

Linee metodologiche per la valorizzazione
dei comprensori vitivinicoli di qualità
nella disciplina territoriale e urbanistica.
Il caso studio del PUC di Castelvenero.



ANTONIO P. LEONE

PAOLO MAGLIULO

PAOLO BENVENUTI

NATALIA LEONE

GUIDO LEONE

FULVIO FRAGNITO

GIOVANNI CANTILENA

ABSTRACT

La valorizzazione dei comprensori agricoli di pregio, in particolare di quelli viti-vinicoli, non può prescindere dalla corretta analisi delle componenti “natural” del paesaggio (rilievo, suoli e sottostante geolitologia, clima) che, interagendo tra di loro e con la gestione antropica, determinano le potenzialità produttive e le limitazioni d’uso dei predetti comprensori, oltre ad influenzarne l’aspetto estetico. Tali componenti rappresentano, pertanto, gli elementi fondamentali da considerare nella pianificazione del territorio fondata sull’equilibrio tra validità agronomica e qualità paesaggistica, sviluppo sostenibile e valorizzazione delle aree urbane e rurali. Per offrire alle Amministrazioni locali uno strumento urbanistico multidisciplinare attento a questi obiettivi, a partire dal 1996 l’Associazione Nazionale delle Città del Vino si è impegnata nell’individuazione di alcune linee guida metodologiche per la valorizzazione dei comprensori vitivinicoli di qualità nella disciplina territoriale e urbanistica.

Alle linee guida proposte dalle Città del Vino ha fatto riferimento Castelvenere, il Comune più vitato della Campania (circa il 67% del territorio comunale è occupato da vigneti) per la realizzazione del suo Piano Urbanistico Comunale.

L’adozione delle linee guida implica l’acquisizione e/o la disponibilità di corrette informazioni riguardanti le caratteristiche e la distribuzione spaziale (cartografia) delle diverse componenti “natural” del paesaggio. Nella realizzazione del PUC, il Comune di Castelvenere si è potuto avvantaggiare di una considerevole mole di informazioni prodotte da ricerche riguardanti l’intero territorio del Sannio Beneventano, realizzate dall’Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFoM) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), in collaborazione con Istituzioni di ricerca ed universitarie nazionali ed internazionali.

Tali informazioni, rielaborate ed integrate da quelle prodotte da indagini realizzate per gli

scopi specifici del PUC, hanno consentito di caratterizzare e cartografare il territorio comunale in esame dal punto di vista dell’uso del suolo, geomorfologico-morfometrico, fisiografico e pedologico. In particolare, sono state prodotte: una Carta dell’uso del suolo, le Carte morfometriche delle quote, delle pendenze, delle esposizioni, dell’insolazione, dell’indice topografico di umidità e del fattore topografico di erosione. Le Carte morfometriche sono state realizzate a partire da un modello digitale del terreno. Tenuto conto delle relazioni quote-temperature, è stata realizzata una Carta dell’indice bioclimatico di Amerine e Winkler. È stata prodotta una Carta delle Unità di paesaggio, basata sulla variabilità spaziale delle forme del rilievo e della litologia dominante, tenuto conto degli aspetti morfometrici. Ciascuna Unità di paesaggio è stata caratterizzata dal punto di vista pedologico, per produrre una Carta dei suoli. Incrociando le informazioni contenute nelle Carte dei suoli e delle pendenze con le esigenze della vite, desunte dalla letteratura specialistica, è stata generata una Carta delle attitudini del territorio alla viticoltura. Inoltre, sono state studiate statisticamente le relazioni tra Unità suolo-paesaggio e caratteristiche compositive delle uve della *cultivar* Falanghina, per produrre una Carta della zonazione viticola della stessa *cultivar*. Infine, utilizzando immagini telerilevate da satellite, è stata realizzata una Carta dell’indice normalizzato di vegetazione, strettamente correlato al vigore vegetativo dei vigneti. Tutti gli elaborati cartografici sono stati organizzati in un GIS-geodatabase e, in questo formato, utilizzati come elementi strutturali in supporto alla realizzazione del PUC.

La metodologia adottata per il PUC di Castelvenere, piuttosto che una mera elencazione di regole, potrebbe rappresentare un esempio pratico da seguire nella realizzazione di altre indagini finalizzate alla pianificazione territoriale e urbanistica dei comprensori viticoli e, più in generale, di quelli agricoli.

Parole chiave: paesaggio viticolo, cartografia delle componenti naturali del paesaggio, piano urbanistico comunale.

The valorisation of agricultural areas, particularly of high-value vineyard districts, cannot disregard the correct analysis of the “natural” components of the landscape (relief, soils and underlying geolithology, climate). These latter, interacting and with each other and with the anthropic management, determine the productive potentials and limitations of use of these areas and their aesthetic appearance. Therefore, these components represent the fundamental elements considered in a territorial planning which is based on the balance of agronomic validity, landscape quality, sustainable development and enhancement of urban and rural areas. Since 1996, the National Association of Wine Cities has been working to identify some methodological guidelines for the valorisation of high-value vineyard districts, within the land and urban planning, in order to provide local administrations with a multidisciplinary urban planning tool.

Castelvenere, the richest vineyards communal territory in the Campania region (about 67% of the communal territory is occupied by vineyards), has taken in consideration the guidelines of the City of Wine for the realization of its Urban Planning Plan (UPP).

The adoption of the guidelines implies the acquisition and/or the availability of correct information regarding the characteristics and spatial distribution (cartography) of the various “natural” components of the landscape. In the realization of the UPP, the Municipality of Castelvenere has benefitted from a considerable amount of information produced by researches covering the entire territory of Sannio Beneventano. The researches has been carried out by the Institute for Agricultural and Forestry Systems in the Mediterranean of the National Research Council of Italy, in collaboration with other national and International Research Institutes and Universities. Such information, reworked and integrated with the additional investigations carried out by the UPP, allowed to characterize and map the municipal territory of Castelvenere considering land use, geomorphology-morphometry, physiography and soils. At first, a

land use map and a number of morphometric maps (elevation, slope, aspect, insolation, topographic wetness index and topographic erosion factor), deriving from a digital elevation model (DEM), were produced. Subsequently, a map of the Winkler bioclimatic Index was generated, taking into account the relationships between elevation and temperature. Considering the morphometric features of the area, a map of the landscape Units was compiled, based on the spatial variability of landforms and dominant lithology. The soils of each landscape Unit were investigated to create a soil map. A map of land suitability for viticulture was created crossing the information contained in the soil and slope maps with the vine requirements. In addition, the relationship between soil-landscape Units and the grape composition of the Falanghina cultivar has been statistically investigated, to produce a zonation map of the cultivar. Finally, a map of the normalised difference vegetation index (NDVI), which is closely related to vine vegetative growth (vigour), was produced from satellite images. All the maps produced were organized into a GIS-based geodatabase and, in this format, used as structural elements in support of the UPP.

The methodology adopted for the purposes of the UPP of Castelvenere, rather than a mere list of rules, could be used as a practical example to carry out investigations in support to land and urban planning of vineyard districts and, more generally, of agricultural districts.

1. INTRODUZIONE

La Campania è terra di antiche tradizioni vitivinicole. Attualmente, la superficie vitata di questa regione ricopre circa 17.000 ha, dei quali ben 11.000 (64% del totale regionale) ricadono nella sola provincia di Benevento (Tab. 1). I vigneti di questa terra, distribuiti prevalentemente tra la Valle Telesina e le Colline del Taburno (Fig. 1), oltre ad essere una fonte rilevante di reddito, rappresentano

un elemento importante del paesaggio agricolo. Infatti, l'interazione della viticoltura con l'ambiente fisico ha prodotto scenari di notevole bellezza, che necessitano di essere valorizzati e tutelati con regole urbanistiche adeguate a preservare e garantire alle nuove generazioni le peculiarità del paesaggio e a sostenere le numerose esigenze del comparto vitivinicolo italiano, sempre più stretto tra competitività, rinnovamento, riqualificazione e contrasto al consumo del suolo.

Tab. 1 – Distribuzione della superficie vitata tra le province della Campania.

Provincia	Sup. vitata (ha)	% Sup. vitata regionale
Benevento	11157	63.9
Avellino	3181	18.2
Salerno	1791	10.3
Caserta	1091	6.3
Napoli	244	1.4

Informazioni estratte da: "CUAS, Carta dell'Utilizzazione Agricola dei Suoli della Campania (Regione Campania, 2009)".



Fig. 1 - Superficie vitata (in rosso tratteggiato) dei comprensori della Valle Telesina e delle Colline del Taburno (provincia di Benevento).

Proprio per offrire alle amministrazioni locali uno strumento urbanistico multidisciplinare attento a questi obiettivi, a partire dal 1996 l'Associazione Nazionale delle Città del Vino (ANCV) si è impegnata nell'individuazione di alcune linee guida dedicate ad una pianificazione comunale fondata sull'equilibrio tra validità agronomica e qualità paesaggistica, sviluppo sostenibile del territorio e valorizzazione delle aree urbane e rurali. Uno sforzo che trova un riscontro diretto nella missione dell'Associazione, fortemente consapevole, fin dalle sue origini, del ruolo di equilibrio delle aree rurali nel rapporto fra comunità insediata e ambiente. Istituita a Siena nel 1987 con l'obiettivo di promuovere le risorse ambientali, paesaggistiche, artistiche, storiche e turistiche dei territori legati al vino per tradizione e cultura, l'ANCV attualmente rappresenta una rete di oltre 430 tra Comuni, Province, Strade del vino, Parchi e Comunità Montane a vocazione vitivinicola. Le prime linee metodologiche del "Piano Regolatore (oggi Piano Urbanistico Comunale, PUC) delle Città del Vino" sono state continuamente aggiornate ed arricchite: dall'inserimento della zonizzazione vitivinicola e del paesaggio nel 2007 (con specifici contenuti in tema di paesaggio, misure d'adattamento al deterioramento climatico, aggiornamento delle tecniche per gestire il vigneto, qualità dell'architettura rurale e dei riflessi che tutto ciò ha sul governo del territorio) alle energie rinnovabili in campagna nel 2011 (relativamente alle fonti - fotovoltaico, eolico, biomasse - e all'uso del suolo rurale) fino all'introduzione, nel 2017, di elementi come sostenibilità, accessibilità, cambiamenti climatici e Urban Food Planning. Con la visione di una programmazione condivisa e la consapevolezza che la qualità del vino dipende anche dalla specificità ambientale del territorio, i Sindaci dei comuni della "wine valley" del Sannio (Guardia Sanframondi, San Lorenzo Maggiore, San Lupo, Ponte, Torrecuso, Foglianise, Paupisi, Vitulano, Solopaca, Castelvenere, Cerreto Sannita, Teleso Terme e Benevento), molti dei quali associati all'ANCV, sono da tempo sostenitori di politiche virtuose rispetto al governo del territorio,

anticipando le misure europee per il periodo 2014-2020 fondate sulla definizione delle aree rurali come aree funzionalmente interconnesse e interdipendenti. Ricordiamo ad esempio la firma nel 2013 di un Protocollo d'intesa per lo sviluppo sostenibile dell'economia del vino, dei servizi e della governance territoriale. Nello stesso anno, il Comune di Castelvenere, uno dei tredici comuni firmatari del Protocollo, adottando le linee guida delle Città del Vino, ha vinto l'edizione speciale del Concorso per il Miglior Piano Regolatore delle Città del Vino con un PUC incentrato sulla difesa, la tutela, la riqualificazione e il ripensamento del paesaggio vitivinicolo millenario, per trasformarlo in una opportunità di sviluppo economico e culturale e per contribuire a rendere la comunità locale responsabile e consapevole dell'importanza del binomio territorio-vino per la propria crescita. Nella programmazione urbanistica e territoriale, Castelvenere ha fatto proprio il presupposto che la pianificazione di una Città del Vino debba risolvere complessi problemi di conoscenza e valutazione delle risorse territoriali per raggiungere l'obiettivo generale della qualità dei prodotti, dei processi produttivi, del territorio e, quindi, della vita di un'intera comunità; il che significa affrontare temi come il rinnovo dei vigneti o l'impianto di nuovi, la tutela dei vigneti considerati "storici", l'uso sostenibile del suolo agrario, il controllo dell'erosione, la tutela idrogeologica, la salvaguardia dell'ambiente e del paesaggio rurale ma anche l'adeguamento dell'architettura rurale alla specificità del paesaggio viticolo. Nell'adozione delle linee guida proposte delle Città del Vino, il Comune di Castelvenere si è potuto avvantaggiare di una considerevole mole di informazioni prodotte da ricerche realizzate dall'Istituto i per Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFoM) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), in collaborazione con altre prestigiose Istituzioni di ricerca ed universitarie nazionali ed internazionali (tra cui il Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II, l'Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, i Dipartimenti di Scienze e Tecno-

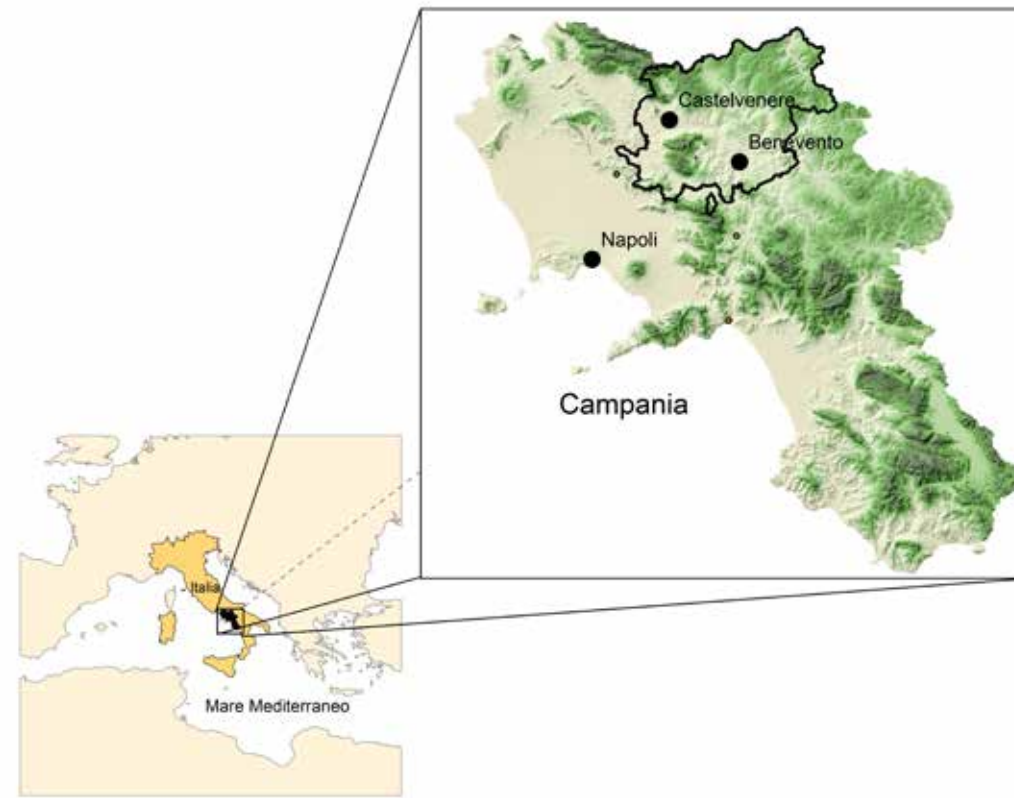


Fig. 2 – Inquadramento geografico del Comune di Castelvenere nel contesto mediterraneo, nazionale, regionale e provinciale.

logie e di Diritto Economia Management e Metodi Quantitativi dell'Università degli Studi del Sannio e l'Unité Expérimentale Vigne et Vin de l'Institut National de la Recherche Agronomique di Angers, Francia).

Le informazioni disponibili, integrate con indagini specifiche, hanno consentito di analizzare e cartografare i principali elementi dell'ambiente fisico e le loro relazioni con l'uso antropico. Tale analisi è stata utilizzata come "elemento strutturale" per la realizzazione del Piano Urbanistico Comunale di Castelvenere (PUC)¹. Di essa si riporta una sintesi nel presente Capitolo, con l'auspicio che la me-

todologia adottata, piuttosto che una mera elencazione di regole, possa rappresentare un esempio pratico da considerare nella realizzazione di altre indagini finalizzate alla pianificazione territoriale e urbanistica delle aree agricole.

2. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Castelvenere (41°14' lat. nord, 14°32' long. est) è uno dei più importanti comuni viticoli della provincia di Benevento e, certamente, quello con la più elevata concentrazione di vigneti per unità di superficie comunale dell'intera regione Campania e, forse, d'Italia. Esteso circa 1530 ha, è localizzato nella porzione occidentale della predetta Provincia (Fig. 2). L'idrografia è dominata dall'asta del torrente Seneta, ad andamento nord-est sud-ovest, passante ai piedi dell'abitato del paese. Un breve tratto del fiume Calore lambisce la parte meridionale del territorio comunale.

1) È doveroso ricordare che il lavoro prodotto nasce dalla decisa volontà e dal desiderio di innovazione dell'allora Sindaco di Castelvenere, dr. Alessandro Di Santo. È altrettanto doveroso sottolineare che il lavoro illustrato nel presente Capitolo non sarebbe stato realizzato senza la condivisione dei progettisti del PUC, arch. Vincenzo Carbone, Ing. Antonio Napoli, Ing. Marco Della Porta, Ing. Gaetano De Nigris; del dr. Michele Pacelli che ha curato gli aspetti agronomici del Piano, della dott.ssa Cinzia Verrillo, che ne ha curato gli aspetti geologici e dell'Arch. Vincenzo Plenzick, responsabile unico del procedimento.

3. LO STUDIO REALIZZATO ED I RISULTATI OTTENUTI

Come precedentemente accennato, le indagini realizzate sono state basate sulla raccolta e sulla rielaborazione di informazioni disponibili, derivanti soprattutto dai risultati di specifiche attività di ricerca, integrate con informazioni acquisite *ex-novo* che hanno portato alla realizzazione di una serie di Carte tematiche, di base e derivate, riguardanti, specificamente, l'uso del suolo, alcuni importanti elementi morfometrici (altimetria, esposizione, pendenze, indice topografico di umidità), il bioclimate (indice di Amerine e Winkler), i suoli e la loro attitudine alla viticoltura (*land suitability*), l'indice normalizzato di vegetazione (*Normalised Difference Vegetation Index, NDVI*). L'analisi delle relazioni tra ambiente fisico (suoli in particolare) e composizione delle uve ha portato alla produzione di una prima Carta della zonazione viticola del Comune di Castelvenere.

Tutte le Carte realizzate sono state restituite in formato digitale (vettoriale o *raster*), georeferite rispetto al sistema di coordinate piane UTM WGS84 zona 33 e organizzate in un *geodatabase*.

3.1. Carta dell'uso del suolo

La Carta dell'uso del suolo è l'unico documento tematico richiesto all'agronomo in supporto alla realizzazione di un PUC. Nel nostro caso, invece, essa ha rappresentato soltanto il documento di partenza di un'indagine molto più complessa.

La Carta dell'uso del suolo del territorio comunale di Castelvenere (Fig. 3) è stata realizzata mediante fotointerpretazione a video, in ambiente GIS, di ortofoto a colori a grande scala, acquisite nel mese di giugno 2011. Inoltre, sono state utilizzate, come dati ancillari, le ortofoto del 2004 a grande scala prodotte dalla Regione Campania e una serie di immagini storiche Google Earth².

2) Le ortofoto a colori e le immagini Google Earth sono

I risultati ottenuti hanno confermato che la classe di uso del suolo prevalente nel territorio comunale di Castelvenere è il vigneto (1018 ha, 66.45% dell'intero territorio comunale), coltivato "in purezza" (960 ha, 62.64%) o consociato a oliveto (58 ha, 3.81%) (Fig. 4). Una discreta estensione della superficie comunale, invece, è coltivata a oliveto (190 ha, 12.41%) (Fig. 3); seguono, per estensione, gli ambienti urbanizzati e le superfici artificiali (129 ha, 8.42%). I boschi, costituiti prevalentemente da querceti, occupano solo 128 ha, (7.86% della superficie comunale). Circa 30 ha (1.95% della superficie comunale) sono occupati da aree a ricolonizzazione naturale. Un'analoga superficie (29.00 ha, 1.87%) è occupata da aree incolte. La rilevanza delle aree viticole, nelle quali è immerso il territorio urbanizzato di Castelvenere, giustifica ampiamente la scelta fatta dall'Amministrazione comunale di utilizzare il presente studio come "elemento strutturale" nella realizzazione del Piano Urbanistico Comunale.

state utilizzate per una prima identificazione e delimitazione (cartografia) delle principali tipologie d'uso del suolo. Il risultato della fotointerpretazione è stato la produzione di una Carta preliminare dell'uso del suolo.

La fotointerpretazione è stata preceduta da una serie di rilievi di campo, in gran parte realizzati in concomitanza con il lavoro di fotointerpretazione, per la verifica dei limiti e dei contenuti delle diverse unità d'uso del suolo.

Nel corso di una seconda fase d'indagine, i limiti e i contenuti della Carta preliminare sono stati verificati e, dove necessario, modificati attraverso un attento e accurato lavoro di fotointerpretazione, combinato con ulteriori rilievi diretti di campo.

Come accennato in precedenza, la Carta dell'uso del suolo, anche se richiesta in scala 1:5.000, è stata fotointerpretata e digitalizzata ad una scala di maggiore dettaglio (1:1.000 o maggiore).

Per la delimitazione in ambiente GIS delle diverse tipologie d'uso del suolo si è proceduto nel modo seguente: a) digitalizzazione delle linee (archi) corrispondenti ai confini delle unità cartografiche; b) produzione di uno *shape-file* di punti identificativi delle singole unità cartografiche; c) controllo e correzione di eventuali errori di digitalizzazione e attribuzione dei punti ai temi (unità cartografiche); d) trasformazione dello *shape-file* di linee e punti in uno *shape-file* di poligoni.

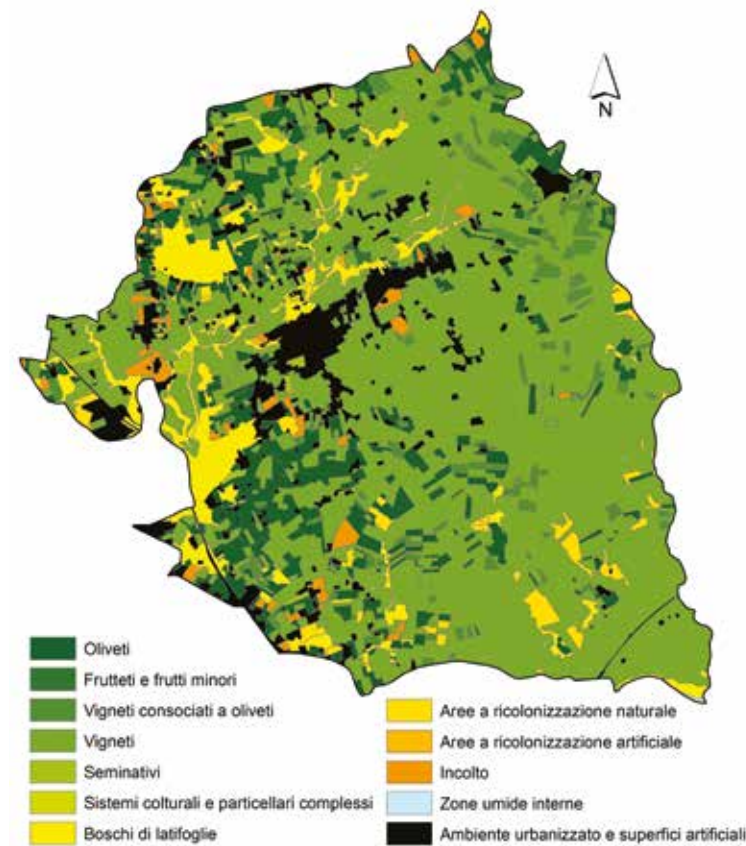


Fig. 3 – Carta dell’uso del suolo.

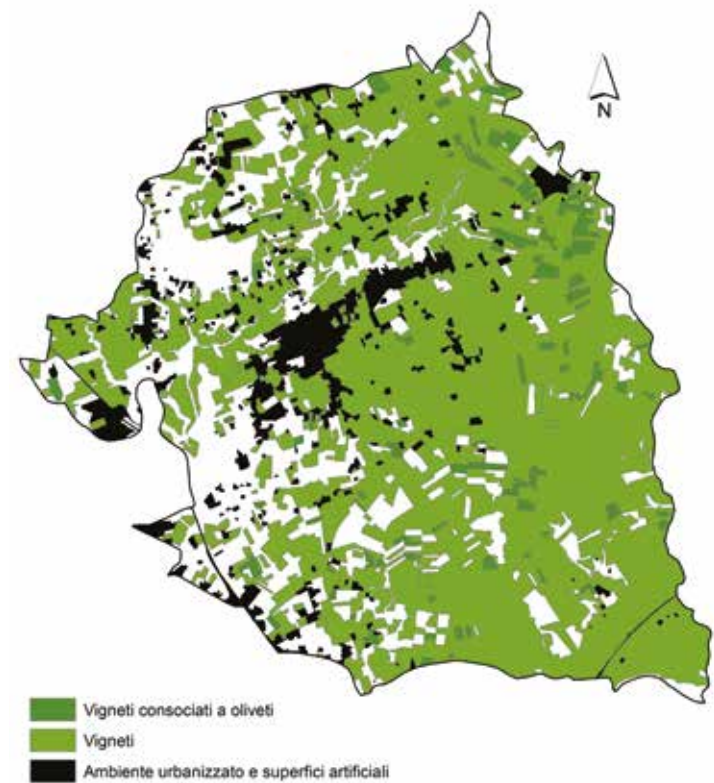


Fig. 4 – Carta dell’uso del suolo: superficie vitata (vigneti e vigneti consociati a oliveti) e ambiente urbanizzato.

3.2. Clima e bioclina
3.2.1. Clima

Il clima esercita una considerevole influenza sulle attività fisiologiche della vite e, quindi, sulla composizione delle uve e dei vini che ne derivano³; inoltre, esso è uno dei fattori principali di pedogenesi (formazione del suolo). Il territorio di Castelvenere è stato caratterizzato, dal punto di vista climatico, utilizzando i dati medi mensili di precipitazione (P), di

3) Le principali variabili climatiche influenti sulle *performances* della vite sono la temperatura dell’aria (T), le precipitazioni (P), l’irraggiamento solare (Ir) e l’evapotraspirazione potenziale (ETP). La temperatura dell’aria è una variabile critica dello sviluppo della vite e della maturazione dei grappoli. La fotosintesi della vite è massimizzata intorno a 25°C [Alleweldt *et al.*, 1982]. Le concentrazioni di potassio e di prolina nell’uva aumentano linearmente con le temperature, mentre la concentrazione di acido malico diminuisce. La relazione tra temperatura e concentrazione di zuccheri è curvilinea, con un massimo a temperature comprese tra 25° e 30°C. Il range ottimale per l’accumulo di antociani è 17-26°C [Pirie, 1977]. Basse temperature, soprattutto notturne, favoriscono la colorazione delle uve a bacca rossa [Kliewer e Torres, 1972] e l’espressione aromatica dei vini [Ewart, 1985]. Le temperature sono fortemente influenzate dalla morfometria (quota, esposizione). In regioni montagnose, esse diminuiscono di circa 0.65°C per ogni 100 m di quota [Guyot, 1997]. Tuttavia, possono verificarsi inversioni termiche, particolarmente per le temperature minime, poiché l’aria fredda può scorrere verso il basso ed accumularsi nelle aree sottoposte [Dumas *et al.*, 1997; Guyot, 1997]. Pertanto, viti impiantate nelle valli possono essere più soggette a danni da gelate primaverili rispetto a quelle localizzate sui versanti. Le masse umide hanno un effetto mitigante sulla temperatura, favorendo la diminuzione di quelle massime e l’aumento di quelle minime [Bois *et al.*, 2008]. La brezza marina favorisce la riduzione del deficit di saturazione e della temperatura dell’aria, determinando un allungamento del periodo ottimale di fotosintesi [Carey e Bannadot, 2004]. La pioggia causa un aumento del rischio di malattie, particolarmente della peronospora e dell’oidio. Anche se qualche pioggia è benefica per lo sviluppo del grappolo, la produzione di vini di alta qualità, espressione del *terroir*, richiede almeno un moderato periodo di *stress* idrico in una fase della stagione di crescita. Il comportamento della vite (crescita, sviluppo, produzione, composizione dei grappoli) è strettamente dipendente dalla radiazione solare disponibile; infatti, tutte le fasi del ciclo annuale dei fenomeni fisiologici, biochimici e metabolici che in essa si verificano sono governate da processi fotosintetici indissolubilmente connessi alla radiazione solare [Tomasi *et al.*, 2013]. Poco è stato pubblicato circa gli effetti dell’evapotraspirazione di riferimento (ET₀ o ETP) sullo sviluppo della vite. Comunque, l’ET₀ è un importante variabile climatica, dato il suo ruolo nel bilancio idrico (la traspirazione della vite aumenta con l’ET₀) [van Leeuwen, 2010].

temperatura (T) e di evapotraspirazione potenziale (ETP) relativi al periodo 2000 - 2012. Per quanto riguarda l’irraggiamento solare, è stata prodotta una Carta della distribuzione spaziale di tale parametro, di cui si parlerà in seguito. L’ETP è stata calcolata a partire dai dati di temperatura, utilizzando la formula di Hargreaves-Samani [Hargreaves e Sorani, 1985]. I dati di precipitazione e di temperatura sono quelli registrati da una stazione del servizio agrometeorologico della Regione Campania ricadente nel territorio comunale di Castelvenere. Gli andamenti delle precipitazioni e delle temperature sono stati utilizzati anche per la costruzione di un climogramma di *Bagnouls-Gausson*⁴, comunemente impiegato per valutare la durata dei periodi di “aridità climatica” [Landi, 1999]. La Figura 5 riporta l’andamento mensile dei valori di P, ETP e 2T e consente di definire la durata dei periodi di *deficit* idrico climatico e di aridità, secondo i criteri riportati nella nota “4”.

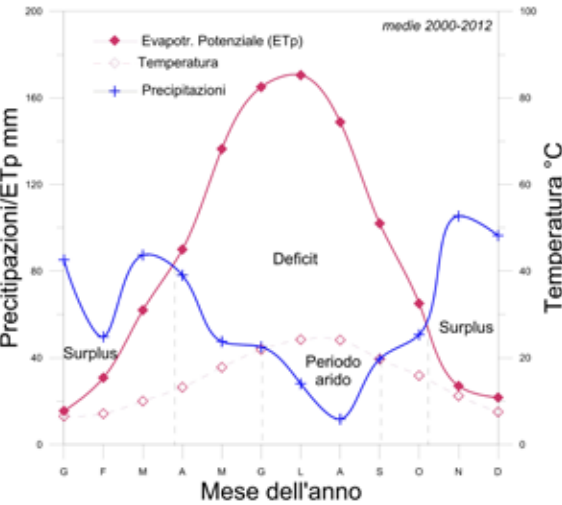


Fig. 5 - Andamento delle precipitazioni (P), delle temperature (T) e dell’evapotraspirazione potenziale (ETP). Medie del periodo 2000-2012. Sono indicati i periodi di deficit e di surplus idrico, sulla base dell’andamento delle P e dell’ETP e il periodo di aridità, sulla base dell’andamento delle P e delle T (climogramma di Bagnouls-Gausson).

4) Il climogramma viene costruito riportando su un asse delle ordinate i valori delle P e su un secondo asse delle ordinate il doppio delle T (2T). Un mese si considera “arido” quando il valore della precipitazione media mensile è uguale o inferiore al doppio del valore della temperatura media mensile ($P \leq 2T$).

L'analisi dei dati climatici indica che il territorio di Castelvenere è caratterizzato da precipitazioni e temperature medie annue rispettivamente di 768 mm e 14.8°C. L'andamento delle P e delle T (e con esse dell'ETP) è quello tipico dell'ambiente mediterraneo: le precipitazioni eccedono le temperature e l'ETP nel periodo autunno-invernale (dagli inizi di ottobre alla fine di marzo); il contrario si verifica nel periodo primaverile-estivo, con condizioni di elevato deficit idrico climatico, soprattutto nei mesi di luglio e agosto. Il periodo di aridità climatica, in accordo con il climogramma di *Bagnouls-Gaussen*, è compreso tra giugno e settembre.

3.2.2. Bioclima

L'influenza del clima sulla coltura della vite è efficacemente sintetizzata e rappresentata da "indici bioclimatici", in base ai quali è possibile differenziare e delimitare varie zone viticole, impiegando informazioni riguardanti la temperatura, l'illuminazione e le precipitazioni. L'indice bioclimatico più frequentemente uti-

lizzato è quello proposto da Amerine e Winkler [1944], definito dalla sommatoria delle temperature medie giornaliere detratte di 10°C (zero di vegetazione), ovvero delle temperature medie attive nel periodo 1 aprile – 31 ottobre. Questo indice, espresso in gradi giorno (gg), si basa sul presupposto che qualsiasi vitigno esprime al meglio le sue potenzialità quali-quantitative quando è inserito in un contesto nel quale le disponibilità termiche sono simili ai suoi fabbisogni. Infatti, nelle situazioni caratterizzate da una maggiore disponibilità termica, i processi di maturazione si svolgono rapidamente e, di conseguenza, occorre prestare particolare attenzione all'individuazione del momento ottimale di raccolta. Viceversa, nelle situazioni dove è minore la disponibilità termica, la vite incontra chiare difficoltà di raggiungimento della completa e soddisfacente maturazione delle uve. Per gli scopi del PUC di Castelvenere è stata prodotta una Carta dell'Indice di Amerine e Winkler (Fig. 6), a partire da un modello digitale del terreno (DTM) (di cui si dirà in

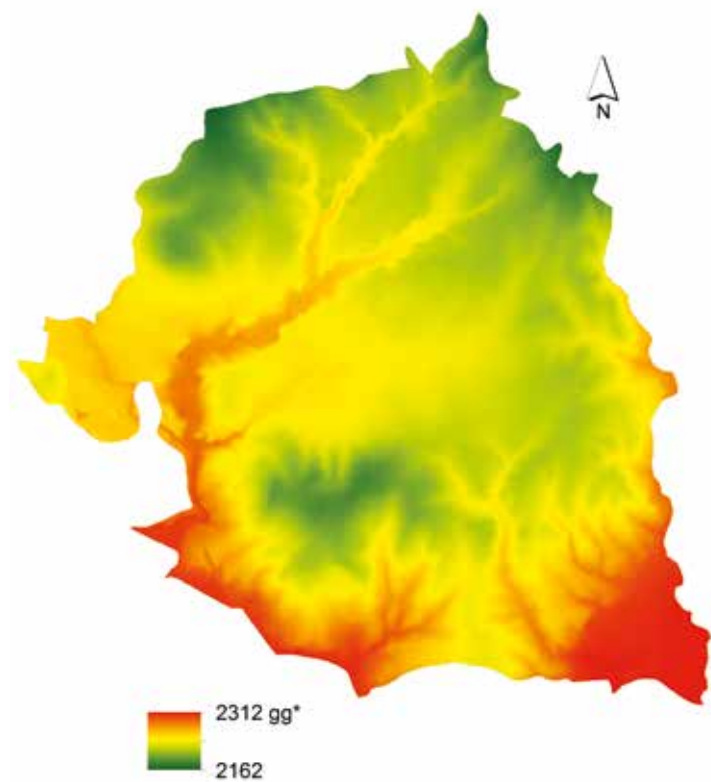


Fig. 6 - Carta dell'Indice bioclimatico di Amerine e Winkler, (in gradi giorno, gg).

seguito) e dalle relazioni tra l'altimetria e il predetto indice, definite da studi specifici per l'intero territorio della Campania [Bonfante *et al.*, 2011]. Sulla base dei valori dell'Indice di Amerine e Winkler è possibile attribuire il territorio viticolo di Castelvenere alla Regione Climatica I⁵. Come regola generale, i più pregiati vini da tavola provengono da uve di alta qualità prodotte nelle Regioni climatiche I e II, mentre i migliori vini da *dessert* o a più alto grado alcolico sono prodotti da uve allevate nelle Regioni IV e V. La Regione III è di transizione. Uno studio realizzato da Scaglione e Pasquarella [2002], ha consentito di definire le esigenze termiche delle principali *cultivar* di uva da vino della Campania, tra cui quelle coltivate nel territorio del Comune di Castelvenere (Tab. 2). Il confronto dei risultati del predetto lavoro con la Carta dell'Indice di Winkler (Fig. 6) evidenzia, per il territorio in esame, una disponibilità termica decisamente superiore a quella richiesta dalle *cultivar* considerate. Tale disponibilità, in accordo con quanto detto in precedenza, se da un lato consente una completa maturazione delle uve, dall'altro impone particolare attenzione nella scelta del periodo di raccolta.

Tab. 2 – Esigenze termiche testate per alcune cultivar, in differenti località della Campania e risposta in tenore zuccherino

Vitigno	Zuccheri (°Brix)	Esigenze termiche (°CG)
Aglianico	18	1804
Agostinella	20	1798
Falanghina	20	1736
Fiano	18	1625
Malvasia di C.	21	1880
Piedirosso	20	1700
Trebbiano T.	18	1650

da Scaglione e Pasquarella, 2002, mod.

5) Regioni climatiche proposte da Amerine e Winkler: Regione I (< 2500 gg), Regione II (2500 – 3000 gg), Regione III (300 – 3500 gg), Regione IV (3500 – 4000 gg), Regione V (> 4000 gg).

3.3. Morfometria⁶

Utilizzando un modello digitale del terreno (*Digital Terrain Model, DTM*)⁷, con risoluzione (dimensione del pixel) di 5 x 5 m, sono state prodotte le Carte delle principali variabili morfometriche⁸ potenzialmente influenti sull'evoluzione e sulle proprietà dei suoli, sul microclima, sulla fisiologia della vite e, in definitiva, sulla produzione e sulle caratteristiche compositive dell'uva. In particolare, sono state generate le Carte delle pendenze e delle esposizioni. Per gli scopi del presente Capitolo, in aggiunta alle predette Carte, sono state prodotte anche le Carte di altre importanti variabili morfometriche, quali l'indice topografico di umidità (*Topographyc Wetness Index, TWI*), il fattore di erosione LS e l'insolazione, ritenute molto utili alla gestione dei vigneti come, fra l'altro, ampiamente discusso [Leone *et al.*, 2017] in un recente Volume sui "Paesaggi rurali" [Del Prete e Leone, 2017], pubblicato dalla Regione Campania. La pendenza è una variabile morfometrica primaria che misura il grado di cambiamento dell'altitudine nella direzione più ripida del versante ed è generalmente espressa in percento o in gradi. La sua importanza in viticoltura è legata alla sua influenza sull'umidità del suolo, che, come già detto, è un fattore rilevante dell'"effetto *terroir*". Quando la

6) La geomorfometria, o semplicemente morfometria, è la scienza che si occupa dell'analisi quantitativa della superficie della Terra [Pike, 1995, 2001; Rasemann *et al.*, 2004]. Essa rappresenta un moderno criterio analitico-cartografico, utile per rappresentare la topografia della terra nuda attraverso la manipolazione al computer delle quote [Tobler, 1976, 2000].

7) Un DTM, detto anche modello di elevazione del terreno (*Digital Elevation Model, DEM*) – input primario per l'analisi quantitativa della superficie della Terra (geomorfometria) [Wilson e Gallant, 2000] – è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio in formato digitale. Esso raffigura la superficie della Terra così come appare, senza vegetazione, edifici e altri manufatti.

8) I descrittori quantitativi della superficie della Terra, oltre che come "variabili morfometriche" [Shary *et al.*, 2002], sono stati definiti come "attributi topografici" [Wilson e Gallant, 2000], "attributi del terreno" [Bishop e Minasny, 2006], "parametri della forma del rilievo" [Speight, 1968], "attributi geomorfometrici" [Schmidt e Dikau, 1999].

pendenza aumenta anche la velocità dell'acqua aumenta; di conseguenza, le precipitazioni ricevute per unità di superficie e la loro infiltrazione diminuiscono, il deflusso superficiale cresce e, dunque, il contenuto di umidità del suolo decresce [Zakharov, 1913; 1940]. Per contro, aumentano le perdite di suolo per erosione.

L'esposizione è l'orientamento delle linee di maggiore pendenza del versante ed è generalmente espressa in gradi, rispetto al nord, in senso orario. Essa agisce sul bilancio idrico del suolo in quanto, in associazione con la pendenza, influenza l'insolazione [Kondratyev *et al.*, 1978], di cui parleremo in seguito, e l'evapotraspirazione [Romanova, 1977]. L'indice topografico di umidità (*Topographic Wetness Index*, TWI), chiamato anche "*Topographic Index*" o "*Compound Topographic Index*" [Quinn e Beven, 1993, Quinn *et al.*, 1995] è un parametro che descrive la tendenza di una cella (pixel) ad accumulare acqua⁹.

9) Il TWI è definito da $\ln(SCA/\tan\beta)$ dove \ln = logaritmo naturale, SCA = *Specific Catchment Area* e β =angolo di pendenza locale.

La *Catchment Area* (CA) (chiamata anche bacino di drenaggio, *flow accumulation* o *upslope area*) di qualsiasi punto nel paesaggio è quell'area che fornisce acqua al punto stesso attraverso un flusso laterale superficiale o sotterraneo. Essa è usualmente delimitata lateralmente dagli spartiacque determinati dalla superficie topografica e, nella parte più bassa (a valle), dal tratto di curva di livello (W) passante per il predetto punto e congiungente gli spartiacque. Il rapporto Ca/W definisce la *Specific Catchment Area* (SCA) [Gallant e Hutchinson, 2011]. Con riferimento ad un *grid* (quale un DTM), la *Catchment Area* è definita come l'area al disopra di una certa cella (o *pixel*) che contribuisce al flusso idrico attraverso la cella stessa. La *Catchment Area* si misura in m²: maggiore è il suo valore, maggiore è la grandezza del flusso attraverso la cella alla quale essa si riferisce. In una mappa della *Catchment Area*, i valori più alti corrispondono a una più alta intensità dei flussi idrici; per contro, i valori più bassi corrispondono ad una più bassa intensità del flusso idrico.

La stima della *Catchment Area* è dipendente da quella della direzione del flusso (*flow direction*), per il cui calcolo sono possibili differenti metodi. Quello più frequentemente utilizzato consiste nell'assegnare il flusso da ciascuna cella del *grid* (DTM) ad una delle otto celle vicine, nelle direzioni cardinale o diagonale, secondo la maggiore pendenza. Questo metodo, largamente utilizzato e designato come D8 (per le otto direzioni del flusso), è stato introdotto da O'Callaghan e Mark [1984]. L'approccio D8 ha tuttavia alcuni svantaggi derivanti dalla discretizzazione del flusso in

Il TWI, combinando le metriche della pendenza con la *Catchment Area* (CA), può ulteriormente migliorare la descrizione dei prerequisiti morfometrici per la distribuzione spaziale dell'umidità del suolo [Moore *et al.*, 1993]. Ciò in quanto esso prende in considerazione sia la geometria locale della pendenza, sia la posizione relativa di un dato punto nel paesaggio. Quando la CA e la pendenza aumentano, anche il TWI e l'umidità del suolo aumentano [Florinsky, 2012]. La correlazione del contenuto di umidità con il TWI è più elevata, in valore assoluto, rispetto a quella del contenuto di umidità con la CA e con la pendenza [Thompson e Moore, 1996]. Il TWI è stato vantaggiosamente utilizzato nella zonazione viticola a scala di tenuta [Priori *et al.*, 2012].

Il fattore topografico LS della USLE (*Universal Soil Loss Equation*, Equazione universale della perdita del suolo) [Wischmeier e Smith, 1978] fornisce una stima del rischio di perdita di suolo per erosione idrica superficiale dipendente dalla lunghezza (L) e dalla pendenza (S) del versante. L'entità dell'erosione generalmente aumenta all'aumentare della pendenza e della lunghezza dei versanti. Ciò in conseguenza di un più rilevante movimento verso il basso delle particelle di suolo sollevate dall'effetto battente della pioggia, di una più elevata velocità di scorrimento superficiale e di un maggiore volume di deflusso [Giordano e Zanchi, 1995].

una soltanto delle otto possibili direzioni, separate tra loro di 45°. Ciò ha motivato lo sviluppo di altri metodi, tra cui il "*multiple flow directions*", il "*random direction*", e lo "*stream tube*" [Costa-Cabral e Burges, 1994; Tarboton, 1997]. Per gli scopi del presente lavoro è stato utilizzato un metodo *stream tube* (canale di flusso) denominato DEMON (*Digital Elevation Model Network*) [Costa-Cabral e Burges, 1994]. Questo metodo costruisce le linee di flusso da ciascun angolo delle celle; dette linee continuano verso la parte bassa del pendio, seguendo l'esposizione in ogni punto, fino a quando non viene raggiunta una depressione o il bordo del DEM. Le linee definite dall'algoritmo DEMON non devono rispettare i bordi delle celle e pertanto esse forniscono una rappresentazione molto migliore del percorso del flusso superficiale rispetto al trasferimento da cella a cella che caratterizza altri metodi. Esso fornisce un'accurata rappresentazione della dispersione del flusso in aree divergenti ed evita dispersioni in aree convergenti.

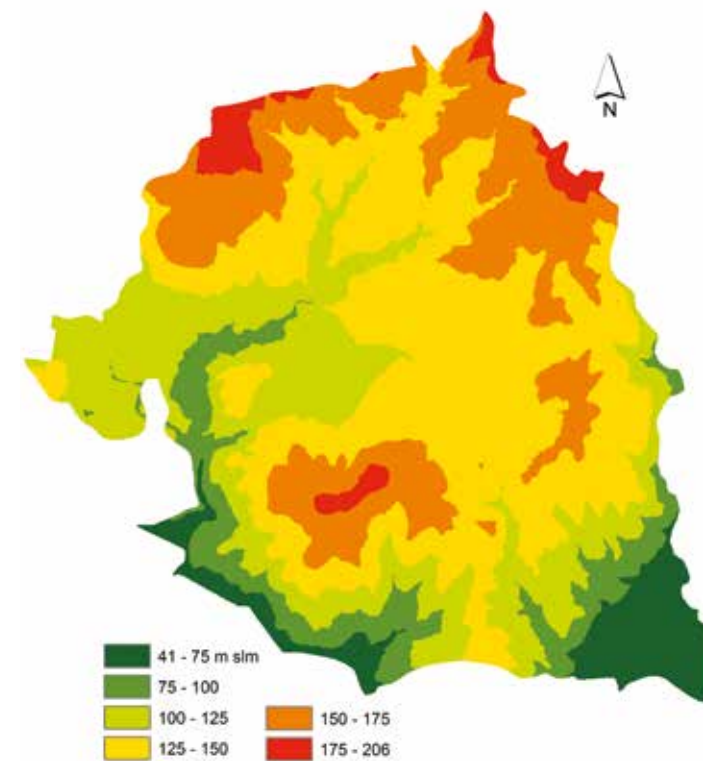


Fig. 7 – Carta delle quote.

Il Fattore LS è adimensionale ed ha valori uguali o maggiori di zero.

L'insolazione, considerata una "variabile morfometrica solare", è una misura dell'illuminazione della superficie topografica da parte del flusso solare [Florinsky, 2012]. Strettamente correlata alla pendenza e alla esposizione del versante esercita, come già detto, una forte influenza sulla fisiologia della vite.

La suddivisione del modello digitale del terreno in fasce altimetriche (Fig. 7) mostra che la maggior parte del territorio di Castelvenere (81%) è confinato nella fascia altimetrica compresa tra 100 e 175 m s.l.m., con prevalenza delle quote comprese tra 125 e 150 m s.l.m.

La Carta delle pendenze (Fig. 8) evidenzia la prevalenza dei versanti con acclività¹⁰ da

10) Classi di pendenza in uso per la valutazione delle terre: da pianeggiante a sub-pianeggiante (pendenza < 2%), debole (3-5%), moderata (6-13%), rilevante (14-20%), forte (21-35%), molto forte (36-60%), scoscesa (61-90%), ripida (>90%) [da Costantini, 2007].

debole (21%) a moderata (35% della superficie territoriale) a rilevante (17%). Seguono le superfici pianeggianti e sub-pianeggianti (14%) e quelle a forte pendenza (10%). Scarsamente rappresentate, se non del tutto trascurabili, sono le superfici con pendenza molto forte (2.3%), scoscesa (0.4%) o ripida (0.03%).

Le superfici in pendenza sono prevalentemente esposte (Fig. 9) a sud-est e ad ovest (64%). Le superfici esposte a nord-ovest e ad est occupano il rimanente 36% del territorio.

La Carta dell'insolazione del territorio comunale di Castelvenere (Fig. 10) mostra valori elevati, se comparati con quelli di una superficie piana nella stessa area, ad eccezione delle limitate superfici vitate esposte a nord, di quelle ricadenti nelle vallecicole a fondo piatto del torrente Seneta e di quelle delle incisioni delle superfici sommitali dei terrazzi alluvionali di I e II ordine del fiume Calore, di cui si parlerà in seguito.

Anche la Carta dell'indice topografico di

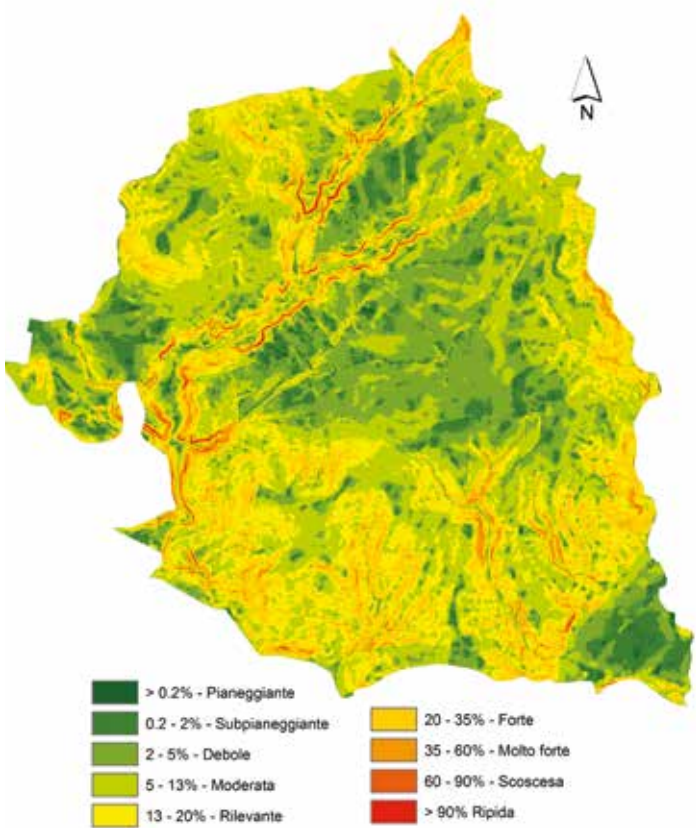


Fig. 8 – Carta delle pendenze.

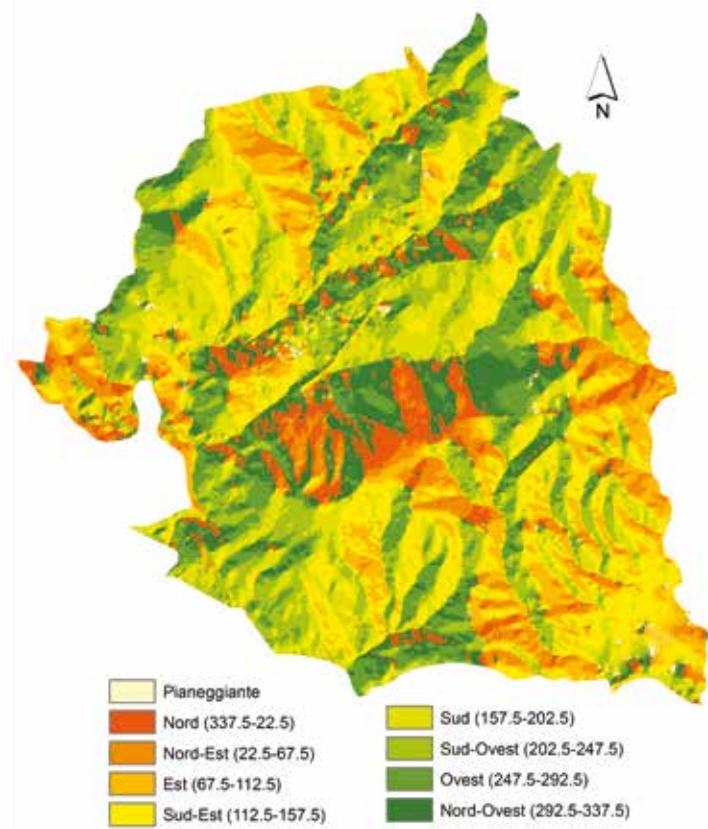


Fig. 9 – Carta delle esposizioni (esprese in gradi nord).

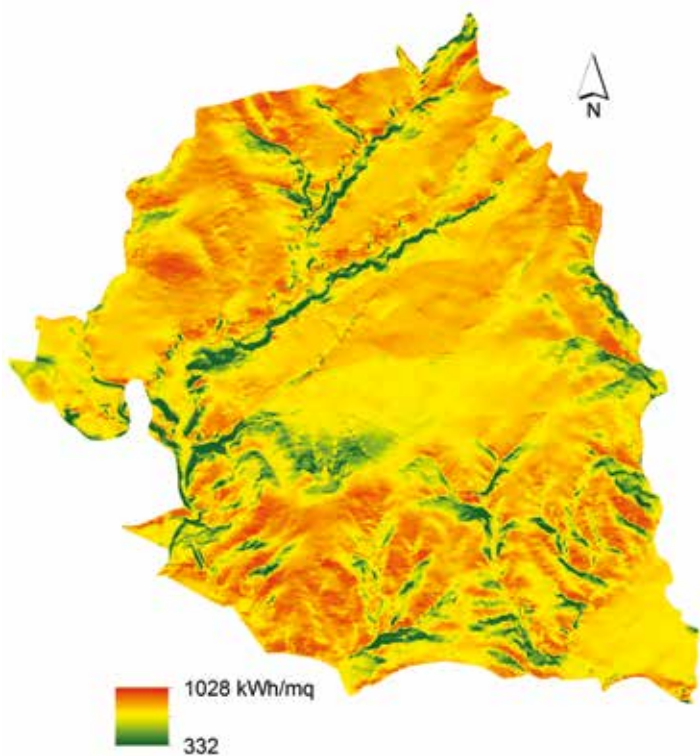


Fig. 10 – Carta dell'insolazione.

umidità (Fig. 11) evidenzia le strette relazioni tra alcune Unità di paesaggio (Fig. 13), di cui si parlerà dettagliatamente in seguito, e la tendenza dei suoli ad approfondirsi e ad accumulare acqua. In particolare, le aree a maggiore propensione all'accumulo di acqua corrispondono, sostanzialmente, alle superfici debolmente acclivi dei *glacis* (Unità C25 della Carta delle Unità di paesaggio, Fig. 13), ai terrazzi in Ignimbrite Campana (C15), ai fondi delle vallecicole in Ignimbrite Campana del torrente Seneta (C16), alle parti basse delle superfici sommitali dei terrazzi alluvionali di II e III ordine del fiume Calore (C7), alle superfici pianeggianti deposizionali di origine fluviale (C2, C3 e C4). La propensione all'erosione, dipendente dalla lunghezza (L) e dalla pendenza (S) dei versanti (Fig. 12), è particolarmente rilevante su quelli dei lembi relitti di *glacis* (Unità C28 della Carta delle Unità di paesaggio, Fig. 13), nelle incisioni delle superfici sommitali fortemente rimodellate dei terrazzi alluvionali di I e II ordine del fiume Calo-

re (C9), nelle paleoscarpate di erosione fluviale (A8), sui versanti delle vallecicole incise in Ignimbrite Campana del torrente Seneta (C16), oltre che sui versanti dei rilievi collinari a bassa energia (C30 e C32).

3.4. Paesaggi e suoli

È largamente riconosciuto che il suolo è un fattore ambientale di notevole influenza sulle caratteristiche delle uve e dei vini che ne derivano [van Leeuwen e Seguin, 2006]. Insieme al clima, esso è il principale elemento del *terroir* [Morlat e Bodin, 2006]¹¹. Pertan-

11) Il suolo esplica un'azione rilevante sulla morfologia del sistema radicale [Morlat e Jacquet, 1993] e sulle sue differenti funzioni, con conseguenze importanti sulla fisiologia e sulla produttività della vite [Morlat, 1989; Lanyon *et al.*, 2004]. Morlat [2010] considera il sistema radicale il fulcro dell'“effetto *terroir*”. Le radici assorbono e conducono gran parte dell'acqua e dei nutritivi richiesti dalle parti aeree della pianta. Di conseguenza, le loro dimensioni e le loro condizioni di salute governano il vigore e le *performances* della chioma [Smart, 1995; Southey, 1992]. Il vigore vegetativo ha un impatto rilevante sulla qualità

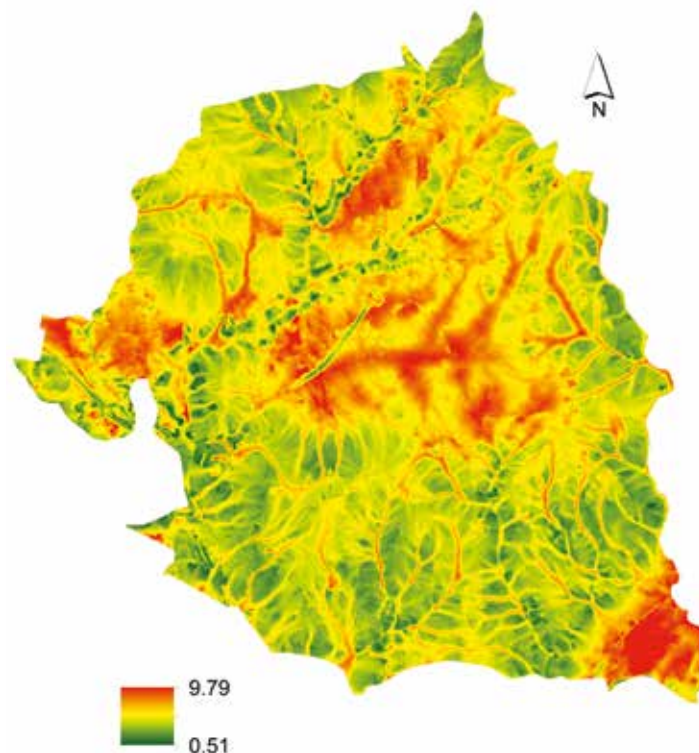


Fig. 11 – Carta dell'indice topografico di umidità.

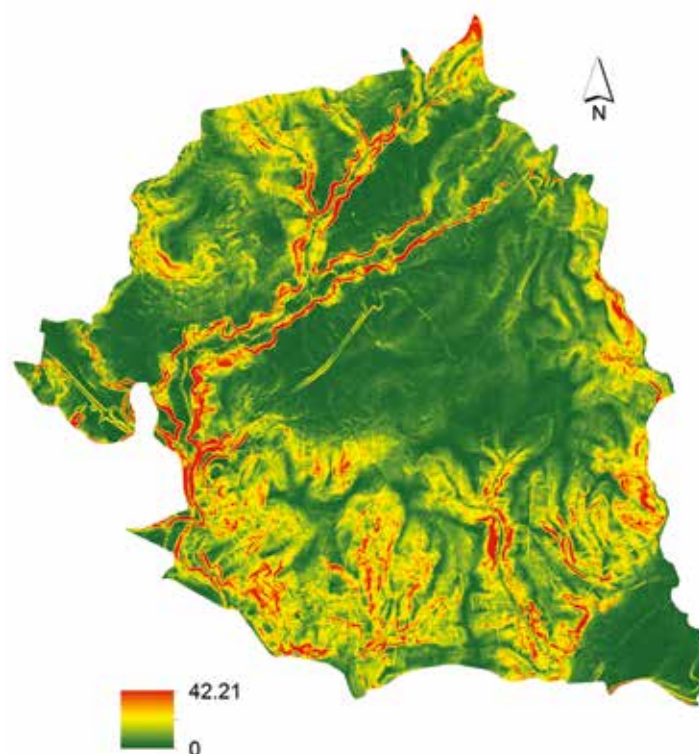


Fig. 12 – Carta del rischio topografico di erosione (fattore LS; lunghezza x pendenza del versante).

dell'uva. La qualità ottimale viene raramente raggiunta se le viti sono eccessivamente vigorose. In tali condizioni, durante la fase di maturazione, la pianta sottrae zuccheri ai grappoli per utilizzarli nell'attività vegetativa. Per contro, in condizioni di moderato sviluppo della chioma, è favorito il regolare deposito di zuccheri e di altri componenti organici nelle bacche che, pertanto, perdono totalmente i caratteri dello stato erbaceo [Fregoni, 1999]. Tuttavia, viti con un ridotto sviluppo dell'apparato radicale ed una ridotta vigoria non necessariamente producono frutti di alta qualità [Van Huyssteen e Weber, 1980].

Lo sviluppo dell'apparato radicale della vite è influenzato soprattutto dalle proprietà fisiche del suolo. Morlat e Jaquet [1993] hanno studiato le relazioni statistiche tra queste proprietà e il numero di radici per m², calcolato sul piano verticale di diversi profili di suolo. I risultati delle analisi hanno mostrato che la capacità di ritenzione idrica del suolo ha il peso più importante sullo sviluppo delle radici, con un effetto positivo sulla loro densità. Precedentemente, anche Van Rooyen *et al.* [1980] avevano dimostrato che il regime idrico elevato favorisce la crescita delle radici. Taylor e Gardner [1963] hanno rilevato che l'allungamento radicale è ostacolato dal forte disseccamento del suolo che, peraltro, rafforza la resistenza meccanica alla penetrazione. Secondo Van Zyl [1988], il numero di radici per unità di superficie aumenta con un tenore idrico uguale al 50% della riserva utilizzabile (*stress* idrico moderato). Questo valore diminuisce nei casi in cui l'umidità del suolo rappresenta solo il 25% della riserva (*stress* idrico molto elevato). Secondo Morlat e Jaquet [1993] l'intensità dell'idromorfismo, responsabile di ipossia del mezzo radicale, ha un'influenza negativa sul numero di radici. Altre proprietà fisiche influenti sullo sviluppo radicale sono la resistenza meccanica alla penetrazione, di cui si è già accennato, e la massa volumica apparente. Entrambe hanno un'azione nefasta sulla densità radicale della vite [Taylor e Gardner, 1963; Taylor *et al.*, 1966; Van Huyssteen, 1988].

Un ruolo importante sullo sviluppo radicale è esercitato dalla struttura del substrato geologico di origine dei suoli (*parent material*): se questo materiale non è una roccia dura, le radici possono estendere il loro sviluppo in profondità, oltre gli orizzonti alterati dai processi pedogenetici. Ciò può aumentare la quantità di acqua disponibile per la vite [van Leeuwen, 2010]. Dunque, la natura del substrato pedogenetico può migliorare l'espressione del *terroir* nei suoli superficiali. Anche la differenziazione tessiturale tra gli orizzonti può influenzare negativamente lo sviluppo radicale. Ad esempio, i suoli con orizzonti superiori impoveriti di argilla ed orizzonti profondi arricchiti di questa frazione tessiturale esercitano un effetto negativo sul numero di radici [Morlat, 2010].

I fattori chimici giocano un ruolo secondario sullo sviluppo delle radici, salvo nei casi di suoli molto acidi [Morlat, 2010], praticamente inesistenti nelle nostre realtà viticole. Generalmente, nella gestione del vigneto non viene attribuita grande importanza allo stato nutrizionale dei suoli. Certamente, l'eccessiva carenza di macroelementi (azoto, potassio, magnesio) o di oligoelementi (ferro, manganese, zinco, ecc.), comporta disordini fisiologici che perturbano la fotosintesi, la fecondazione e la crescita delle bacche. Tuttavia, al di fuori di tali situazioni, piuttosto rare nei vigneti attuali, generalmente sottoposti a concimazione, alcun ruolo significativo sembra debba essere accordato ai fattori chimici del suolo,

to, la conoscenza dei suoli e della loro distribuzione sul territorio (cartografia)¹² riveste una notevole importanza in viticoltura e, più in generale, nella gestione agricola e non agricola del territorio, considerate le molteplici funzioni che questa risorsa esplica¹³

come delle rocce, sull'effetto *terroir*. Morlat [2010] sostiene che certe idee, secondo le quali il gusto del vino proverrebbe dai macroelementi e dagli oligoelementi assorbiti dalle radici, dovrebbero essere messe in discussione.

Le proprietà chimiche, fisiche e mineralogiche influenzano il colore dei suoli [Leone ed Escadafal, 2001] che, a sua volta, può condizionare le *performances* della vite e la qualità della produzione [Fregoni, 1999]. In generale, suoli chiari, più riflettenti, determinerebbero una minore lunghezza dei germogli ed un maggiore periodo di accrescimento [Fregoni, 1999]. Inoltre, suoli più chiari indurrebbero una maggiore quantità di fenoli nelle bucce di uva rossa [Stoll *et al.*, 2008].

12) Per descrivere la variabilità dei suoli, sono di norma utilizzati due modelli [Webster, 2004]: il modello "continuo" e il modello "discreto" (o "convenzionale").

Il modello "continuo", più frequentemente utilizzato per lo studio della variabilità dei suoli a grande scala, di aree di estensione relativamente limitata (es. superficie aziendale), considera il suolo come una *suite* di variabili continue (le proprietà del suolo) e cerca di descriverne la continuità in termini di dipendenza spaziale. Tale modello è sostanzialmente basato sull'interpolazione delle proprietà dei suoli misurate su campioni raccolti in corrispondenza di punti geograficamente identificati. L'interpolazione dei dati puntuali è generalmente realizzata utilizzando metodi geostatistici.

Il modello "discreto", più frequentemente utilizzato per lo studio della variabilità dei suoli a media scala (ambiti comunali e comprensoriali) e piccola scala (ambiti provinciali e regionali), è basato sulla delimitazione del territorio d'interesse in aree geografiche omogenee (Unità di paesaggio) dal punto di vista dei fattori che presiedono alla formazione del suolo. All'interno di ciascuna Unità di pedo-paesaggio i suoli sono campionati in maniera soggettiva in punti ritenuti rappresentativi.

Questo modello assume che i cambiamenti avvengano in maniera netta ("abrupta"), al limite tra due tipologie di suolo e che all'interno delle singole delimitazioni la variabilità sia limitata, di modo che l'Unità di paesaggio rappresenti un'area omogenea in termini di suolo, costituita da individui (o *pedon*) simili [Soil Survey Staff, 1999, 2010].

13) Il suolo è una risorsa cruciale per la vita sulla Terra. Oltre a supportare la crescita delle piante superiori, soprattutto come mezzo per lo sviluppo delle radici e fornendo gli elementi nutritivi essenziali per la vita delle piante stesse, controlla il destino dell'acqua nel sistema idrologico: perdita, uso, contaminazione e purificazione dell'acqua sono tutti processi controllati dal suolo; funziona come sistema naturale di riciclo, assimilando, al suo interno, rifiuti e corpi morti di piante e animali, rendendo disponibili i loro elementi di base per la vita delle future generazioni; fornisce l'*habitat* per miriadi di organismi viventi, dai piccoli mammiferi e rettili, ai minuscoli insetti, alle microscopiche cellule di inimmaginabile numero e diversità; gioca un ruolo importante come mezzo ingegneristico. Il suolo non è soltanto un

[Brady e Weil, 2002].

Per gli scopi del PUC di Castelvenere il territorio è stato innanzitutto suddiviso in Unità di paesaggio (Fig. 13) omogenee dal punto di vista dei principali fattori agenti sulle caratteristiche e sulle proprietà dei suoli, ovvero il substrato geologico e la fisiografia¹⁴. Le Unità di paesaggio sono state suddivise per gruppi di appartenenza ad entità territoriali più ampie, corrispondenti a Sottosistemi di paesaggio¹⁵. Le caratteristiche (meso-)climatiche, alla scala di rilevamento considerata, sono influenzate dalla fisiografia e, pertanto, risultano indirettamente considerate.

La suddivisione del territorio in esame in Unità di paesaggio è stata fondamentalmente derivata dalla Carta dei suoli della Valle Telesina, prodotta dalla Regione Campania [2009] e modificata nei limiti di alcune Unità sulla base delle informazioni contenute nelle Carte geomorfologica e geologica realizzate per gli scopi specifici del PUC di Castelvenere.

Ciascuna Unità di paesaggio è stata caratterizzata dal punto di vista pedologico, tenuto conto delle informazioni contenute nella predetta Carta dei suoli¹⁶ integrate dai

importante materiale da costruzione ma fornisce virtualmente le fondazioni per ogni strada, casa, ferrovia.

14) La fisiografia (sinonimo di morfologia) è un parametro del territorio che esprime le forme e gli aspetti fisici dello stesso [Gisotti, 2011].

15) I Sottosistemi di paesaggio sono delimitati ad una scala di minore dettaglio, rispetto a quella delle Unità di paesaggio, considerando variazioni fisiografiche di significato pedologico.

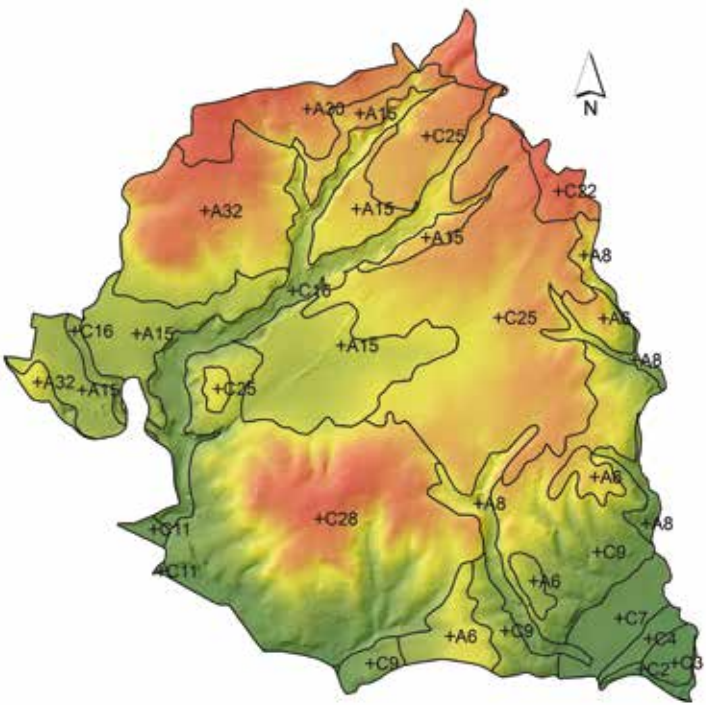
16) La Carta dei suoli della Valle Telesina, disponibile in formato cartaceo, è stata acquisita in formato digitale, come *shape-file*, operando nel modo seguente: a) scansione e produzione di un file-immagine formato TIF; b) georeferenziazione in ambiente ENVI del file-immagine; c) digitalizzazione in ambiente ArcView delle linee (archi) corrispondenti ai confini delle unità cartografiche; d) produzione di uno *shape-file* di punti identificativi delle singole unità cartografiche; e) controllo e correzione di eventuali errori di digitalizzazione f) attribuzione dei punti ai temi (unità cartografiche); g) trasformazione degli *shape-file* di linee e di punti in uno *shape-file* di poligoni.

La Carta geomorfologica e quella geologica, già disponibili in formato TIF non georeferenziate, sono state georeferenziate in ambiente ENVI (*Environment for Visualizing Image*) vers. 4.4.

risultati di analisi di campioni superficiali e sub-superficiali dei suoli, realizzate per uno studio riguardante le relazioni tra vitigno e ambiente [Leone *et al.*, 2010; Amenta *et al.*, 2012]. In tal modo, è stata prodotta una Carta dei suoli del territorio comunale di Castelvenere, in scala 1:50.000 (Fig. 14). Ciascuna Unità di paesaggio raggruppa associazioni e consociazioni di suoli¹⁷. Le tipologie di suolo delle differenti associazioni e consociazioni sono state classificate in accordo con il sistema internazionale della *Soil Taxonomy* USDA [1999, 2010]. Sia la Carta delle Unità di paesaggio, sia la Carta dei suoli sono state identificate con gli stessi codici numerici utilizzati nella Carta dei Suoli della Valle Telesina [Regione Campania, 2009], preceduti dalla lettera “A” o dalla lettera “C”, a seconda che l’Unità cartografica corrispondesse, rispettivamente, ad associazioni o a consociazioni di suoli. L’intersezione, in ambiente GIS, della Carta della superficie vitata (estratta dalla Carta dell’uso del suolo, Fig. 4) con la Carta delle Unità suolo-paesaggio (Fig. 14) ha consentito di produrre una Carta delle Unità di suolo-paesaggio viticolo (Fig. 15). Le differenti Unità, raggruppate per Sottosistemi, sono di seguito descritte, considerando soltanto le Unità caratterizzate dalla presenza di una superficie vitata minima superiore al 3% della superficie vitata dell’intero territorio comunale (Tab. 4).

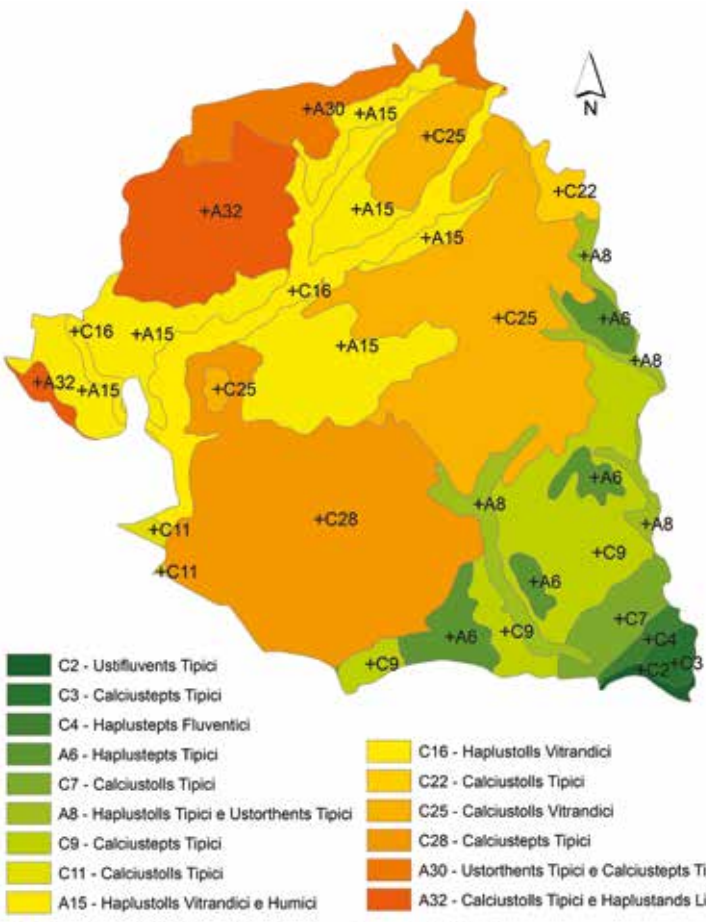
17) L’associazione di suoli è un tipo di Unità cartografica pedologica all’interno della quale almeno la metà dei *pedon* di ogni delineazione appartiene alla medesima Unità tassonomica. L’associazione di suoli è un tipo di Unità cartografica pedologica dove due o più Unità tassonomiche di suolo sono associate geograficamente secondo una distribuzione spaziale nota, costante e caratteristica. Queste componenti sono cartografate come singola Unità a causa della scala della carta ma potrebbero essere evidenziate singolarmente con un rilevamento a scala maggiore.

Il *pedon*, dal greco suolo, rappresenta l’unità minima di riferimento della pedologia, come minimo volume che può essere definito “suolo”. È un’entità tridimensionale, tale da consentire l’osservazione di tutti gli orizzonti presenti.



da: "Carta dei suoli della Valle Telesina" (Regione Campania, 2009), mod.

Fig. 13 – Limiti delle Unità di paesaggio del territorio comunale di Castelvenere su un modello digitale del terreno. La descrizione delle Unità è riportata nella Tabella 3.



da: "Carta dei suoli della Valle Telesina" (Regione Campania, 2009), mod.

Fig. 14 – Carta dei suoli.

Tab. 3 – Descrizione delle Unità di paesaggio* del territorio comunale di Castelvenere. Le differenti Unità sono state raggruppate in “Sottosistemi di paesaggio”, corrispondenti ad ambiti territoriali più ampi, delimitati, ad una scala di minore dettaglio, considerando variazioni fisiografiche di significato pedologico.

Pianura alluvionale		
Sigla	Geolitologia	Fisiografia
C2	Sedimenti alluvionali prevalentemente limo-sabbiosi e, subordinatamente, ghiaiosi.	Superfici sub-pianeggianti, di origine fluviale con tracce evidenti degli ultimi eventi di piena; barre ed isole fluviali; quote comprese tra 41 e 61 m slm.
C3	Sedimenti alluvionali prevalentemente limo-sabbiosi e, subordinatamente, ghiaiosi.	Superfici pianeggianti deposizionali, di origine fluviale, con frequenti meandri abbandonati e relativi argini naturali, a quote comprese tra 46 e 59 m slm.
C4	Sedimenti alluvionali prevalentemente limo-sabbiosi e, subordinatamente, ghiaiosi.	Superfici pianeggianti di natura deposizionale, di origine fluviale, con tracce mal conservate degli antichi percorsi fluviali e dei relativi argini naturali, a quote variabili tra 48 e 60 m slm.
Terrazzi fluviali antichi		
Sigla	Geolitologia	Fisiografia
A6	Ghiaie fluviali poligeniche ed eterometriche con intercalazioni di sabbie giallastre e, in subordine, di limi e argille verdastre.	Superfici sommitali dei terrazzi alluvionali di I e II ordine del fiume Calore, a morfologia prevalentemente pianeggiante o debolmente acclive, a luoghi acclive, a quote comprese tra 95 e 151 m slm
C7	Sabbie ciottolose fluviali	Superfici sommitali dei terrazzi alluvionali di II e di III ordine del fiume Calore, a morfologia pianeggiante o debolmente acclive, a quote comprese tra 54 e 124 m slm
A8	Ghiaie fluviali poligeniche ed eterometriche con intercalazioni sabbiose giallastre.	Paleoscarpate di erosione fluviale e vallecicole a profilo rettilineo-concavo coronate da scarpate sub-verticali, separanti i lembi relitti dei terrazzi alluvionali antichi del fiume Calore; acclività da forte a molto forte; quote comprese tra 55 e 155 m slm.
C9	Ghiaie fluviali poligeniche ed eterometriche con intercalazioni sabbiose giallastre.	Superfici sommitali fortemente rimodellate dei terrazzi alluvionali di I e II ordine soggetti ad erosione idrica diffusa, da debolmente a fortemente acclivi, a quote comprese tra 59 e 151 m slm.
Pianura intermontana		
Sigla	Geolitologia	Fisiografia
C11	Travertini	Superficie terrazzata di origine deposizionale in travertino, pianeggiante, a quote comprese tra 60 e 70 m slm
A15	Ignimbrite Campana (Tufo Grigio Campano)	Superfici deposizionali sommitali, da pianeggianti a sub-pianeggianti, dei terrazzi in Ignimbrite Campana, a quote comprese tra 90 e 168 m slm
C16	Ignimbrite Campana (Tufo Grigio Campano)	Vallecicole a fondo piatto del torrente Seneta e dei relativi tributari, a pendenza compresa tra il 2% e il 35%, a quote variabili da 64 a 170 m slm.

Glacis pedemontano		
Sigla	Geolitologia	Fisiografia
C22	Alternanze marnoso-arenacee o argilloso-calcaree	Superfici sommitali del <i>glacis</i> , con pendenza da rilevante a forte, a quote comprese tra 152 e 198 m slm.
C25	Alternanze marnoso-arenacee o argilloso-calcaree con coperture piroclastiche discontinue.	Superfici stabili a profilo regolare rettilineo e debolmente acclive del <i>glacis</i> , a quote prevalentemente comprese tra 130 e 160 m slm.
C28	Alternanze marnoso-arenacee e calcareniti	Lembo relitto di <i>glacis</i> , delimitato da versanti a profilo regolare, con pendenza prevalente da rilevante a forte e, subordinatamente, da debole a moderata, a quote comprese tra 55 e 182 m slm.
Rilievi collinari		
Sigla	Geolitologia	Fisiografia
A30	Arenarie a cemento calcareo con intercalazioni marnose.	Rilievi collinari a bassa energia di rilievo, con sommità sub-arrotondate e versanti acclivi, a profilo regolare, rettilineo-concavo, incisi da linee d’impluvio delimitate da scarpate sub-verticali, a quote prevalentemente comprese tra 134 e 206 m slm.
A32	Calcari e calcareniti con coperture piroclastiche discontinue	Rilievi collinari a bassa energia di rilievo, con sommità sub-arrotondate, delimitate da versanti a profilo regolare, rettilineo-concavo, a quote comprese tra 134 e 206 m slm.

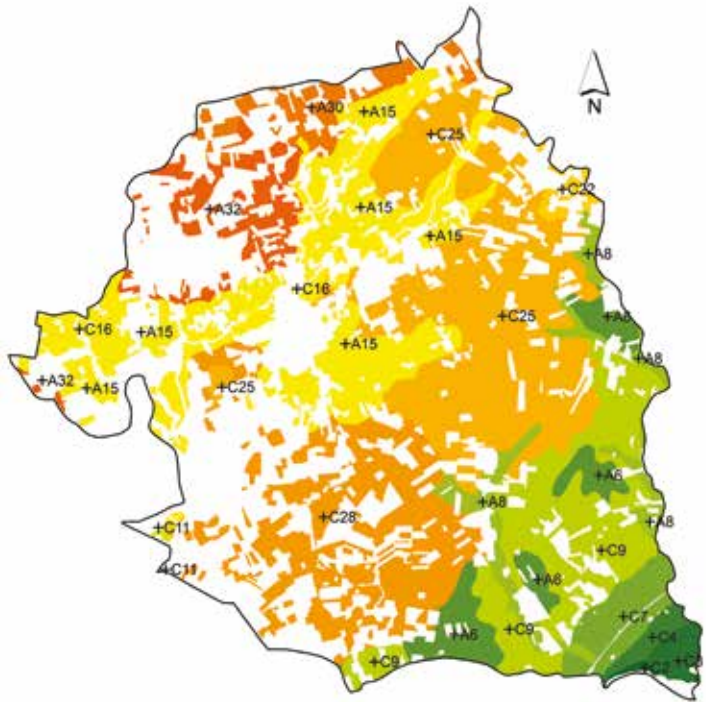


Fig. 15 – Carta delle Unità suolo-paesaggio della superficie vitata.

Tab. 4 – Distribuzione della superficie vitata per Unità di paesaggio. Per la legenda, vedi Tabella 3.

Unità	Superficie vitata	% della sup. vitata comunale
C25	245	26
C28	150	16
C15	147	15
C9	128	13
C16	56	6
A6	51	5
A32	44	5
A8	42	4
C7	34	4
C30	31	3
Altre Unità	32	3

Il Sottosistema di paesaggio viticolo più importante per estensione è quello del **glacis pedemontano**, inglobante due principali Unità suolo-paesaggio, la C25 (245 ha di superficie vitata, pari al 26% della superficie vitata dell'intero territorio) e la C28 (150 ha; 16%), corrispondenti, rispettivamente, a superfici stabili a profilo regolare rettilineo e debolmente acclive e ad un lembo relitto, delimitato da versanti a profilo regolare, del predetto *glacis*.

L'Unità C25, localizzata nella parte nord orientale del territorio di Castelvenere, al confine con il territorio comunale di Guardia Sanframondi, è caratterizzata da una consociazione di suoli dominata, dal punto di vista pedologico, da Mollisuoli¹⁸ del sottogruppo dei *Calciustoll Vitrandici*. Si tratta di suoli con pietrosità superficiale moderata, molto profondi, ben drenati, con tessitura media, scarsamente ghiaiosi, neutri e scarsamente calcarei in superficie; con tessitu-

ra fine e moderatamente fine, scarsamente ghiaiosi, moderatamente alcalini e calcarei in profondità. Hanno orizzonti superficiali inscuriti per l'accumulo di sostanza organica in presenza di materiale piroclastico¹⁹ e orizzonti profondi con notevole accumulo di carbonato di calcio.

L'Unità C28, localizzata nella parte sud-occidentale del territorio di Castelvenere, al confine con il territorio comunale di Solopaca, corrisponde ad una consociazione di suoli dominata dalla presenza di Inceptisuoli²⁰ del sottogruppo dei *Calciustepts Tipici*. Sono suoli molto profondi, con pietrosità superficiale moderata, ben drenati, con tessitura moderatamente fine, ghiaiosi,

19) Il substrato pedogenetico, dominato da arenarie e argille, presenta anche coperture piroclastiche discontinue. Alla presenza di strati di suolo con vetro vulcanico o altri minerali primari derivati da eiezioni vulcaniche e che contengono una limitata quantità di minerali a basso ordine cristallino è da attribuire la classificazione del sottogruppo ("Vitrandico").

20) Gli *Inceptisuoli* (dall'inglese *inception*, inizio) sono suoli poco evoluti, agli inizi della fase di sviluppo del profilo. Sono comunemente caratterizzati dalla presenza di un orizzonte B cambico, con evidenze di cambiamenti di colore o strutturali, ma un orizzonte B illuviale più maturo non è mai presente.

18) I Mollisuoli (dal latino *mollis*, soffice) sono suoli caratterizzati dall'accumulo di sostanza organica, che forma uno spesso e soffice orizzonte di superficie (*epipedon mollico*). Gli aggregati strutturali non sono duri, quando il suolo è asciutto, da cui il nome Mollisuolo, implicante sofficità.

fortemente alcalini, molto calcarei; hanno orizzonti profondi con notevole accumulo di carbonato di calcio.

Il secondo più importante Sottosistema di paesaggio viticolo, per estensione, è quello della **Pianura intermontana**, includente le Unità suolo-paesaggio A15 (157 ha; 15%) e C16 (56 ha; 6%).

L'Unità A15, inglobante le superfici deposizionali sommitali dei terrazzi in Ignimbrite Campana, sulle quali, fra l'altro, poggia prevalentemente l'abitato di Castelvenere, è caratterizzata dalla dominanza di Mollisuoli ed Andisuoli²¹ ascrivibili, rispettivamente, ai Sottogruppi degli *Haplustolls Vitrandici* e agli *Haplustands Umici*.

Gli *Haplustolls Vitrandici*, prevalenti nell'unità A15, sono suoli pianeggianti, con pietrosità superficiale assente, moderatamente profondi²², piuttosto eccessivamente drenati, a tessitura moderatamente grossolana (franco sabbiosa), neutri, non calcarei, con proprietà andiche²³ debolmente espresse. Gli

Haplustands Umici, meno frequenti, sono anch'essi suoli pianeggianti e con pietrosità superficiale assente ma sono molto profondi e, inoltre, piuttosto eccessivamente drenati, a tessitura media, neutri, su coperture cineritiche ricoprenti il tufo litoide; hanno proprietà andiche fortemente espresse.

L'Unità C16, corrispondente alle vallecole a fondo piatto in Ignimbrite Campana del torrente Seneta, è dominata da Mollisuoli classificati come *Haplustolls Vitrandici*. Si tratta di suoli pianeggianti, con pietrosità superficiale assente, moderatamente profondi²⁴, piuttosto eccessivamente drenati, a tessitura moderatamente grossolana (franco sabbiosa), neutri, non calcarei, con proprietà andiche molto debolmente espresse.

Importante, per estensione, è altresì il Sottosistema di paesaggio viticolo dei **terrazzi fluviali antichi**, suddivisi tra quattro distinte Unità: C9 (128 ha; 6%), A6 (51 ha; 5%), A8 (42 ha; 4%) e C7 (34 ha; 4%).

L'Unità C9 ingloba le superfici sommitali dei terrazzi fluviali antichi di I e II ordine sulle quali si rinvencono prevalentemente Inceptisuoli ascrivibili al sottogruppo dei *Calciustepts Tipici*. Si tratta di suoli con pietrosità superficiale comune, molto profondi, piuttosto eccessivamente drenati, con tessitura da media a moderatamente grossolana, scarsamente ghiaiosi, debolmente alcalini, scarsamente calcarei fino a 75 cm di profondità, calcarei oltre tale profondità; presentano un orizzonte profondo di accumulo di carbonati.

L'Unità A6 è rappresentata dalle superfici sommitali dei terrazzi alluvionali di I e II ordine del fiume Calore, a morfologia prevalentemente pianeggiante o debolmente acclive, a luoghi acclive. Dal substrato, costituito da ghiaie fluviali poligeniche ed eterometriche con intercalazioni di sabbie giallastre e, in subordine, di limi e argille verdastre, prendono origine Inceptisuoli del Sottogruppo degli *Haplustepts Tipici*, caratterizzati da pie-

21) Gli Andisuoli (dal giapponese *an*, suolo e *do* scuro) sono suoli originati da ceneri e scorie vulcaniche depositate in periodi geologici recenti, che non hanno avuto il tempo per diventare fortemente alterati. I principali processi pedogenetici sono stati la rapida alterazione (trasformazione) del materiale vulcanico per produrre minerali silicati amorfi o poco cristallizzati come allofane e imogolite e ossi-idrossidi di ferro, come la feridrite. Gli Andisuoli esibiscono un'elevata fertilità naturale, ad eccezione della disponibilità di fosforo, limitata da una elevata capacità di ritenzione fosfatica da parte dei materiali andici. Essi esibiscono, inoltre, una elevata capacità di ritenzione idrica.

22) Anche se moderatamente profondi, questi suoli consentono un buon sviluppo radicale in quanto le radici riescono ad esplorare con relativa facilità anche il substrato ignimbritico, friabile e fessurato, consentendo un elevato soddisfacimento delle esigenze idriche e nutrizionali dei vigneti.

23) Le proprietà andiche risultano dalla moderata alterazione di depositi piroclastici. La presenza di minerali a basso ordine cristallino e/o di complessi organo minerali è caratteristica delle proprietà andiche. Questi minerali e complessi sono comunemente parte della sequenza di alterazione in depositi piroclastici.

I requisiti essenziali per le proprietà andiche sono:

$Al_{ox} + \frac{1}{2} Fe_{ox}^* \geq 2.0\%$

Densità apparente $\leq 0.90 \text{ kg dm}^{-3}$

Ritenzione fosfatica $\geq 85\%$

Carbonio organico $\leq 25\%$

* Al_{ox} e Fe_{ox} sono, rispettivamente, alluminio e ferro estraibili in ammonio ossalato acido, espressi come percentuale

della frazione di terra fine (0 – 2 mm).

24) Per quanto riguarda la profondità valgono le stesse considerazioni fatte per l'unità A15.

trofità superficiale elevata, molto profondi, eccessivamente drenati, con tessitura media o moderatamente grossolana (grossolana in profondità), molto ghiaiosi, neutri e moderatamente calcarei.

L'Unità C7 corrisponde a superfici sommitali dei terrazzi alluvionali di II e di III ordine, a morfologia pianeggiante o debolmente acclive. Il substrato geolitologico è rappresentato da sabbie ciottolose fluviali, dalle quali prendono origine Mollisuoli, precisamente *Calciustolls Tipici*, con pietrosità superficiale comune, molto profondi, piuttosto eccessivamente drenati, con tessitura media o moderatamente grossolana, scarsamente ghiaiosi, neutri in superficie e moderatamente alcalini in profondità, scarsamente calcarei in superficie e moderatamente calcarei in profondità. Questi suoli presentano un orizzonte superficiale inscurito da sostanza organica ed un orizzonte profondo di accumulo di carbonati.

L'Unità A8 delimita una paleoscarpata di erosione fluviale e vallecicole a profilo rettilineo-concavo coronate da scarpate sub-verticali, separanti i lembi relitti dei terrazzi alluvionali antichi del fiume Calore. Il substrato è costituito da ghiaie fluviali poligeniche ed eterometriche con intercalazioni sabbiose giallastre. I suoli di questa Unità sono classificati come *Haplustolls Tipici* e *Ustorthents Tipici*. I primi sono suoli con pietrosità superficiale elevata, molto profondi, piuttosto eccessivamente drenati, con tessitura moderatamente fine (franco-sabbioso-argillosa), molto ghiaiosi, fortemente alcalini in superficie e neutri in profondità, moderatamente calcarei; presentano un orizzonte superficiale inscurito da sostanza organica e si ritrovano prevalentemente in corrispondenza di accumuli fluviali. I secondi mostrano una pietrosità superficiale elevata; sono molto profondi, eccessivamente drenati, con tessitura moderatamente grossolana, ghiaiosi in superficie, estremamente ghiaiosi in profondità, neutri o debolmente alcalini, calcarei. Meno esteso è il Sottosistema viticolo dei rilievi collinari, suddiviso in due Unità suolo-paesaggio: A30 e A32.

L'Unità A30 corrisponde a rilievi collinari a bassa energia di rilievo, con sommità sub-arrotondate e versanti acclivi, a profilo regolare, rettilineo-concavo, incisi da linee d'impluvio delimitate da scarpate sub-verticali. Il substrato geolitologico è costituito da arenarie a cemento calcareo con intercalazioni marnose sulle quali si sviluppano Entisuoli e Inceptisuoli ascrivibili, rispettivamente, ai Sottogruppi degli *Ustorthents Tipici* e dei *Calciustepts Tipici*. I primi sono suoli con pietrosità superficiale comune, molto superficiali, a tessitura moderatamente grossolana, piuttosto eccessivamente drenati, neutri, moderatamente calcarei. I secondi sono suoli con pietrosità superficiale comune, molto profondi, ben drenati, a tessitura moderatamente fine. La reazione è neutra in superficie, debolmente alcalina in profondità; sono da scarsamente a moderatamente calcarei in superficie, molto calcarei in profondità.

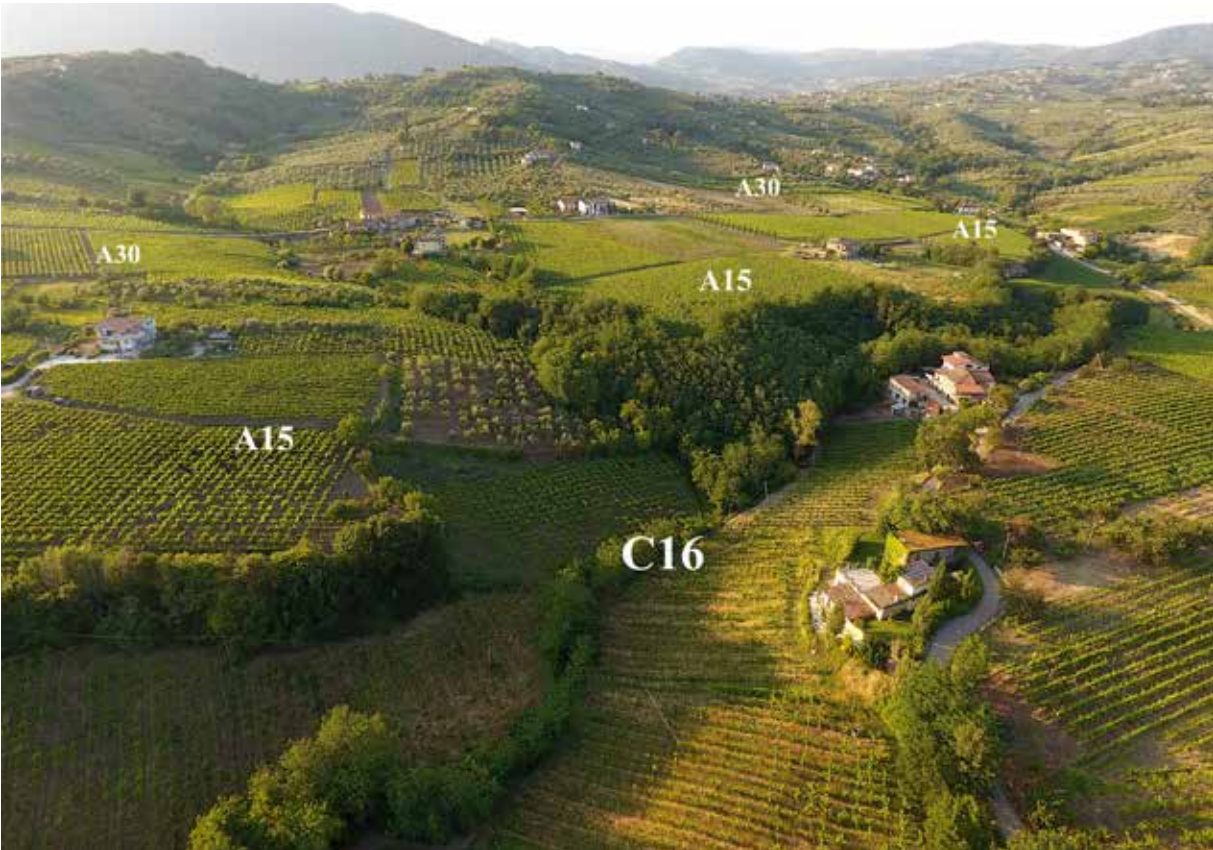
L'Unità A32 è rappresentata da rilievi collinari a bassa energia di rilievo, con sommità sub-arrotondate, delimitate da versanti a profilo regolare, rettilineo-concavo. Sul substrato pedogenetico, costituito da calcari e calcareniti con coperture piroclastiche discontinue, si sviluppano due tipologie di suoli: *Calciustepts Tipici* e *Haplustands Litici*. I primi sono suoli rocciosi, con pietrosità superficiale comune, profondi, ben drenati, a tessitura fine, ghiaiosi in superficie e molto pietrosi in profondità, moderatamente alcalini in superficie, neutri in profondità, non calcarei in superficie, molto calcarei in profondità, su substrato calcareo privo di coperture piroclastiche. Raramente questi suoli vengono destinati alla viticoltura, più frequentemente praticata sugli *Haplustands Litici*. Si tratta, in questo caso, di suoli superficiali, con pietrosità superficiale elevata, ben drenati, a tessitura fine, ghiaiosi, scarsamente calcarei, su substrato carbonatico mesozoico con coperture piroclastiche. Le Tavole I-IX mostrano una serie di vedute dall'alto delle principali Unità suolo-paesaggio viticolo del Comune di Castelvenere (per il significato delle sigle vedi Tab. 3).



Tav. I



Tav. II



Tav. III



Tav. IV



Tav. V



Tav. VI



Tav. VII



Tav. VIII



Tav. IX

3.5. Attitudine dei suoli alla viticoltura

La classificazione tassonomica dei suoli e la cartografia pedologica costituiscono le basi necessarie per la successiva valutazione del potenziale produttivo di un territorio (o delle terre²⁵, *land evaluation*), nonostante esse contengano informazioni di non facile comprensione da parte degli utilizzatori finali (pianificatori, amministratori, agricoltori, ecc.). Dunque, le Carte tassonomiche devo-

no essere “interpretate” per tradurle in Carte di valutazione delle aree territoriali a diverso potenziale e con differenti vincoli strutturali, per potere essere impiegate a fini di pianificazione agricola e forestale, urbanistica, industriale e ambientale [Previtali, 1984]. Esistono molti sistemi di valutazione delle terre che usano diverse tecniche e diverse basi concettuali. Alcuni di questi sistemi costituiscono un riferimento riconosciuto. Fra essi merita particolare attenzione lo Schema di classificazione delle terre della FAO (*Framework for Land evaluation*) [FAO, 1976]²⁶.

25) Le principali metodologie di valutazione del territorio sono state messe a punto in ambito internazionale, a partire da esperienze realizzate in Paesi di cultura anglosassone. Per questa ragione si è affermato tra pedologi e valutatori il termine “*land evaluation*” per indicare i metodi e le attività di valutazione dei suoli e delle terre. La traduzione del termine “*land*” nella letteratura italiana non è univoca. Infatti, spesso sono usati i termini “territorio”, “terra”, “terre” o “suolo”, assieme a “valutazione”, come traduzione dell’espressione “*land evaluation*” [Calzolari *et al.*, 2006]. Il termine “territorio”, usato spesso come traduzione del termine “*land*”, contiene un’accezione politico-amministrativa estranea al termine inglese, mentre la parola italiana “terra”, o anche il suo plurale “terre”, sembra meglio corrispondere [Giordano, 1999].

26) Il sistema FAO di *land evaluation* si basa sulla convinzione che non esistono suoli che portano in se stessi, in senso assoluto, i caratteri intrinseci che determinano la capacità o le limitazioni ma che è invece più esatto parlare di capacità o di limitazioni di un suolo o di una terra nei confronti di un uso specifico. Il metodo viene quindi finalizzato a dare una risposta all’attitudine che presenta la terra a sostenere una data coltura o gruppi di colture che si vorranno prendere in considerazione. Il sistema FAO suddivide la classificazione delle terre secondo un criterio tassonomico-gerarchico che prevede due ordini e quattro classi. Ad un livello gerarchico più basso è

possibile un'ulteriore suddivisione in sottoclassi ed unità. L'ordine è il livello più generale. Esso è di tipo dicotomico e prevede l'ordine S (adatto) e quello N (non adatto). Nel primo sono incluse le terre sulle quali un'intensa utilizzazione di un certo tipo (es. viticoltura) porta benefici, giustifica gli eventuali *input* apportati e non ingenera rischio di degrado per la risorsa terra. L'ordine N invece riunisce le terre aventi qualità che escludono un'intensa utilizzazione di un certo tipo.

La classe indica il grado di attitudine ad una determinata utilizzazione. Il grado può essere:

- S1 elevato: comprende le terre che non presentano importanti limitazioni di fronte all'intensa applicazione di una certa utilizzazione oppure che manifestano limitazioni minori che non riducono sostanzialmente la produttività o i benefici e che non fanno aumentare oltre un livello accettabile l'impiego degli *input*.
- S2 moderato: vi sono incluse le terre che nel loro insieme hanno limitazioni piuttosto pronunciate nei riguardi di un intenso esercizio per una certa utilizzazione. Le limitazioni riducono la produttività o i benefici e fanno aumentare il ricorso a *input* fino a quel limite oltre il quale i vantaggi che ne derivano, pur rappresentando un incentivo, sarebbero però notevolmente inferiori a quelli che si potrebbero attendere dalla classe S1.
- S3 marginale: comprende le terre che presentano limitazioni che nel loro insieme sono molto rilevanti nei riguardi di un intenso esercizio per una determinata utilizzazione e di conseguenza riducono la produttività o i benefici, oppure fanno aumentare i ricorsi a *input*, di modo che questa maggiorazione di spesa sarebbe giustificata soltanto marginalmente.

Apparentemente complessa, la valutazione delle attitudini delle terre è in realtà piuttosto semplice nella sua essenza concettuale. Infatti, essa è basata su:

- a) definizione dei requisiti (*requirements*) della coltura d'interesse (es. la vite);
- b) definizione delle caratteristiche e delle qualità delle terre;
- c) confronto tra a) e b) al fine di verificare l'adeguatezza (*fitness*) dei primi rispetto alle seconde, mediante tabelle o matrici di confronto (*matching tables*) secondo il principio della massima limitazione o "legge del minimo", in base alla quale il risultato di una coltura viene condizionato dalla qualità del suolo con la limitazione più severa. Il procedimento sarà quello di individuare per ciascun sito la qualità con il valore più basso e attribuirne la classe relativa.

Per ogni tipo di utilizzazione è necessario definire tanto le caratteristiche e le qualità delle terre necessarie, quanto le loro condizioni ottimali, insoddisfacenti o intermedie. La gamma dei possibili valori viene suddivisa in diverse porzioni alle quali si fanno corrispondere i gradi di attitudine e le classi.

I requisiti possono essere suddivisi secondo tre finalità principali:

- requisiti legati alla fisiologia della vegetazione (*crop requirements*)
- requisiti legati alla tecnologia e alla gestione (*management requirements*)
- requisiti legati alla conservazione del suolo (*conservation requirements*)

I requisiti possono essere derivati dalla letteratura e/o da

Tale Schema è stato utilizzato per gli scopi del PUC di Castelvenero. Sostanzialmente, il lavoro è stato realizzato prendendo come riferimento alcuni lavori di Costantini e Barbetti [2006] e di Bucelli e Costantini [2006]²⁷. Ai fini della valutazione delle attitudini delle terre alla viticoltura nel territorio comunale di Castelvenero, sono state considerate tutte le caratteristiche e le qualità disponibili, ricavate dalle informazioni contenute nella Carta dei suoli, integrate da altre osservazioni pedologiche di campo e di laboratorio e dai risultati dell'elaborazione di un modello digitale del terreno.

In particolare, sono state considerate le seguenti caratteristiche e qualità:

- caratteristiche e qualità inerenti la valutazione delle difficoltà di gestione agroecnica²⁸;

sperimentazioni *ad hoc*.

Le caratteristiche delle terre sono attributi che possono essere misurati o stimati direttamente. Esempi di caratteristiche sono: profondità del suolo, tessitura, struttura, pH, livelli di N, P, K, pendenza, esposizione, fattori climatici (precipitazioni e temperature).

Le qualità delle terre sono attributi complessi, importanti per l'uso delle terre stesse e determinati da diverse singole caratteristiche tra loro interagenti. La misura o la stima della qualità non può essere effettuata direttamente, ma occorre un modello matematico più o meno complesso. Esempi di qualità sono: regime di temperatura, regime di umidità, drenaggio, condizioni favorevoli al radicamento, rischio di erosione.

27) Di questi lavori, nelle note del presente paragrafo, si riportano brani integrali riguardanti gli aspetti metodologici.

28) In accordo con quanto riportato da Bucelli e Costantini [2006], la gestione di impianti viticoli specializzati non può prescindere dalla valutazione della difficoltà di gestione agroecnica del vigneto. Una stima realistica delle principali difficoltà gestionali è ottenibile dalle caratteristiche e dalle qualità di seguito riportate:

- pendenza: è il fattore che condiziona maggiormente le possibilità di meccanizzazione e la sicurezza degli operatori agricoli;
- pietrosità superficiale: indica la percentuale di area (attorno ad un punto osservato nel corso del rilevamento pedologico) occupata da frammenti di roccia di diametro superiore a 500 mm, non rimovibili con le normali lavorazioni;
- scheletro: percentuale negli orizzonti superficiali. È la percentuale di volume occupato da frammenti rocciosi con diametro maggiore di 2 mm negli orizzonti superficiali interessati dalle comuni operazioni di rimescolamento ad opera dei mezzi agricoli;

- caratteristiche inerenti la sostenibilità ambientale delle colture²⁹;
- qualità del suolo inerenti le valutazioni attitudinali e agronomiche³⁰.

- profondità del suolo: indica la profondità del limite fra il suolo e uno strato roccioso continuo o coerente sottostante; o anche la profondità del contatto con un limite paralitico, come potrebbe essere uno strato di sedimenti compatti ed inalterati;
- rischio d'inondazione: esprime la probabilità che si verifichi un evento di piena nell'arco di 100 anni;
- lavorabilità e "trafficeabilità": sono qualità complesse, che non possono essere definite univocamente sulla base di una singola proprietà, bensì da una combinazione di più caratteristiche fisico-meccaniche. Per la loro approssimativa valutazione può essere usata la tessitura, che è il dato più influente per stimare se un terreno è ben lavorabile o meno. Per definizione, un suolo è lavorabile se le sue condizioni di friabilità consentono di realizzare una desiderata condizione strutturale in seguito all'azione della macchina operatrice agricola. Tale condizione è sfavorita da un elevato contenuto di argilla, che fa aumentare il grado di coesione degli aggregati, sia da un'alta somma di argilla e limo, che fa aumentare il rischio di sprofondamento dopo le piogge, sia da un alto contenuto di solo limo, che fa aumentare il rischio di formazione di croste superficiali.

29) Per quanto riguarda le caratteristiche inerenti la sostenibilità ambientale delle colture, il rischio di erosione riveste un ruolo determinante.

30) Per quanto riguarda le qualità del suolo inerenti le valutazioni attitudinali e agronomiche, alcune variabili giocano un ruolo rilevante nella definizione delle attitudini delle terre alla viticoltura, secondo quanto riportato da Costantini e Barbetti [2006]. Tali variabili riguardano:

- drenaggio interno: è valutato in funzione delle stime della velocità di flusso idrico nel suolo e dalla frequenza e durata del periodo dell'anno durante il quale il suolo è saturo di acqua. Il termine drenaggio interno non sempre comprende in sé il termine di permeabilità; infatti due suoli di cui uno sia permeabile lentamente e l'altro rapidamente possono avere entrambi drenaggio interno lento se nel secondo è presente una falda poco profonda. Il dato di drenaggio interno è una stima del rilevatore, che spesso si basa sulla qualità e sul colore delle screziature che si formano in seguito ai processi ossido-riduttivi causati dal ristagno di acqua;
- presenza di falda idrica: indica la profondità della superficie del suolo a cui si rileva una eventuale falda acquifera. La misura viene normalmente effettuata senza aspettare che la falda risalga nel profilo pedologico, una volta realizzato lo scavo. Nei casi in cui è rilevata a profondità inferiore a 100 cm (fondovalle in prossimità di corsi d'acqua), limita totalmente l'utilizzo viticolo;
- conducibilità elettrica: è una misura dello stato di salinità dei suoli, normalmente determinata con un conduttimetro che risponde alla concentrazione totale dei sali solubili nel suolo. La tolleranza alla salinità dipende dalla varietà e dai portinnesti [White, 2003];

Tenuto conto di quanto sopra riportato, delle dirette esperienze tecniche e scientifiche degli autori del presente capitolo e considerati i dati pedologici e topografici disponibili per il territorio comunale di Castelvenero, sono state costruite le tabelle di valutazione delle attitudini dei suoli alla viticoltura (Tab. 5, 6, 7).

È chiaro che i dati pedologici utilizzati, essendo stati estratti in buona parte dalla cartografia esistente, anche se attentamente "interpretati", potrebbero avere influenzato in qualche modo la valutazione finale delle attitudini delle terre alla viticoltura. Pertanto, i risultati ottenuti devono essere considerati con cautela. Ulteriori approfondimenti, dalla scala aziendale (sito-specifico) a quella territoriale, saranno necessari in futuro per una valutazione più rigorosa e dettagliata delle predette attitudini.

- capacità d'acqua disponibile (*available water capacity*, AWC): è la quantità di acqua trattenuta da un suolo e utilizzabile dalla pianta ed è determinata dalla differenza tra il contenuto di acqua alla capacità di campo (*field capacity*, FC, ritenzione idrica a -0.33 bar) e quello al punto di appassimento permanente (*permanent wilting point*, PWP, ritenzione idrica a -1500 bar), normalmente misurati in laboratorio con il metodo degli estrattori a pressione (Piastre Richards). Nell'ambiente mediterraneo, caratterizzato da pedoclima secco o relativamente secco, la fenologia e il potenziale produttivo della vite sono dominati soprattutto dalla disponibilità idrica, sia in termini di quantità di acqua a disposizione per le piante, sia di potenziale, cioè dell'energia con cui l'acqua viene trattenuta dal terreno. Anche l'attività vegetativa e riproduttiva della vite, che rinnova tutti gli anni buona parte del suo apparato assorbente, è profondamente influenzata dall'andamento della disponibilità idrica durante l'anno;
- reazione (pH): fra le caratteristiche del suolo, la reazione è quella che domina la dinamica degli elementi. Il pH del suolo può pertanto essere considerato un indicatore sintetico della fertilità chimica. I valori di riferimento della vite sono compresi tra 5.5 e 8.2 [Bucelli e Costantini, 2006]. I valori di pH misurati sui circa 30 campioni di suolo di Castelvenero ottenuti da trivellate speditive sono risultati compresi in tale intervallo di variazione del pH. Tuttavia, le descrizioni riportate nella legenda della Carta dei Suoli della Valle Telesina (Regione Campania) indicano, per alcune Consociazioni ed Associazioni di suolo, una reazione "fortemente alcalina", definita dall'intervallo di pH 8.5-9.0.

Tab. 5 - Tabella di valutazione per l'attribuzione delle classi di difficoltà di gestione agrotecnica del suolo

Qualità e caratteristiche	S1	S2	S3	N
Pendenza %	15 – 21	15 – 21	22 – 35	> 35
Pietrosità % tra 250 – 500 mm	0.3 – 15	0.3 – 15	15 – 50	> 50
Rocciosità % > 500 mm	2 – 10	2 – 10	10 – 25	> 25
Scheletro % Orizzonte Ap o A	35 – 70	35 – 70	> 70	
Profondità suolo (cm)	50 – 100	50 – 100	25 – 50	< 25
Rischio inondazione	lieve	lieve	moderato	alto e molto alto
Lavorabilità e trafficeabilità (classe)	Lavorazioni difficoltose per tessitura argillo- sa o limosa (L1)	Lavorazioni difficoltose per tessitura argillosa o limosa (L1)	Lavorazioni molto difficolto- se per tessitura limosa o argillosa (L2)	

da Costantini e Barbetti, 2006, mod.

Tab. 6 - Classi di lavorabilità

Facile (L0)	Difficoltosa (L1)	Molto difficoltosa (L2)
Argilla + limo ≤ 65% sabbia totale ≥ 35%	Argilla + limo tra 65 e 85% sabbia totale tra 35 e 15%	Argilla + limo > 85% sabbia totale < 15%
Classi tessiturali: S, SF, FS, FSA, AS, F, FLA	Classi tessiturali: FLA, FA, FL	Classi tessiturali: A, L, AL

da Costantini e Barbetti, 2006

Tab. 7 - Tabella di valutazione della sostenibilità ambientale

Caratteristica	S1	S2	S3	N
Erosione reale	Assente o idrica diffusa moderata	Idrica incanalata moderata	Idrica incanalata forte o diffusa forte o solifusione e/o creeping	Erosione per crollo o erosione di massa per scivolamento e/o oscillamento
Pendenza*	≤ 14	15 – 21	22 – 35	> 35

da Costantini e Barbetti, 2006, mod.

3.5.1. Carta delle attitudini dei suoli alla viticoltura

Le tabelle di valutazione precedentemente riportate sono state “tradotte” in una Carta delle attitudini del territorio di Castelvenere alla viticoltura, operando in ambiente GIS. Una prima fase del lavoro è consistita nella “interpretazione” delle singole Unità pedologiche, tenuto conto della “legge del minimo”, nel senso che a ciascuna Unità è stata attribuita la classe corrispondente alla proprietà o alla qualità del suolo con la limitazione più severa. Così, ad esempio, un’Unità caratterizzata da suolo profondo (S1), ma con problemi di lavorabilità, a causa della tessitura limosa o argillosa (S3) è stata classificata come S3 (limitazione più severa). Le Unità predette sono state ulteriormente classificate sulla base delle pendenze, dopo aver rasterizzato l’elaborato derivato dalla interpretazione della Carta dei suoli, con riferimento ad un grid di 5 x 5 m (equivalente alla risoluzione del DTM disponibile), tenuto

sempre conto del principio del fattore più limitante. Così, ad esempio, una cella del raster finale, risultante dall’interazione del primo elaborato con la Carta delle pendenze, originariamente classificata come S1, è stata riclassificata S2 se la pendenza era compresa tra il 14 e il 20 % (limitazione più severa). Dalla classificazione sono state escluse le aree urbane, le superfici artificiali e le aree non agricole. La sovrapposizione degli strati informativi riguardanti le diverse variabili considerate nel modello di valutazione ha portato alla suddivisione del territorio di Castelvenere nelle seguenti classi di attitudini alla viticoltura (Fig. 16):

- S2 - aree moderatamente adatte
- S2S3 - aree da moderatamente a marginalmente adatte
- S3 - aree marginalmente adatte
- S3N - aree da marginalmente adatte a non adatte
- N: aree non adatte

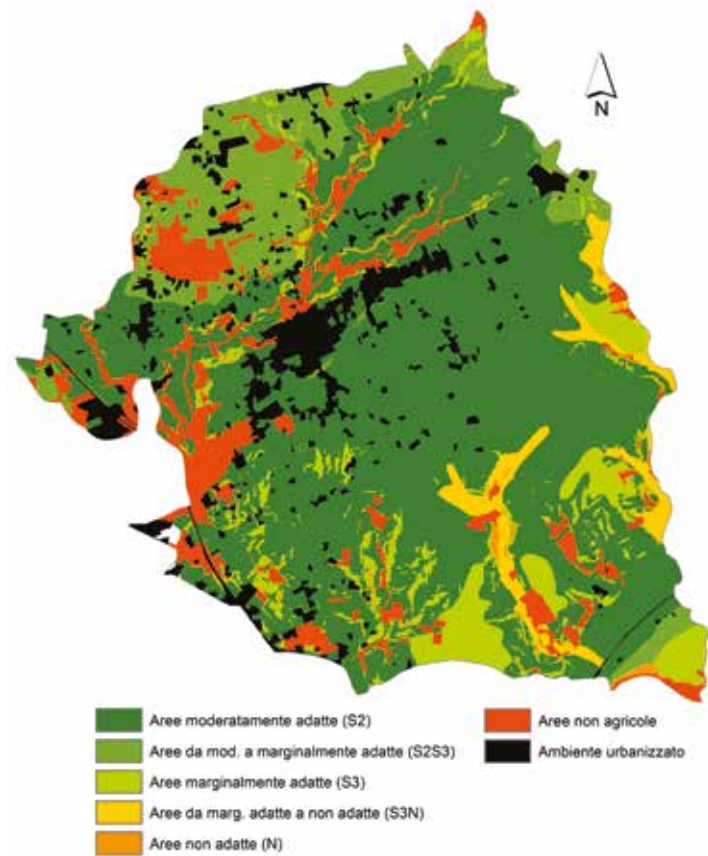


Fig. 16 – Carta delle attitudini dei suoli alla viticoltura.

La presenza di classi intermedie (S2S3 e S3N) è scaturita dalla coesistenza, all'interno di alcune unità di pedo-paesaggio, di due differenti associazioni/consociazioni di suolo con differenti limitazioni rispetto ad una o più delle proprietà e qualità considerate³¹.

Dai risultati ottenuti emerge che, per il territorio di Castelvenere, non esiste una classe di attitudine S1 (suoli "totalmente" adatti alla viticoltura). Ciò è dovuto alla presenza di poche limitazioni, generalmente dovute alla profondità, al drenaggio eccessivo o alle lavorazioni, con valori delle proprietà e/o qualità talvolta al limite della predetta classe.

La classe dominante (stimabile intorno al 60% del territorio agricolo) è risultata quella dei suoli moderatamente adatti alla viticoltura (S2). Tale classe include a) la quasi totalità delle aree agricole delle Unità C25, A15 e C7 e b) gran parte delle aree agricole delle Unità C28 e C9.

Le principali qualità e caratteristiche limitanti l'attitudine dei suoli di queste Unità riguardano:

- a) per l'unità C25 (Mollisuoli Vitrandici su alternanze marnoso-arenacee o argilloso-calcaree con coperture piroclastiche discontinue, su superfici stabili o debolmente acclivi del *glacis* pedemontano), la pietrosità e, a luoghi, il pH;
- b) per l'unità A15 (Mollisuoli Vitrandici e Andisuoli delle superfici sommitali dei terrazzi in Ignimbrite), la profondità³², il drenaggio e la lavorabilità;
- c) per l'unità C7 (Mollisuoli su sabbie ciottolose delle superfici sommitali dei terrazzi fluviali di I e II ordine), il drenaggio e la pietrosità;
- d) per l'unità C28 (Inceptisuoli su alternanze marnoso arenacee e calcareniti, di un lem-

bo relitto sub-pianeggiante di *glacis* pedemontano, delimitato da versanti a profilo regolare), la pietrosità superficiale, la lavorabilità e la reazione³³;

- e) per l'unità C9 (Inceptisuoli su ghiaie fluviali delle superfici sommitali dei terrazzi alluvionali), il drenaggio e la pietrosità.

Circa il 18% del territorio agricolo di Castelvenere è stato invece classificato "da moderatamente a marginalmente adatto alla viticoltura" (S2-S3). Questo territorio include principalmente le aree agricole ricadenti nelle Unità A30, A32, C22 e C4 della Carta dei suoli.

Le principali qualità e caratteristiche limitanti l'attitudine dei suoli di queste Unità riguardano:

- a) per l'unità A30 (alternanze di Entisuoli e Inceptisuoli su arenarie a cemento calcareo con intercalazioni marnose dei rilievi collinari a bassa energia), la profondità del suolo, il drenaggio interno, la pietrosità, l'AWC;
- b) per l'unità A32 (Mollisuoli e Andisuoli su calcareniti con coperture piroclastiche dei rilievi collinari a bassa energia), la profondità del suolo, la pietrosità, la lavorabilità, lo scheletro, l'AWC, il pH;
- c) per l'unità C22 (Mollisuoli su alternanze marnoso arenacee e argilloso-calcaree delle superfici sommitali del *glacis* pedemontano), la pietrosità, la lavorabilità, il pH;
- d) per l'unità C4 (Inceptisuoli fluventici su sedimenti fluviali limoso-sabbiosi e subordinatamente ghiaiosi delle superfici pianeggianti, deposizionali, di origine fluviale), il drenaggio, la pietrosità, il pH e il (moderato) rischio di inondazione.

La rimanente parte del territorio agricolo di Castelvenere è stata prevalentemente classificata come "marginalmente adatta alla viticol-

31) Ad esempio, all'interno dell'unità A15 ricadono *Haplustolls Vitrandici*, moderatamente profondi (S2) e *Haplustands Humici*, molto profondi (S1). La classe di attitudine, rispetto alla profondità è risultata, pertanto, S2-S3.

32) Come precedentemente detto, anche se la profondità del suolo è prevalentemente moderata, le radici riescono ad esplorare con relativa facilità anche il substrato ignimbritico, determinando un giusto equilibrio nutrizionale, idrico e minerale della vite.

33) Per quanto riguarda l'unità C28, la Carta dei suoli della Valle Telesina riporta una reazione dei suoli fortemente alcalina. Indagini realizzate da alcuni degli autori del presente lavoro indicano, invece, una reazione leggermente più bassa (moderatamente alcalina), con valori di pH variabili tra 8 e 8.17.

tura" (S3) e "da marginalmente a non adatta alla viticoltura" (S3-N).

Nella prima classe di attitudine (S3) rientrano i suoli delle Unità cartografiche C3 e A6. Le principali qualità e caratteristiche limitanti l'attitudine di questi suoli riguardano:

- a) per l'unità C3 (Inceptisuoli fluventici su sedimenti fluviali limoso-sabbiosi e subordinatamente ghiaiosi delle superfici pianeggianti, deposizionali, di origine fluviale, con frequenti meandri abbandonati e relativi argini naturali), il drenaggio, il pH e, soprattutto, il rischio d'inondazione;
- b) per l'unità A6 (Entisuoli tipici su ghiaie fluviali poligeniche delle superfici sommitali dei terrazzi alluvionali di I e II ordine), il drenaggio, la pietrosità e l'AWC.

Nella quarta classe di attitudine (S3-N) rientrano i suoli dell'Unità A8 (Mollisuoli ed Entisuoli Tipici, su ghiaie fluviali poligeniche di paleoscarpate di erosione fluviale soggette a movimenti gravitativi). Le principali qualità e caratteristiche limitanti l'attitudine di questi suoli riguardano la pietrosità, lo scheletro e il pH.

Solo una piccola parte del territorio agricolo di Castelvenere, relativa alle aree ad elevata pendenza (> 35%) e alle superfici deposizionali di origine fluviale recenti della pianura alluvionale, è classificata non adatta (N) alla viticoltura.

3.5.2. Attitudine dei suoli alla viticoltura e ipotesi di espansione urbana

I contenuti informativi della Carta delle attitudini alla viticoltura, combinati con quelli di altri elementi caratterizzanti l'ambiente fisico oggetto del presente studio, hanno consentito di formulare alcune ipotesi, su base agronomico-paesaggistica, riguardanti la possibile espansione del sistema urbano del Comune di Castelvenere.

In un'ottica di risparmio dei suoli di migliore qualità per la viticoltura (Fig. 16), l'espansione urbana dovrebbe essere programmata verso nord-ovest ed interessare i rilievi collinari a bassa energia (Unità A32 delle Carte dei pa-

esaggi e dei suoli). Tuttavia, tale espansione appare morfologicamente ostacolata dalla presenza del torrente Seneta e dalle forti pendenze delle sue scarpate.

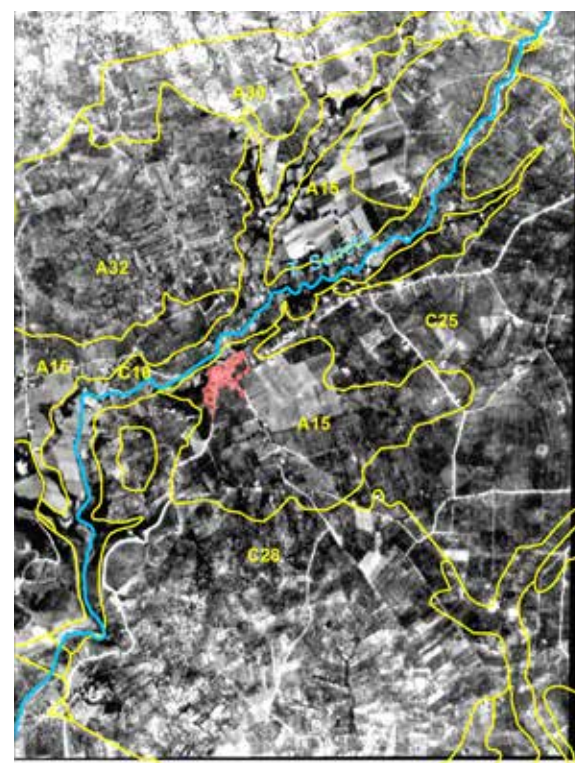
L'ostacolo del T. Seneta spiegherebbe le ragioni dell'espansione di Castelvenere, almeno nel corso degli ultimi 60 anni, in direzione sud e est-nord-est, sulle superfici stabili³⁴, pianeggianti o leggermente acclivi, dei terrazzi in Ignimbrite Campana (o "Tufo Grigio Campano") e del *glacis* pedemontano (conca di Castelvenere) (Unità A15 e C25, rispettivamente). Il confronto tra le foto-aeree dell'Istituto Geografico Militare (IGM)³⁵ del 1954, in scala 1:33.000 circa, sulle quali è stata delimitata l'area del centro urbano di Castelvenere (Fig. 17(a)), e le stesse foto con sovrapposte le attuali aree urbane (Fig. 17(b)), estratte della Carta dell'uso del suolo prodotta per gli scopi del presente PUC, rende evidente quanto sopra affermato.

È pur vero che l'espansione del territorio urbano potrebbe procedere, verso sud, oltre i limiti dell'Unità A15 e interessare l'Unità C28. Infatti, sia l'Unità A15 che l'Unità C28 ricadono nella stessa classe di attitudine S2 ("suoli moderatamente adatti alla viticoltura"), per cui il problema del consumo di suolo di qualità riguarderebbe entrambe, alla stessa maniera. Tuttavia, l'Unità C28 presenta diffuse situazioni di potenziale instabilità corrispondenti ad aree a ruscellamento concentrato e/o a reptazione³⁶. Per tale ragione, oltre che per la distanza dal centro abitato, l'Unità C28 dovrebbe essere considerata meno idonea all'espansione urbana.

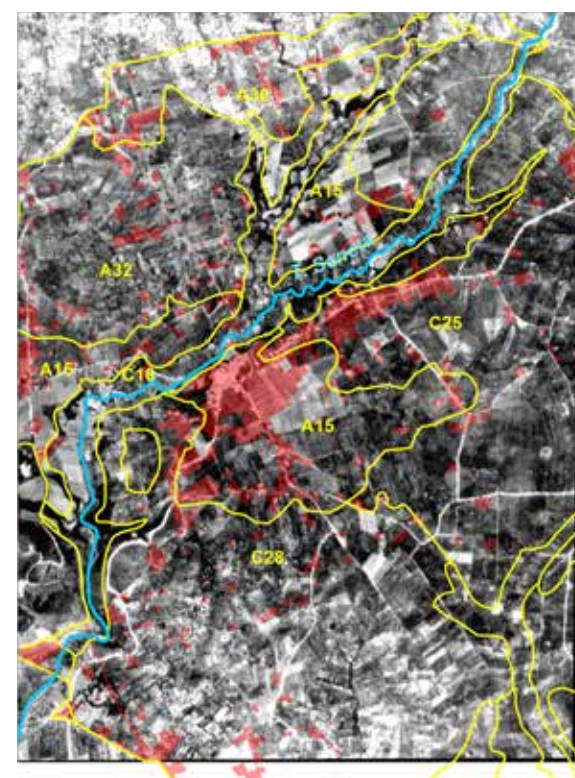
34) Secondo quanto riportato nella Carta Geomorfologica prodotta per gli scopi del presente PUC.

35) Per poter realizzare il confronto, è stato necessario ortorettificare le foto aeree IGM, con riferimento alle ortofoto del 2011. Il lavoro, realizzato in ambiente ENVI (*ENvironment for Visualizing Images*) vers. 4.4, è risultato piuttosto complicato a causa di una serie di fattori legati alle caratteristiche del materiale utilizzato come base per la realizzazione delle ortofoto, fortemente influenzate dalla loro età (circa 60 anni), alla indisponibilità dei certificati di calibrazione e alle modifiche del territorio.

36) Reptazione (in inglese *creep* o *creeping*), è un lento movimento della parte più superficiale del suolo verso il piede del versante.



(a)



(b)

Fig. 17 – Ortofoto del 1954 con sovrapposti i limiti delle unità suolo-paesaggio (linee gialle) e il corso del torrente Seneta (in azzurro). In rosso trasparente: (a) il centro abitato di Castelvenere nel 1954 e (b) l'ambiente urbanizzato nel 2013.

3.6. Zonazione viticola

Non sempre le limitazioni edafiche (profondità dei suoli, pietrosità, acqua disponibile, ecc.) devono essere considerate negativamente. Infatti, esse possono risultare un importante fattore di qualità e tipicità del vino prodotto [Bucelli e Costantini, 2006]. Pertanto, oltre alla valutazione delle attitudini alla viticoltura (realizzata con riferimento ai principali fattori limitanti la coltura) è stata valutata l'influenza delle condizioni edafiche, in particolare di quelle pedologiche, sulle caratteristiche delle uve e dei vini di Castelvenere, al fine di definire "zone omogenee di produzione" (zonazione) dal punto di vista delle predette caratteristiche. Particolare attenzione è stata riservata alla *cultivar* Falanghina non solo per la crescente attenzione rivolta dai vignaioli di Castelvenere a questo vitigno nell'ultimo decennio ma anche per la rilevanza dello stesso vitigno nel contesto viti-vinicolo Campano [Pignataro, 2004]³⁷. Lo studio di seguito riportato utilizza i dati in gran parte prodotti da indagini realizzate in Valle Telesina [Leone A.P. *et al.*, 2007, 2010; Amenta *et al.*, 2012] e metodi statistici multivariati per stabilire le relazioni tra Unità suolo-paesaggio e composizioni delle uve della *cultivar* Falanghina³⁸ e tra questi ultimi e spe-

37) "la Falanghina, certo ancora più dell'Aglianico" è il vino con cui si identifica tutta la Campania ... La Falanghina è un vino bianco e la Campania è soprattutto una grande terra di bianchi... Il suolo vulcanico (che caratterizza buona parte anche del territorio comunale di Castelvenere N.d.A.), le escursioni termiche delle zone dell'interno e il clima sono fattori determinanti capaci di regalare unicità, tipicità e soprattutto la irripetibilità in altre zone di questo vino, che si identifica ormai con il territorio così come solo i grandi vitigni ricchi di personalità sono capaci di fare".

38) Per lo studio in esame sono stati utilizzati i dati composizionali medi dei mosti di Falanghina di tre annate, climaticamente contrastanti (2002, 2003, 2004), estratti da campioni di uva prelevati in corrispondenza di 30 siti (georeferiti con l'ausilio di un GPS di precisione), ricadenti nel territorio vitato di Castelvenere, ubicati in modo tale da rappresentare il più possibile la variabilità spaziale dei diversi pedo-paesaggi.

La raccolta dei campioni di uva è stata fatta alla vendemmia, in accordo con la metodologia proposta da Moio *et al.* [1999]. Sui mosti prodotti dalla spremitura dei campioni sono stati determinati il pH, l'acidità totale (Ac), gli zuccheri (^oBrix), i contenuti di acido malico (Mal) e tartarico (Tar). Le determinazioni analitiche comuni sono state realizzate in accordo con i Metodi Ufficiali di Analisi [MAF,

cifiche proprietà specifiche dei suoli.

3.6.1. Relazioni tra pedo-paesaggio e composizione delle uve

Le relazioni tra Unità suolo-paesaggio e composizione delle uve sono state studiate utilizzando il metodo statistico multivariato della regressione PLS (*Partial Least Squares Regression*)³⁹.

I risultati della PLSR hanno rivelato alcune interessanti relazioni tra le predette variabili. Gran parte delle informazioni sono risultate sintetizzate dal primo (t1) e dal secon-

1985]; l'acido malico è stato dosato per via enzimatica [Boehringer, 1983]; l'acido tartarico con il metodo Rebelein [1973].

In corrispondenza degli stessi siti sono stati prelevati campioni di *top-soil*, successivamente essiccati, setacciati a 2 mm e analizzati per la valutazione delle principali proprietà chimiche e fisiche: tessitura (sabbia, limo e argilla), pH, carbonati totali (CaCO₃), carbonio organico (CO), azoto Kjeldahl (N), fosforo assimilabile (P Olsen), capacità di scambio cationico (CSC), basi di scambio, micro-elementi estraibili in acido dietilene-triammino-pentacetico (DTPA). Le analisi sono state realizzate in accordo con Metodi di Analisi Chimica del Suolo [MIPAF, 2000].

39) Relazioni tra variabili dell'ambiente fisico e caratteristiche dei mosti e/o dei vini sono stati frequentemente studiate utilizzando i metodi statistici multivariati dell'analisi fattoriale (*Factor Analysis* FA) o dell'analisi delle componenti principali (*Principal Component Analysis*, PCA). In questi metodi, tutte le variabili sono trattate assumendo che esse rappresentino un singolo gruppo logico [Podani, 2007], mentre le variabili dell'ambiente fisico (Unità di paesaggio, proprietà dei suoli) e le caratteristiche dei mosti (o dei vini) formano due gruppi logici separati. Quando le variabili appartengono a due (o più) gruppi logici separati, dovrebbero essere utilizzati altri metodi multivariati, conosciuti come "metodi di ordinazione diretta" o di "analisi canonica", principalmente originati dall'analisi di correlazione canonica (*Canonical Correlation Analysis*, CCA) [Hotelling, 1936] e dall'analisi di *Co-inerzia* (*Co-Inertia Analysis*, CoA) [Chessel e Mercier, 1993]. Tuttavia, CCA e CoA sono correttamente applicate quando le relazioni tra due gruppi di variabili sono simmetriche (cioè, un gruppo dipende dall'altro, e viceversa). Quando le relazioni sono asimmetriche, come nel nostro caso (= le caratteristiche dei mosti dipendono dal paesaggio o dal suolo, e non viceversa) allora occorre più correttamente adottare metodi regressivi. Tra questi, gioca un ruolo importante la regressione PLS. Si tratta di una tecnica predittiva che può manipolare molte variabili indipendenti, anche quando il numero dei predittori (es., variabili dell'ambiente fisico) è relativamente elevato rispetto al numero dei casi (es., numero di siti di osservazione). Per una descrizione dettagliata di questa tecnica, si rimanda alla letteratura specialistica [es., Tenenhaus, 1998].

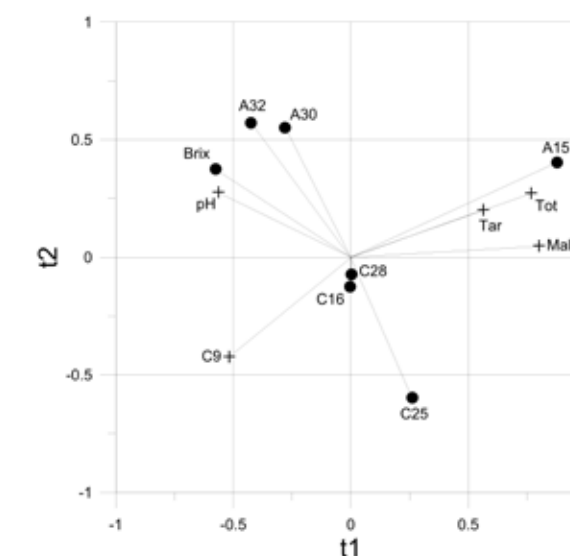


Fig. 18 – Ordinazione delle caratteristiche compositive delle uve* della cultivar Falanghina e Unità suolo-paesaggio nello spazio definito dal primo (t1) e dal secondo (t2) asse fattoriale risultante dalla regressione PLS.

*Tot: acidità totale, Mal: acido malico, Tar: acido tartarico, Brix: zuccheri riduttori in ^oBrix, pH

do fattore (t2) che, insieme, spiegano circa l'82% della variabilità dell'intero set iniziale di dati; pertanto, questi fattori sono stati considerati per l'interpretazione⁴⁰. Quest'ultima è stata realizzata plottando i valori di correlazione tra le variabili considerate nel piano fattoriale t1 x t2 (Fig. 18).

La distribuzione delle variabili sul piano t1 x t2 (Fig. 18) evidenzia una stretta e positiva relazione tra Unità A15 delle Carte dei paesaggi e dei suoli e valori di acidità totale, acido malico e acido tartarico. In altri termini, le uve Falanghina prodotte sulle superfici deposizionali sommitali dei terrazzi in Ignimbrite Campana tendono a distinguersi da quelle prodotte in altre aree per una più elevata acidità totale e per contenuti più ele-

40) Nell'interpretazione del piano fattoriale è stato considerato che quando due variabili sono lontane dal centro degli assi e vicine l'una all'altra, allora esse sono altamente e positivamente correlate; se sono lontane dal centro e in posizione opposta, allora esse sono altamente e negativamente correlate; se sono ortogonali tra di loro, allora non sono correlate. Quando le variabili sono prossime al centro degli assi, ogni interpretazione delle loro interrelazioni è rischiosa. Per gli scopi del presente lavoro sono state considerate per l'interpretazione solo le variabili con un valore fattoriale > 0.5.

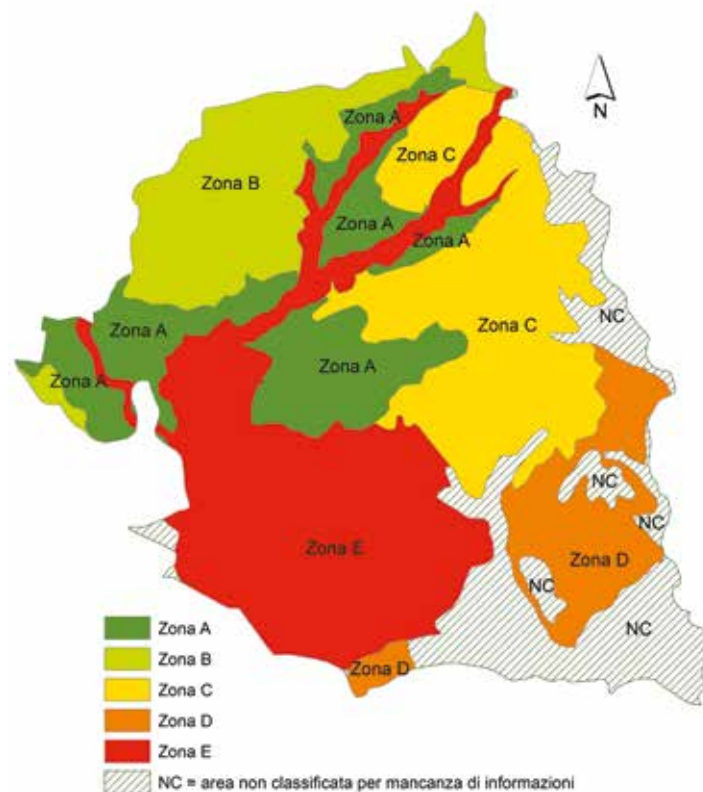


Fig. 19 - Carta della zonazione viticola della cultivar Falanghina.

vati di acido malico e tartarico ma anche per i bassi contenuti di zuccheri e un più basso pH (zuccheri e pH sono nella parte opposta di A15, lungo il primo asse principale). Caratteristiche molto differenti mostrano le uve prodotte sulle superfici sommitali fortemente rimodellate dei terrazzi alluvionali di I e II ordine (Unità C9). Le uve prodotte sui rilievi collinari (Unità A30 e A32) si caratterizzano, rispetto a quelle prodotte in altre aree, per i maggiori contenuti in zuccheri e per i valori più elevati di pH. Caratteristiche diametralmente opposte hanno le uve prodotte nelle aree di *glacis* (conca di Castelvenere). Infine, le uve Falanghina prodotte nelle vallecicole del torrente Seneta (Unità C16) e sui versanti a profilo regolare, da moderatamente acclivi ad acclivi (Unità C28) non si distinguono per nessuno degli elementi composizionali considerati per le altre realtà territoriali di Castelvenere. È importante sottolineare che le relazioni sopra descritte tra Unità suolo-paesaggio e composizione dei mosti sono più evidenti negli anni con andamento climatico medio e umido e tendono, invece, ad essere

meno evidenti, soprattutto per certi caratteri (come ad esempio i contenuti in zuccheri riduttori), nelle annate più siccitose, come il 2003.

La Figura 19 riporta la suddivisione (zonazione) del territorio di Castelvenere in funzione dei risultati dello studio preliminare sopra illustrato.

3.6.2. Relazioni tra composizione delle uve e proprietà dei suoli

Con l'aiuto dell'analisi PLS è stato possibile studiare le relazioni tra caratteristiche composizionali della Falanghina e specifiche proprietà dei suoli.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nel piano fattoriale definito dal primo e secondo fattore (t_1 x t_2) (Fig. 20). Questi fattori sono stati considerati per l'interpretazione in quanto, insieme, spiegano circa l'85% della variabilità del data-set iniziale.

Dall'analisi della Figura 20 emerge una stretta correlazione tra contenuti di carbonio organico (CO), ferro estraibile (Fe), fosforo assimilabile (P) e limo dei suoli e valori

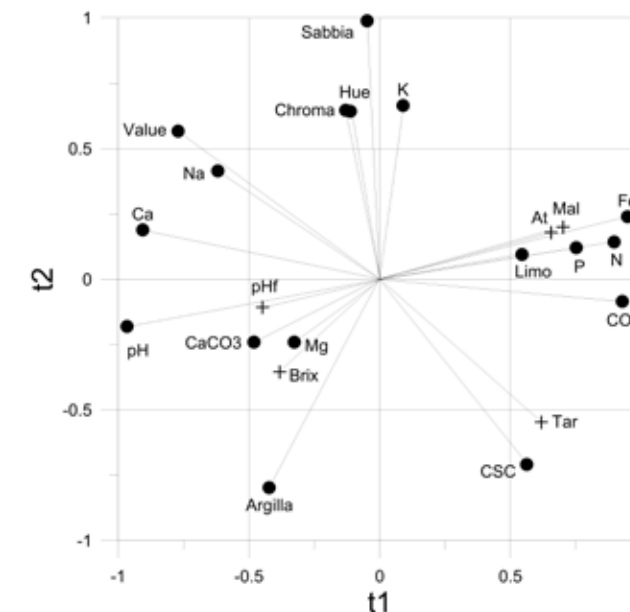


Fig. 20 - Ordinazione delle caratteristiche compositive delle uve* della cultivar Falanghina e delle proprietà dei suoli** nello spazio definito dal primo (t_1) e dal secondo (t_2) asse fattoriale risultante dalla regressione PLS.

*Tot: acidità totale, Mal: acido malico, Tar: acido tartarico, Brix: zuccheri riduttori in °Brix, pHf (f = Falanghina)

**pH, CaCO_3 : carbonati, CSC: capacità di scambio cationico, Na: sodio scambiabile, K: potassio scambiabile, Mg: magnesio scambiabile, Ca: calcio scambiabile, P: fosforo assimilabile, N: azoto Kjeldal, Fe: ferro estraibile in DTPA.

di acidità totale (Tot) e acido malico (Mal) dei mosti di Falanghina. Per contro, questi valori sono inversamente relazionati al pH del suolo e al contenuto di calcio scambiabile (Ca). Il contenuto di acido tartarico (Tar) dei mosti risente positivamente dell'influenza della capacità di scambio cationico (CSC) e negativamente del contenuto di sodio scambiabile (Na) e della brillantezza del suolo (Value). La relazione opposta tra Value e Tar indica che suoli più scuri (più basso Value) tendono a produrre uve più ricche di acido tartarico. Ma il Value è anche in posizione opposta, lungo il primo asse (t_1), al contenuto di carbonio organico e alle variabili ad esso correlate. Ciò consente di affermare che suoli più scuri (più basso Value) sono più ricchi di carbonio organico e, con esso, di P, N, Fe e limo e tendono a produrre uve più ricche di Mal e Tot.

Come atteso, la CSC ricade in posizione intermedia tra il CO e l'argilla (come noto, argille e sostanza organica sono i principali scambiatori colloidali del suolo). L'argilla è situata in posizione opposta alle sabbie, al contenuto di potassio scambiabile (K) e ai parametri del colore Hue (tinta dominante) e Chroma (saturazione del colore). Le relazioni tra proprietà dei suoli e composizione dei mosti sono il risultato dell'influenza di queste ultime sulla fisiologia della pianta. Una descrizione di tale aspetto esula dagli

scopi del presente lavoro. Per approfondimenti si rimanda alla letteratura specialistica [es. Fregoni, 1999; Jackson, 2000] e ai recenti lavori di Leone A.P. *et al.* [2007, 2010] e Amenta *et al.* [2012].

3.7. Uso del telerilevamento nello studio dei vigneti

La natura e le proprietà dei suoli, in combinazione con il clima, il portinnesto, le tecniche colturali (densità di piantagione, forma di allevamento, carica di gemme – e conseguentemente di grappoli – per ceppo, irrigazione, concimazione azotata, presenza o meno dell'inerbimento, ecc.) influenzano fortemente un aspetto di grande importanza in viticoltura: il vigore vegetativo. La vigoria, semplicemente intesa come peso della vegetazione, è dipendente dalla lunghezza e dal peso dei tralci, nonché dalla superficie fogliare. Molti studiosi e viticoltori sostengono che la qualità del vino è inversamente proporzionale alla vigoria e alla quantità dell'uva per ceppo. La conseguenza della vigoria elevata è una fisiologia proteica, mentre la vigoria moderata determina una fisiologia glucidica [Soldara, 2011].

La vigoria elevata si manifesta con un prolungamento vegetativo, una crescita dei germogli che va oltre l'invaiaura, una concorrenza nutrizionale fra apici in crescita e depositi di metaboliti secondari nobili ne-

gli acini. Ne derivano grappoli e acini più grandi, nei quali la quantità di polpa sovrasta eccessivamente il peso della buccia, vini di sapore erbaceo e, come sostiene Soldera [2011], simili a “spremute di prateria”.

In soccorso della teoria “vigore *versus* qualità” è giunto da alcuni decenni il telerilevamento da piattaforme aeree o satellitari che “fotografa” il vigore basandosi sull’ampiezza della superficie fogliare riflettente. Da alcuni anni, le ricerche sulla viticoltura, soprattutto quella di precisione, classificando i vigneti e le porzioni di essi in base agli indici spettrali⁴¹, rilevano la necessità di separare le ven-

41) Gli indici spettrali risultano dalla combinazione di bande satellitari, generalmente corrispondenti alle lunghezze d’onda del rosso (Red, R) e dell’infrarosso vicino (near Infrared, NIR).

Cambiamenti nelle caratteristiche delle piante, quali la biomassa, l’indice di espansione fogliare (*leaf area index*, LAI), il contenuto idrico e la concentrazione di clorofilla influenzano la riflettanza (rapporto tra luce riflessa e luce incidente) nell’intero intervallo di lunghezza d’onda 350 – 2500 nm. Cambiamenti nel contenuto di clorofilla influenzano la riflettanza delle piante nella regione del visibile (*visible*, VIS), tra 350 e 780 nm. La perdita di clorofilla causa un incremento della riflettanza nell’intera regione del VIS e la riduzione della banda di assorbimento (della clorofilla) a 680 nm [Leone *et al.*, 2007 e letteratura citata], dovuta a processi di transizione elettronica.

Cambiamenti nella biomassa verde influenzano la riflettanza tra 700 e 1300 nm. I pigmenti fogliari hanno un limitato assorbimento nella regione NIR e la riflettanza in questa regione è elevata: circa il 55% della luce incidente viene riflessa, mentre il 40% viene trasmessa e solo il 5% assorbita. Nello stesso intervallo di lunghezza d’onda, la riflettanza è fortemente influenzata dalla struttura cellulare e dall’indice di discontinuità tra le foglie. Considerato il fatto che la riflettanza del suolo è più bassa di quella della vegetazione verde nel NIR e più elevata nel VIS, quando la frazione di vegetazione aumenta anche la riflettanza della mistura suolo-vegetazione aumenta nel NIR, mentre diminuisce nel VIS. Un *trend* inverso può essere osservato quando la copertura vegetale diminuisce [Leone *et al.*, 2007 e letteratura citata].

Sia la riflettanza nel VIS che quella nel NIR sono prese simultaneamente in considerazione nel calcolo del cosiddetto indice di vegetazione della differenza normalizzata (*Normalised Difference Vegetation Index*, NDVI) [Rouse *et al.*, 1974] specificamente definito come:

$$NDVI = (R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R)$$

dove R_{NIR} = riflettanza nella regione nell’infrarosso vicino, R_R = riflettanza nella regione del rosso.

L’NDVI è un buon indicatore della biomassa (quindi del vigore vegetativo) visto che un aumento della biomassa determina una riduzione della riflettanza nel R (= un aumento dell’assorbanza) e un aumento della riflettanza nel NIR, quindi un aumento dell’NDVI.

demmie dei ceppi vigorosi da quelle provenienti da ceppi a moderato o basso vigore. Infatti, i vini di questi ultimi sono di qualità più complessa, più invecchiabili, più ricchi di polifenoli (antociani e tannini non astringenti) e di aromi, perché derivano da acini più piccoli.

Per gli scopi del presente PUC è stata prodotta una mappa spettrale dell’NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) utilizzando un’immagine di repertorio del sistema satellitare SPOT-HRVIR (*High Resolution Visible Infrared*), acquisita il 21 luglio del 2007. Per gli scopi del presente Capitolo, è stata prodotta una mappa dell’NDVI utilizzando un’immagine del sistema satellitare Sentinel-2, più aggiornata (agosto 2016) e a maggiore risoluzione spaziale (dimensione del pixel 10x10 m) rispetto a quella precedente (20 x 20 m).

Il *pattern* spettrale della mappa dell’NDVI (Fig. 21) appare caratterizzato dalla prevalenza di vigneti a minore vigore vegetativo (più basso valore di NDVI) sulle superfici sommitali dei terrazzi alluvionali di I e II ordine (Unità A6 e C9), caratterizzati da suoli profondi su ghiaie fluviali poligeniche, piuttosto eccessivamente drenati. Le condizioni edafiche di questi suoli determinano, chiaramente, una ridotta spinta vegetativa. Per contro, appare evidente il maggiore vigore vegetativo dei vigneti allevati sui suoli originati da substrati piroclastici, sia da Ignimbrite Campana (Unità A15 e C16), sia da coperture cineritiche discontinue sui calcari e calcareniti dei rilievi collinari (Unità A32). Relativamente elevato appare il vigore vegetativo in alcune aree del *glacis* pedemontano (Unità C25).

In tutti i casi sopra discussi, il vigore vegetativo sembra in qualche modo essere legato alla tendenza del suolo ad accumulare acqua, espressa attraverso l’indice topografico di umidità (Fig. 11). La relazione non è, tuttavia, così evidente in tutto il territorio viticolo. Per esempio, nella pianura alluvionale (Unità C2, C3, C4), contrariamente alle aspettative, il vigore vegetativo, espresso attraverso l’NDVI, non appare particolarmente

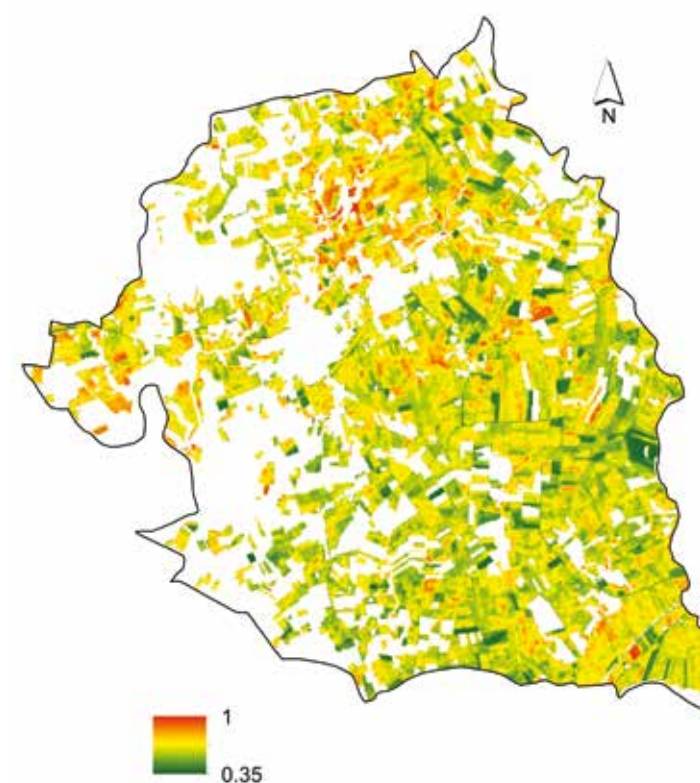


Fig. 21 – Carta dell’indice normalizzato di vegetazione (*Normalised Difference Vegetation Index*, NDVI) della superficie vitata del territorio di Castelvenere.

te elevato, come ci si aspettava, nonostante l’elevato valore del TWI. In questi casi, non è da escludere che la pratica agronomica, soprattutto la potatura verde, abbia potuto influenzare il *pattern* osservato. Sarà, pertanto, necessario approfondire ulteriormente le relazioni tra sviluppo vegetativo e caratteristiche fisico-ambientali, utilizzando immagini multi-temporali, relative all’intero ciclo di sviluppo della vite.

3.8. Organizzazione dei dati in un geodatabase

Nella cartografia tradizionale, le informazioni sono codificate in forma di simboli: punti, linee o aree. I simboli sono spiegati in una legenda. In alcuni casi, ulteriori informazioni sono fornite in una memoria scritta di accompagnamento. La mappa cartacea e la sua memoria illustrativa costituiscono il database cartaceo. Questo approccio, sebbene sia ancora utilizzato, presenta alcune limitazioni: a) la Carta è nel contempo contenitore e supporto di presentazioni delle informazioni geografiche, pertanto i dati che essa può

contenere devono essere necessariamente di volume ridotto, al fine di renderli comprensibili e rappresentabili. Di conseguenza, molti dettagli locali sono spesso persi; b) aree molto ampie, rispetto alla scala della carta, possono essere rappresentate solo utilizzando un certo numero di Carte; c) una volta che i dati sono stati inseriti nella Carta, non è né economico né semplice ritrovarli e combinarli con altri dati spaziali.

Il supporto cartaceo è stato largamente sostituito dal supporto informatizzato, basato cioè su tecnologie informatiche. Le informazioni geografiche sono, in tal modo, raccolte in archivi (file), residenti su dischi magnetici o magneto-ottici o su CD-ROM. Gli archivi organizzati rappresentano il database “*computer-based*” e, se descrivono oggetti e fenomeni del mondo reale di cui è riportata la posizione spaziale (coordinate), prendono il nome di database geografici (o geo-database). Nei database il contenuto di informazioni non è più limitato, in termini di quantità e dovizia di dettagli sugli oggetti descritti, dall’impossibilità di poterle dise-

gnare sulla carta.

In un geo-database il dato geografico è sostanzialmente costituito da due componenti: una componente geometrica (la forma dell'oggetto) e una componente alfa-numerica associata (database contenente gli attributi dell'oggetto). La componente geometrica può essere in formato *raster* o vettoriale. Il primo è rappresentato da celle elementari d'informazione in una "tassellazione" regolare del territorio; il secondo è costituito da elementi semplici quali punti, linee e poligoni, codificati e memorizzati sulla base delle loro coordinate. L'acquisizione, la memorizzazione, l'estrazione, la trasformazione e la visualizzazione dei dati spaziali (di un geo-database) necessitano di un sistema software meglio noto come Sistema d'Informazione Geografica (*Geographycal Information System*, GIS). Un software GIS ha la capacità di utilizzare in modo integrato dati geografici e dati alfanumerici: caratteristica peculiare che lo distingue da altri software grafici (in particolare dai software CAD, *Computer-Aided Design*).

Per gli scopi del PUC di Castelvenere, tutte le informazioni cartografiche acquisite sono state organizzate in un geodatabase, costituito da Carte di formato in *raster* e in formato vettoriale (*shape-file*). Il geodatabase, oltre che per le attività relative al PUC, potrà essere vantaggiosamente e rapidamente utilizzato per estrarre informazioni utili alla pianificazione e gestione del territorio agricolo e extra-agricolo. La gestione, oltre che l'eventuale aggiornamento del geodatabase, un tempo complicati dai costi dei software GIS, è oggi facilitata dalla disponibilità di potenti software GIS *open source*. Inoltre, il geodatabase prodotto potrà essere messo a disposizione di professionisti, Enti, Organizzazioni di produttori, ecc., oltre che pubblicato su Web (WebGis) e in tal modo reso consultabile anche da una vasta platea di potenziali utenti.

BIBLIOGRAFIA

Alleweldt G., Eibach R., Jung K. (1982), *Untersuchungen zum Gaswechsel der Rebe. I. Einfluss von Temperatur, Blättalter und Tageszeit auf Netphotosynthese und Transpiration*. Vitis, 21, 93-100

Amenta P., Leone A.P., Buondonno A., Morlat R. (2012), *Assessment of the chain dependence relationships between geology, soil properties and grape composition using a metric generalization of PLS regression*. Current Analytical Chemistry, 8, 189-204

Amerine. M.A.. Wjnkler. A.J. (1944), *Composition and quality of musts ami wines of California grapes*. Hilgardia. 15. 493-675

Bishop, T. F. A., Minasny B. (2006), *Digital soil-terrain modeling: the predictive potential and Uncertainty*, pp. 185-213, in Grunwald, S. (ed.), Environmental soil-landscape modeling, Taylor & Francis, Boca Taton, FL.

Bois B., van Leeuwen C., Pieri P., Gaudillère P., Saur E., Joly D., Wald L., Grimal D. (2008), *Viticultural agroclimatic cartography and zoning at mesoscale level using terrain information, remotely sensed data and weather stations measurements. Case study of Bordeaux winegrowing area*. Proceedings of the VIIth International Terroir Congress, (ed. Murisier F.), Nyon, Switzerland, 19-23 May, 455-462.

Boehringer M. (1983), *Food analysys. Boehringer Biochemia Robin*. Milano

Bonfante A., Basile A., Langella G., Manna P., Terribile F. (2011), *A physically oriented approach to analysis and mapping of terroirs*. Geoderma, 167-168, 103-117

Brady N.C., Weil R.R. (2002), *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp 960

Bucelli P., Costantini E.A.C. (2006), Vite da vino e zonazioni vitivinicole. In "Metodi di valutazione dei suoli e delle terre", E. Costantini (ed.), Edizioni Cantagalli, Siena, 519-577

Calzoralì C., Costantini E.A.C., Venuti L., (2006), *La valutazione dei suoli e delle terre*. In "Metodi di valutazione dei suoli e delle terre", E.A.C. Costantini (ed.), Edizioni Cantagalli, Siena, 3-47.

Carey V., Bonnardot V. (2004), *A viticultural perspective of meso-scale atmospheric modeling in the Bottelaryberg-Simonsberg-Helderberg wine growing area (South Africa)*. Bulletin O.I.V., (875-876), 20-46

Chessel, D., Mercier P. (1993), *Couplage de triplets statistiques et liaisons especes environnement*. Pages 15-43 in J. D. Lebreton and B. Asseilain, editors. Biométrie et Environnement. Masson, Paris, France.

Costa-Cabral M., Burges S.J. (1994), *Digital Elevation Model Networks (DEMON), a model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas*. Water Resources Research 30 (6), 1681-1692.

Costantini E.A.C. (2007), *Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici*. S.E.L.C.A., Firenze, pp. 280.

Costantini E.A.C., Barbetti R. (2006), *Valutazione dei suoli e delle terre*. In "Zonazione viticola ed olivicola della provincia di Siena", E.A.C. Costantini (Coord.), 141-155

Del Prete R., Leone A.P. (2017), *Paesaggi rurali. Percezione, promozione, gestione, evoluzione sostenibile*, Regione Campania, Edistampa Sud, S.r.l., Dragoni, Caserta, pp 387.

Dumas V., Lebon E., Morlat R. (1997), *Différentiations mésoclimatiques au sein du vignoble alsacien*. J. Int. Sci. Vigne Vin, 31, 1-9.

Ewart A. (1985), *Influence of vineyard site and grape maturity on juice and wine quality of Vitis vinifera, cv. Riesling*. Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Conference (ed. Lee T H), Australian Wine Research Institute, Adelaide, SA, 71-74.

FAO (1976). *A framework for land evaluation*. Soil Bulletin, n. 32, Roma

Florinsky, I. V. (2012), *Digital terrain analysis in soil science and geology*. Academic Press, Oxford, pp 379

Fregoni M. (1999), *Viticultura di qualità*. Stampa Grafiche Lama - Piacenza, pp705.

Gallant, J. C., Hutchinson, F. (2011), *A differential equation for specific catchment area*, Water Resources Research, W05535, pp. 1-14.

Giordano A. (1999), *Pedologia*. Utet, Torino, pp. 263

Giordano C., Zanchi C. (1995), *Elementi di conservazione del suolo*. Pàtron Editore, Bologna, pp. 260

Gisotti G. (2011), *Le Unità di paesaggio. Analisi geomorfologica per la pianificazione territoriale e urbanistica*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp. 476.

Guyot G. (1997), *Climatologie de l'environnement*. Ed. Masson, Paris.

Hargreaves G.H., Samani, Z.A. (1985), *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Applied Engineering in Agriculture 1 (2), 96–99.

Hotelling, H. (1936), *Relations between two sets of variants*. Biometrika, 28, 321–377

Jackson R.S. (2000), *Wine science*. Elsevier, pp. 645

Kliewer W.M., Torres R.E. (1972), *Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration*. Am. J. Enol. Vitic., 23, 71–77.

Kondratyev K.Y., Pivovarova Z.I., Fedorova M.P. (1978), *Radiation regime of inclined surfaces*. Leningrad: Hydrometeoizdat, pp 215

Landi R. (1999), *Agronomia e ambiente*. Edagricole, Bologna, pp. 653

Lanyon D.M., Cass A., Hansen D. (2004), *The effect of soil properties on vine performance*. CSIRO Land and Water Technica Report No 24/04. October 2004.

Leone A.P., Escadafal R. (2001), *Statistical analysis of soil colour and spectroradiometric data for hyperspectral remote sensing of soil properties (example in a southern Italy Mediterranean ecosystem)*. Int. J. Remote Sensing, 12, 2311–2328.

Leone A.P., Menenti M., Tosca M., Leone N. (2007), *Geologia, suoli e produzione vitivinicola. Il caso studio Valle Telesina*. Atti del Convegno “il contributo del geologo nello studio del sistema vigna”. Feudi di S. Gregorio, Sorgo Serpico (AV); 23–24 novembre 2007

Leone A.P., Amenta P., Calabrò G., Coppola E., Buondonno A., Morlat R. (2010), *The disjointed influence of soil and climate on grape productivity and quality. An assessment by OMCIA-PLSR statistics on a case study in southern Italy*. Agrochimica Vol. 5, 257–278

Leone A.P., Magliulo P., Leone N., Capone A.,

Dente A., Fragnito F., Leone G., Petrecchia A., Buondonno A. (2017), *Proximal e remote sensing per lo studio del paesaggio agrario a scala aziendale*. In “Paesaggi rurali. Percezione, promozione, gestione, evoluzione sostenibile”, a cura R. Del Prete e A.P. Leone, Regione Campania, Edistampa Sud, S.r.l., Dragoni, Caserta, pp 81–113

MAF, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste (1985), *Metodi Ufficiali di Analisi per i Mosti, i Vini e gli Aceti*; Istituto Poligrafico di Stato, Roma.

MIPAF, Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (2000), *Analisi dei suoli. Metodi di Analisi Chimica del Suolo*. Franco Angeli

Moio L., Romano S., Cirella A., Fuschino G. (1999), *Influenza di alcuni fattori viticoli ed enologici sulla qualità del vino rosso prodotto dall'uva Aglianico di Taurasi*. Vigne vini, 1–2, 80–92

Moore, I. D., Gessler, P. E., Nielsen, G. A., Peterson, G. A. (1993), *Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis*. Soil Science Society of America J., pp. 443–452

Morlat R. (1989), *Le terroir viticole: contribution à l'étude de sa caractérisation en de son influence sur les vins. Application aux vignobles rouges de la moyenne vallée de la Loire*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Bordeaux II.

Morlat R. (2010), *Traité de viticulture de terroir. Comprendre et cultiver la vigne pour produire un vin de terroir*. Lavoisier, pp. 524

Morlat R., Bodin F. (2006), *Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth. II – Validation of the grape yield and the berry quality in the Anjou vineyard (France)*. Plant and Soil, 281, 55–69.

Morlat R., Jacquet A. (1993), *The soils effects on the grapevine root system in several vineyards in the Loire Valley (France)*. Vitis, 32, 35–42

O'Callaghan, J. F., Mark, D. M. (1984), *The extraction of drainage networks from digital elevation data*, Computer Vision Graphics and Image Process., pp. 323–344.

Pike, R. J. (1995), *Geomorphometry - Progress, practice, and prospect*, Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband, pp. 221–238.

Pike, R. J. (2001), *Geometric signatures - experimental design, first results*, in: Ohmori, H. (Ed.), DEMs and Geomorphology (Proceedings of the

Symposia on New Concepts and Models in Geomorphology, and Geomorphometry, DEMS and GIS), vol. 1, Special Publications of the Geographic Information Systems Association (Japan) and Chuo University of Tokyo, Tokyo, Japan.

Pirie A. (1977), *Phenolics accumulation in red wine grapes (Vitis vinifera L.)*. PhD thesis, University of Sydney, Australia.

Podani J. (2007), *Analisi ed esplorazione multivariata dei dati in ecologia e biologia*. Liguori Editore, Napoli, pp. 515.

Previtali F. (1984), *Introduzione allo studio dei suoli*. CLESAS, Milano, 1984, pp. 165

Priori, S., Martini, E., Andrenelli, M. C., Magini, S., Agnelli, A. E., Bucelli, P., Biagi, M., Pellegrini, S., Costantini, E. A. C. (2012), *Improving wine quality through harvest zoning and combined use of remote and soil proximal sensing*. Soil Science Society of America J., pp. 1338–1348

Quinn, P. F., Beven, K. J. (1993), *Spatial and temporal predictions of soil moisture dynamics, runoff, variable source areas and evapotranspiration for Plynlimon, Mid-Wales*, Hydrological Processes, pp. 425–448.

Quinn, P., Beven, K., Lamb, R. (1995), *The ln(a/tanβ) index: How to calculate it and how to use it within the TOPMODEL framework*, Hydrological Processes, pp. 161–182.

Rasemann, S., Schmidt, J., Schrott, L., Dikau, R. (2004), *Geomorphometry in mountain terrain*, in: Bishop, M. P., Shroder, J. F. (Eds.), GIS & Mountain Geomorphology, Springer, Berlin.

Rebelein H. (1973), *Verbrafen zur genauen serien Massingen Bestimmung der Wein und Nilschsaure in Wein und arniche Getraken*. Chem. Mikrobiol. Technol. Lebnsnm, 2,33

Regione Campania, Assessorato all'Agricoltura, Settore SIRCA (2009), *Carta dei suoli della Valle Telesina*, scala 1:50.000

Romanova E.N. (1977), *Microclimatic variability of the main elements of climate Leningrad*, Hydrometeoizdat, pp 279

Rouse J.W., Haas Jr. R.H., Schell J.A., Deering D.W. (1974), *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS*. In: Proc. ERTS-1 Symp., Greenbelt, MD. 10–15 December 1973, vol. 1, third ed. NASA NASA SP-351, Washin-

gton, DC, pp. 309–317.

Scaglione G., Pasquarella C. (2002), *Campania region grapevine patrimony: a determination of the heat requirement of 19 nearly all native cultivars*. Atti IV International Symposium on viticultural zoning”. Atti IV International Symposium on viticultural zoning. Avignon (Fr) 17–20 june 2002, 793–79

Shary, P. A., Sharaya, L. S., Mitusov A.V. (2002), *Fundamental quantitative methods of land surface analysis*, Geoderma, pp. 1–43

Schmidt, J., Dikau, R. (1999), *Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models - Semantics, methods, future needs*, In: GIS for Earth Surface Systems - Analysis and Modelling of the Natural Environment, Dikau, R., Saurer, H., ed., Schweizbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Smart R.E (1995), *Two golden rules of viticulture. Australian and New Zealand*, Wine Industry Journal 10, 38–39

Soldera G. (2011), *Il Chianti e le terre del vino*. La qualità del vino – Capitolo XXVIII. <http://news.soldera.it/editor/page.asp?i=273>

Southey J.M. (1992), *Root distribution of different grapevine rootstocks on a relatively saline soil*, South African Journal of Enology and Viticulture 13, 1–9.

Speight J. G. (1968), *Parametric description of land form*, In Land Evaluation, G. A. Steward, ed., Macmillan & Co., Melbourne, Australia.

Stoll M., Stuebinger M., Lafontaine M., Schultz H. (2008), *Radiative and thermal effects on fruit ripening induced by differences in soil colour*. Proceedings of the VIIth International Terroir Congress (ed. Murisier F), Nyon, Switzerland, 19–23 May, 52–57

Tarboton, D. G. (1997), *A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models*, Water Resources Research, pp. 309–319.

Taylor H.M., Gardner H.R. (1963), *Penetration of cotton seedling taproots and influenced by bulk density, moisture content and strength of soil*, Soil Science, 96, 153–166

Taylor H.M., Roberson G.M., Parker J.J. Jr (1966), *Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials*,

Soil Science 102, 18-22.

Tenenhaus, M. (1998), *La Regression PLS, Théorie et Pratique*. Editions Technip, Paris.

Thompson, J.C., Moore, R.D. (1996), *Relations between topography and water table depth in a shallow forest soil*, Hydrological Processes, 10, 1513 - 1525.

Tobler, W. R. (1976), *Analytical cartography*, The American Cartographer, pp. 21-31.

Tobler, W. R. (2000), *The development of analytical cartography - A personal note*, Special Content Issue on The Nature of Analytical Cartography, Cartography and Geographic Information Science, pp. 189-194.

Tomasi D., Gaiotti., Jones G. V. (2013), *The Power of the Terroir: the Case Study of Prosecco Wine*. Springer, Basel

USDA-NRCS Soil Survey Staff – United States Department of Agriculture (1999), *Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, 2nd ed., Agriculture Handbook n. 436, U.S.D.A., Natural Resources Conservation Service, NY, 870 pp.

USDA-NRCS Soil Survey Staff, United States Department of Agriculture (2010), *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed., U.S.D.A., Natural Resources Conservation Service, NY, 338 pp.

VAN HUYSTEEN, L. (1988), *Soil preparation and grapevine root distribution - A qualitative and quantitative assessment*. In: Van Zyl. I.L.(Ed.). The grapevine root and its environment. Technical communications No. 215. Dept. Agric. & Water Supply, Pretoria, South Africa. pp. 1-15.

van Huyssteen L., Weber H.W. (1980), *The effect of selected minimum and conventional tillage practices in vineyard cultivation on vine performance*. South African Journal of Enology and Viticulture 1, 77-83.

van Leeuwen C., Seguin G. (2006), *The concept of terroir in viticulture*. J. Wine Res., 17, 1-10

van Leeuwen, C. (2010), *Terroir: the effect of the physical environment on vine growth*, In Andrew G. Reynolds Ed., "Managing wine quality. Vol. 1: Viticulture and wine quality. CRC Press, pp 273-307.

Van Rooyen F.C., Weber H.W., Levin I. (1980), *The response of grapes to a manipulation of*

soil-plant-atmosphere continuum. Agrochimica, 12, 59-68

Van Zyl J.L. (1988), *Response of grapevine roots to soil water regimes and irrigation systems*. In: 'The grapevine root and its environment' Ed. J.L. Van Zyl (Technical communication No. 215, Dept. Agric. Wat. Supply, Pretoria) pp. 30-43.

Webster R. (2004), *Spatial variation, soil properties*. In "Encyclopedia of Soils in the Environment", D. Hillel (ed.), Vol 4, 1-13

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978), *Predicting rainfall erosion losses – a guide for conservation planning*, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 537.

Wilson, J. P, Gallant, J. C., (eds.) (2000), *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, New York

White, R.E. (2003), *Soil for fine wines*; Oxford University Press: New York.

Zakharov S. A. (1913), *On characteristics of soils in mountain regions*, Izvestiya Konstantinovskogo Mezhevogo Instituta, 4, 1 – 93

Zakharov S. A. (1940), *Importance of slope aspect and gradient for soil and vegetation distribution in the Great Caucasus*, Journal Botanique de l'URSS, 25, 378 - 405