2	4,81	32,06	69,65	
3	2,91	19,41	89,06	
4	0,89	5,93	94,99	
5	0,43	2,89	97,88	
6	0,21	1,37	99,25	
7	0,07	0,44	99,69	
8	0,02	0,14	99,83	
9	0,007	0,08	99,91	
10	0,005	0,05	99,96	
11	0,005	0,04	100,00	

Il contributo degli indici metrici del paesaggio, valutati nei due anni di osservazione, alla costruzione della **componente principale** (Tab. 22) è soprattutto dovuto agli indici di configurazione e complessità dei margini: **CA** (area delle classi) e **ED** (densità dei margini) – primo quadrante, **PD** (densità delle tessere) – quarto quadrante, **MPS** (superficie medie delle tessere), **PSCoV** (valore della deviazione standard dell'area delle tessere), **MPAR** (rapporto tra la somma dei perimetri e delle aree delle tessere), **MPE** (perimetro medie delle tessere) – secondo quadrante. Questa componente consente di valutare la frammentazione ambientale. Alla seconda sono correlati gli indici **MSI** (complessità della forma delle tessere), **AWMSI** (complessità della forma pesata sulla dimensione delle tessere), e **AWMPFD** (complessità ambientale pesata sulla dimensione delle tessere) - terzo quadrante. Tale componente spiega pertanto la complessità dell'ecomosaico ambientale e il disturbo legato all'attività antropica (Narumalani et al. 2004).

Tab. 22 PCA: contributo degli indici metrici del paesaggio per i due anni di osservazione alla costruzione degli assi: coefficienti di correlazione – area vasta *collina peri-urbana* (dati per le altre aree vaste non riportati).

	2000		2008	
	Comp1	Comp2	Comp1	Comp2
CA(%)	0,96	0,04	0,67	0,20
PD	-0,67	0,18	-0,66	0,25
MSI	-0,18	-0,94	-0,43	-0,86
MPAR	0,66	-0,35	-0,53	0,12
AWMPFD	-0,49	-0,74	-0,84	-0,49
ED	0,89	0,02	0,18	0,40
MPE	0,36	-0,66	0,55	-0,83
MPS	0,45	-0,25	0,78	-0,51
AWMSI	-0,05	-0,97	-0,48	-0,81
PSCoV	0,80	0,07	0,82	-0,36

Area vasta collina interna

Considerando l'ecomosaico nel suo complesso gli indici metrici del paesaggio (Fig. 26) che sono soggetti a lievi cambiamenti nell'arco temporale di riferimento (2000-2008) sono nel III quadrante MSI, AWMSI e AWMPFD, e nel II quadrante MPE. Tutti gli altri indicatori mostrano rilevanti cambiamenti. In particolare MPS, MPAR, ED e CA, mentre PSCoV ha direzione opposta a questi; infine PD sul IV quadrante.

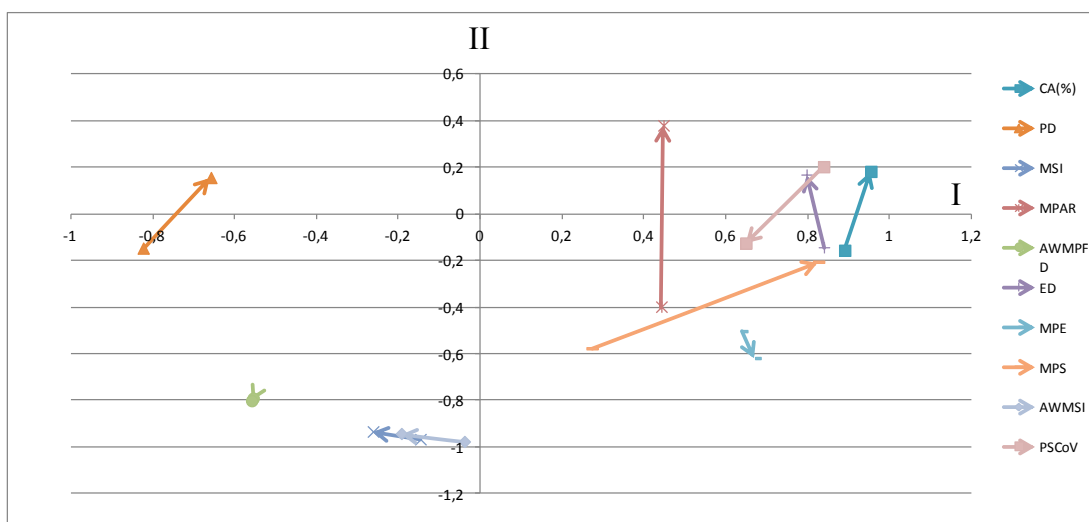


Fig. 26 – Analisi delle componenti principali (PCA) per l'area vasta *collina interna*. Coefficienti di correlazione per i due anni di osservazione rispetto alle due componenti principali.

Come riportato in figura 27 tutte le classi di uso del suolo sono soggette a intensi cambiamenti. In particolare gli ecosistemi lineariformi - siepi, filari e formazioni ripariali - hanno direzione ed intensità di cambiamento simili, legati ad una riduzione della complessità della forma ma ad un aumento dell'effetto margine. A questo cambiamento si contrappone quello dei vigneti tradizionali e specializzati, nonché dei frutteti e delle coltivazioni associate all'olivo, del tessuto urbano e agro-residenziale. In particolare mentre i vigneti tradizionali sono erosi e si frammentano a causa dell'espansione del tessuto urbano e dell'abbandono della pratica agricola, i vigneti specializzati vedono aumentare la propria superficie media (MPS) e diminuire gli indici di complessità dei margini e della forma. Infine, anche il tessuto residenziale rado è soggetto ad intensi cambiamenti ed mostra un andamento simile

a quello delle aree boscate, che sono particolarmente soggette a frammentazione, a dimostrazione dell'aumento dell'effetto margine (*edge effect*) indotto dalla matrice antropizzata limitrofa sui frammenti residui delle aree boscate.

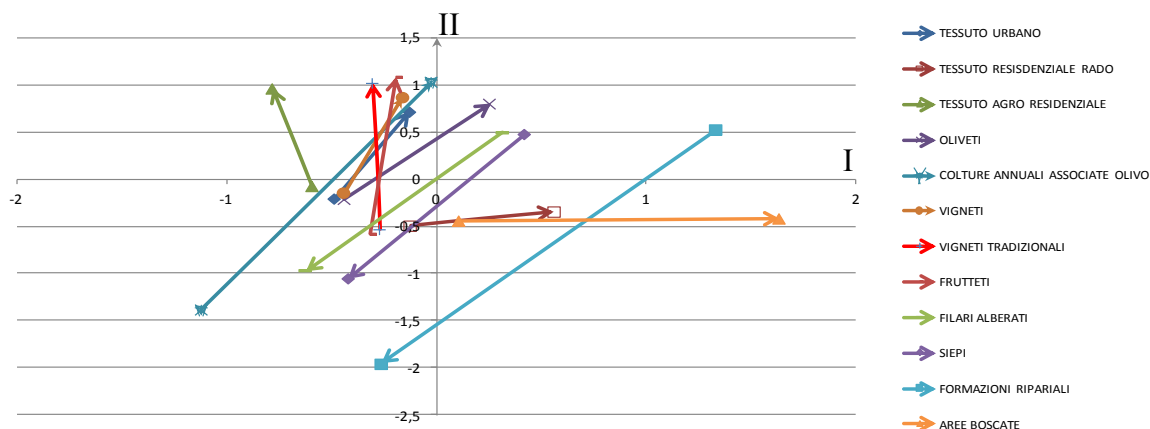


Fig. 27 – Analisi delle componenti principali (PCA) per l'area vasta collina interna. Coefficienti di correlazione per i due anni di osservazione rispetto alle due componenti principali.

Area vasta *pianura costiera*

Gli indici metrici del paesaggio sono oggetto di intensi cambiamenti nell'arco temporale 2000-2008 indagato (Fig. 28). Più evidenti sono le trasformazioni a carico degli indici di configurazione del paesaggio e complessità dei margini: ED, CA che si muovono verso il II quadrante; MPE e MPS verso il I quadrante ed infine PD, PSCoV e MPAR verso il III quadrante. Gli indici di complessità della forma e disturbo antropico subiscono cambiamenti più lievi, ma interessante è notare come si diversificano nella direzione, MSI e AWMSI (complessità della forma) si muovono verso il II quadrante, mentre AWMPFD (disturbo antropico) verso il III quadrante. La classe di uso del suolo (Fig. 29) che è maggiormente responsabile di tali cambiamenti è certamente il tessuto residenziale rado.

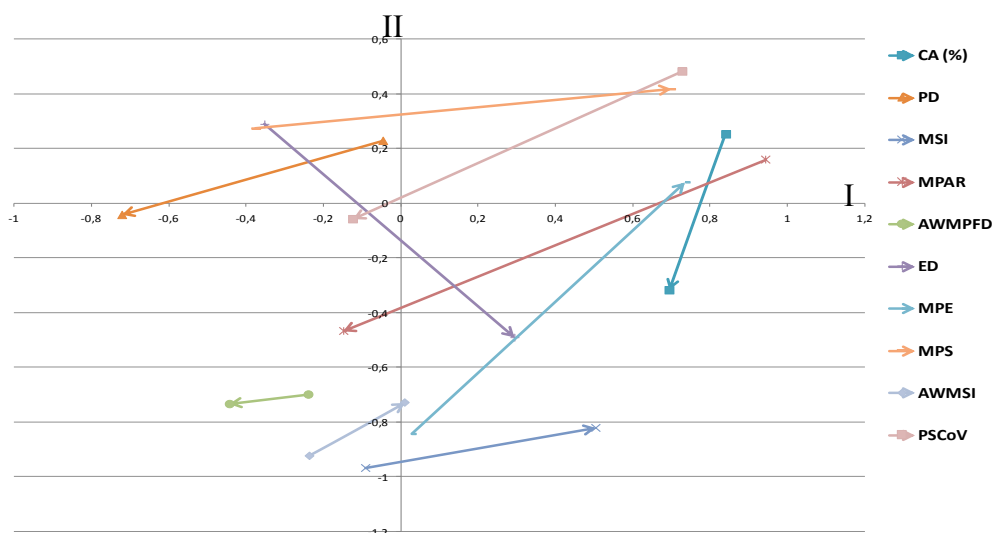


Fig. 28 – Analisi delle componenti principali (PCA) per l'area vasta *pianura costiera*. Coefficienti di correlazione per i due anni di osservazione rispetto alle due componenti principali.

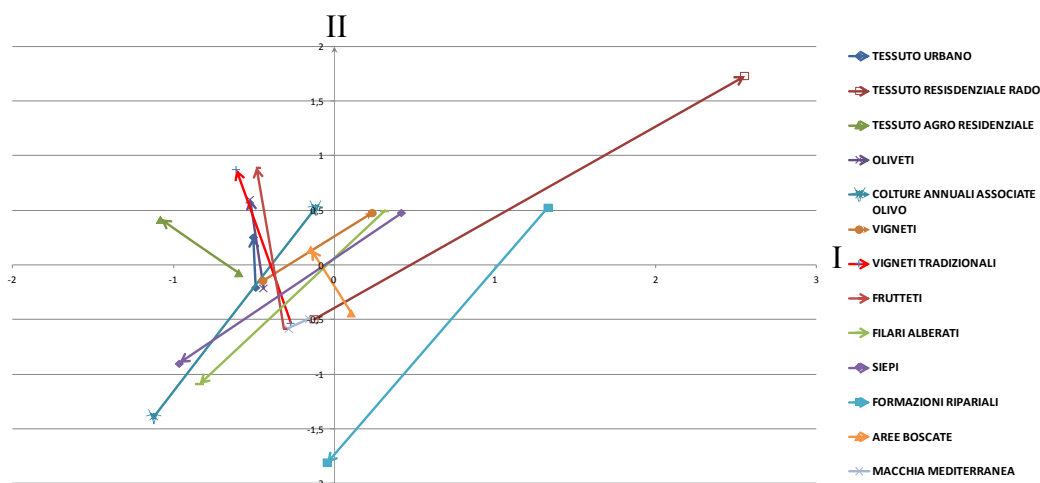


Fig. 29 – Analisi delle componenti principali (PCA) per l'area vasta *pianura costiera*. Coefficienti di correlazione per i due anni di osservazione rispetto alle due componenti principali.

Tutte le infrastrutture ecologiche lineari sono soggette al disturbo antropico e non solo vengono erose ma divengono meno complesse e frammentate, tra queste sono soprattutto le formazioni ripariali ad essere fortemente compromesse. Anche la coltivazione della vite, quando specializzata, è soggetta a riduzione della complessità della forma e dei margini, mentre i sistemi viticoli con assetto tradizionali, assieme alla coltivazione dell'olivo (moderno e tradizionale) sono sempre più frammentati ma mantengono la loro complessità e quella del paesaggio nel quale sono inseriti.

Area vasta collina peri-urbana

Nell'arco temporale di riferimento (2000-2008) i cambiamenti più importanti sono associati a livello di indicatori metrici del paesaggio per la complessità della forma e dei margini - MPE, MPAR, AWMPFD, MSI e AWMSI,ED (Fig. 30). Alle trasformazioni a carico di tali indici sono quindi associate trasformazioni a carico delle singole classi di uso del suolo oggetto di studio (Fig. 31).

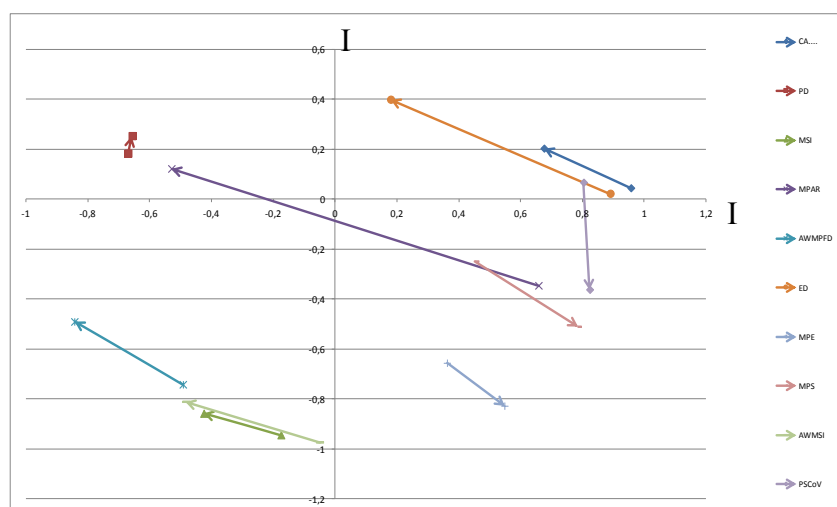


Fig. 30 – Analisi delle componenti principali (PCA) per l'area vasta *collina peri-urbana*. Coefficienti di correlazione per i due anni di osservazione rispetto alle due componenti principali.

Le classi di uso del suolo a cui sono associati cambiamenti più evidenti sono: *i*) il tessuto urbano residenziale, responsabile dello *sprawl urbano* che determina la frammentazione del paesaggio ed in particolare delle aree boscate; *ii*) le infrastrutture ecologiche lineariformi, che sebbene persistono nell'area vasta oggetto di studio sono soggetti a riduzione della complessità della forma, spesso a causa di fattori antropici; *iii*) i vigneti specializzati che sono soggetti ad una diminuzione della complessità di margini (effetto margine ridotto); *iiii*) le coltivazioni tradizionali (vigneti e frutteti), che sebbene soggetti a frammentazione (riduzione MPS e aumento della PD) e mostrino lievi cambiamenti (riduzione) nella complessità della

forma, risultano più ‘resilienti’ collocandosi nel quadrante (IV) in cui non si hanno modificazioni a carico dei coefficienti di correlazione.

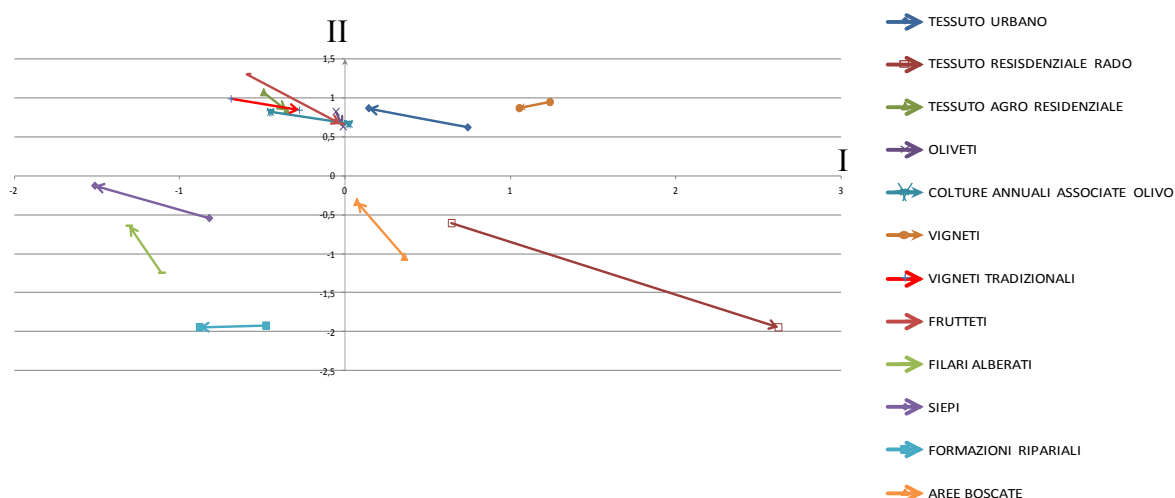


Fig.31 – Analisi delle componenti principali (PCA) per l’area vasta *collina peri-urbana*. Coefficienti di correlazione per i due anni di osservazione rispetto alle due componenti principali.

4.5 Evoluzione del clima

I tre ambienti in cui ricadono le aree territoriali modello sono stati caratterizzati climaticamente attraverso l’uso di indicatori bioclimatici per agli anni 2004-2012, utili a definire la vocazionalità dell’ambiente alla coltivazione della vite e a verificare le alterazioni climatiche in corso.

In tabella 23 sono riportati i valori degli indici bioclimatici per i tre ambienti: *collina interna*, *pianura costiera* e *collina peri-urbana*.

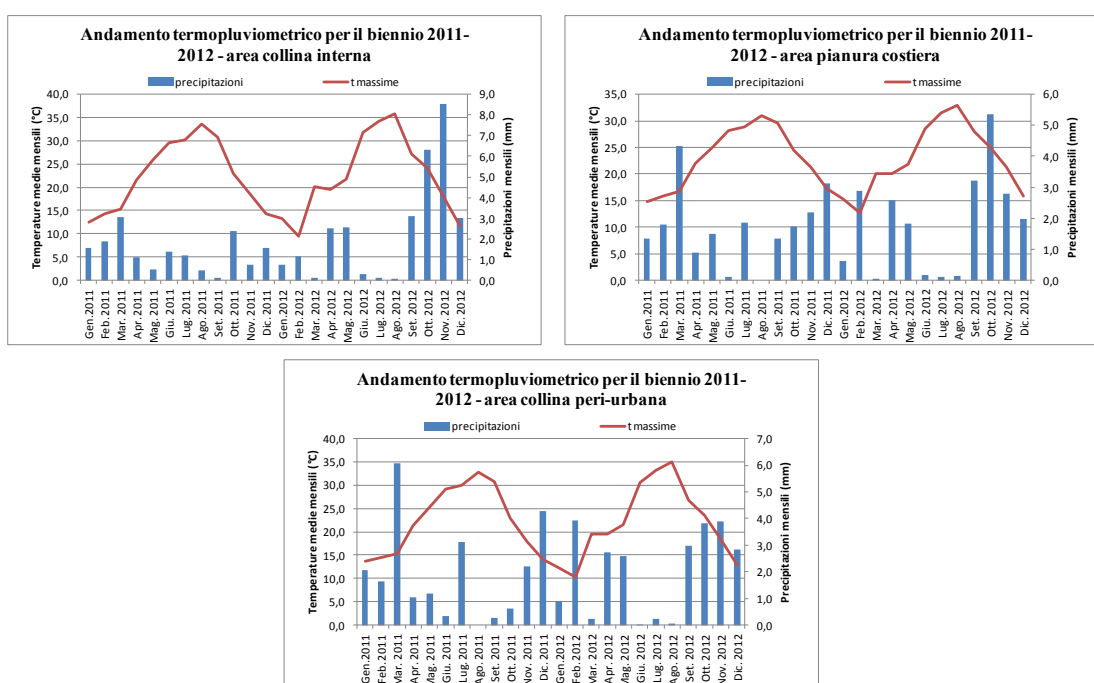
Tab.23 – Indici bioclimatici utilizzati per la caratterizzazione climatica dei tre ambienti oggetto di indagine.

AMBIENTE COLLINA INTERNA	WINKLER	HUGLIN	PRECIPIAZIONI TOTALI	IF	n°giorni Tmax≥30°C
	(GG)	(GG)	(mm)	(°C)	
2004	1819	2302	792	15	81
2005	1605	2172	1383	14	58
2006	2024	2538	707	15	78
2007	2078	2699	453	13	95
2008	2049	2587	1101	14	87
2009	2208	2796	844	16	98
2010	1986	2552	999	15	85
2011	2266	2798	496	17	105
2012	2340	2834	779	16	96
AMBIENTE PIANURA COSTIERA	WINKLER	HUGLIN	PRECIPIAZIONI TOTALI	IF	n°giorni Tmax≥30°C
	(GG)	(GG)	(mm)	(°C)	
2004	2103	2278	702	17	43
2005	2099	2347	1123	17	47
2006	2293	2432	532	18	63
2007	2562	2783	514	18	85
2008	2600	2775	909	18	95
2009	2705	2928	912	20	106
2010	2538	2715	1043	18	92
2011	2606	2794	617	19	93
2012	2699	2844	636	20	99
AMBIENTE COLLINA PERI-URBANA	WINKLER	HUGLIN	PRECIPIAZIONI TOTALI	IF	n°giorni Tmax≥30°C
	(GG)	(GG)	(mm)	(°C)	
2004	2177	2472	797	16	74
2005	2293	2726	1303	17	87
2006	2356	2771	579	16	91
2007	2407	2873	481	15	97
2008	2415	2827	1110	15	92
2009	2544	3013	813	18	109
2010	2272	2721	1020	15	86
2011	2226	2736	723	17	85
2012	2291	2741	743	16	88

Dai dati (Tab.23) emerge il graduale aumento della disponibilità termica (Huglin e Winkler (STA) crescenti per tutti e tre gli ambienti nel corso degli ultimi 8 anni e la notevole la variabilità delle precipitazioni annuali. Le giornate si caratterizzano per sbalzi termici giorno-notte sempre più contenuti, con notti sempre meno fresche e giornate sempre più calde. In particolare, per l'ambiente *pianura costiera* il numero di giorni con Temperature massime maggiori/uguali a 30°C raddoppiano dal 2004 al 2012 con una tendenza esponenziale, mentre l'andamento è in lineare aumento per gli ambienti *collina interna* e *collina peri-urbana*.

Inoltre gli andamenti termo-pluviometrici per le aree oggetto di indagine dettagliatamente per gli anni 2011 e 2012 (Fig. 32), anni relativi alla raccolta dei dati per la valutazione della funzione di *carbon sink* e del bilancio del carbonio, evidenziano la variabilità intercorsa tra questi due anni di sperimentazione. In particolare per tutti e tre gli ambienti l'anno 2011 è risultato più siccitoso ma con piogge più uniformemente distribuite rispetto all'anno 2012, dove le precipitazioni sono risultate più intense e concentrate nel periodo primaverile ed autunno-invernale, e marcata è stata la siccità estiva.

Fig.32 – Andamenti termo-pluviometrici per i tre ambienti oggetto di indagine, negli anni 2011 e 2012.



4.6 Il vigneto come ‘*carbon sink*’

La sostenibilità dell'agro-ecosistema vigneto è stata valutata anche mediante la quantificazione della sua funzione di *carbon sink*. In particolare, questa analisi è stata condotta in due delle tre aree viticole modello individuate nella regione Lazio: l'area della *collina interna* e l'area della *collina peri-urbana*. La quantificazione del

carbonio (C) immagazzinato nel vigneto è stata effettuata alla scala di maggior dettaglio rappresentata dalla singola unità vitata.

4.6.1 Lo stoccaggio del carbonio nella vite: area *collina interna*

Nell'area *collina interna* la funzione di *carbon sink* della pianta è stata stimata distintamente per due modelli produttivi: la conduzione in biologico e convenzionale.

In particolare la stima della Produzione Netta dell'Ecosistema (NEP) nell'agroecosistema vigneto dell'area territoriale modello *collina interna* si è basata sulla determinazione della biomassa ipogea ed epigea prodotta stagionalmente e nel biennio 2011-2012 in due unità vitate differenzianti per la tecnica di gestioni colturali: biologica e convenzionale.

Sebbene non si siano registrate differenze significative di carico produttivo in funzione dell'annata (Tab. 24), al vigneto a conduzione convenzionale è associato un carico produttivo significativamente maggiore (+13,5%) rispetto al vigneto a conduzione biologica (dati non riportati).

Tab. 24 - Parametri quantitativi e qualitativi della produzione nei due sistemi vigneto a diversa gestione e per l'annata 2011, 2012 (area *collina interna*). Test *t-student*, livello significatività .95

Modello di conduzione	Parametri quali-quantitativi	2011	2012	MEDIA	Significatività
CONVENZIONALE	Carico Produttivo (g Uva/ceppo)	2388,33 ± 443,75	1756,26 ± 451,93	2072,30 ± 447,84	ns
	Zuccheri (°Brix)	23,1 ± 0,4	22 ± 0,5	22,55 ± 0,45	**
	Acidità (gr/l Ac. Tart)	7,7 ± 0,4	7,8 ± 0,4	7,75 ± 0,4	**
BIOLOGICO	Carico Produttivo (g Uva/ceppo)	2175,33 ± 491,08	1616,29 ± 497,16	1895,81 ± 494,12	ns
	Zuccheri (°Brix)	23,4 ± 0,12	24,4 ± 0,14	23,9 ± 0,13	**
	Acidità (gr/l Ac. Tart)	7,2 ± 0,6	6,9 ± 0,3	7,05 ± 0,45	**

La ripartizione della biomassa prodotta stagionalmente fra i diversi organi della pianta di vite nell'unità vitata a diversa conduzione è riportata in tabella 25 mentre in tabella 26 sono riportate le tonnellate di C accumulate negli organi delle piante rapportati all'ettaro.

Tab. 25 – Biomassa stagionale prodotta (g) dai singoli ceppi nei due sistemi vigneto (area *collina interna*)

Gestione	CONVENZIONALE		BIOLOGICO	
anno	2011	2012	2011	2012
	(g)			
Organi della pianta				
FOGLIE	279,7 ± 39,0	693,6 ± 22,2	405,2 ± 27,3	505,6 ± 17,8
FEMMINELLE*	-----	338,6 ± 10,1	-----	308,6 ± 23,6
TRALCI	693,0 ±115,5	814,8 ± 208,5	830,4 ± 260,0	656,6 ± 115,9
GRAPPOLI	648,5 ± 268,1	493,5 ± 175,3	574,5 ± 256,3	413,6 ± 133,4
RADICI	269,3 ± 15	252,5 ± 9,8	215,2 ± 12,1	176,1 ± 13,0
TOTALE	1890,5 ± 388,9	2592,9 ± 397,1	2025,4 ± 520,3	2060,5 ± 275,9

* Femminelle rimosse con la potatura verde.

Considerando la numerosità dei ceppi presenti nell'unità vitata (5600 p.te/ha) il vigneto in conduzione biologica nel biennio 2011-2012 potenzialmente ha fissato mediamente 5,72 ($\pm 0,07$) tC ha⁻¹ anno⁻¹, mentre il vigneto in conduzione convenzionale 6,28 ($\pm 1,39$) tC ha⁻¹ anno⁻¹ (Tab. 26).

Tab. 26 – Tonnellate di carbonio stoccate stagionalmente nel vigneto e ripartite fra gli organi della pianta (area *collina interna*.)

Gestione	CONVENZIONALE		BIOLOGICO	
anno	2011	2012	2011	2012
	(tC ha ⁻¹ anno ⁻¹)			
<i>organi della pianta</i>				
FOGLIE	0,78 ± 0,01	1,94 ± 0,01	1,14 ± 0,01	1,42 ± 0,02
FEMMINELLE*	-----	0,95 ± 0,03	-----	0,66 ± 0,07
TRALCI	1,94 ± 0,32	2,28 ± 0,58	2,33 ± 0,73	1,84 ± 0,32
GRAPPOLI	1,82 ± 0,75	1,38 ± 0,49	1,61 ± 0,72	1,16 ± 0,37
RADICI	0,75 ± 0,01	0,71 ± 0,01	0,46 ± 0,03	0,38 ± 0,01
TOTALE	5,29 ± 1,09	7,26 ± 1,11	5,67 ± 1,46	5,1 ± 0,77

* Femminelle rimosse con la potatura verde

La biomassa annualmente accumulata negli organi epigei della vite rappresenta il 90,4% per il vigneto in biologico, e l' 88,0% per il vigneto a conduzione convenzionale (Tab. 27). In particolare gli organi della vite che maggiormente contribuiscono alla fissazione di carbonio risultano differenziati in funzione del sistema di conduzione. Il vigneto in biologico mostra una maggiore stabilità

nell'accumulo di carbonio negli organi della pianta rispetto al convenzionale, più dinamico nell'allocazione del carbonio in funzione dell'annata.

In funzione dell'annata si riscontrano differenze significative nell'allocazione di carbonio tra gli organi della pianta (Tab.27).

Tab. 27– Contributo percentuale all'allocazione del carbonio dei diversi organi della vite per le annate di riferimento nei due sistemi vigneto (area *collina interna*)

	Gestione CONVENZIONALE			significatività	BIOLOGICO		significatività
	anno	2011	2012		2011	2012	
<i>organi della pianta</i>		(%)			(%)		
FOGLIE		14,8%	26,7%	**	20,0%	24,5%	**
FEMMINELLE*		-----	13,1%	**	-----	15,0%	**
TRALCI		36,7%	31,4%	***	41,0%	31,9%	***
GRAPPOLI		34,3%	19,0%	**	28,4%	20,1%	**
RADICI		14,2%	9,7%	**	10,6%	8,5%	**
TOTALE		100,0%	100,0%	**	100,0%	100,0%	**

* Femminelle rimosse con la potatura verde.

Tab.28 - Contributo percentuale medio (2011, 2012) all'allocazione del carbonio dei diversi organi della pianta nei due sistemi vigneto (area *collina interna*)

	Gestione CONVENZIONALE BIOLOGICO		
	(%)		
<i>organi della pianta</i>			
FOGLIE	20,8%	22,3%	n.s
FEMMINELLE*	6,5%	7,5%	n.s
TRALCI	34,0%	36,4%	n.s
GRAPPOLI	26,7%	24,2%	n.s
RADICI	12,0%	9,6%	* 0.01
TOTALE	100,0%	100,0%	

* Femminelle rimosse con la potatura verde

Le piante di vite sia in conduzione biologica che in convenzionale accumulano C prevalentemente nei tralci e nei grappoli, che insieme rappresentano il 60% della biomassa prodotta (Tab. 28). Il contributo della biomassa ipogea, pari al 12% e al 9,6% rispettivamente per il vigneto in convenzionale e biologico, risulta significativamente maggiore nel vigneto in conduzione convenzionale (Tab. 28).

Ai fini della stima del bilancio netto del carbonio nella pianta e nel vigneto si è proceduto alla quantificazione della respirazione radicale per determinare le perdite di CO₂. La respirazione radicale è risultata pari a 696,52 µg C-CO₂ Kg di suolo⁻¹·h¹.

Tale respirazione è stata quindi rapportata al volume di suolo esplorato da ogni pianta ($0,6\text{m}^3$) e alla biomassa ipogea stagionalmente prodotta da ciascun ceppo. È stata pertanto determinata la respirazione radicale attribuita a ciascuna pianta (Tab. 29).

Tab. 29 – Tasso medio stagionale della respirazione radicale in piante di vite in funzione del sistema di conduzione – area *collina interna*.

Conduzione	Anno	Respirazione radicale della vite	Respirazione radicale dell'unità vitata ^z
		(kg C-CO ₂ pianta ⁻¹ anno ⁻¹)	(tC-CO ₂ ha ⁻¹ anno ⁻¹)
Convenzionale	2011	0,009 (±0,004)	0,05 (±0,02)
	2012	0,019 (±0,01)	0,11 (±0,06)
	Media	0,014 (±0,007)	0,08 (±0,04)
Biologico	2011	0,007 (±0,003)	0,04 (±0,01)
	2012	0,014 (±0,007)	0,08 (±0,04)
	Media	0,010 (±0,005)	0,06 (±0,03)

^z Densità d'impianto 5600 p.te·ha⁻¹.

4.6.2 Stoccaggio del carbonio nel suolo (*collina interna*)

Il suolo dei due vigneti a diversa conduzione (convenzionale vs biologico) nell'area *collinare interna* è stato studiato in relazione alla sua capacità di accumulare C organico, parametro poi ulteriormente caratterizzato considerando anche la frazione di C derivante dalla biomassa microbica. Il suolo dei due vigneti è risultato uniformemente lungo il profilo argilloso e franco-argilloso, rispettivamente nel vigneto in regime convenzionale e in biologico (Tab.30).

Tab. 30 – Granulometria e classificazione del suolo (ISSS) (2012) nei due sistemi vigneto a diversa conduzione (area *collina interna*).

CONDUZIONE	PROFONDITÀ	% ARGILLA	% LIMO	% SABBIA	classificazione ISSS
convenzionale	0/20	42,16	22,91	34,92	<i>argilloso</i>
	20/40	43,72	22,20	34,08	<i>argilloso</i>
	40/60	46,06	23,55	30,39	<i>argilloso</i>
biologico	0/20	39,92	26,93	33,16	<i>franco argilloso</i>
	20/40	36,85	27,36	35,79	<i>franco argilloso</i>
	40/60	32,64	22,90	44,46	<i>franco argilloso</i>

I parametri chimici dei suoli dei due vigneti oggetto di studio sono riportati in tabella 30. Il contenuto d'azoto è risultato più elevato nel vigneto biologico e costantemente a tutte le profondità (Fig. 33); nello stesso ambiente il carbonio organico totale (TOC) è risultato più elevato rispetto al convenzionale a tutte le profondità (Tab. 31; Fig.34), anche se in modo meno evidente negli strati più profondi.

Tab.31 - Parametri chimici del suolo nei due sistemi vigneto a diversa conduzione (area *collina interna*)

CONDUZIONE	PROFONDITÀ	AZOTO TERRENO N (gr/kg)	CARBONIO ORGANICO TOTALE TOC (%)	pH
<i>convenzionale</i>	0/20	1,45 ± 0,08	1,56 ± 0,29	6,20 ± 0,03
<i>convenzionale</i>	20/40	1,22 ± 0,08	1,24 ± 0,13	6,08 ± 0,02
<i>convenzionale</i>	40/60	1,27 ± 0,14	1,19 ± 0,08	6,05 ± 0,01
<i>biologico</i>	0/20	2,23 ± 0,36	2,72 ± 0,62	6,76 ± 0,16
<i>biologico</i>	20/40	2,11 ± 0,06	1,85 ± 0,02	7,04 ± 0,08
<i>biologico</i>	40/60	2,01 ± 0,20	1,54 ± 0,01	8,40 ± 2,18

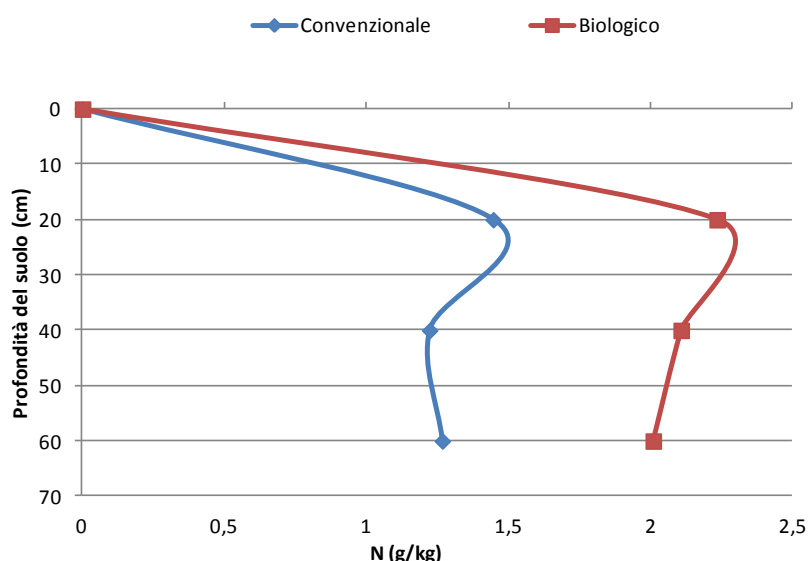


Fig. 33 – Andamento del contenuto di Azoto (g/Kg) nel suolo dei vigneti in conduzione biologica e convenzionale nell'area *collina interna*.

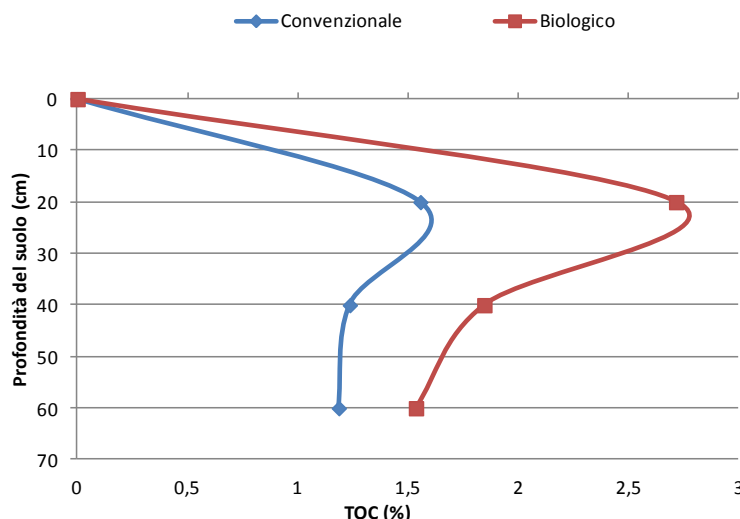


Fig. 34 – Andamento del contenuto di Carbonio Organico Totale (TOC - %) nel suolo dei vigneti in conduzione biologica e convenzionale nell'area *collina interna*.

Dai valori del TOC rapportati all'unità di superficie (ha), in funzione di una densità apparente di $1,4 \text{ g/cm}^3$, risulta che il carbonio presente nei primi 20 cm di suolo del vigneto a conduzione biologica è di $73,35 \text{ tC ha}^{-1}$ fino ad arrivare a $168,44 \text{ tC ha}^{-1}$ nei primi 60 cm di profondità. Ridotto è il serbatoio di carbonio presente nel suolo del vigneto a conduzione convenzionale rispetto al vigneto a conduzione biologica, rispettivamente del 40% e del 30% nei primi 20 cm e 60 cm di profondità, con valori pari a $44,16 \text{ tC ha}^{-1}$ (profondità 20 cm) e $117,25 \text{ tC ha}^{-1}$ (profondità 60 cm).

Dalla caratterizzazione microbiologica della frazione carbonica organica emerge che il vigneto in biologico e in convenzionale hanno valori di biomassa microbica rispettivamente di $148,48 (\pm 17,67)$ e $134,00 (\pm 27,92) \mu\text{gC}\cdot\text{g terreno secco}^{-1}$.

Infine per verificare l'attività microbica sono stati determinati la respirazione basale, misura della respirazione microbica potenziale, cioè in condizioni ottimali di temperatura e disponibilità idrica, e comunemente considerata come un indicatore della capacità di decomposizione complessiva della sostanza organica, il quoziente metabolico ($q\text{CO}_2$), il quoziente di mineralizzazione della sostanza organica ($q\text{M}$) e il rapporto tra C-Biomassa (C min) e il TOC. Le curve di respirazione, sia giornaliere che cumulative (Figg. 35 A e B), mostrano uno svolgimento maggiore di CO_2 da parte della popolazione microbica presente nel vigneto in biologico.

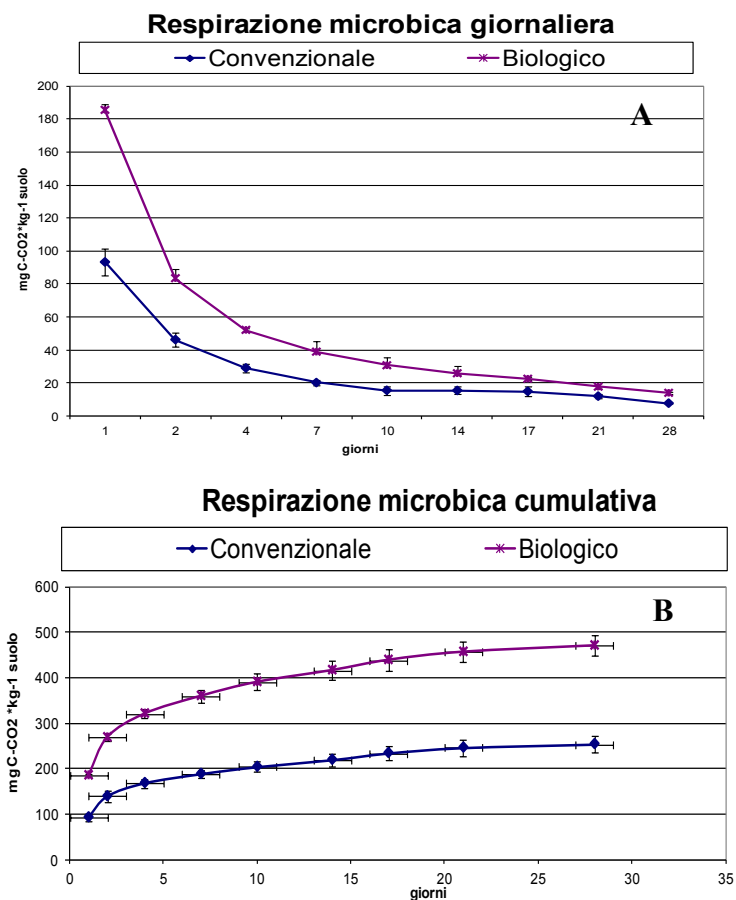


Fig.35 – Andamento della respirazione giornaliera basale (A) e cumulata (B) nei primi 20 cm di profondità nei suoli dei due vigneti a diversa conduzione (area *collina interna*).

In particolare la respirazione basale (28° giorno) per i due sistemi vigneto risulta essere di 7,69 ($\pm$ 0,05) e 17,44 ($\pm$ 4,89) mgC-CO₂.kg⁻¹ suolo rispettivamente per il vigneto in conduzione convenzionale e biologico. Mentre la respirazione cumulata (28° giorno) è di 254,42 ($\pm$ 17,80) e 461,05 ($\pm$ 14,02) mgC-CO₂.kg⁻¹ suolo, rispettivamente per il vigneto in conduzione convenzionale e biologico.

Infine in tabella 32 sono riportati i valori del quoziente metabolico (qCO₂), di mineralizzazione della sostanza organica (qM) e il rapporto tra C-Biomassa (C-*min*) e il TOC. Il vigneto in conduzione biologico mostra valori più elevati per il quoziente metabolico e di mineralizzazione, mentre il rapporto C *min* e carbonio totale è ridotto rispetto ai valori associati al vigneto a conduzione convenzionale.

Tab.32 – Valori del quoziente metabolico (qCO_2) e di mineralizzazione della sostanza organica (qM) e il rapporto C-Biomassa (C_{min}) e carbonio organico totale (TOC) per i due sistemi vigneto a diversa conduzione – *collina interna*.

Conduzione	qCO_2 (10^{-2}) h^{-1}	qM (%)	C_{min} / TOC (%)
Convenzionale	0,25	1,65	0,86
Biologico	0,58	2,72	0,55

4.6.3 Il bilancio del carbonio nel vigneto (*collina interna*)

Sulla base dei risultati ottenuti per lo stoccaggio del C negli organi epigei ed ipogei della vite, del C stoccato dal suolo e delle perdite per respirazione delle radici e del suolo è stato stimato il bilancio del C sia a livello di singolo ceppo che a livello di unità vitata nei modelli viticoli a diversa conduzione (convenzionale e biologico). In particolare, tale bilancio è stato calcolato sottraendo agli *input* (carbonio stoccato dalla pianta di vite negli organi epigei ed ipogei) gli *output* costituiti dal carbonio perso dalla pianta per respirazione radicale (per il bilancio a livello di singola pianta) a cui si somma la respirazione della biomassa microbica (respirazione del suolo) per il bilancio a livello di unità vitata.

I due bilanci del carbonio e le diverse frazioni di carbonio stoccate a livello di pianta e di unità vitata sono riportati nei modelli di figure 36 (A e B) e 37 (A e B) rispettivamente per vigneto a conduzione convenzionale e biologica.

Mediante ogni singolo ceppo di vite a conduzione convenzionale durante la stagione vegetativa, al netto delle perdite per respirazione delle radici ($0,010 \pm 0,005$ KgC·pianta¹·anno⁻¹) è in grado di stoccare $1,11 (\pm 0,25)$ KgC·pianta¹·anno⁻¹. A livello di unità vitata il vigneto in conduzione convenzionale al netto delle perdite per respirazione del suolo ($4,52 \pm 0,47$ tC·ha¹·anno⁻¹) e delle radici ($0,06 \pm 0,03$ tC·ha¹·anno⁻¹) è in grado di stoccare $1,70 (\pm 0,48)$ tC·ha¹·anno⁻¹. Per il vigneto a conduzione biologica, sebbene il bilancio del carbonio a livello di singola pianta comporti uno stoccaggio di carbonio di $1,01 (\pm 0,02)$ KgC·pianta¹·anno⁻¹ al netto delle perdite per respirazione radicale ($0,012 \pm 0,003$ KgC·pianta¹·anno⁻¹), a livello di unità vitata il vigneto depaupera il serbatoio di C sottraendo al sistema $4,24 (\pm 0,45)$ tC·ha¹·anno⁻¹ con una respirazione del suolo più elevata ($9,89 \pm 0,66$ tC·ha¹·anno⁻¹) rispetto a quella del vigneto in convenzionale.

Considerato il C fissato nel vigneto convenzionale stagionalmente questo è in grado di sottrarre all'atmosfera $6,22 (\pm 0,6) \text{ t eq.CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ mentre il vigneto a conduzione biologica emette $15,4 (\pm 1,1) \text{ t eq.CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$.

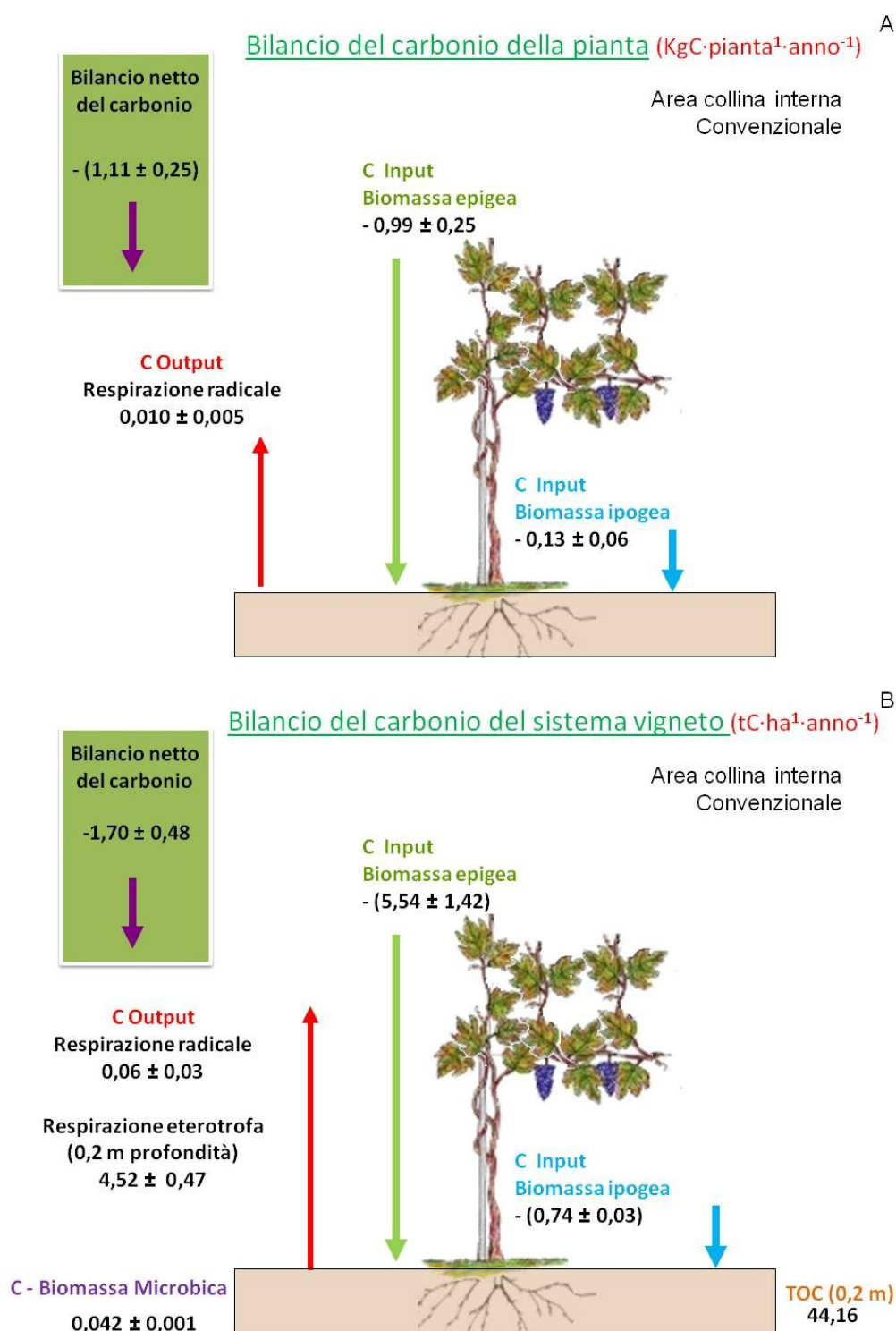


Fig. 36- A) Bilancio del carbonio in *Vitis vinifera* (cv Merlot/Paulsen 1103) B) Bilancio del carbonio nell'agro-ecosistema vigneto a conduzione convenzionale ($5600 \text{ p.te ha}^{-1}$) nell'area collina-interna.

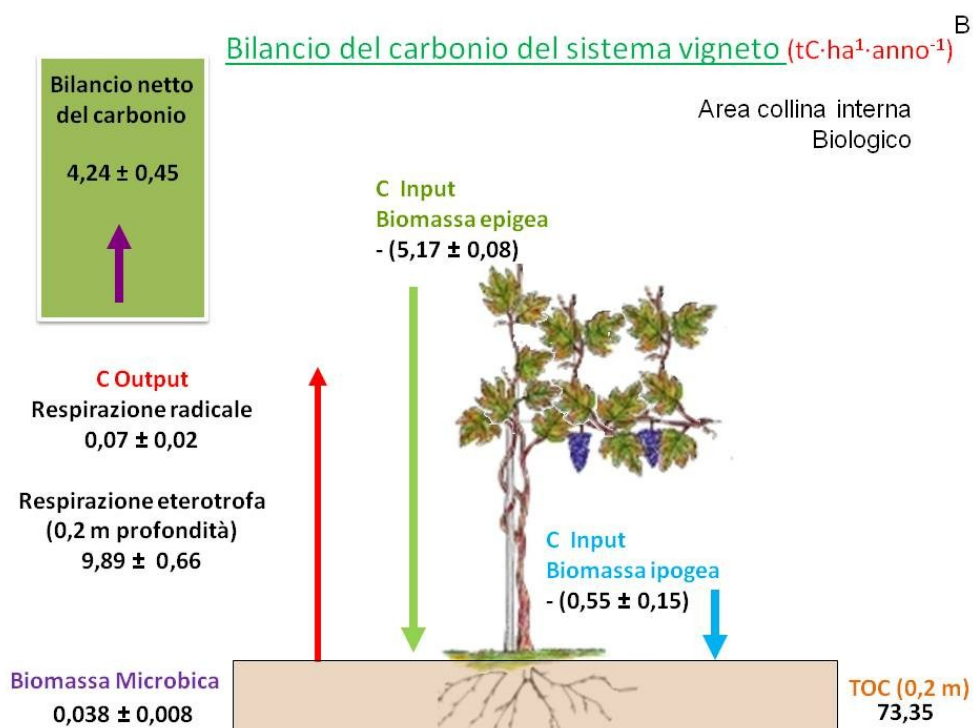
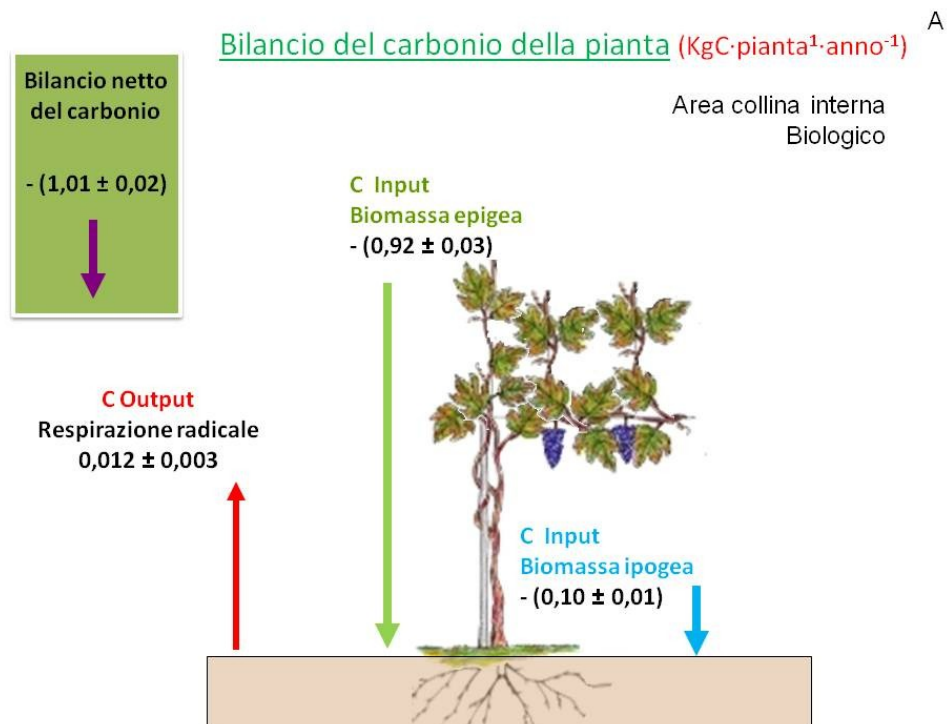


Fig. 37 - A) Bilancio del carbonio in *Vitis vinifera* (cv Merlot/Paulsen 1103) B) Bilancio del carbonio nell'agro-ecosistema vigneto a conduzione biologica (5600 p.te ha⁻¹) nell'area collina-interna.

4.6.4 Statistica del bilancio del carbonio (*collina interna*)

L'analisi statistica dei dati ottenuti dalla misura della funzione di carbon sink del vigneto è stata condotta mediante analisi delle componenti principali (PCA). Il set di dati riportato in tabella 33 è stato utilizzato per eseguire la PCA.

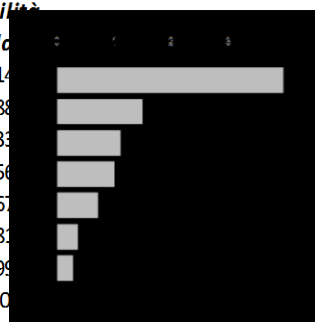
Tab. 33 – Set di dati grezzi utilizzati per l'analisi statistica delle componenti principali (*collina interna*)

PESO SECCO (g) ACCUMULATO NEI VARI ORGANI DELLA PIANTA								
REPLICA	CONDUZIONE	ANNO	RADICI	TRALCI	FOGLIE	FEMMINELLE	GRAPPOLI	PRODUZIONE TOTALE
1	CONVENZIONALE	2011	851,00	731,98	169,32	0,00	883,70	2636,00
2	CONVENZIONALE	2011	515,01	881,05	107,07	0,00	1069,40	2572,53
3	CONVENZIONALE	2011	1409,88	566,72	262,70	0,00	632,10	2871,40
4	CONVENZIONALE	2011	540,70	610,39	269,75	0,00	548,70	1969,55
5	CONVENZIONALE	2011	669,34	625,53	147,33	0,00	1286,60	2728,79
6	CONVENZIONALE	2011	746,01	742,49	230,66	0,00	1619,00	3338,16
1	CONVENZIONALE	2012	331,34	671,98	518,96	308,55	1549,45	3380,28
2	CONVENZIONALE	2012	322,76	854,87	327,45	308,55	1475,40	3289,03
3	CONVENZIONALE	2012	530,82	525,37	402,85	308,55	1737,60	3505,19
4	CONVENZIONALE	2012	1073,60	567,26	552,24	308,55	1333,65	3835,30
5	CONVENZIONALE	2012	443,17	625,37	640,56	308,55	2600,95	4618,60
6	CONVENZIONALE	2012	364,89	694,74	486,22	308,55	1840,50	3694,89
1	BIOLOGICO	2011	487,85	694,12	233,53	0,00	328,90	1744,41
2	BIOLOGICO	2011	823,46	639,89	152,70	0,00	1115,40	2731,46
3	BIOLOGICO	2011	497,66	898,58	620,25	0,00	714,00	2730,48
4	BIOLOGICO	2011	895,37	1318,32	344,12	0,00	405,00	2962,81
5	BIOLOGICO	2011	452,46	631,84	302,50	0,00	1137,20	2524,00
6	BIOLOGICO	2011	593,24	799,78	511,64	0,00	1215,60	3120,26
1	BIOLOGICO	2012	791,16	1057,30	490,43	338,61	2050,20	4727,70
2	BIOLOGICO	2012	694,93	836,11	359,45	338,61	1108,80	3337,90
3	BIOLOGICO	2012	647,59	924,15	381,25	338,61	1788,73	4080,34
4	BIOLOGICO	2012	398,44	948,34	545,42	338,61	2239,33	4470,14
5	BIOLOGICO	2012	975,81	556,30	578,60	338,61	1491,50	3940,82
6	BIOLOGICO	2012	553,97	566,74	471,03	338,61	1019,20	2949,55

Il set di autovalori ottenuti per tale della PCA, con i relativi valori di variabilità spiegata e cumulata per ciascun autovettore o asse individuato sono riportati in tabella 34. Le prime due componenti principali spiegano il 60,87% della variabilità dei dati. In particolare, la I componente principale è legata alla tecnica di conduzione e alla biomassa del legno stagionalmente prodotto dalla pianta, mentre l'annata e le altre variabili contribuiscono alla costruzione della II componente principale (Tab.35).

Tab.34 - PCA: autovalori e variabilità spiegata-cumulata- ambiente *collina interna*.

N.	autovalori	variabilità spiegata	variabilità cumulata
1	3,97	44,14	44,14
2	1,51	16,74	60,88
3	1,12	12,45	73,33
4	1,01	11,23	84,56
5	0,73	8,11	92,67
6	0,37	4,14	96,81
7	0,29	3,18	99,99
8	0,00	0,01	100,00

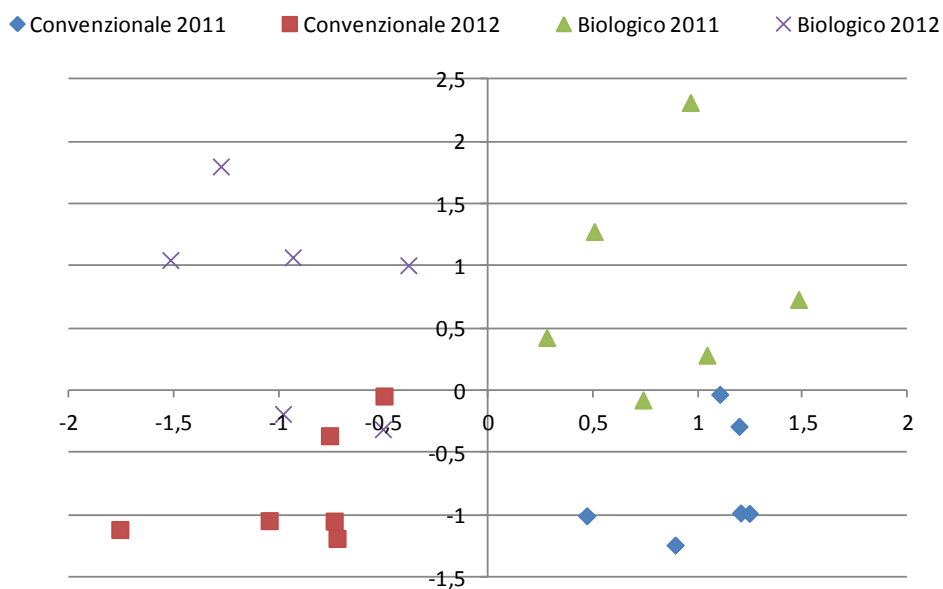


Tab.35 - PCA: contributo delle variabili analizzate per la determinazione della funzione di *carbon sink* del vigneto alla costruzione degli assi: coefficienti di correlazione – area *collina interna*.

	I Componente	II Componente
CONDUZIONE	-0,049	0,781
ANNO	-0,927	-0,033
RADICI	0,266	-0,026
TRALCI	-0,013	0,843
FOGLIE	-0,771	0,126
FEMMINELLE	-0,925	0,002
GRAPPOLI	-0,857	-0,173
PRODUZIONE TOTALE	-0,909	0,096

La distribuzione dei punteggi (factors scores) per i 6 ceppi delle variabili considerate rispetto alle due componenti principali evidenzia una netta separazione tra le repliche in funzione della conduzione, e all'interno di queste tra le due annate oggetto di studio 2011 e 2012 (Fig.38).

Fig.38 – Distribuzione dei punteggi assunti dalle 6 repliche (piante) selezionate per la stima della funzione di *carbon sink* per la pianta a diversa gestione per le annate vegeto-produttive 2011, 2012 – ambiente *collina interna*.



4.6.5 Lo stoccaggio del carbonio nella vite: area *collina peri-urbana*

Anche per l'area viticola della *collina peri-urbana* è stata valutata la funzione di *carbon sink* dell'agro-ecosistema vigneto. La conduzione del vigneto presente è quella convenzionale. Il carico produttivo medio del vigneto è di $5,55 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, con valori qualitativi delle bacche riportati in tabella 36.

Tab. 36 - Parametri quantitativi e qualitativi della produzione per il vigneto in ambiente *peri-urbano* per le annate 2011, 2012. Test *t-student*, livello significatività .95

Conduzione	Parametri quali-quantitativi	2011	2012	MEDIA	Significatività
CONVENZIONALE	Carico produttivo (kg uva /ceppo)	5,24 ± 1,10	5,85 ± 1,21	5,55 ± 0,43	*
	Zuccheri (°Brix)	23,8 ± 0,36	24,1 ± 0,52	23,9 ± 0,44	**
	Acidità (gr/l Ac. Tart.)	6,52 ± 0,13	6,83 ± 0,21	6,68 ± 0,18	**

La biomassa stagionalmente prodotta e le tonnellate di carbonio accumulate negli organi della pianta sono riportati rispettivamente in Tab. 37 e 37A.

Tab.37 – Biomassa stagionale prodotta (g) nei singoli ceppi del vigneto in area *collina peri-urbana*.

	anno	2011	2012
<i>organi della pianta</i>			(g)
FOGLIE		377,28 ± 72,3	617,47 ± 12,5
FEMMINELLE		188,11 ± 53,36	184,34 ± 21,93
TRALCI		251,12 ± 44,89	609,42 ± 110,50
GRAPPOLI		935,79 ± 196,31	1045,17 ± 216,57
RADICI		606,79 ± 138,50	405,67 ± 39,50
TOTALE		2359,09 ± 440,29	2862,70 ± 354,20

Tab. 37A- Tonnellate di carbonio stoccate stagionalmente negli organi del vigneto e ripartiti tra gli organi della pianta- area *collina peri-urbana*.

organi della pianta	anno	2011	2012			Significatività
		(tC ha ⁻¹ anno ⁻¹)				
FOGLIE		1,06 ± 0,02	1,73 ± 0,01			***
FEMMINELLE		0,53 ± 0,15	0,52 ± 0,06			***
TRALCI		0,70 ± 0,13	1,71 ± 0,31			***
GRAPPOLI		2,62 ± 0,55	2,93 ± 0,61			**
RADICI		1,70 ± 0,39	1,14 ± 0,01			***
TOTALE		6,61 ± 1,23	8,01 ± 0,99			**

Mediamente il vigneto a conduzione convenzionale in ambito *peri-urbano* è in grado di stoccare negli organi della pianta (7,31 ± 1,11) tC ha⁻¹ anno⁻¹.

Il contributo maggiore allo stoccaggio del carbonio nel sistema vigneto è dato dai grappoli, mentre un rilevante apporto è dato dal turn-over dell'apparato radicale che nel 2011 raggiunge un quarto del carbonio totale stoccato dalla pianta (Tab.38).

Tab. 38 – Contributo percentuale all'allocazione del carbonio dei diversi organi della pianta per le annate di riferimento nel sistema vigneto - area *collina peri-urbana*.

organi della pianta	anno	2011	2012	Significatività
FOGLIE		16,0%	21,6%	**
FEMMINELLE		8,0%	6,4%	**
TRALCI		10,6%	21,3%	**
GRAPPOLI		39,7%	36,5%	**
RADICI		25,7%	14,2%	**
TOTALE		100,0%	100,0%	

Il tasso di respirazione radicale, come riportato in precedenza è risultato di 696,52 µg C·Kg di suolo⁻¹·h⁻¹, parametro che è stato utilizzato anche in questo caso per la successiva stima della respirazione radicale, input necessario per la determinazione del bilancio del carbonio a livello di ceppo e di unità vitata. Il tasso di respirazione radicale a livello di singola pianta è risultato essere di 0,012 (± 0,003) KgC·pianta⁻¹·anno⁻¹, mentre a livello di unità vitata è risultato di 12,05 (± 2,5) tC·ha⁻¹·anno⁻¹.

4.6.6 Stoccaggio del carbonio nel suolo (*collina peri-urbana*)

Parallelamente a come proceduto per il suolo dei vigneti in area *collina interna*, anche per il vigneto in ambiente *peri-urbano* si sono determinati i parametri fisici chimici e microbiologici fondamentali per determinarne la funzionalità.

Il vigneto peri-urbano è caratterizzato da una granulometria che lo classifica come franco sabbioso; i dati della composizione granulometrica sono riportati in tabella 39.

Tab. 39 – Granulometria e classificazione del suolo (ISSS) (2012) nel sistema vigneto (area *collina peri-urbana*).

CONDUZIONE	PROFONDITÀ	% ARGILLA	% LIMO	% SABBIA	classificazione ISSS
Convenzionale	0/20	18,068	21,735	60,197	<i>franco sabbioso</i>
	20/40	16,912	23,455	59,632	<i>franco sabbioso</i>
	40/60	10,549	29,299	60,152	<i>franco sabbioso</i>

I parametri chimici misurati per il sistema vigneto in ambito *peri-urbano* sono riportati in tabella 40 e figura 39.

Tab. 40- Parametri chimici del suolo del vigneto in area *collina peri-urbana*.

PROFONDITÀ	AZOTO TERRENO N (gr/kg)	CARBONIO ORGANICO TOTALE TOC (%)	pH
0/20	1,30 ± 0,31	2,46 ± 0,49	7,47 ± 0,15
20/40	1,18 ± 0,11	1,08 ± 0,05	7,74 ± 0,06
40/60	1,03 ± 0,23	1,05 ± 0,02	7,78 ± 0,01

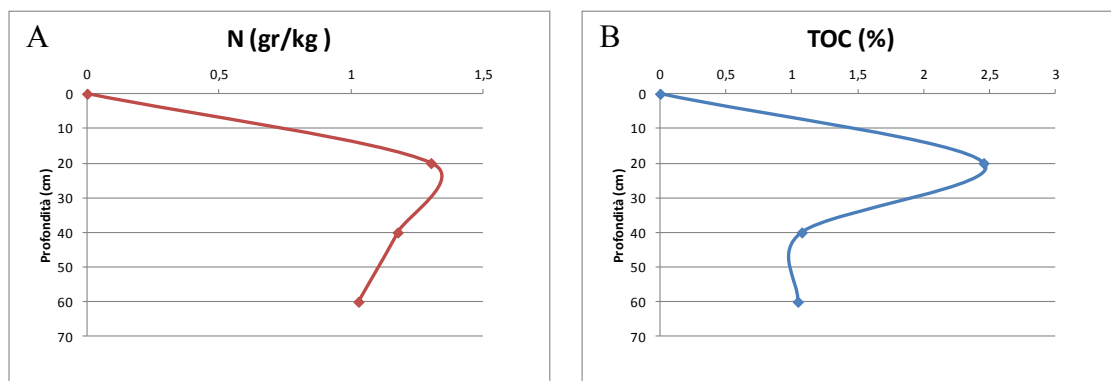


Fig.39 – Andamento del contenuto di Azoto (g/Kg) (A) e del contenuto di Carbonio Organico Totale (TOC - %) (B) nel suolo del vigneto a conduzione convenzionale nell'area *collina peri-urbana*.

Il carbonio organico totale presente nei primi 20 cm di suolo che risulta essere di $(68,74 \pm 13,66)$ tC ha⁻¹, mentre nei primi 60 cm il TOC raggiunge valori di $127,05 (\pm 22,87)$ tC ha⁻¹.

La valutazione della funzionalità biologica del terreno ha indicato che mediamente nei primi 20 cm di suolo la biomassa microbica è presente ad una concentrazione di $(233,39 \pm 28,21)$ µgC·g terreno secco⁻¹, mentre l'andamento delle respirazioni giornaliera e cumulativa (28° giorno) sono riportate in figura 40 A e B.

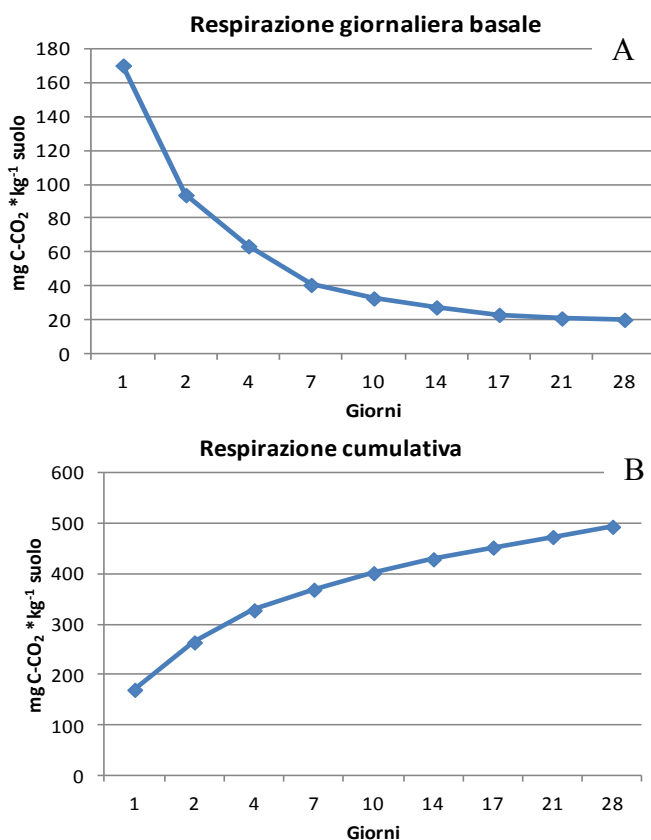


Fig.40 –Andamento della respirazione giornaliera basale (A) e cumulata (B) nel suolo del vigneto a gestione convenzionale – area *collina peri-urbana*.

In particolare la respirazione basale (28° giorno) risulta essere di 20,17 ($\pm$ 2,45 mgC-CO₂.kg⁻¹), mentre la respirazione cumulata (28° giorno) è di 492,83 ($\pm$ 19,29) mgC-CO₂.kg⁻¹ suolo.

In tabella 41 sono riportati i valori del quoziente metabolico (qCO₂) e di mineralizzazione della sostanza organica (qM), nonché il rapporto C-Biomassa (*Cmin*) e carbonio organico totale (TOC) del vigneto in area *peri-urbana*.

Tab.41 – Valori del quoziente metabolico (qCO₂) e di mineralizzazione della sostanza organica (qM) e il rapporto C-Biomassa (*Cmin*) e carbonio organico totale (TOC) per i due sistemi vigneto a diversa conduzione – *collina peri-urbana*.

Conduzione	qCO ₂ (10 ⁻³)h ⁻¹	qM (%)	Cmin/TOC (%)
Convenzionale	0,38	2,03	0,91

4.6.7 Il bilancio del carbonio nel vigneto (*collina peri-urbana*)

Anche in area *peri-urbana* è stato determinato il bilancio del carbonio a livello di singola pianta e di unità vitata. In particolare, è risultato che ciascun ceppo è in grado di stoccare, al netto della respirazione radicale, pari a 0,012 ($\pm$ 0,003) KgC·pianta⁻¹·anno⁻¹, 1,29 ($\pm$ 0,18) kgC·pianta⁻¹·anno⁻¹ (Fig.41). Per l'unità vitata, invece, al netto della respirazione del suolo 12,05 ($\pm$ 2,5) tC·ha⁻¹·anno⁻¹, il bilancio del carbonio comporta l'allontanamento di 4,75 ($\pm$ 0,77) tC·ha⁻¹·anno⁻¹, corrispondente ad un emissione di 17,41 ($\pm$ 2,82) t eq. di CO₂ ha⁻¹·anno⁻¹ (Fig.42).

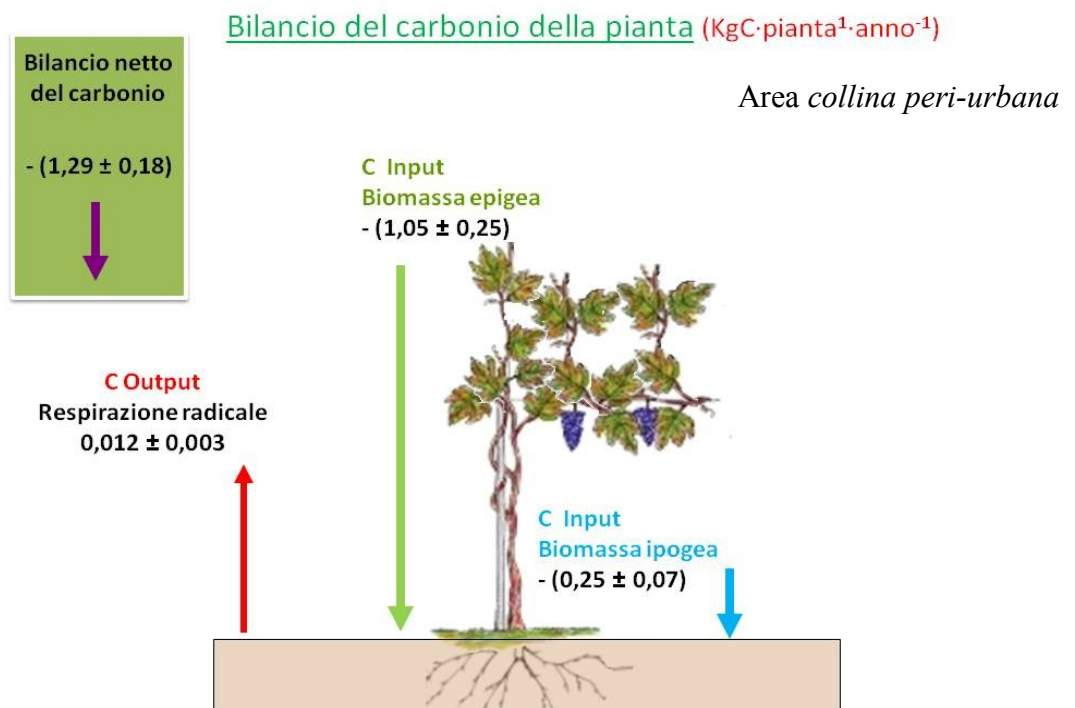


Fig. 41– Bilancio del carbonio a livello di singola pianta in *Vitis vinifera* (cv Merlot/Paulsen 1103) nell'area collina peri-urbana.

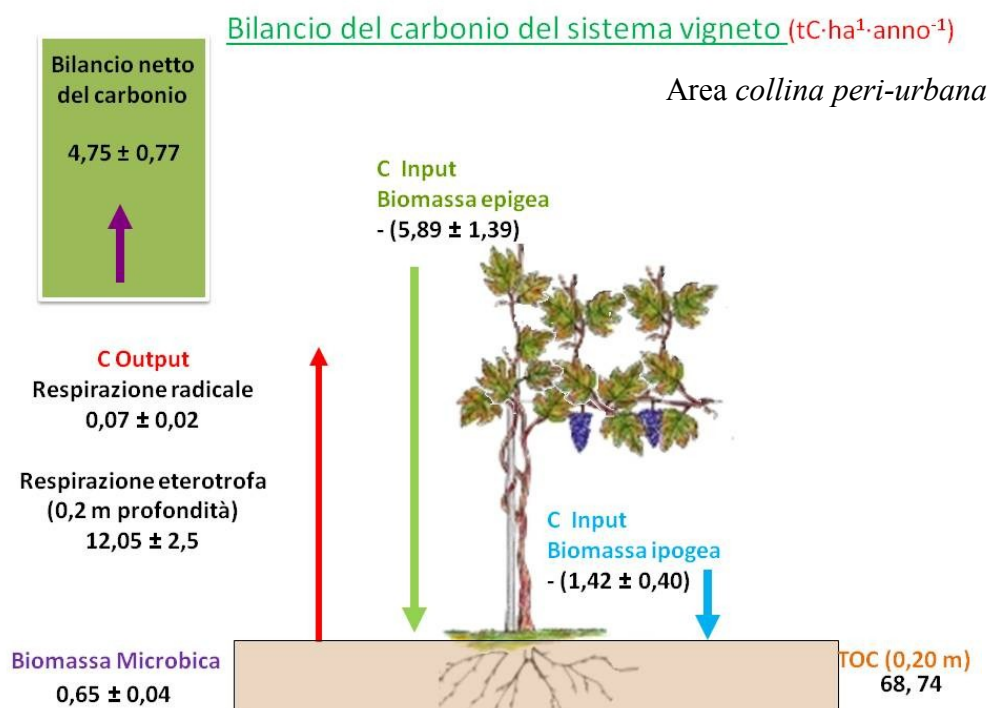


Fig. 42 - Bilancio del carbonio a livello di unità vitata ($5600 \text{ p.te ha}^{-1}$) in area collina peri-urbana

4.6.8 Statistica del bilancio del carbonio (*collina peri-urbana*)

I dati utilizzati per l'analisi statistica delle componenti principali (PCA) della funzione di *carbon sink* del vigneto in ambiente *peri-urbano* sono riportati in tabella 42.

Tab. 42– Set di dati grezzi utilizzati per l'analisi statistica delle componenti principali e ANOVA – ambiente *peri-urbano*

REPLICA	ANNO	PESO SECCO (g) ACCUMULATO NEI VARI ORGANI DELLA PIANTA					
		RADICI	TRALCI	FOGLIE	FEMMINELLE	GRAPPOLI	PRODUZIONE TOTALE
1	2011	740,58	254,57	123,89	193,44	2011,00	3323,48
2	2011	361,80	313,45	160,91	197,74	1870,00	2903,90
3	2011	536,77	279,08	150,51	102,23	1581,00	2649,59
4	2011	638,17	242,03	230,53	135,11	1129,00	2374,84
5	2011	660,42	238,19	231,00	181,02	1413,00	2723,63
6	2011	703,02	179,37	113,87	161,10	2270,00	3427,36
1	2012	240,35	771,60	379,17	199,87	1274,27	2865,26
2	2012	309,05	838,65	299,20	219,65	942,93	2609,48
3	2012	357,48	552,31	273,60	182,00	468,67	1834,06
4	2012	545,22	603,49	737,50	170,45	1679,03	3735,69
5	2012	485,82	624,52	451,62	154,02	789,33	2505,31
6	2012	480,13	625,95	351,12	180,10	1116,80	2754,10

Il set di autovalori ottenuti per la PCA per l'area collina peri-urbana, con i relativi valori di variabilità spiegata e cumulata per ciascun autovettore o asse individuato sono riportati in tabella 43. Le prime due componenti principali spiegano il 74,90% della variabilità dei dati. In particolare, alla costruzione della I componente principale contribuiscono le variabili: annata, e il peso secco prodotto da radici, legno stagionale, foglie e grappoli. Mentre la produzione totale e le femminelle concorrono alla costruzione della II componente principale (Tab.44).

Tab. 43 - PCA: autovalori e variabilità spiegata-cumulata- ambiente *peri-urbano*.

N.	autovalori	variabilità spiegata	variabilità cumula	
1	3,73	53,35	53,35	
2	1,51	21,55	74,90	
3	0,79	11,35	86,25	
4	0,54	7,68	93,93	
5	0,27	3,85	97,78	
6	0,13	1,80	99,58	
7	0,03	0,42	100,0	

Tab. 44 - PCA: contributo delle variabili analizzate per la determinazione della funzione di *carbon sink* della pianta alla costruzione degli assi: coefficienti di correlazione – area *collina peri-urbana*.

	I Componente	II Componente
ANNO	-0,943	0,245
RADICI	0,829	0,296
TRALCI	-0,972	0,006
FOGLIE	-0,648	0,488
FEMMINELLE	-0,506	-0,585
GRAPPOLI	0,695	-0,263
PRODUZIONE TOTALE	0,232	0,843

La distribuzione dei punteggi per le 6 repliche (ceppi) delle variabili considerate rispetto alle due annate oggetto di studio 2011 e 2012 (Fig.43) mostra una netta separazione.

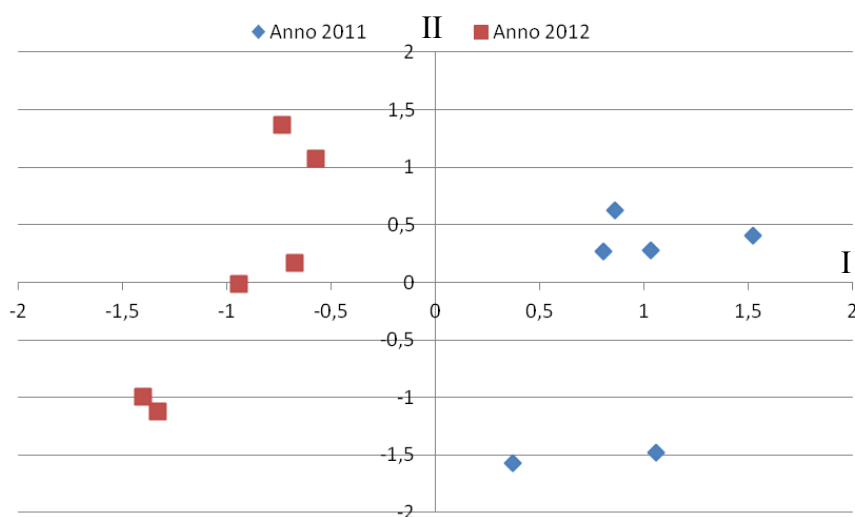


Fig.43– Distribuzione dei punteggi assunti dalle 6 repliche (piante)selezionate per la stima della funzione di *carbon sink* della pianta per le annate vegeto-produttive 2011, 2012 in ambiente *peri-urbano*.

4.7 Analisi statistica multivariata applicata alla componente suolo

Le relazioni esistenti tra le proprietà chimiche e biologiche del suolo sono state analizzate statisticamente mediante analisi delle componenti principali (Fig.44)

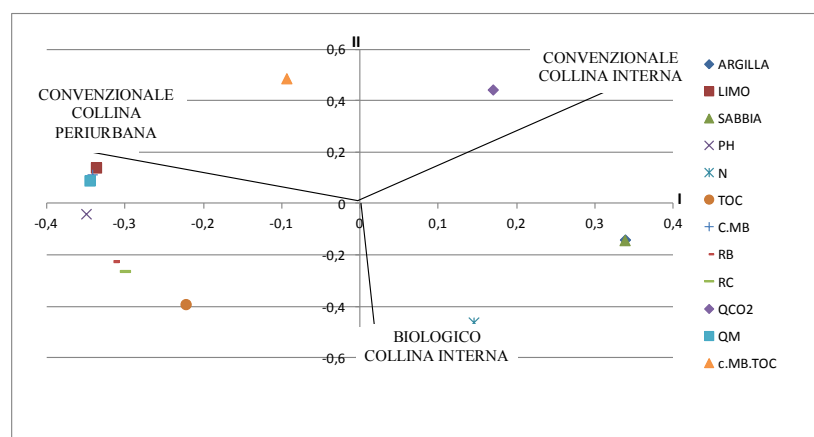


Fig.44 - Analisi statistica delle componenti principali dei parametri chimico-fisici e microbiologici del suolo dei vigneti oggetto di studio.

Due sono le componenti principali selezionate che spiegano rispettivamente il 67,4% e il 32,6% della variabilità dei dati. Dalla lettura dell'analisi statistica delle componenti principali (Fig.44) per i parametri relativi al suolo dei tre vigneti oggetto di studio emerge che la prima componente principale è rappresentata dai parametri fisici e microbiologici del suolo (sabbia, limo argilla, respirazione basale e cumulativa, biomassa microbica), mentre la seconda componente è correlata ai parametri chimici (TOC ed Azoto totale (N)). Il vigneto a gestione convenzionale della *collina interna* è influenzato soprattutto dal qCO_2 , mentre il vigneto a gestione biologica per lo stesso ambiente è legato soprattutto dai parametri chimici (TOC, N e quindi dal rapporto tra i due) del suolo. Il vigneto in convenzionale in aree *peri-urbana* risultata invece legato ai caratteri fisici del suolo.

Inoltre, a seguito del calcolo di alcuni indici microbiologici importanti per la valutazione dell'evoluzione della sostanza organica nel suolo (qCO_2 , qM e C_{min}/TOC) sono state analizzate le correlazioni tra l'attività della respirazione specifica della biomassa microbica e il TOC (Fig.45), e tra la misura dell'attività della mineralizzazione della frazione labile della sostanza organica da parte della biomassa microbica e il TOC (Fig.46). Da queste ultime analisi è emerso come all'aumentare del contenuto in sostanza organica il quoziente metabolico segue un andamento esponenziale (Fig.45). Il quoziente metabolico assume un andamento polinomiale di secondo grado (parabola con concavità verso il basso) (Fig. 46). Ai

due estremi della parabola ritroviamo i due vigneti a diversa conduzione (convenzionale vs biologica) in ambiente *collina interna*, mentre al vertice della parabola il vigneto in convenzionale in ambiente *peri-urbano*.

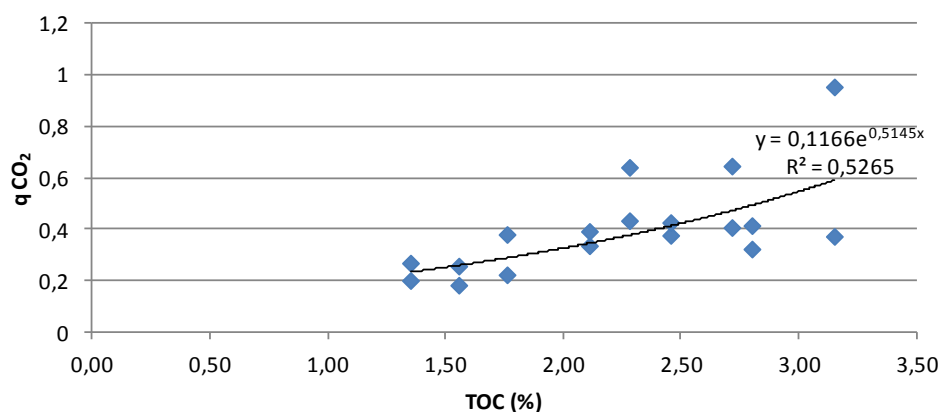


Fig.45 - Andamento del quoziente metabolico (qCO₂) in funzione del TOC del suolo.

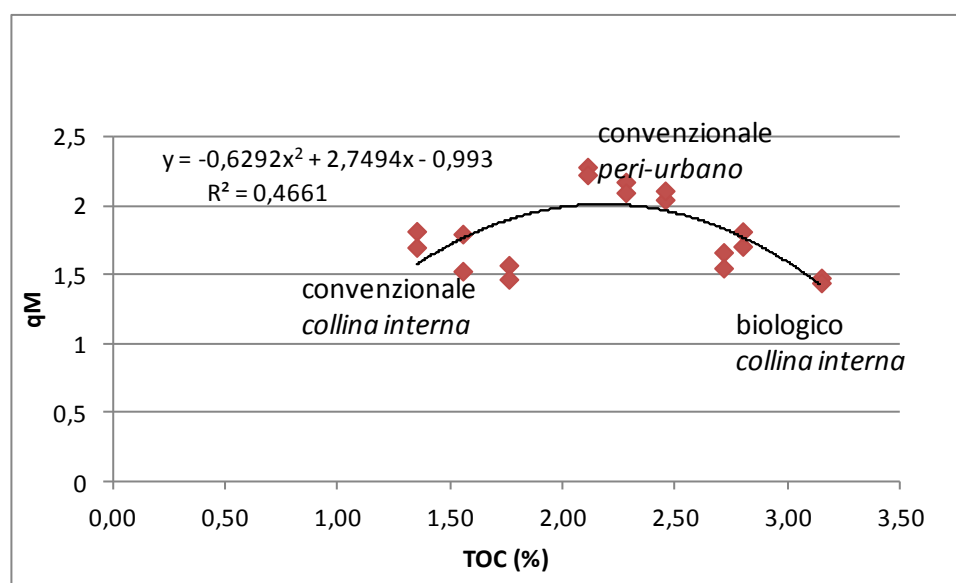


Fig.46 - Andamento del quoziente di mineralizzazione della sostanza organica (qM) in funzione del TOC del suolo.

5. DISCUSSIONE

I risultati emersi dalla ricerca contribuiscono ad accrescere le conoscenze riguardo alcune delle problematiche ambientali maggiormente sentite a livello mondiale come: i) la relazione tra le dinamiche di cambiamento di uso del suolo ed il processo di degrado ambientale, la salvaguardia della biodiversità naturale e coltivata, la tutela del paesaggio (Antrop e Van Eetvelde 2000; Billeter et al. 2008; de Groot 2006; Gisladdottir e Stocking, 2005; IPCC 2000; Ricketts e Imhoff 2003; Salvati e Carlucci 2013; Schindler et al. 2008), ii) i fenomeni di sequestro e di emissione del carbonio (C) negli agro-ecosistemi e l'impatto sulla qualità dell'atmosfera (George et al. 2012; Harper et al. 2012; IPCC 2005; Keightley 2011; Williams et al. 2011), iii) la valutazione dell'impatto delle pratiche agricole sulla qualità del suolo (Freibauer et al. 2004; IPCC 2000b; Smith 2004). Più in dettaglio la ricerca ha consentito di: 1) caratterizzare la struttura e funzionalità del paesaggio di alcuni territori viticoli modello caratterizzate da un diverso livello di antropizzazione (alta naturalità, peri-urbano) e, in dettaglio, la struttura e funzionalità del paesaggio della vite anche in relazione alle trasformazioni occorse nel medio periodo; 2) di quantificare la funzione di *carbon-sink* del vigneto relativamente al contributo dei ceppi di vite e del suolo del vigneto definendo così la potenzialità dell'agroecosistema vigneto di influenzare la qualità dell'atmosfera e del suolo.

5.1 Il paesaggio dei territori viticoli

I tre territori viticoli modello, che rappresentano le meso-scale di analisi (Lausch e Herzog 2002) individuati sulla base della diversità fisiografica e della diversa incidenza delle superfici a vigneto, denotano specifici caratteri strutturali e funzionali del paesaggio. Tali diversità possono essere interpretate in funzione della diversa estensione delle superfici a vigneto (12%, 20,5% e 45,7% della SAU rispettivamente per l'area della *collina interna*, *pianura costiera* e *collina peri-urbana*- ISTAT 2010) e del diverso livello di antropizzazione valutato come incidenza percentuale del tessuto urbano.

L'analisi della conformazione generale del paesaggio dei territori (3600 ha) viticoli analizzati evidenzia ambienti mediamente con un'elevata complessità del mosaico paesaggistico come dimostrato dall'alto numero di tessere di mosaico (Cullotta e Barbera 2011). La maggiore complessità si misura nell'ambiente *peri-urbano* particolarmente ricco di agro-ecosistemi arborei e a vigneto, mentre valori comparabili si misurano per gli ambienti interni ad alta naturalità (*collina interna*) e costieri (*pianura costiera*) che risultano pertanto più omogenei, il primo per la bassa incidenza degli agro-ecosistemi - qui le aree boscate raggiungono dimensioni medio-elevate (5 ha ca) mentre l'uso del suolo agricolo è semplificato a poche tipologie colturali, il secondo per la prevalenza di agro-ecosistemi erbacei – che si estendono su ampie superfici (4 ha ca) e che rappresentano circa il 44% della SAU del territorio costiero. La complessità del paesaggio può pertanto ritenersi caratteristica legata alla presenza dei agro-ecosistemi arborei. Del resto il rapporto fra sistemi erbacei ed arborei è stato individuato come indicatore di sostenibilità (Caporali et al. 2008) . Il legame fra complessità del paesaggio e agro-ecosistemi arborei è quanto emerge in numerosi altri casi studio (Agnoletti et al. 2011; Altieri 1999; Biasi et al. 2012; Cullotta e Barbera 2011; Galli et al. 2010; Heaton e Merenlender 2000; Hobbs et al. 2007; Jackson et al. 2007; Mander et al. 1999; Tschardt et al. 2005). Inoltre, in generale la complessità ed eterogeneità dell'ecomosaico paesaggistico, espresse da NP e SDI rispettivamente, risultano particolarmente elevate laddove predominano forme di agricoltura tradizionale, come nell'area vitivinicola *peri-urbana* e in accordo con quanto trovato da altri autori (Cullotta e Barbera 2011).

L'area agricola ad elevata naturalità (*collina interna*) - Dalla caratterizzazione della struttura e della funzionalità dell'area *collina interna*, ed in particolare dall' analisi del rapporto tra le tessere agrarie, naturali ed antropiche, l'area si rileva caratterizzata sia da una forte naturalità, sia da una marcata connotazione agricola. La coltivazione della vite, assieme a quella di olivo, nocciolo e castagno da frutto è strettamente legata alla storia e alla cultura del luogo (Anelli 1981; Carbone et al. 2004). Numerosi sono i prodotti ed i servizi di qualità, raccolti nel marchio collettivo "*Tuscia Viterbese*"; inoltre questo è un territorio dall' elevata vocazionalità vitivinicola – sono ben 3 le DO (*'Colli Etruschi Viterbesi'*, *'Est!Est!!Est!!! di Montefiascone'* e *'Est!Est!!Est!!! di Montefiascone- classico'*), che insistono sul territorio - dove produzioni enologiche di nicchia sono basate

tutt'oggi su genotipi autoctoni (Biasi et al. 2007; Cirigliano et al. 2008). Tuttavia sono attivi sul territorio processi di abbandono dell'agricoltura, come dimostrato dall'alta incidenza della classe degli incolti e di semplificazione dell'ecomosaico paesaggistico attribuibile all'espansione degli agro-ecosistemi erbacei ed arborei (Scherr e Mc Neely 2010), inclusa la frutticoltura e viticoltura specializzata. Inoltre, le attività agricole intensive sono spesso poco compatibili con i fondamentali criteri per la conservazione delle risorse naturali (Perini et al. 2008; Steenwerth et al. 2010). Anche in questo ambito di paesaggio alcune classi arboree (oliveti e vigneti tradizionali) presentano migliori indici ecologici (alto valore PD, MPS e ED). L'area presenta anche un rapido rinnovo delle colture arboree che solo parzialmente si conservano sulle medesime superfici, come dimostra l'analisi diacronica delle persistenze. Gli agro-ecosistemi arborei, e i vigneti in particolare, conservano per lo più i tratti di un sistema agro-forestale complesso, fatto questo che consente loro di integrarsi alla naturalità dei luoghi, sebbene a volte si sviluppino su ampie superfici. La scomparsa degli elementi lineari del paesaggio e degli agro-ecosistemi tradizionali è inoltre imputabile allo sviluppo del tessuto urbano, sebbene questo risulti per il momento contenuto.

L'area costiera - La costa rappresenta uno degli ambiti paesaggistici maggiormente sensibili ai fenomeni di degrado ambientale sotto l'azione di forti pressioni dovute sia a fattori naturali come l'innalzamento del livello del mare o i cambiamenti climatici, sia a fattori antropogenici, come i fenomeni di neo urbanizzazione (Cori 1977). Le conseguenze sul piano ecologico includono la perdita di biodiversità coltivata e naturale, l'erosione del suolo, la riduzione della sua fertilità, la desertificazione e perdita di produttività del terreno (Bajocco et al. 2010; Balabanis et al. 1999). A tutto ciò si aggiunge frequentemente il fenomeno dell'abbandono della pratica agricola come conseguenza dello *sprawl* urbano, cioè la diffusione frammentata del tessuto urbano o al contrario l'affermazione di colture intensive, a elevata richiesta di energia sussidiaria esterna e ad alto impatto sulla sostenibilità ambientale (Sansavini 2000).

Gli indici metrici di paesaggio di quest'area tradizionalmente agricola denotano un ambiente disturbato, omogeneo anche nella ripartizione spaziale degli usi agricoli del suolo, con scarsa complessità ed elevata semplificazione delle infrastrutture ecologiche. Le aree naturali e seminaturali sono fortemente limitate e compromessa è

la connettività e l'integrità ecologica. La scarsa complessità strutturale dell'ecomosaico ambientale può essere attribuibile all'elevata incidenza delle colture erbacee, ortive in pieno campo ed di serra oltre che agli incolti, che è noto essere usi del suolo ad elevato impatto sulla funzionalità degli ecosistemi (Ritters et al. 1995; Scherr e Mc Neely 2010).

L'area *peri-urbana* - Lo spazio peri-urbano è stato riconosciuto come un ambito con proprie caratteristiche che lo rendono unico e distinguibile sia da quello urbano che da quello rurale (Meeus e Gulinck 2008). Per il paesaggio del *peri-urbano* è stato proposto anche il termine di "biosfera", mosaico eterogeneo di ecosistemi naturali, produttivi e agricoli con i propri biotopi, ecosistemi e dinamiche di trasformazione (Alfsen-Norodom 2004). Qui la pratica agricola viene a configurarsi come attività multifunzionale che fornisce non solo prodotti, ma anche servizi per le città (Biasi 2013).

L'area *peri-urbana* del caso studio presenta una forte connotazione agroforestale di tipo tradizionale sia per la presenza della attività selvicolturale - l'80-90% delle aree boscate è governata a ceduo castanile matricinato (Odorico e Olivastro 2006) - sia per le numerose produzioni ortofrutticole tipiche, vitivinicole in particolare (ISTAT 2010; Rosati 2013).

Questa area di pregio dal punto di vista agronomico e ecologico rappresenta un'area 'sensibile'. Vengono definite sensibili quelle aree che presentano particolare vulnerabilità a causa dei caratteri fisici dell'ambiente o per la vicinanza ad usi del suolo particolarmente aggressivi – lo sono ad esempio il tessuto urbano e le foreste - e solo una gestione sostenibile basata sulla protezione delle matrici ambientali di interesse, con particolare riferimento al suolo e alle risorse idriche, della produzione agricola a bassa e media intensità, delle tradizioni rurali e dei prodotti tipici, può assicurare loro un ruolo di presidio estensivo del territorio, contro i cambiamenti climatici e le trasformazioni del paesaggio dovute all'intervento antropico (Salvati e Carlucci 2013). A conferma del carattere di "aree sensibili" che può essere attribuito agli ambiti peri-urbani, l'analisi delle trasformazioni intercorse nell'uso del suolo nell'area viticola peri-urbana evidenzia un accentuato *sprawl* e di contro un'elevata incidenza di persistenze arboree, ovvero di superficie caratterizzate dalla permanenza del medesimo uso del suolo. Tale proprietà è tipica delle aree ad agricoltura tradizionale (Barbera e Biasi 2011). Infatti, l'urbanizzazione attraverso insediamenti

di media e bassa densità, tipica dell'area a sud-est di Roma (Salvati et al. 2012), comporta il consumo di un suolo dotato di un'elevata capacità d'uso (*land capability*) confinando le aree agricole e forestali in suoli scarsamente produttivi e suscettibili a fenomeni di degrado, cioè erosione, salinizzazione e deterioramento (Salvati 2013); inoltre gli agro-ecosistemi possono essere frammentati compromettendo nel lungo periodo la resilienza e quindi la loro stabilità (Antrop 2005) anche in relazione alla forte incidenza sul territorio delle terre incolte come conseguenza del processo di abbandono dell'attività agricola, indice di degrado ambientale e vulnerabilità del paesaggio (Perini et al. 2008).

La viticoltura quale classe predominante di uso agricolo del suolo (>40% SAU), assieme agli agro-ecosistemi arborei (oliveti e frutteti) ha un ruolo strategico nel mantenere complesso il mosaico ambientale a vantaggio dell'integrità ecologica (Agnolletti et al. 2011; Altieri 1999; Biasi et al. 2012; Cullotta e Barbera 2011; Galli et al. 2010; Heaton e Merenlender 2000; Hobbs et al. 2007; Jackson et al. 2007; Mander et al. 1999; Tscharntke et al. 2005), inoltre la presenza delle colture arboree e della viticoltura assicura a questo ambito di paesaggio dove forte è la connotazione agricola tradizionale un'elevata conservazione della rete ecologica.

5.2 I caratteri del paesaggio della vite

Il ruolo dei diversi modelli viticoli sulla sostenibilità del paesaggio per ciascuna delle aree studiate si evince dall'analisi della distribuzione spaziale dei vigneti, dei risultati metrici del paesaggio applicati alla classe 'vigneto' e dall'analisi dei 'margini' delle unità vitate (analisi della composizione della fascia tampone).

Area collina interna - Il ruolo delle superfici a vigneto nella definizione dei caratteri del paesaggio è stato analizzato innanzitutto in un territorio tradizionale scarsamente antropizzato e ad alta naturalità. Nonostante la viticoltura sia poco rappresentata come classe di uso del suolo, raggiungendo solo il 7,4% della SAT (12% della SAU), essa svolge un importante ruolo nel mantenimento delle funzioni ecologico-ambientali come confermano gli indici metrici del paesaggio. Sia la viticoltura tradizionale (consociata all'ulivo) che quella specializzata sono caratterizzate da superfici di limitata estensione (mediamente 0,48 e 0,58 ha, rispettivamente), ed entrambe risultano fortemente frammentate come evidenziano

gli elevati valori di densità delle tessere (PD), concorrendo così a mantenere elevata la complessità e l'eterogeneità dell'ecomosaico. Questo carattere del paesaggio è peraltro garantito anche dalla buona presenza ai margini dei vigneti di infrastrutture ecologiche, quali siepi e filari alberati. In particolare, circa un terzo dei margini dell'unità vitata specializzata è rappresentata da infrastrutture ecologiche mentre per le unità vitate tradizionali un quarto dei margini è rappresentato dalle formazioni naturaliformi, ma circa un terzo da colture arboree. Questo riflette peraltro anche come la viticoltura tradizionale sia molto spesso legata ad un'economia di autosufficienza alimentare, rimarcando quindi la sua presenza in un contesto dalla forte tradizione agricola (Altieri e Nicholls 2002). L'elemento chiave diviene quindi il mantenimento di un assetto tradizionale dell'unità vitata, che ricorre a forme complesse e di dimensioni contenute, a margini eterogenei (ED) e complessi nella forma. Tutti caratteri che elevano il valore ecologico-ambientale che la pratica viticola ha in questo territorio soggetto a dispersione e frammentazione degli habitat lineari (siepi, filari e formazioni ripariali), fenomeno questo responsabile della compromissione della loro stessa funzionalità (Agnoletti et al. 2011; George et al. 2012; Hobbs et al. 2008; Jackson et al. 2007; Mander et al. 1999; Scherr e Mc Neely 2010).

Dalla lettura delle trasformazioni di uso del suolo emerge un'espansione della viticoltura specializzata. In particolare i nuovi vigneti derivano soprattutto da incolti, mentre le superfici a vigneto erose (tradizionali), sono convertite in tessuto urbano e colture industriali (seminativi irrigui e non irrigui, ortive) che richiedono elevati input tecnologici (Perini et al. 2008), e definiscono un paesaggio semplificato (Agnoletti et al. 2011), omogeneo e fragile (Altieri e Nicholls 2002; Fairbanks et al. 2004; Hilty e Merenlender 2003; Merenlender 2000).

Questi sono tutti fattori che accrescono la vulnerabilità del territorio e il rischio di degrado, sebbene sia contenuta, invece, la presenza antropica legata all'urbanizzazione e cementificazione dell'area. La riduzione dei principali sistemi produttivi tradizionali, viticoltura ed olivicoltura in particolare, può essere correlata alla perdita degli elementi lineari della rete ecologica, quali filari e siepi. Queste formazioni naturaliformi mostrano, inoltre, i valori più elevati di densità delle tessere del mosaico paesaggistico (PD) e ciò denota la loro dispersione/frammentazione a scapito della loro funzionalità.

È stata riscontrata una relazione esponenziale tra l'incidenza della viticoltura sulla SAU e le superfici medie delle patches a vigneto, per cui all'aumentare dell'incidenza della viticoltura sul territorio questa tende a svilupparsi su superfici di maggiori dimensioni, che tendono ad rendere più eterogeneo e meno diversificato il paesaggio, a dimostrazione del fatto che anche in questo territorio lo sviluppo della viticoltura avviene secondo criteri meno sostenibili in termini di qualità del paesaggio. Di contro dove la viticoltura, specializzata e tradizionale, è condotta su superfici ridotte e dove sono mantenute le infrastrutture ecologiche ai margini dell'unità vitata la qualità del paesaggio risulta migliorata.

Area *pianura costiera* - Il paesaggio della vite della *pianura costiera*, dove questa coltura rappresenta la principale tra le colture permanenti, è caratterizzato dalla limitata presenza di forme tradizionali mentre i vigneti specializzati, di ridotta numerosità, di dimensioni medie di circa 1 ha (1,19ha la forma a tendone e 0,89 ha la forma a spalliera) sono fortemente integrati al tessuto urbano. Il ruolo della viticoltura nel mantenere l'integrità strutturale e funzionale del paesaggio è stato affrontato in altri ambienti costieri, dove è stato dimostrato avere un ruolo di presidio del territorio. In questi casi la viticoltura quale principale tipologia di coltura legnosa agraria, genera una ecomosaico di tessere di piccola e media dimensione, rispettosi degli spazi naturaliformi e delle loro forme (Barbera et al. 2011; Biasi et al. 2010, 2012). La viticoltura quindi concorre a salvaguardare alcune importanti funzioni ecologico-ambientali in un ambiente compromesso dall'espansione del tessuto urbano, dalla ridotta presenza di infrastrutture ecologiche e semplificato uso del suolo. Questi evidenziano come la viticoltura sia tra le classi di uso del suolo più eterogenee e complesse sia nella forma che nei margini ad esse associati. Infatti, sebbene quasi la metà dell'uso del suolo delle fasce tampone sia rappresentato da tessuto urbano, circa un quarto è investito a infrastrutture ecologiche, elementi lineariformi, poco presenti e frammentati in questo ambiente. La presenza di corridoi naturali in prossimità dei vigneti, è stato dimostrato essere anche garanzia per la salvaguardia della biodiversità animale e per la resilienza dell'agro-ecosistema vigneto (Hilty e Merenlender 2004; Koohafkan et al. 2011; Marschall e Moonen 2002; Scherr e McNeely 2008; Tietje et al. 2006). Tali elementi della rete ecologica sono in parte persi in quanto trasformati in tessuto urbano o in colture industriali, ed in parte sono fagocitati dall'espansione, seppur contenuta, delle aree boscate,

attraverso il meccanismo della successione naturale (Barbati et al. 2013). Quest'ultimo fenomeno comporta, come visto in altri ambienti, la perdita anche dei paesaggi viticoli (Agnoletti 2007; Antrop 2005; Geri et al. 2009; Ruhl 2004) e quindi della complessità e diversità ambientale che sono loro imputabili. Inequivocabilmente in questo ambiente emerge che laddove vi è viticoltura, e dove questa si sviluppa su superfici medie inferiori all'ettaro, vi è il mantenimento della rete ecologica con la diversità dei suoi habitat.

Di contro le trasformazioni di uso del suolo in atto evidenziano come le superfici a vigneto siano erose e convertite in tessuto urbano, colture industriali ed incolti che oltre a definire un paesaggio più omogeneo comportano la richiesta di input esterni, a scapito della sostenibilità ambientale (Perini et al. 2008). Il mantenimento della viticoltura in questa area 'sensibile' si conferma strategico per contrastare i fenomeni di degrado ambientale e la compromissione della sostenibilità del paesaggio.

Quindi la viticoltura contribuisce non solo migliorare la qualità del paesaggio (indici di eterogeneità e complessità della forma), ma anche a preservare la biodiversità (indici di complessità dei margini) (Moser et al. 2002) e a mantenere la connettività tra gli habitat (Abbona et al. 2007), recuperando in parte l'integrità ecologica fortemente compromessa nelle aree costiere.

Area *peri-urbana* - Nell'area peri-urbana ad elevato livello di antropizzazione, la viticoltura – principale classe di uso agricolo del suolo fortemente integrata al tessuto urbano – si presenta soprattutto nella forma specializzata a spalliera e tendone. Le superfici investite a vigneto mostrano valori significativamente diversi per gli indici metrici del paesaggio quando si presentano nella forma specializzata (spalliera e tendone) o nell'assetto tradizionale (consociata). In particolare la viticoltura con un assetto più tradizionale - vigneti consociati - si sviluppa su superfici più ridotte e conserva ai margini habitat naturali (siepi, filari, boschetti, macchie, etc.). Questo modello viticolo rappresenta la classe di uso del suolo più soggette a frammentazione, dato che superfici ridotte, elevata densità delle tessere sono associabili a questo fenomeno (Hargis et al. 1998, Schindler et al. 2008). La viticoltura specializzata, peraltro, conserva qui forme complesse e superfici medie ridotte, ed elevati valori di densità dei margini. Tali indici confermano l'importanza della viticoltura nel mantenere un'elevata complessità dell'ecomosaico garantita anche da una buona presenza nei margini dei

vigneti di infrastrutture ecologiche (Heaton e Merenlender, 2000; Hilty e Merenlender 2004; Jackson et al. 2007; Moser et al. 2002) (un quarto del perimetro della fascia tampone è rappresentato nella viticoltura specializzata da filari e siepi), seppur frammentate. Pertanto anche la viticoltura specializzata quando soddisfa alcuni caratteri strutturali può garantire una migliore qualità del paesaggio. La complessità delle forme delle tessere a vigneto, sia negli assetti tradizionali sia in quelli moderni a filare e a tendone, le ridotte superfici degli appezzamenti, la conservazione attorno alle unità vitate di formazioni ecologiche quali quelle ripariali, ma anche filari alberati, siepi, residui naturaliformi rendono le superfici a vigneto strategiche per contrastare il consumo di suolo, la perdita di biodiversità naturale e coltivata, il degrado della qualità dell'ambiente, fenomeni tipici delle aree suburbane (Salvati e Sabbi 2011) e come recentemente evidenziato nelle linee guida per il miglioramento e la valorizzazione del paesaggio della vite (Biasi e Brunori 2011).

Dalla lettura delle trasformazioni del paesaggio emerge il limitato *turn-over* della vite (88% dei vigneti rimangono stabili), mentre gli ecosistemi lineari in particolare siepi e filari alberati sono soggetti ad elevata dinamicità. Sono solo il 10% delle siepi e dei filari a rimanere stabili, e sono quelli associati ai sistemi viticoli, classe che mostra la maggiore stabilità nell'arco temporale di riferimento. Inoltre, dall'analisi dell'evoluzione temporale del paesaggio viticolo risulta che le superfici erose, sono convertite in tessuto urbano (prevalentemente) o incolti, confermando come l'urbanizzazione impatti gravemente sull'agricoltura (Salvati et al. 2012). Anche in questo ambiente si verifica il processo di rinaturalizzazione delle superfici vitate abbandonate, che comporta l'espansione, seppur lieve, delle aree boscate attraverso il meccanismo della successione naturale. Questo fenomeno, rilevato anche in altre realtà viticole (Agnoletti et al. 2011; Ruhl 2004), comporta la semplificazione e omogeneizzazione del mosaico ambientale, la perdita della biodiversità coltivata e dei paesaggi agricoli tradizionali (Agnoletti 2007; Antrop 2005; Geri et al. 2009) rimarcando pertanto il ruolo strategico del mantenimento della viticoltura nel contrastare questi fenomeni. In questo ambiente è evidente come la viticoltura regoli la stabilità dell'ecomosaico in funzione della propria incidenza sulla SAU del territorio e della dimensione media delle tessere a vigneto; infatti come emerge dallo studio delle aree di dettaglio dell'intera area peri-urbana, quando la coltivazione della vite ha un'incidenza superiore al 40% e si sviluppa su superfici mediamente di

ridotte dimensioni (≤ 1 ha), anche le infrastrutture ecologiche sono bene conservate, così pure come la complessità ed eterogeneità del mosaico ambientale, che presenta una maggiore diversità (indice di Shannon) e quindi stabilità ed equilibrio (Altieri 1999; Altieri e Nicholls 2002; Fairbanks et al. 2004; Hilty e Merenlender 2003; Merenlender 2000). La viticoltura concorre quindi a mantenere la biodiversità ambientale in ambito peri-urbano, risultato questo rilevante in considerazione del fatto che sempre più spesso l'espansione del tessuto urbano coinvolge aree dotate di un elevato livelli di biodiversità endemica e resilienza (Henle et al. 2008; Ricketts e Imhoff 2003; Swift et al. 2004; Young et al. 2005) che vengono irrimediabilmente compromessi. La viticoltura in questo ambiente può avere un ruolo chiave anche nella riqualificazione del paesaggio urbano.

5.3 La funzione '*carbon-sink*' nella vite

Nella valutazione della sostenibilità ambientale della viticoltura è stata inclusa la quantificazione della funzione di *carbon sink* sia a livello del sistema biologico pianta (*Vitis vinifera* L.), sia a livello di agroecosistema vigneto.

I risultati ottenuti contribuiscono alla comprensione dei fenomeni di sequestro e di emissione del carbonio, e conseguentemente degli equivalenti di CO₂, da parte degli agro-ecosistemi terrestri.

In tutti gli ambienti considerati le piante di vite hanno esibito una elevata capacità di stoccaggio del carbonio nella biomassa ipogea ed epigea prodotta stagionalmente. In media nell' ambiente a più alta naturalità (*collina interna*) ciascun ceppo è in grado di produrre stagionalmente 2042,95 g·ha⁻¹anno⁻¹ e 2241,7 g·ha⁻¹anno⁻¹ di biomassa, rispettivamente per una gestione in biologico e convenzionale, mentre in quello a più elevata antropizzazione (*collina peri-urbana*) i valori di biomassa raggiungono valori ancora più elevati, 2610,89 g·ha⁻¹anno⁻¹. Questi dati, considerando la sola frazione della biomassa epigea, sono confrontabili con quanto riportato in letteratura (Castelan-Estarda et al. 2002; Pitacco et al. 2007; Poni et al. 2000; Silvestroni et al. 2007; Ventura et al. 2007). Ai fini della promozione della funzione *carbon sink* nelle piante di vite può essere importante considerare le diversità osservate nel contributo

alla fissazione del C esibito dai vari organi della pianta sia nei diversi ambienti studiati, sia nei diversi modelli di gestione del vigneto.

Innanzitutto l'ambiente *peri-urbano* è risultato in grado di promuovere, a parità di sistema di gestione del vigneto (convenzionale) la produzione globale di biomassa. La maggiore quantità di biomassa prodotta dalla vite in ambiente *peri-urbano* rispetto a quanto non si riscontri in un ambiente ad alta naturalità, come quello della *collina interna*, potrebbe essere correlata alla maggior concentrazione di CO₂ in tale area dovuta alla prossimità con l'agglomerato urbano. E' stato trovato in *Vitis vinifera* L. che la CO₂ stimola la crescita e la produzione della pianta, senza impattare negativamente sulla qualità del prodotto (Bindi et al. 2001).

L'allocazione del C fissato dai ceppi di vite risente fortemente della tecnica di gestione della chioma, in questo caso della potatura verde, e del vigneto nel suo complesso (confronto fra gestione in biologico e convenzionale), oltre che dell'annata.

Quando viene operata la potatura verde (eliminazione delle sole femminelle) (risultati anno 2012, ambiente *collina interna*) si misura una diminuzione della biomassa dei grappoli, della crescita delle radici e della biomassa dei tralci, mentre si osserva un aumento del contributo fogliare alla biomassa totale stagionale, restando invariata la qualità tecnologica delle uve. Questi risultati consentono di confermare che tale pratica di gestione della chioma non limita il potenziale foto-sintetico della pianta e quindi la allocazione del carbonio utile per il raggiungimento della piena maturazione (Poni et al. 2000).

Evidenti differenze nell'allocazione del C fra i vari organi della pianta emergono ancora confrontando i due ambienti (ad alta naturalità – *collina interna* - e *collina peri-urbana*). Nell'area della *collina peri-urbana* rilevante è il contributo allo stoccaggio del C imputabile all'apparato ipogeo e ai grappoli, che rappresentano rispettivamente il 20% e il 38% del carbonio è stoccato dalla pianta. Nell'area della *collina interna* ridotto è il contributo dell'apparto radicale (12% e 9,6%, rispettivamente per il modello convenzionale e biologico), così pure quello dei grappoli (26% e 24%, rispettivamente per il modello convenzionale e biologico). Il maggiore contributo allo stoccaggio è attribuibile alla biomassa degli organi vegetativi epigei (tralci e foglie).

Significativo in tutti i casi è il contributo del *turn-over* radicale. Il contributo della biomassa ipogea allo stoccaggio del carbonio varia in media significativamente dal 10 al 20% rispettivamente per l'ambiente della *collina interna* e *peri-urbana*, raggiungendo in quest'ultimo caso anche il 25,7% (stagione 2011). In letteratura si riscontra una grande variabilità nel riportare i valori di crescita radicale per la vite; ed i valori riportati sono compresi tra 140 -360 g ceppo⁻¹anno⁻¹ (Carlisle et al. 2010; Mullins et al. 1992; Saayman e Huyssteen 1980; Williams e Smith 1991) ma confrontabili con quanto riscontrato nei vigneti oggetto di studio. La tipologia di terreno, fortemente sabbioso, la bassa ritenzione idrica e fattori abiotici come le temperature medie più elevate nell'atmosfera e nel suolo, in ambiente *peri-urbano* potrebbero essere responsabili della maggior produzione di biomassa dell'apparato radicale (Morlat e Jacquet, 1993).

La valutazione del contributo offerto dall'apparato ipogeo allo stoccaggio del carbonio della vite, rappresenta un elemento innovativo della ricerca in quanto le informazioni presenti in letteratura sulla capacità di stoccaggio del C nella vite sono per lo più limitate alla sola biomassa epigea (Castelan-Estarda et al. 2002; Pitacco et al. 2007; Poni et al. 2006; Silvestroni et al. 2007; Ventura et al. 2007), pur riconoscendo l'importanza di tale parametro ma la difficoltà nella determinazione del *turn-over* stagionale. In altri casi il contributo della biomassa ipogea alla determinazione della biomassa totale della pianta è stato sovrastimato a 30% (Comas et al. 2005; Keightley 2011).

La quantità di C accumulata nella biomassa epigea (assumendo che questa contenga il 50% di carbonio) (Anfodillo et al. 2006) è riportata in bibliografia con valori da 1,75 a 6,5 tC ·ha⁻¹anno⁻¹ (Carlisle et al. 2010; Castellan-Estrada et al. 2002; Pitacco et al. 2007; Poni et al. 2000; Silvestroni et al. 2007; Ventura et al. 2007), range questo in accordo con i valori di biomassa accumulata negli organi epigei ed ipogei e nei vigneti modello.

Nel complesso i risultati evidenziano che lo stoccaggio del C nel vigneto, considerando il solo sistema biologico pianta è massimo nell'area *peri-urbana* sottolineando il grande contributo che i vigneti dello spazio peri-urbano possono dare anche in termini di servizi ecosistemici (riduzione della CO₂)(Carlisle et al. 2010; Lal 2004; Stockmann et al. 2013).

Lo stoccaggio del C nel vigneto è mediamente più basso nelle aree ad alta naturalità con valori minimi misurati nella conduzione in biologico, probabilmente a causa di fattori pedologici come un terreno argilloso, temperature dell'aria e del suolo più basse e livelli minori di CO₂ atmosferici, che nel loro insieme concorrono a contenere la crescita delle radici e quindi a limitare anche lo stoccaggio del carbonio nella biomassa epigea della pianta (Bindi et al. 2001; Comas et al. 2005; Comas et al. 2010; Morlat e Jacquet 1993).

5.4 La funzione 'carbon-sink' del suolo

I livelli di carbonio organico totale (TOC) presente nei suoli dei tre agro-ecosistemi viticoli modello per una profondità 60 cm è risultato di 168,44 e 117,25 tC ha⁻¹ rispettivamente per il vigneto a conduzione biologica e convenzionale dell'ambiente *collina interna*, e 127,05 tC ha⁻¹ per il vigneto dell'area collinare *peri-urbana*, valori questi anche due volte più elevati rispetto a quanto riportato in letteratura per i terreni vitati e confrontabili con quelli dei suoli dei sistemi forestali (Williams et al. 2011). Questo risultato mette in evidenza l'alto potenziale che i suoli degli agro-ecosistemi viticoli possono avere come serbatoi di C, contribuendo a mitigare i cambiamenti climatici in atto contrastando l'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, come dimostrato per molti altri suoli agricoli (Eve et al. 2001; Smart et al. 2007).

In particolare, nell'ambiente della *collina interna* nei primi 20 cm di profondità il serbatoio di carbonio organico del suolo del vigneto a conduzione biologica raggiunge valori quasi doppi rispetto al vigneto in convenzionale (rispettivamente 73,35 e 44,16 tC·ha⁻¹). Tali valori sono confrontabili con i valori medi dei suoli forestali (0-30 cm di profondità) che sono compresi in un range di 32-55 tC·ha⁻¹ (Harper et al. 2012).

Dalla caratterizzazione della sostanza organica emerge che circa l'1% del TOC è rappresentato dalla biomassa microbica nei due vigneti in convenzionale (area *collina interna*- 0,42 tC·ha⁻¹- e area *peri-urbana* 0,65 tC·ha⁻¹), mentre il contributo della biomassa microbica al TOC si riduce allo 0,5% (0,38 tC·ha⁻¹) nel vigneto in biologico. Le stime sulla quantità di microrganismi presenti nel suolo sono comprese

tra 0,110-2 tC·ha⁻¹ nei terreni arabili, 0,280-2,24 tC·ha⁻¹ nei prati pascoli e 0,170-2,18 tC·ha⁻¹ nei terreni forestali (Martens 1995). Jenkinson e Ladd (1981) hanno stimato che il C organico del terreno presente nella biomassa microbica sia pari al 2% del TOC. Sebbene i valori assoluti della biomassa microbica del suolo del vigneto a conduzione biologica rientrino nei range riportati nella bibliografia, il ridotto contributo percentuale della biomassa microbica alla definizione del TOC rivela un ambiente in cui gli equilibri microbiologici risultano alterati. Circa le emissioni di CO₂, la respirazione del suolo, assieme a quella delle radici delle piante, può considerarsi una delle principali fonti di emissione di CO₂, sotto il controllo di molteplici fattori quali le proprietà fisiche-chimiche del terreno, come il TOC, la densità radicale e la biomassa microbica, oltre che fattori abiotici quali la temperatura e l'umidità del terreno (Comas et al. 2010; Freibauer 2004). I dati ottenuti rilevano che le emissioni prodotte dal sottosistema suolo negli agro-ecosistemi vigneto sono maggiori in quello in convenzionale dell'ambiente *peri-urbano* e in biologico per l'ambiente *collina interna*, mentre sono contenute quelle relative al vigneto in convenzionale per lo stesso ambiente.

In particolare, nell'ambiente della collina *peri-urbana* l'alta respirazione del suolo potrebbe essere messa in relazione alla migliore porosità del terreno franco-sabbioso in grado di favorire la microflora aerobica – in questo ambiente sono stati misurati valori più elevati di biomassa microbica rispetto all'ambiente *collina interna*, un maggior turn-over radicale e un aumento dei processi ossidativi a soddisfacimento delle esigenze nutrizionali di piante e microrganismi (Sequi et al. 2006). Questo determina un tasso di respirazione del suolo che favorisce la decomposizione della sostanza organica anziché il suo accumulo (Sequi et al. 2006; Wang et al. 2007). Quindi in tale ambiente, sebbene la pianta produca e quindi accumuli più biomassa la respirazione del suolo comporta una perdita di 12,05 (±2,5) tC·ha⁻¹·anno⁻¹, il valore più elevato fra gli agro-ecosistemi modello. I tassi di respirazione del suolo misurati sono risultati simili a quelli misurati attraverso la tecnica dell'Eddy covariance in agrumeti (Pitacco et al. 2007) o tramite analizzatore di tipo IRGA (Infra Red Gas Analyser) in aranceti (Liguori et al. 2009) e su suoli vitati (Carlisle et al. 2006; de Oliveira Freitas et al. 2011; Huang et al. 2005), ma minori rispetto a quelli riportati per foreste temperate in aree mediterranee (valori fino a 15,76 tC·ha⁻¹·anno⁻¹ (Carlisle et al. 2006; Smart et al. 2007). Va considerato inoltre che alcune tecniche di gestione

del suolo possono alterare i coefficienti di diffusione della CO₂ del terreno; in particolare, la presenza di alte concentrazioni di CO₂ nel suolo vitato rispetto a quello forestale, farebbe ipotizzare la presenza di processi fisici che ritardino il movimento della CO₂ attraverso il profilo del suolo vitato (Carlisle et al. 2006; Smart et al. 2007).

Le perdite di carbonio imputabili alla respirazione del suolo differiscono soprattutto in funzione delle tecniche di gestione del vigneto, come emerge nel caso dell'ambiente *collina interna*. Qui dal confronto tra vigneto a conduzione biologica e in convenzionale emerge che il vigneto in biologico mostra un maggior tasso di respirazione del suolo, e pertanto maggiori perdite di C, rispetto al vigneto in convenzionale, dato in linea con quanto riportato in letteratura (de Oliveira-Freitas et al. 2011; Liguori et al. 2009). Infatti, la gestione del suolo nel vigneto, in particolare le lavorazioni dell'interfilare, può influenzare la capacità di sequestro del C nel suolo. Queste, infatti, rompendo gli aggregati ed esponendo la sostanza organica alla decomposizione microbica (Calderon e Jackson 2002; Carlisle et al. 2010; Grandy et al. 2008; Six et al. 2004) e favoriscono l'ossidazione e la perdita di C dal terreno. Koga et al. (2006) hanno trovato che nei sistemi legnosi agrari il 64-76% delle emissioni totali di CO₂ deriva dalla decomposizione della sostanza organica nel suolo. La 'non lavorazione' dell'interfilare sembra favorire il sequestro del carbonio (Morlat e Jacquet 2003; West e Post 2002). In particolare Steenwerth et al. (2010) hanno riscontrato che le perdite di CO₂ in vigneti con interfilare inerbito e lavorato mediamente si aggirano intorno alle 10 tC-CO₂·ha⁻¹·anno⁻¹, mentre per vigneti con interfilare inerbito ma non lavorato le emissioni si riducono a 8,5 tC-CO₂·ha⁻¹·anno⁻¹, dati questi che sottolineano come in generale le culture legnose agrarie permanenti depauperino meno la funzionalità del suolo rispetto alle colture annuali (Steenwerth e Belina 2008a,b; Steenwerth et al. 2010; Wang et al. 2007).

Su questa linea Kroodsma e Field (2006) hanno modellizzato in California l'abilità dei suoli vigneti al sequestro del carbonio. Dalla ricerca è emerso che i suoli dei nuovi vigneti che derivano da colture annuali immagazzinano nel suolo 68 gC m⁻²·anno⁻¹, mentre quando i vigneti sono convertiti in altri usi del suolo, in particolare colture annuali, il potenziale di stoccaggio del C al suolo si riduce a 24 gC m⁻²·anno⁻¹.

Anche altre tecniche di gestione del vigneto ad esempio l'apporto di ammendante organico (residui di potatura e letame), in quanto substrato energetico consumato durante il metabolismo ossidativo della respirazione eterotrofa del suolo, comportano un aumento del tasso di respirazione globale del terreno (de Oliveira-Freitas et al. 2011; Fernandez et al. 2005). Il suolo del vigneto in biologico, inoltre, mostra elevati valori del quoziente metabolico, come trovato da altri autori (de Oliveira-Freitas et al. 2011), evidenziando come già visto sopra un suolo disturbato, in condizioni di stress. Generalmente gli agro-ecosistemi in convenzionale mostrano valori di tale quoziente maggiore rispetto a quelli in biologico (Garcia et al. 2002), tuttavia numerosi sono i lavori in cui emerge come gli agro-ecosistemi in conduzione convenzionale ottimizzino le funzioni ecosistemiche del suolo rispetto ai sistemi in biologico (Williams e Hedlund 2013).

5.5 Il bilancio del carbonio nell'agro-ecosistema vigneto

Dalla stima degli input di C attribuibili alla produzione di biomassa ipogea ed epigea e al serbatoio di carbonio nel suolo (TOC e Biomassa microbica) e degli output per emissioni di carbonio dovute alla respirazione radicale e eterotrofa, è stato possibile determinare il bilancio del carbonio per *Vitis vinifera* L. e per il vigneto in due ambienti *collina interna* (alta naturalità) e *peri-urbana* (alto livello di antropizzazione) e per due modelli di conduzione del vigneto, in biologico e convenzionale.

A livello di sistema biologico pianta, al netto della respirazione radicale in tutte le tre condizioni valutate, la vite evidenzia un potenziale di stoccaggio del carbonio, risultando paragonabile a quello delle foreste urbane - ($3 \text{ kgC} \cdot \text{pianta}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$) (Novak 1994), o di oliveti e frutteti (Liguori et al. 2009; Palese et al. 2013). In particolare, nell'ambiente *peri-urbano* si manifesta il maggior potenziale con valori medi di $1,29 (\pm 0,18) \text{ kgC} \cdot \text{pianta}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$. Questi risultati evidenziano l'entità dei servizi ecosistemici che gli agro-ecosistemi viticoli, che tutt'oggi caratterizzano molte aree peri-urbane, possono svolgere in questi ambiti in aggiunta alla produzione di prodotti enologici di qualità.

Relativamente al confronto fra gestione in biologico e convenzionale (area *collina interna*) sono i ceppi di vite in gestione convenzionale a concorrere in maggior misura all'abbattimento di CO₂ e ciò probabilmente è legato alle interazioni pianta-suolo che controllano la crescita della pianta. La rizosfera indisturbata nel vigneto a conduzione convenzionale comporta una maggiore crescita delle radici fini e quindi una maggiore vigoria e produttività della pianta, mentre il disturbo creato dalle lavorazioni del terreno, dall'elevato contenuto in TOC a parità di biomassa microbica presente nei due suoli, come nel suolo del vigneto in biologico, e comporta una riduzione della crescita dell'apparato radicale e quindi del potenziale di stoccaggio dell'intera pianta (Huang et al. 2005; Smith et al. 2008).

A livello di agro-ecosistema il bilancio del carbonio al netto della respirazione del suolo, potrebbe proprio ricondursi oltre che alla diversità degli ambienti, come visto sopra, alla diversità della gestione dell'interfilare (numero di lavorazioni vs inerbimento). In particolare, quando le lavorazioni sono limitate (1 lavorazione all'anno), come nel caso del vigneto in conduzione convenzionale in area *collina interna*, il bilancio del carbonio è pari a $-1,70 (\pm 0,48) \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$, evidenziando un significativo guadagno di CO₂ sequestrata dall'atmosfera pari a $6,23 \text{ teq. CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$, valori questi simili a quanto ritrovato ad esempio per la coltivazione dell'ulivo (Palese et al. 2013), ed in linea con i dati di Spano et al. (2007) in cui si evidenzia come i sistemi vigneto possono in effetti rappresentare importanti *sink* di carbonio.

Sicuramente la respirazione del suolo costituisce la voce più importante nella determinazione del bilancio di C e quindi delle emissioni/stoccaggio di CO₂ determinando un bilancio positivo, ovvero il vigneto emette più CO₂ di quanto non ne fissa. I risultati indicano che il vigneto in conduzione biologica per l'area *collina interna* emette $4,24 (\pm 0,45) \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$, ovvero $15,6 \text{ teq. CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$, mentre quello della *collina peri-urbana* emette $4,75 (\pm 0,77) \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$, ovvero $17,4 \text{ teq. CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$.

In quest'ultimo caso, il bilancio positivo risultante in contrasto con l'alta capacità di fissazione di C da parte delle singole piante in questo ambiente, come discusso sopra, potrebbe spiegarsi con lo stato del vigneto in realtà ancora influenzato dalla conduzione biologica attuata precedentemente a quella convenzionale (conversione da biologico a convenzionale).

Una razionalizzazione delle tecniche di gestione del suolo, finalizzata al mantenimento della sostanza organica, alla riduzione dei processi di mineralizzazione, potrebbe sicuramente potenziare la capacità di stoccaggio della CO₂ degli agro-ecosistemi viticoli.

5.6 Bibliografia di riferimento

Abbona E.A., Sarando'n S.J., Marasas M.E., Astier M., 2007. '*Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina*'. Agriculture, Ecosystems and Environment 119: 335-345.

Agnoletti M., 2007. '*The degradation of traditional landscape in a mountain area of Tuscany during the 19th and 20th centuries: implications for biodiversity and sustainable management*'. Forest Ecology and Management. 249: 5-17.

Agnoletti M., Cargnello G., Gardin L., Santoro A., Bazzoffi P., Sansone L., Pezza L., Belfiore N., 2011. '*Traditional landscape and rural development: comparative study in three terraced areas in northern, central and southern Italy to evaluate the efficacy of GAEC standard 4.4 of cross compliance*'. Italian Journal of Agronomy 6,s1,e16:121-139

Alfsen-Norodom C., 2004. '*Urban biosphere and Society: partnership of cities – Introduction*'. Annales of New York Academy of Sciences 1023: 1-9.

Altieri M.A., 1999. '*The ecological role of biodiversity in agroecosystem*'. Agriculture, Ecosystems and Environment 74: 19-31.

Altieri M.A., Nicholls C.I., 2002. '*The simplification of traditional vineyards based agroforests in northwestern Portugal: some ecological implications*'. Agroforestry Systems 56: 185-191.

Anelli G., Massantini R., 1981. '*Situazione vitivinicola della Provincia di Viterbo*'. Tuscia Economica n.5-6.

Anfodillo T., Pilli R., Carrer M., Carraro V., Rossi S., 2006. '*Stima della biomassa forestale: le nuove potenzialità delle relazioni allometriche*'. Atti del 42° corso di Cultura in ecologia, Università di Padova, 161-183.

Antrop M., 2005. '*Why landscapes of the past are important for the future*'. Landscape and Urban Planning, 70,1-2:21-34.

Antrop M., Van Eetvelde V., 2000. '*Holistic aspect of suburban landscape: visual image interpretation and landscape metric*'. Landscape and Urban Planning 50:43-58.

Bajocco, S., Salvati L., Zitti M., Ceccarelli T., Perini L., 2010. "*Desertification risk assessment along coastal areas: a case study in Sardinia, Italy*". ICCCM'10 International Conference on Coastal Conservation and Management in the Atlantic and Mediterranean.

Balabanis, P., Peter D., Ghazi A., Tsogas M. 1999. '*Mediterranean desertification. Research, Results and Policy Implication*'. Proc. Inter. Conf. Crete 1996. Directorate General for Research European Commission, EUR 19303, Luxembourg.

Barbati A, Corona P, Salvati L., Gasparella L., 2013. '*Natural forest expansion into suburban countryside: Gained ground for a green infrastructure?*'. Urban Forestry e Urban Greening 12:36-43.

Barbera G, Biasi R. 2011 *'I paesaggi agrari tradizionali dell'albero: il significato moderno di forme d'uso del suolo del passato'*. Italus Hortus 18,2: 21-40.

Barbera G., Cullotta S., Marino E., 2011 *'I macro territori studiati' in 'Modelli viticoli e gestione del vigneto in Sardegna. Linee guida per la coltivazione emerse dai risultati del progetto SQFVS'* (a cura di Gianni Nieddu):19-55. Ed.Convistar, ISBN 9788890664526.

Biasi R., 2013. *'I sistemi agro-silvo-pastorali della campagna urbana e peri-urbana'*. Atti Convegno Nazionale *'Il paesaggio agro-zootecnico e silvo-pastorale: studio e gestione di una risorsa culturale italiana'*. Viterbo 15 giugno 2012: in stampa.

Biasi R., Brunori E. 2011 *'Linee guida per la valorizzazione del paesaggio viticolo'* in *'Modelli viticoli e gestione del vigneto in Sardegna. Linee guida per la coltivazione emerse dai risultati del progetto SQFVS'* (a cura di Gianni Nieddu): 104-115. Ed.Convistar, ISBN 9788890664526.

Biasi R., Cirigliano P., Di Francesco G., Brunori E., Muleo R., 2007. *'Attuazione dei protocolli di selezione clonale di Aleatico individuati nell'area 'tipica' della DOC Aleatico di Gradoli e caratterizzazione-selezione del Grechetto Rosso e di altri vitigni autoctoni dell'Alta Lazio: risultati della ricerca'*. Rivista di Viticoltura e di Enologia 4: 127-143.

Biasi R., Botti F., Marino E., Nieddu G., Cullotta S., Barbera G., 2010. *'Studio della multifunzionalità dei sistemi viticoli: valenza ecologico-ambientale, storico-culturale e paesaggistica di vigneti della Gallura'*. Italus Hortus 17, 2: 24.

Biasi R., Barbera G., Marino E., Brunori E., Nieddu G., 2012. *'Viticulture as crucial cropping system for counteracting the desertification of coastal land'*. Acta Hort. (ISHS) 931:71-77.

Billeter, R., Liira, J., Bailey, D., et al., 2008. *'Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study'*. Journal of Applied Ecology 45: 141-150.

Bindi M., Fibbi L., Miglietta F., 2001. *'Free Air CO₂ Enrichment (FACE) of grapevine (Vitis Vinifera L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO₂ concentrations'*. European Journal of Agronomy 14:145-155.

Calderon F.J., Jackson L.E., 2002. *'Rototilling, disking, and subsequent irrigation: effects on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, and carbon dioxide efflux'*. Journal of Environmental Quality 31:752-758.

Caporali F., Mancinelli R., Campiglia R., Di Felice V., Vazzana C., Lazzerini G., Bebedetti A., Mocali S., Calabrese J., 2008 (a cura di). *'Indicatori di Biodiversità per la sostenibilità in Agricoltura Linee guida, strumenti e metodi per la valutazione della qualità degli agroecosistemi'*. ISPRA, Manuali e linee guida 47/2008 ISBN 978-88-448-0337-7, pp. 280.

Carbone A., Franco S., Pancino B., Senni S., 2004. *'Dinamiche territoriali e profili produttivi dell'agricoltura del Lazio'*. Quaderni di Informazione Socioeconomica n.11, Regione Lazio e Università della Tuscia 2004 (pp 152).

Carlisle E.A., Steenwerth K.L., Smart D.R., 2006. *'Effects of land use on soil respiration: conversion of oak woodlands to vineyards'*. Journal of Environmental Quality 35: 1396-1404.

Carlisle E., Smart D., Williams L.E., Summer M., 2010. *'California Vineyard Greenhouse Gas Emissions: Assessment of the Available Literature and Determination of Research Needs'*. Final Report September 2010 – California sustainable winegrowing alliance. www.sustainablewinegrowing.org

Castelan-Estarda M., Vivin P., Gaudillere J.P., 2002. *'Allometric relationships to estimate seasonal above-ground vegetative and reproductive biomass of Vitis Vinifera L.'*. Annals of Botany 89: 401-408.

- Cirigliano P., Brunori E., Biasi R., 2008. *'I grechetti dell'alto lazio viterbese: identificazione e caratterizzazione varietale di due biotipi, bianco e nero nell'areale vulcanico di Bolsena'*. Atti Convegno CONAVI Marsala luglio 2008 Italus Hortus 17, 3: 345-349.
- Comas L.H., Anderson, L.J., Dunst R.M., Lakso A.N., Eissenstat D.M., 2005. *'Canopy and environmental control of root dynamics in a long-term study of Concord grape'*. New Phytologist 167: 829-840.
- Comas L.H., Bauerle T.L., Eissenstat D.M., 2010. *'Biological and environmental factors controlling root dynamics and function: effects of root ageing and soil moisture'*. Australian Journal of Grape and Wine Research 16: 131-137.
- Cori B., 1977. *'La fronte marittima tosco-laziale'*. In: Capire l'Italia. I Paesaggi Umani. Milano: Touring Club Italiano. ID5681093, pp. 118-133.
- Cullotta S., Barbera G., 2011. *'Mapping traditional cultural landscapes in the Mediterranean area using a combined multidisciplinary approach: Method and application to Mount Etna (Sicily; Italy)'*. Landscape and Urban Planning 100: 98-108.
- de Groot R., 2006. *'Functional-analysis and valuation as a tool to asses land use conflict in planning sustainable, multifunctional landscape'*. Landscape and Urban Planning 75: 175-186.
- de Oliveira Freitas N., Mayumi Yano-Melo A., Barbosa da Silva F.S., de Melo N.F., Costa Maia L., 2011. *'Soil biochemistry and microbial activity in vineyards under conventional and organic management at Northeast Brazil'*. Sci. Agric., 68,2: 223-229.
- Eve M.D., Paustian K., Follet R.F., Elliot E.T., 2001. *'An inventory of carbon emissions and sequestration in United States cropland soils'*. In Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect, ed. R. Lal. Madison, WI: Soil Science Society of America. ISBN-10: 0891188509
- Fairbanks D.H.K., Hughes C.J., Turpie J.K., 2004. *'Potential impact of viticulture expansion on habitat types in the Cape Floristic Region, South Africa'*. Biodiversity and Conservation 13: 1075-1100.
- Fernandes S.A.P., Bettiol W., Cerri C.C., 2005. *'Effects of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity'*. Applied Soil Ecology 30:65-77.
- Freibauer A., Rounsevell M.D.A., Smith P., Verhagen J., 2004. *'Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe'*. Geoderma 122:1-23.
- Galli M., Bonari E., Marraccini E., Debolini M., 2010. *'Characterization of Agri-Landscape Systems at a Regional Level: A Case Study in Northern Tuscany'*. Ital. J. Agron. 3:285-294.
- Garcia C., Roldan, A., Hernandez T., 2005. *'Ability of different plant species to promote microbiological process in semiarid soil'*. Geoderma 124: 193-202.
- George S.J., Harper R.J., Hobbs R.J., Tibbett M., 2012. *'A sustainable agricultural landscape for Australia: a review of interlacing carbon sequestration, biodiversity and salinity management in agroforestry systems'*. Agriculture, Ecosystem and Environment 163: 28-36.
- Geri F., Amici V., Rocchini D., 2009. *'Human activity impact on the heterogeneity of a Mediterranean landscape'*. Applied Geography 10,6: 1-10.
- Gisladottir, G., Stocking, M., 2005. *'Land degradation control and its global environmental benefits'*. Land Degradation and Development 16: 99-112.
- Grandy A.S., Loecke T.D., Parr S., Robertson G.P., 2006. *'Long-term trends in nitrous oxide emissions, soil nitrogen, and crop yields of till and no-till cropping systems'*. Journal of Environmental Quality 35, 14: 87-95.

Heaton E., Merenlender A.M., 2000. 'Modeling vineyard expansion potential habitat fragmentation'. California Agriculture 54,3:12-15.

Hargis C.D., Bissonette J.A. e David J.L., 1998. 'The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation'. Landscape Ecology 13: 167–186.

Harper R.J., Okom A.E.A., Stilwell A.T., et al., 2012. 'Reforestation degraded agricultural landscape with Eucalypts: effect on carbon storage and soil fertility after 26 years'. Agriculture, Ecosystem and Environment 163: 3-13.

Henle K. Alard D., Clitherow J., Cobb P., Firbank L., Kull T., McCracken D., Moritz R.F.A., Niemela J., Rebane M., Wascher D., Watt A. e Young J., 2008. 'Identifying and managing the conflicts between agriculture and biodiversity conservation in Europe'. Agriculture, Ecosystems and Environment 124: 60–71.

Hilty J.A., Merenlender A.M., 2004. 'Use of riparian corridors and vineyards by mammalian predators in Northern California'. Conservation Biology, 18,1: 126-135.

Hobbs P.R., Sayre K., Gupta R., 2008. 'The role of conservation agriculture in sustainable agriculture'. Phil. Trans. R. Soc.B. 363, 543-555.

Huang X., Lakso A.N., Eissenstat D.M., 2005. 'Interactive effects of soil temperature and moisture on Concord grape root respiration'. Journal of Experimental Botany 56,420: 2651–2660.

Jackson L.E., Pascual U., Hodgkin T., 2007. 'Utilizing and conservation agrobiodiversity in agricultural landscapes'. Agriculture, Ecosystem and Environment 121: 196-210.

Jenkinson D.S., Ladd J.N., 1981. 'Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In Soil Biochemistry'. Vol. 5 (E.A. Paul e J.N. Ladd, Ed), 415-471. Marcel Dekker, New York.

IPCC, 2000. *IPCC Special Report on summary for policymakers Land use, land-use change, and forestry*. [Robert Watson (USA), Ian Noble (Australia), Bert Bolin Sweden), N.H. Ravindranath (India), David Verardo (USA), Ken Andrasko (USA), Michael Apps (Canada), Sandra Brown (USA), Graham Farquhar (Australia), Donald Goldberg (USA), Steven Hamburg (USA), Richard Houghton (USA), Paul Jarvis (UK), Timo Karjalainen (Finland), Haroon Kheshgi (USA), Thelma Krug (Brazil), Werner Kurz (Canada), Daniel Lashof (USA), Bo Lim (UNDP), Willy Makundi (Tanzania), Martin Manning (New Zealand), Gregg Marland (USA), Omar Masera (Mexico), Daniel Murdiyarso (Indonesia), Brian Murray (USA), Reidar Persson (Indonesia), Neil Sampson (USA), Jayant Sathaye (USA), Robert Scholes (South Africa), Bernhard Schlamadinger (Austria), Wim Sombroek (The Netherlands), Stephen Pringle (USA), John Stone (Canada), Raman Sukumar (India), and Riccardo Valentini (Italy)] ISBN: 9291691143, pp. 24.

IPCC, 2001. *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*. [Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T. Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, Z. Dadi]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, ISBN: 9291691135, pp. 599.

IPCC, 2005: *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, ISBN: 9780521685511, pp.442.

ISTAT 2010. 6° Censimento dell'agricoltura. www.istat.it

Keightley K.E., 2011. 'Applying new methods for estimating in vivo vineyard carbon storage'. Am.J.Enol.Vitic. 62,2:214-218.

- Koga N., Sawamoto T., Tsuruta H., 2006. '*Life cycle inventory-based analysis of greenhouse gas emissions from arable land farming systems in Hokkaido, northern Japan*'. Soil Science and Plant Nutrition. 52:564-574.
- Koohafkan P., Altieri M.A., Gimenez E.H., 2011. '*Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems*'. International Journal of agricultural Sustainability, DOI:10.1080/14735903.2011.610206
- Kroodsma D.A., Field C.B., 2006. '*Carbon sequestration in California agriculture*'. 1980-2000.
- Lal R., 2004. '*Soil carbon sequestration to mitigate climate change*'. Geoderma 123:1-22.
- Lausch A., Herzog F., 2002. '*Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability*'. Ecological Indicators 2:3-15.
- Liguori G., Gugliuzza G., Inglese P., 2009. '*Evaluating carbon fluxes in orange orchards in relation to planting density*'. J. Agric. Science 147: 637-645.
- Mander U., Mikk M., Kulvik M., 1999. '*Ecological and low intensity agriculture as contributors to landscape and biological diversity*'. Landscape and Urban Planning 46: 169-177.
- Marschall E.J.P. e Moonen A.C., 2002. '*Field margins in northern Europe: their function and interaction with agriculture*'. Agriculture, Ecosystems and environment 89: 5-21.
- Martens R., 1995. '*Current methods for measuring microbial biomass C in soil: Potentials and limitations*'. Biol Fertil Soils, 19:87-99.
- Meeus S.J., Gulink H., 2008. '*Semi-urban areas in landscape research: a Review*'. Living Rev. Landscape Res. 2:1-45. (www.livingreviews.org/lrlr-2008-3)
- Merenlender A.M., 2000. '*Mapping vineyard expansion provides information on agriculture and the environment*'. California Agriculture May-Jun, 7-12.
- Morlat R., Jacquet, A., 1993. '*The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire valley (France)*'. Vitis 32: 35-42.
- Morlat R., Jacquet, A., 2003. '*Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward*'. American Journal of Enology e Viticulture 54,1: 1-7.
- Moser D., Zechmeister H. G., Plutzer C., Sauberer N., Wrbka T. e Grabherr G., 2002. '*Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes*'. Landscape Ecology 17: 657-669.
- Mullins, M.G., Bouquet, A., Williams, L.E., 1992. '*4. Developmental physiology: the vegetative grapevine*'. In '*Biology of the grapevine*': 80-106. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN:0521-305071, pp.239.
- Nowak D.J., 1994. '*Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest*'. Chapter 6, In McPerson E.G., Nowak D.J., Rowntree R.A., eds. Chicago Urban Forest Ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen.Tech. rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Science, Northeastern Forest Experiment Station.
- Odorico G., Olivastro L. (a cura di), 2006. '*La flora dei Castelli Romani*'. (con il patrocinio della Regione Lazio). Gruppo scientifico latium volcano, 2006.
- Palese A.M., Pergola M., Celano G., Xiloyannis C., 2013. '*L'oliveto sostenibile per il sequestro di CO₂*'. L'informatore agrario 34: 44-46.

- Perini L., Salvati L., Ceccarelli T., Sorrenti S., Zitti M., 2008. *‘La desertificazione in Italia. Processi, indicatori, vulnerabilità del territorio’*. Bonanno Editore ACIREALE (CT).
- Pitacco A., Meggio F., Giulivo C., 2007. *‘Studio dei flussi di evapotraspirazione e fotosintesi del vigneto mediante tecniche micrometeorologiche’*. Italus Hortus 14, 3:110-114.
- Poni S., Intrieri C., Magnanini E., 2000. *‘Seasonal growth and gas exchange of conventionally and minimally pruned Chardonnay canopies’*. Vitis 39, 1: 13-18.
- Poni S., Palliotti A., Bernizzoni F., 2006. *‘Calibration and evaluation of a STELLA Software-based Daily CO₂ balance model in Vitis vinifera L.’*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 131, 2:273-283.
- Ricketts, T., Imhoff M., 2003. *‘Biodiversity, urban areas, and agriculture: locating priority ecoregions for conservation’*. Conservation Ecology 8,2: 1-15.
- Riitters K.H., O’Neil R.V., Hunsaker C.T., Wickham J.D., Yankee D.H., Timmins S.P., 1995. *‘A factor analysis of landscape pattern and structure metrics’*. Landscape Ecology 10,1: 23-39.
- Rosati M., 2013 (a cura di). *Atlante quali-vita 2013 Food&Wine. I prodotti agroalimentari e vitivinicoli italiani DOP, IGP, STG e Biologici’*. Ed. QUALIVITA – SIENA . ISBN 978-88-96530-16-0.
- Rühl J., 2004. *‘Analisi dei processi di rinaturalizzazione nei vigneti e cappereti abbandonati del paesaggio terrazzato di Pantelleria (canale di Sicilia)’*. Naturalista sicil., S. IV, XXVIII, 3-4: 1125-1146.
- Saayman D.D., Huyssteen, L.V., 1980. *‘Soil preparation studies. I. The effect of depth and method of soil preparation and of organic material on the performance of Vitis vinifera (var Chenin blanc) on Hutton/Sterkspruit soil’*. South African Journal of Viticulture 1:107-121.
- Salvati L., 2013. *‘Monitoring high soil consumption driven by urban pressure in a growing city (Rome, Italy)’*. Cities 31: 349-356.
- Salvati L., Sabbi A., 2011. *‘Exploring long term land cover changes in an urban region of southern Europe’*. The International of Journal of Sustainable Development & World, 18: 273-282.
- Salvati L., Carlucci M., 2013. *‘The impact of mediterranean land degradation on agricultural income: a short-term scenario’*. Land Use Policy 32: 302– 308.
- Salvati L., Munafo M., Morelli V.G., Sabbi A., 2012. *‘Low-density settlements and land use changes in a Mediterranean urban region’*. Landscape and Urban Planning 105: 43-52.
- Sansavini S., 2000. *‘Un secolo e oltre di frutticoltura’*. In: L’agricoltura verso il terzo millennio attraverso i grandi mutamenti del XX secolo, Avenue Media (Bologna).ISBN: 8886817177, pp.800.
- Scherr S.J., McNeely J. A., 2008. *‘Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of ‘ecoagriculture’ landscapes’*. Phil.Trans. R.Soc. B 363: 477-494.
- Schindler S., K. Poirazidis, T. Wrba, 2008. *‘Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: A case study from Dadia National Park, Greece’*. Ecological Indicators 8: 502-514.
- Sequi P., Benedetti A., Dell’Abate M.T., (a cura di) 2006. *“Indicatori microbiologici e biochimici della qualità del suolo”* in *“ATLAS: Atlante degli indicatori della qualità del suolo”*, Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XIV, Memorie di Scienze Fisiche e Naturali 118° (2000), Vol. XXIV.
- Silvestroni O., Paoletti P., Mattioli S., Bravetti B., 2007. *‘Bilancio del carbonio in viti di Montepulciano allevate a cordone libero e cordone speronato’*. Italus Hortus 14,3:149-154.

- Six J., Ogle S.M., Breidt F.J., Conant R.T., Mosier A.R., Paustian K., 2004. '*The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term*'. *Global Change Biology* 10:155-160.
- Smart D., Carlisle E., Spencer R., 2007. '*Carbon Flow Through Root and Microbial Respiration in Vineyards and Adjacent Oak Woodland Grassland Communities*'. 2001-2006 Mission Kearney Foundation of Soil Science: Soil Carbon and California's Terrestrial Ecosystems Final Report: 2001018.
- Smith P., 2004 '*Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context*'. *Europ. J. Agronomy* 20: 229–236.
- Smith R., Bettiga L., Cahn M., Baumgartner K., Jackson L E., Bensen T., 2008. '*Vineyard floor management effects on soil properties, soil moisture, sediment loss, plant nutrition and grape yield and quality*'. *California Agriculture* 62:184-190.
- Spano D., Sirca C., Marras S., Duce P., Zara P., Arca A., Schnyder R., 2007. '*Energy and co2 exchanges over vineyard using micrometeorological techniques*'. *Quad. Vitic. Enol. Univ. Torino*, 29.
- Steenwerth K., Belina, K.M., 2008(a). '*Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem*'. *Applied Soil Ecology* 40:359-369.
- Steenwerth K., Belina, K.M., 2008 (b). '*Cover crops and cultivation: Impacts on soil N dynamics and microbiological function in a Mediterranean vineyard agroecosystem*'. *Applied Soil Ecology* 40: 370-380.
- Steenwerth K., Pierce D.L., Carlisle E.A., Spencer R. G. M., Smart D.R., 2010. '*A vineyard agroecosystem: disturbance and precipitation affect soil respiration under mediterranean conditions*'. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:231–239
- Stockmann U., Adams M.A., Crawford J.W., Field D.J. et al. 2013. '*The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon*'. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164:80– 99.
- Swift M.J., Izac A.-M.N., van Noordwijk M., 2004. '*Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions?*'. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:113–134.
- Tietje W.D., Isaacs J., Bavrlic K., Rein S., 2006. '*Breeding bird assemblages in wooded patches in vineyard and undeveloped oak woodland landscapes in coastal-central California*'. Proceedings of the sixth California oak symposium : General technical report PSW ; GTR-217. Material Information : 447-456.
- Tscharntke T., Klein A.M., Kruess A., Steffan-Dewenter I. Thies C., 2005. '*Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management*'. *Ecology Letters*, 8: 857–874
- Ventura F., Facini O., Georgiadis T., Nardino M., Rossi F., 2007. '*Indagine sui flussi di materia ed energia da vigneto e da terreno nudo nell'interfilare in un sistema viticolo dell'Italia centrale*'. *Quad. Vitic. Enol. Univ. Torino* 29.
- Wang W., Guo J., Oikawa T., 2007. '*Contribution of root to soil respiration and carbon balance in disturbed and undisturbed grassland communities, northeast China*'. *J. Biosci.* 32,2:375–384.
- West T.O., Post W.M., 2002. '*Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis*'. *Soil Science Society of America Journal* 66,19,:30-46.

Williams L.E., Smith R.J., 1991. *'Effect of rootstock on the partitioning of dry weight, nitrogen and potassium, and root distribution of Cabernet Sauvignon grapevines'*. American Journal of Enology and Viticulture. 42, 11: 8-122.

Williams J.N., Hollander A.D., O'Geen A.T., Thrupp L.A., Hanifin R., Steenwerth K., McGourty G., Jackson L.E., 2011. *'Assessment of carbon in woody plants and soil across a vineyard-woodland landscape'*. Carbon balance and Management 6:11.

Williams A., Hedlund K., 2013. *'Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden'*. Applied Soil Ecology 65:1–7.

Young, J., Watt A., Nowicki P., Alard D., Clitherow J., Henle K., Johnson R., Laczko E., McCracken D., Matouch S., Niemela J., Richards C., 2005. *'Towards sustainable land use: identifying and managing the conflicts between human activities and biodiversity conservation in Europe'*. Biodivers. Conserv. 14: 1641–1661.

5.7 Risorse informatiche

<http://www.agricoltura.regione.lazio.it>

<http://www.arsial.it/portalearsial/agrometeo>

<http://www.ecnc.nl>

<http://www.eea.europa.eu>

<http://eur-lex.europa.eu/>

<http://www.fao.org>

<http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni>

<http://www.istat.it>

<http://www.livinggreviews.org/lrlr-2008-3>

<http://www.oiv.int>

<http://www.R-project.org>

<http://www.sinab.it>

<http://www.sustainablewinegrowing.org>

<http://thomsonreuters.com/web-of-science>

<http://wokinfo.com>

6. CONCLUSIONI GENERALI

La salvaguardia del paesaggio, della biodiversità, della qualità del suolo e dell'atmosfera vengono riconosciute come requisiti strategici per l'attuazione di un'agricoltura sostenibile che fornisca servizi oltre che prodotti, e in accordo con gli obiettivi delineati dalle nuove politiche internazionali (obiettivi Horizon 2020). La ricerca ha prodotto in tal senso risultati originali sulla misura dei servizi ecosistemici della viticoltura in alcuni territori rappresentativi dei contesti di attuazione di tale coltura e, contestualmente, sui criteri di valutazione della sua sostenibilità con possibili importanti ricadute nell'orientare la progettazione e gestione dei vigneti ai fini di una viticoltura a sostenibilità ambientale.

Lo studio del paesaggio dei territori viticoli (meso-scala di analisi) è importante per valutare l'impatto della viticoltura sulla sostenibilità paesaggistica, intesa come qualità composita dell'ambiente. Le varie aree di produzione possono essere classificate in funzione della struttura, complessità e conformazione del mosaico paesaggistico consentendo di evidenziare situazioni di disturbo ovvero di equilibrio con cui la viticoltura deve relazionarsi. Tali studi consentono di far emergere elementi di unicità del paesaggio viticolo, di criticità oppure di pregio, questi ultimi in grado di determinare un valore aggiunto delle produzioni enologiche e rafforzare il legame del prodotto con il territorio. L'evoluzione del comparto vitivinicolo, in quest'ottica, non potrà più essere semplicemente rappresentata da variazioni della consistenza delle superfici viticole, così come fornita dai catasti, ma dovrà corredarsi di informazioni circa la fisionomia del paesaggio interpretata attraverso gli strumenti dell'ecologia, che consentono infatti una diagnosi della evoluzione della qualità del paesaggio in accordo con lo spirito dell'Osservatorio Nazionale del Paesaggio Rurale recentemente istituito (DM 17070 del 19/11/2012). L'evoluzione della viticoltura, infatti, si manifesta non solo con l'avvicendamento delle superfici, ma anche con la continua evoluzione dell'architettura degli impianti. L'affermazione di una viticoltura specializzata si associa spesso al peggioramento degli indicatori di qualità del paesaggio; tuttavia la viticoltura si dimostra un uso del suolo che consente meglio di altri di mantenere un ecomosaico ambientale

complesso, equilibrato e resiliente anche sotto la pressione di forti forze di trasformazione, come ad esempio nelle aree peri-urbane o nella fascia costiera.

A scala di dettaglio il vigneto dimostra di garantire un'elevata diversità di habitat e ecosistemi naturali e semi-naturali in quanto formazioni proprie degli spazi non produttivi delle unità vitate, inclusi i margini. Tale caratteristica dei vigneti attribuisce loro un ruolo fondamentale nel mantenimento della connettività ecologica soprattutto in aree dove questa risulta fortemente compromessa. Il ruolo ecologico-ambientale della viticoltura è massimo nei contesti in cui permangono forme di viticoltura tradizionale o la viticoltura moderna e specializzata viene attuata mantenendo alcuni caratteri di quella tradizionale.

Fra i servizi ecosistemici che il vigneto può fornire va incluso lo stoccaggio del carbonio (C) nei due principali serbatoi: la pianta e il suolo. I singoli ceppi nel vigneto possono stoccare elevati quantitativi di C non solo nella biomassa epigea, ma anche considerevolmente nella biomassa ipogea. Il contributo del *turn-over* radicale allo stoccaggio del C può arrivare a rappresentare $\frac{1}{4}$ del totale, se pur con differenze imputabili a variabili climatiche e modello di gestione, risultando esaltato nella conduzione in biologico. Al pari, il C stoccato nel suolo risente delle caratteristiche fisico-chimiche del terreno e risulta influenzato dalle tecniche di gestione del suolo nel vigneto. In termini di bilancio complessivo del C, e quindi di CO₂ equivalenti sottratte all'atmosfera, il vigneto si dimostra in grado di sequestrare considerevoli quantitativi. La possibilità o meno di ottenere un bilancio positivo del C è risultata correlabile più che alla produttività fotosintetica della pianta, soprattutto allo stato del sottosistema suolo e conseguentemente all'attività di respirazione radicale e eterotrofa. Inoltre, i cambiamenti climatici misurabili anche nel breve-medio periodo nel regime termico e pluviometrico, ma anche nella concentrazione di CO₂ dell'atmosfera, imporranno l'adeguamento delle tecniche di gestione del vigneto al fine di massimizzare questa funzione. La funzione di *carbon sink* del vigneto assume, infatti, particolare importanza per il mantenimento della funzionalità del suolo e per il miglioramento della qualità dell'atmosfera dove questa risulta alterata per la presenza di alte concentrazioni di gas clima alteranti, come di fatto si verifica in aree agricole a forte pressione antropica.

Presi nel loro complesso i risultati ottenuti consentono di considerare i vigneti come agro-ecosistemi di presidio del territorio che si oppongono al consumo di suolo e degrado paesaggistico, depauperamento della biodiversità, perdita della funzionalità del suolo e peggioramento della qualità dell'atmosfera.