

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. Territorio E Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali

**Analisi della USLE in contesto agricolo
collinare su base LiDAR**

Relatore:

Prof. Paolo Tarolli

Laureanda:

Ylenia Gelmini

Matricola n.

1033303

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

1 Sommario

RIASSUNTO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUZIONE	9
1.1 <i>Il problema dell'erosione del suolo nei vigneti</i>	11
1.2 <i>Impiego di tecnologie ad alta risoluzione per lo studio dell'erosione del suolo</i>	13
1.3 <i>Obiettivi dello studio</i>	15
2 AREA DI STUDIO	17
2.1 <i>I Colli Euganei</i>	17
2.2 <i>Il Consorzio di Tutela del Prosecco (DOCG)</i>	22
2.2.1 <i>Bacino (a)</i>	27
2.2.2 <i>Bacino (b)</i>	29
3 MATERIALI E METODI	31
3.1 <i>Modello USLE (Universal Soil Loss Equation)</i>	33
3.1.1 <i>Fattore R – Erosività delle piogge</i>	33
3.1.2 <i>Fattore K – Erodibilità del suolo</i>	36
3.1.3 <i>Fattore L – Lunghezza del versante</i>	39
3.1.4 <i>Fattore S – Pendenza del versante</i>	41
3.1.5 <i>Fattore C – Copertura e uso del suolo</i>	42
4 RISULTATI E DISCUSSIONE	45
4.1 <i>Colli Euganei</i>	45
4.2 <i>Consorzio di Tutela del Prosecco (DOCG)</i>	48
4.2.1 <i>Bacini (a) e (b)</i>	51
4.2.2 <i>Caso studio dell'evento di Refrontolo</i>	57
5 CONCLUSIONI	61
6 BIBLIOGRAFIA	65
7 RINGRAZIAMENTI	73

Indice delle figure

Figura 1.2.1: Differenze tra DTM e DSM (modified by Tarolli, 2008).....	14
Figura 2.1.1: Litologia dei Colli Euganei. Si nota come, a differenza della zona circostante, i Colli Euganei siano costituiti da rocce prevalentemente magmatiche, a testimonianza della loro origine vulcanica. Fonte: Regione Veneto (idt.regione.veneto.it).....	18
Figura 2.1.2: Precipitazioni medie mensili nel territorio dei Colli Euganei. Il regime pluviometrico è equinoziale con due picchi nei mesi di Aprile-Maggio e Novembre. La precipitazione totale annua è in media 800 mm.....	19
Figura 2.1.3: DEM dell'area dei Colli Euganei a risoluzione di 5 m.....	20
Figura 2.1.4: Mappa della pendenza dell'area dei Colli Euganei ricavata da DEM originato da cartografia tradizionale.....	21
Figura 2.1.5: Mappa dell'uso del suolo dell'area dei Colli Euganei secondo il I livello della Corine Land Cover (2006).....	21
Figura 2.2.1: Litologia dell'area del Consorzio di Tutela del Conegliano Valdobbiadene. Primeggiano rocce di tipo sedimentario (conglomerati, arenarie, siltiti e marne) risalenti al Miocene. Fonte: Regione Veneto (idt.regione.veneto.it).....	23
Figura 2.2.2: Vigneti sulle colline trevigiane. Si può notare come la pendenza sia rilevante. Foto di Prosdocimi M.....	24
Figura 2.2.3: Precipitazioni medie mensili nel territorio trevigiano. Il regime pluviometrico è equinoziale con due picchi nei mesi di Maggio e Novembre. La precipitazione totale annua è in media 1250 mm.....	25
Figura 2.2.4: DEM da CTR con risoluzione 5 m per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG.....	25
Figura 2.2.5: Mappa della pendenza per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG ricavata da DEM originato da cartografia tradizionale.....	26
Figura 2.2.6: Mappa dell'uso del suolo per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG secondo il I livello della Corine Land Cover (2006).....	26
Figura 2.2.7: Ortofoto del bacino a (a) e DTM con reticolo idrografico (b).....	27
Figura 2.2.8: Parametri morfometrici del bacino: pendenze (a) ed esposizioni (b).....	28
Figura 2.2.9: Diagramma dell'uso del suolo relativo al bacino (a). Le classi di uso del suolo corrispondono al II livello della Corine Land Cover 2006.....	28
Figura 2.2.10: Ortofoto del bacino b (a) e DTM con reticolo idrografico (b).....	29
Figura 2.2.11: Parametri morfometrici del bacino: pendenze (a) ed esposizioni (b).....	30
Figura 2.2.12: Diagramma dell'uso del suolo relativo al bacino (b). Le classi di uso del suolo corrispondono al II livello della Corine Land Cover 2006.....	30
Figura 3.1.1: Localizzazione delle stazioni pluviometriche prese in considerazione per l'area dei Colli Euganei (a) e del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG (b).....	34
Figura 3.1.2: Mappa del fattore R ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG. ..	36
Figura 3.1.3: Nomogramma per la determinazione del fattore K in funzione delle caratteristiche del suolo (Wischmeier and Smith, 1978). Esempio: 27.2% di argilla, 65% di limo e sabbia fine, 5% di sabbia e 2.8% di sostanza organica. Si parte dal 65 % di limo e sabbia fine, si prosegue con il 5% di sabbia, 2.8% di sostanza organica, struttura granulare fine (2) e permeabilità da bassa a moderata (4). Il risultato, in unità anglosassoni, è $k=0.31$ ovvero $k=0.041$ in unità metriche.....	37
Figura 3.1.4: Mappa del fattore K ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG. ..	38
Figura 3.1.5: Identificazione della specific catchment area. (ARPAV, 2008).....	40
Figura 3.1.6: Mappa del fattore L ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG....	41

Figura 3.1.7: Mappa del fattore S ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG....	41
Figura 3.1.8: Mappa del fattore C ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG. ..	42
<i>Figura 4.1.1: Mappa dell'erosione attuale calcolata applicando il modello USLE per l'area dei Colli Euganei.....</i>	<i>46</i>
Figura 4.2.1: Mappa dell'erosione attuale calcolata, impiegando DEM da CTR, applicando il modello USLE per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG.....	48
Figura 4.2.2: Zona di dettaglio che mette in evidenza gli errori del DEM derivato da CTR della Regione Veneto: (a) hillshade, (b) mappa di erosione attuale.....	49
Figura 4.2.3: Zona di dettaglio denominata "anfiteatro" localizzata all'interno del bacino a. La figura (a) mostra l'hillshade ottenuta da DTM con risoluzione 3 m e le curve di livello (5 m), mentre la figura b riporta l'ortofoto.	53
Figura 4.2.4: Zona di dettaglio localizzata all'interno del bacino b. La figura (a) mostra l'hillshade ottenuta da DTM con risoluzione 3 m e le curve di livello (5 m), mentre la figura b riporta l'ortofoto.	53
Figura 4.2.5: Mappe di erosione calcolate per la prima zona di dettaglio (bacino a) alle cinque diverse risoluzioni: 1 (a), 3 (b), 5 (c), 10 (d) e 30 m (e). Ogni mappa riporta anche le curve di livello (5 m). .	54
Figura 4.2.6: Mappe di erosione calcolate per la seconda zona di dettaglio (bacino b) alle cinque diverse risoluzioni: 1 (a), 3 (b), 5 (c), 10 (d) e 30 m (e). Ogni mappa riporta anche le curve di livello (5 m).	55
Figura 4.2.7: Dettaglio della zona "anfiteatro": (a) mappa dell'erosione derivata da LiDAR, (b) mappa dell'erosione derivata da CTR.	56
Figura 4.2.8 Precipitazioni cumulate del mese di Luglio registrate negli ultimi 20 anni (1994 - 2014) per il territorio della Regione Veneto. Fonte: ARPAV.	57
Figura 4.2.9 Esempi di alcune frane superficiali innescate a seguito dei forti eventi temporaleschi dei primi giorni di agosto 2014. Le frane sono localizzate esattamente al di sopra della strada principale. Foto di Tarolli P.	58
Figura 4.2.10 Esempio di frana di tipo superficiale situata all'interno del bacino (b) innescata a seguito dei forti eventi temporaleschi dei primi giorni di agosto 2014. La frana si è originata in una porzione di vigneto soprastante la strada principale. Foto di Tarolli P.	58
Figura 4.2.11: Frane mappate in campo a seguito del tragico evento alluvionale del 2 agosto 2014. In figura sono mostrate anche le mappe di erosione calcolate per entrambi i bacini con risoluzione 3m.	59

Indice delle tabelle

Tabella 2.2.1: Tabella riassuntiva dei parametri morfometrici relativi al bacino (a).	27
Tabella 2.2.2: Tabella riassuntiva dei parametri morfometrici relativi al bacino (b).	29
Tabella 3.1.1: Elenco delle stazioni pluviometriche di cui sono stati analizzati i dati. A sinistra sono elencate quelle situate nell'area dei Colli Euganei, mentre a destra quelle collocate nel territorio trevigiano, presso il Consorzio del Prosecco.	34
Tabella 3.1.2: Risultati relativi al calcolo dell'indice R ottenuti tramite l'utilizzo della formula di Arnoldus (1980). Il fattore R, specifico di ogni stazione, è stato ottenuto facendo una media dei vari R annuali.	35
Tabella 3.1.3: Correlazione tra classi del Corine Land Cover 2006 e fattore C per le aree di studio. ..	43
Tabella 4.1.1: Dati statistici relativi all'erosione calcolata per l'area dei Colli Euganei.	46
Tabella 4.1.2: Valori medi di erosione per ogni classe d'uso del suolo sulla base del II livello della Corine Land Cover (2006)	47
Tabella 4.2.1: Dati statistici relativi all'erosione calcolata per l'area del Consorzio del Prosecco.	48
Tabella 4.2.2: Valori medi di erosione per ogni classe d'uso del suolo sulla base del II livello della Corine Land Cover (2006). Si noti che il valore maggiore è dato dalle colture permanenti, che in questo territorio sono costituite per la maggior parte da vigneti.	50
Tabella 4.2.3: Tabella riassuntiva del tasso di erosione (t/ha/anno) per ogni risoluzione: 1, 3, 5, 10 e 30m e per ciascun bacino. Per la risoluzione 5m, si riporta il confronto coi valori ottenuti dalla mappa USLE di origine CTR.	51
Tabella 4.2.4: Valori di erosione medi (t/ha/anno) per ogni classe di uso del suolo per le cinque diverse risoluzioni LiDAR per entrambi i bacini. I valori tendono a rimanere costanti al variare della risoluzione. Sono stati inoltre aggiunti i valori ricavati da CTR al fine di una valutazione comparativa.	52

RIASSUNTO

La moderna intensificazione e la meccanizzazione dell'agricoltura hanno modificato radicalmente gli aspetti economici della produzione agricola, conducendo alla massimizzazione della produzione a discapito della stabilità a lungo termine dei terreni. Una delle principali cause che favoriscono l'erosione è la compattazione del suolo causata dal passaggio dei macchinari agricoli che favoriscono il deflusso superficiale. Per questo motivo l'acqua è considerata la causa principale dell'erosione. Le zone a più alto rischio sono, i terreni coltivati in aree collinari e di montagna dove la compattazione del suolo causata dalle macchine agrarie, in concomitanza con eventi meteorologici imponenti, incrementa il deflusso superficiale, favorendo l'erosione e talvolta causando eventi catastrofici quali frane e smottamenti.

La tesi si propone di analizzare l'erosione del suolo di aree agricole collinari tramite l'uso di modelli digitali del terreno (DTM) ad alta risoluzione. L'obiettivo è quello di confrontare DEM (Digital Elevation Model) originati da cartografia tradizionale e DTM derivati da scansione laser aerea (LiDAR). L'analisi è stata effettuata su larga scala tramite il confronto tra due macro aree: i Colli Euganei in provincia di Padova e il Consorzio di Tutela del Prosecco (DOCG) in provincia di Treviso. E' stato inoltre fatto un confronto tra DTM LiDAR con risoluzioni di 1, 3, 5, 10 e 30 m su piccola scala. Le sottozone individuate a tale scopo corrispondono a due bacini idrografici all'interno dell'area del Consorzio del Prosecco.

Per queste analisi è stato applicato il modello USLE (*Universal Soil Loss Equation*) elaborato dall'USDA (Wischmeier and Smith, 1965, 1978). Tale modello tiene in considerazione i fattori principalmente influenzanti l'erosione, ossia l'aggressività delle precipitazioni, la topografia e l'erodibilità e l'uso del suolo. E' stato preso come riferimento il lavoro svolto recentemente dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) "Valutazione del rischio d'erosione per la regione Veneto" (2008).

I calcoli sono stati digitalizzati e georeferenziati tramite l'uso di un software GIS (Sistema Informativo Geografico). Il modello digitale del terreno può essere considerato come l'informazione di base da utilizzare in ambito GIS per le analisi finalizzate alla comprensione e allo studio dei processi geomorfologici, specialmente in ambiente collinare dove la topografia assume un ruolo sostanziale per l'innescio di eventi franosi. I DEM generati da cartografia tradizionale riguardano entrambe le macro aree, mentre i DTM derivati da LiDAR coprono l'area più ristretta dei due bacini idrografici all'interno del Consorzio del Prosecco.

ABSTRACT

USLE analysis in agricultural hilly landscape using LiDAR

The modern intensification and mechanization of agriculture have radically changed the economics of agricultural production, leading to the maximization of production to the expense of long-term stability of the land. One of the main reasons that promote erosion is soil compaction caused by the passage of farm machinery that favor runoff. For this reason, water is considered the main cause of the erosion. The cultivated land in hilly and mountainous areas have the highest risk because of the soil compaction caused by agricultural machines, in conjunction with massive weather events, increases surface runoff, promoting erosion and sometimes causing catastrophic events such as landslides and slope collapse.

The aims of the thesis is the soil erosion analysis in hilly agricultural areas using high-resolution topography (DTM). The objective is to compare DEM (Digital Elevation Model) originated from traditional cartography and DTM derived from aerial laser scanning (LiDAR). The analysis was carried out by comparing two main areas on a large scale: the Euganean Hills in the province of Padua and the Consortium for the protection of Prosecco (DOCG) in the province of Treviso. Moreover, a comparison it was made between DTM LiDAR with resolutions of 1, 3, 5, 10 and 30 m on a small scale. For this reason two sub-areas was identified corresponding to two river basins within the area of the Consortium of Prosecco.

The USLE model (Universal Soil Loss Equation) was applied in this analysis. The USDA (Wischmeier and Smith 1965, 1978) developed it. This model takes into account the main factors which influence erosion, that is the aggressiveness of precipitation, topography and erodibility and land use. The work done recently by ARPAV "Assessment of erosion risk for the Veneto region" (2008) was taken as reference.

The calculations have been digitized and geo-referenced using a GIS software (Geographic Information System). The digital terrain model can be considered as the basic information for use in GIS in order to analyze, understand and study the geomorphological processes, especially in hilly environment where topography plays a substantial role for triggering landslides. The DEM generated from traditional cartography cover both macro areas, while the DTM derived from LiDAR cover the more restricted area of the two basins within the Consortium of Prosecco.

1 INTRODUZIONE

L'erosione è un normale fenomeno naturale da sempre presente sul nostro pianeta (Kirkby e Morgan, 1980). Esso è responsabile della rimozione di materiale dai terreni acclivi causando il continuo rimodellamento della superficie terrestre. Si configura come un fenomeno esogeno che plasma i rilievi attraverso l'azione di agenti erosivi quali il vento, il ghiaccio e l'acqua. In condizioni di equilibrio tra velocità di formazione dei suoli per attività pedogenetica e la rimozione e il trasporto di questi, tale processo è naturale e determina l'evoluzione del paesaggio, ma fattori antropici come le lavorazioni agricole non conservative possono spezzare questo equilibrio e portare all'instabilità dei terreni.

La moderna intensificazione e la meccanizzazione dell'agricoltura hanno inciso significativamente sugli aspetti economici della produzione rurale, che ha portato alla massimizzazione della produzione a discapito della stabilità a lungo termine dei terreni (Boels et al., 1982). Una delle principali cause che favoriscono l'erosione è la compattazione del suolo (Woodward, 1996) causata dal passaggio dei macchinari agricoli che favoriscono il deflusso superficiale. Per questo motivo l'acqua è considerata la causa principale dell'erosione (Lal, 1994). Anche la tendenza alla monocoltura porta all'impoverimento del suolo e all'alterazione della struttura (Ketcheson, 1980) e, di conseguenza, favorisce il processo erosivo. A questo si aggiungono le caratteristiche morfologiche dei terreni: eventi di erosione più intensi si verificano dove sono presenti forti pendenze, mentre a valle sono molto meno accentuati. Le zone a più alto rischio sono, quindi, i terreni coltivati in aree collinari e di montagna dove la compattazione del suolo causata dalle macchine agricole, in concomitanza con eventi meteorologici imponenti, incrementa il deflusso superficiale, favorendo l'erosione e talvolta causando eventi catastrofici quali frane e smottamenti. Le misure di tipo conservativo diventano, quindi, di grande importanza specialmente nelle zone ad alto rischio di erosione a causa della combinazione di fattori antropici e naturali (Kosmas et al., 1997; Dahlgren et al., 2001; Blavet et al., 2009).

Si stima che ogni anno, in tutto il mondo, circa dieci milioni di ettari di terre coltivate vengano perse a causa dell'erosione (Loftas, 1995) con conseguenti elevati costi economici (Pimentel et al., 1995). Per questo motivo in questi ultimi decenni numerosi studiosi in tutto il mondo hanno portato avanti ricerche riguardo l'erosione provocata dalle lavorazioni agrarie (Lindstrom et al., 1992; Lobb et al., 1995; Govers et al., 1996; Li et al., 2009) tra cui anche in ambiente mediterraneo acclive (Porqueddu & Roggero, 1994). Particolare attenzione deve

essere data ai vigneti che, tra tutte le coltivazioni nella zona mediterranea, risultano essere quella che causa la maggior perdita di suolo per erosione idrica (Tropeano, 1983; Cerdan et al., 2002).

Numerosi studi effettuati negli ultimi decenni hanno portato alla creazione di diversi modelli per la quantificazione della perdita di suolo. Poiché i processi di erosione e trasporto del suolo dipendono dalle relazioni che esistono tra la capacità di erodere i sedimenti e la capacità di trasportarli, una prima classificazione dei modelli può essere basata su questi due processi. A tal riguardo, vi sono:

1. Modelli a distacco limitato. Sono più efficaci quando si devono valutare gli effetti di forti piogge e tipicamente possiedono un'elevata capacità di trasporto (USLE, RUSLE);
2. Modelli a capacità di trasporto limitato. Sono invece utili per la simulazione di fenomeni erosivi a lungo termine e di fenomeni di deposizione (modello USPED);
3. Modelli generali. Simulano i processi di erosione e deposizione unendo entrambi i tipi di approcci precedenti (sia il distacco limitato che la capacità di trasporto limitato) (WEPP).

In questo studio è stato utilizzato il modello USLE (Universal Soil Loss Equation), uno dei modelli più impiegati a livello mondiale oggi per la stima dell'erosione del suolo. Fu elaborato da Walt Wischmeier e Dwight Smith dell'USDA (United States Department of Agriculture) e pubblicato nel 1965 (Wischmeier and Smith 1965, 1978). Questo prevede l'applicazione di un'equazione la quale tiene in considerazione i principali fattori che influenzano l'erosione del suolo, tra cui l'erosività delle piogge, l'erodibilità del suolo, la topografia e l'uso del suolo. Con l'avanzare della ricerca scientifica, questo modello è stato rivisto e modificato più volte. Nel 1978 l'USDA pubblicò la nuova versione, denominata RUSLE – Revised Universal Soil Equation (Renard et al., 1991, 1997). Le principali innovazioni presentate da tale versione sono:

- Computerizzazione degli algoritmi per facilitare i calcoli;
- Introduzione di sottofattori per il calcolo del fattore di copertura e uso del suolo (C);
- Nuovo algoritmo del fattore di lunghezza e pendenza del versante (LS) che riflette i rapporti tra erosione rill ed interrill.

Diversi studi riguardo i processi erosivi sono stati effettuati tramite l'impiego di questo modello (Bagarello & Ferro, 2004; Bagarello & Ferro, 2010; Ferro et al., 1999), tra cui anche per analisi di tipo predittivo di tali fenomeni (Bagarello et al., 2010).

L'applicazione di tale equazione è trattata più nel dettaglio al capitolo 3.1.

1.1 Il problema dell'erosione del suolo nei vigneti

La viticoltura, praticata sin dal Mesolitico (circa 9000 a.C.) (Eynard e Dalmaso, 1990), è oggi una tra le più importanti colture in termini di rendita e impiego: nel 2009, il mercato del vino e dell'uva ha mosso circa 300 miliardi di dollari, mettendo i prodotti vitivinicoli al primo posto del mercato agricolo (AA. VV., 2010; FAO, 2011).

Nonostante ciò, alcuni studi (Cerdan et al., 2002; García-Ruiz et al., 2010) riferiscono che essa è la coltivazione che causa la maggior perdita di suolo per erosione idrica. Un esempio è riportato da Tropeano (1983) che ha stimato perdite annue di suolo comprese tra 30 Mg ha⁻¹ e 47 Mg ha⁻¹ in alcuni vigneti collinari piemontesi.

Una delle forme più critiche di erosione è quella causata dall'acqua: in Europa, il 12% delle terre emerse risulta essere soggetto a questo tipo di processo (CEC, 2006a). Il deflusso delle acque meteoriche, o provenienti dalle irrigazioni, conduce ad una diminuzione in termini di fertilità causata dall'allontanamento dei nutrienti presenti nello strato superficiale del terreno (Barrows e Kilmer, 1963). Inoltre si va incontro a potenziali problemi di inquinamento determinati dai pesticidi organici e inorganici trasportati assieme al suolo (Komárek et al., 2010). Tutto ciò porta alla degradazione delle terre e comporta costi rilevanti (Martinez-Casasnovas e Ramos, 2006). Per questo motivo tale argomento è oggetto di diverse ricerche, specialmente nei Paesi in cui questa coltivazione è particolarmente diffusa, quali Francia (Augustinus & Nieuwenhuysen 1986; Brenot et al., 2008), Spagna (Ramos & Martinez-Casasnovas, 2007) e Italia (Tropeano, 1983).

I principali fattori che influenzano l'erosione sono il clima, la topografia (Desmet e Govers, 1995), la tessitura e l'uso del suolo (Morgan, 1995; Opsi et al., 2011). L'intensità e la quantità di precipitazione sono i principali parametri climatici da considerare. I recenti cambiamenti climatici stanno causando un aumento di tali parametri con una conseguente crescita nel tasso di erosione. Il rapporto tra l'incremento di erosione e quello delle precipitazioni annuali è di 1.7 (Nearing et al., 2004). La variabilità spaziale e stagionale delle precipitazioni segue uno

schema complesso, con delle fluttuazioni che variano da anno ad anno. Nelle regioni mediterranee, durante le stagioni autunnale e primaverile, sono frequenti eventi di precipitazione intensi (Llasat and Puigcerver, 1992, 1994; Ramos and Porta, 1994; Santos, 2000), e diversi ricercatori ne hanno evidenziato l'importanza per l'innescò di processi erosivi in aree caratterizzate da diverse categorie di uso del suolo (Poesen and Hooke, 1997). Tali eventi di precipitazione sono spesso le cause di innescò di alluvioni lampo (le cosiddette "flash floods"), ovvero di eventi estremi che costituiscono un serio pericolo per la sicurezza delle persone e la qualità della vita (Norbiato et al., 2008; Borga et al., 2011; Tarolli et al., 2012a).

Un altro elemento fondamentale da considerare è la topografia delle terre, in particolare la pendenza. Quest'ultima è infatti uno degli elementi del paesaggio più modificati dall'uomo a proprio vantaggio. Un esempio è dato dai terrazzamenti, soluzione adottata già in antichità per rendere coltivabili terreni scoscesi. I muri di trattenimento erano costruiti con pietre dai contadini e necessitavano di manutenzione periodica. Oggigiorno tali costruzioni sono spesso sostituite da materiali che richiedono meno attenzioni in termini di manutenzione, come il cemento. Il loro scopo, oltre a quello di facilitare l'agricoltura di collina e di montagna riducendo la pendenza, è quello di trattenere l'acqua e il suolo per mantenere la fertilità dei terreni, riducendo, così, anche l'erosione (Cots-Folch et al., 2006). Inoltre agevolava l'infiltrazione dell'acqua in aree poco permeabili (Van Wesemael et al., 1998; Yuan et al., 2003), favorendo in questo modo le colture anche da un punto di vista irriguo. Questa sistemazione permetteva un drenaggio corretto. I terrazzamenti presentano, però, anche degli aspetti negativi. Infatti, poiché l'area in prossimità del bordo del terrazzo è sottoposta a un ripido e brusco cambio in topografia, rappresenta un punto critico per la formazione di processi erosivi (rigagnoli e solchi) (Faulkner et al., 2003; Romero Diaz et al., 2010).

In seguito alla massiccia migrazione verso le città dovuta all'industrializzazione, molte zone rurali, specialmente quelle di montagna, furono abbandonate (Walther, 1986; Harden, 1996; Lasanta et al., 2011; Romero-Clacerrada and Perry, 2004). Inoltre l'introduzione delle macchine agricole ha comportato l'intensificazione e la meccanizzazione dell'agricoltura facilitando l'aratura dei terreni acclivi lungo la linea di massima pendenza e riducendo i costi del lavoro. Tutto ciò ha portato ad un graduale abbandono nella costruzione e nel mantenimento dei terrazzamenti, con conseguente perdita del corretto sistema di drenaggio consentito da tale struttura e con successivi potenziali pericoli di instabilità dei versanti (Tarolli et al., 2014a). Recentemente, in diverse zone italiane, al verificarsi di eventi

meteorologici di forte intensità, si sono osservate numerose frane su territori terrazzati che hanno causato danni alle comunità locali, come ad esempio nelle Cinque Terre nell'Ottobre del 2011 (Agnoletti et al., 2012). Accadimenti come questo evidenziano la necessità di approfondire la conoscenza dei processi idrogeologici che li innescano.

1.2 Impiego di tecnologie ad alta risoluzione per lo studio dell'erosione del suolo

Oggi il progresso della tecnologia permette di valutare in modo sempre più preciso il cambiamento della topografia. Un'ottima possibilità proviene dalla tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*), una tecnica di telerilevamento che sfrutta l'impulso laser per eseguire rilievi della superficie terrestre. Essa è basata sulla scansione del territorio sorvolato con telemetri laser, la cui posizione ed assetto sono determinati mediante misure differenziali GPS (*Global Position System*) e misure INS (*Inertial Navigation System*). Questo sistema è basato sul telerilevamento attivo, provvede cioè all'emissione di un fascio di onde elettromagnetiche (laser) che viene poi riflesso dalla superficie colpita e captato dallo strumento stesso (*backscattering*). La radiazione elettromagnetica emessa è un fascio luminoso molto concentrato con lunghezza d'onda che si colloca nell'intervallo dell'infrarosso vicino (0.8-1.6 μm) con alcune eccezioni nel visibile (0.52 μm) (Gomasca, 2004; Lo Brutto, 2005). L'impronta a terra dei raggi laser (*footprint*) ha una dimensione compresa in un diametro tra 20 cm ad alcuni metri. Si distinguono, perciò, sensori con small footprint (0.2-2 m) o large footprint (> 2 m). La velocità di scansione è variabile tra 50 e 100 impulsi al secondo. Alcuni sensori ALS (*Airborne Laser Scanner*) recenti possono registrare le riflessioni non attraverso un numero di impulsi discreti, ma in continuo, dando origine a modelli della forma degli oggetti colpiti cosiddetti full-waveform (Pirotti, 2012).

A seconda del tipo di rilievo da eseguire, questi dispositivi di telerilevamento possono essere installati a terra (TLS – *Terrestrial Laser Scanner*) oppure montati su mezzi aviotrasportati, quali aerei, elicotteri o satelliti (ALS). I due sistemi applicano lo stesso principio teorico, ma le loro caratteristiche tecniche, le procedure di acquisizione, gli obiettivi delle scansioni e gli approcci per la post-elaborazione dei dati acquisiti sono differenti. Il sistema LiDAR consente di ottenere una nuvola di punti georeferenziata x, y e z, con la quale è possibile ottenere la rappresentazione del Modello Digitale del Terreno (DTM) o delle Superfici (DSM).

Il DTM è l'elemento di base per la rappresentazione numerica della morfologia del terreno, e mediante queste rappresentazioni si riescono ad interpretare e analizzare processi che

controllano l'evoluzione morfologica del territorio. I DTM sono costituiti da matrici georeferenziate di valori d'elevazione del terreno: i dati in esse contenuti possono essere organizzati in griglie regolari generalmente a maglia quadrata (DTM in formato "raster") o in reti di triangoli irregolari i cui vertici appoggiano sui punti di rilievo (TIN: "Triangular Irregular Networks"). Il DTM consente il calcolo di una serie di parametri, come la pendenza, l'esposizione, la curvatura, e di una serie di indici topografici. I DTM si differenziano dai



Figura 1.2.1: Differenze tra DTM e DSM (modified by Tarolli, 2008).

DSM per il fatto che rappresentano solo le superfici prive di elementi vegetativi o infrastrutturali. In figura 1.2.1 è riportato un esempio della differenza tra un DTM ed un DSM.

Recentemente la letteratura ha proposto lavori relativi all'utilizzo della tecnologia LiDAR come supporto allo studio di vigneti terrazzati (Bailly et al., 2008; Preti et al., 2013; Tarolli 2014; Tarolli et al., 2014b). Questa tecnologia è inoltre ampiamente implicata nello studio dei processi geomorfologici (Chan et al., 2007; Tarolli et al., 2012b; Tarolli 2014) e per applicazioni in altri ambiti come quello forestale (Akay et al., 2009; Floris and Clementel, 2011). I dati LiDAR utilizzati in questo studio sono originati da scansione laser aerea e sono stati forniti dalla Provincia di Treviso per motivi di studio e ricerca. Il volo è stato realizzato nel 2009 dall'OGS di Trieste (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica).

1.3 Obiettivi dello studio

Questo studio focalizza l'attenzione su due aree critiche da un punto di vista dell'erosione del suolo: l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco di Conegliano Valdobbiadene in provincia di Treviso e l'area dei Colli Euganei in provincia di Padova. Al fine di quantificare l'erosione, è stato applicato il modello USLE ad entrambe le macro aree sopra citate. Gli obiettivi sono dapprima quello di applicare il modello USLE a larga scala sfruttando, come base topografica, il DEM ricavato da CTR con risoluzione 5 m. Dopodiché, a piccola scala, ovvero a livello di due bacini individuati all'interno del Consorzio del Prosecco, l'obiettivo è quello di applicare il modello USLE utilizzando questa volta come base topografica il DTM di origine LiDAR con risoluzione 1 m. A questo punto, si vuole valutare l'effetto del cambio di risoluzione del DTM sul calcolo dell'USLE, utilizzando anche le risoluzioni di 3, 5, 10 e 30 m.

2 AREA DI STUDIO

La aree analizzate in questo studio sono due:

1. I Colli Euganei (PD);
2. Il Consorzio di Tutela del Prosecco Conegliano Valdobbiadene (DOCG) (TV).

Per un approfondimento delle tematiche trattate, sono state inoltre scelte due sotto-aree, all'interno del territorio del consorzio del Prosecco, corrispondenti a due bacini idrografici, i quali sono stati denominati bacino (a) e bacino (b).

2.1 *I Colli Euganei*

I Colli Euganei sono rilievi di origine vulcanica situati nella Pianura Padana veneta, nella parte Sud-Occidentale della provincia di Padova. Sono rilievi di modesta altitudine, il cui picco più alto raggiunge i 603 m s.l.m. (M. Venda). Il territorio occupa una superficie di circa 200 Km² ed è compreso all'interno di 30 comuni situati tra la provincia di Padova e quella di Vicenza. Nelle vicinanze scorrono due grandi fiumi: il Brenta a Nord-Est e l'Adige a Sud-Ovest.

Le rocce presenti in questo territorio sono principalmente di origine vulcanica ma le più antiche sono di origine sedimentaria (Aurighi e Vitadello, 1999). Queste ultime, infatti, sono state modificate, fratturate e/o dislocate dagli eventi vulcanici che hanno dato origine alle rocce magmatiche. Sono stati individuati due cicli vulcanici. Il primo è stato caratterizzato da vulcanesimo sia esplosivo che eruttivo ed è avvenuto in ambiente sottomarino. Le rocce che lo testimoniano sono di tipo basaltico: colate sottomarine di lave basaltiche, tufi, ceneri, lapilli e frammenti grossolani che formano le brecce vulcaniche. A queste si aggiungono marne che contengono resti fossili di faune marine di mare piuttosto profondo. L'età di queste rocce è di circa 40-50 milioni di anni (Eocene superiore - Oligocene inferiore). Le rocce originatesi in questo ciclo vulcanico sono difficili da ritrovare poiché sono facilmente alterabili dagli agenti atmosferici e danno luogo a strati di terreno scuro e fertile.

Dopo un periodo di relativa quiete, circa 30-35 milioni di anni fa, inizia un secondo ciclo vulcanico. I magmi fuoriusciti in questo periodo sono più viscosi, indici di temperatura più bassa e composizione mineralogica più acida (ricca in silice). Le rocce rappresentative sono:

rioliti, trachiti e latiti. Questi magmi danno luogo a tipici corpi vulcanici (cupole di ristagno, dicchi, laccoliti) che si introducono nelle fratture delle rocce sedimentarie o tra le colate basaltiche precedenti. L'ambiente di formazione è ancora in prevalenza sottomarino, anche se di mare meno profondo. I corpi vulcanici originati in questo secondo ciclo sono riscontrabili in campo perché costituiti da rocce più resistenti agli agenti atmosferici (Figura 2.1.1).

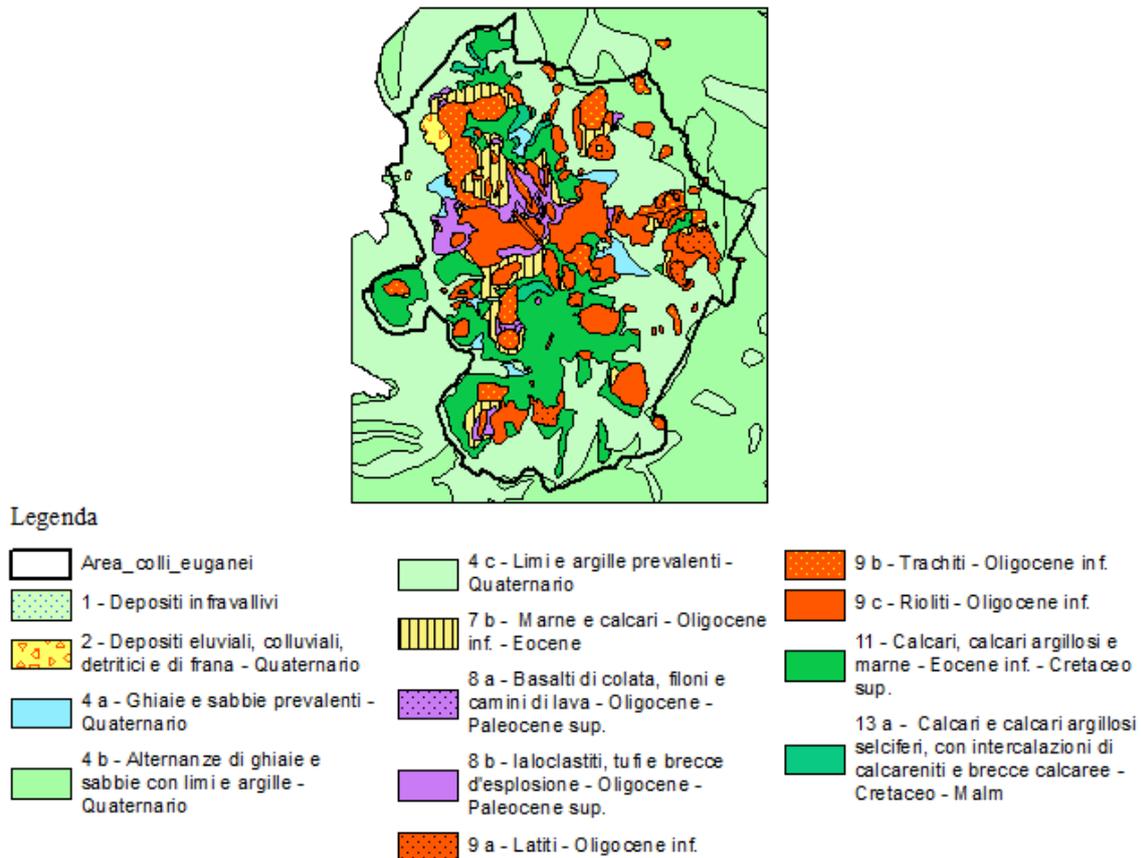


Figura 2.1.1: Litologia dei Colli Euganei. Si nota come, a differenza della zona circostante, i Colli Euganei siano costituiti da rocce prevalentemente magmatiche, a testimonianza della loro origine vulcanica. Fonte: Regione Veneto (idt.regione.veneto.it).

Dal punto di vista morfologico il territorio si può suddividere in due aree con caratteristiche differenti in relazione alla natura litologica delle rocce presenti: un'area collinare caratterizzata dalle quote più elevate, costituita da corpi vulcanici principalmente conici aventi pendii ripidi, ed un'altra pedecollinare con quote meno elevate costituita da rocce sedimentarie marine e caratterizzata da morfologia ondulata. Agenti endogeni ed esogeni (a cui si aggiunge l'azione dell'uomo) nel tempo hanno modellato questo territorio creando il paesaggio visibile oggi.

Il clima è temperato e risente dell'influsso del vicino mare Adriatico che ne mitiga le temperature invernali mentre le estati sono calde e asciutte. Nelle giornate limpide e nelle

prime ore del mattino è frequente il fenomeno dell'inversione termica, per cui le zone collinari godono di una temperatura superiore rispetto alla pianura. La piovosità media annuale oscilla tra i 700 e i 900 mm con due punte massime in primavera e autunno (regime equinoziale). In figura 2.1.2 è riportato il grafico delle precipitazioni creato sulla base dei dati delle stazioni pluviometriche forniti dall'ARPAV. Tali dati coprono l'arco temporale tra il 1994 e il 2013.

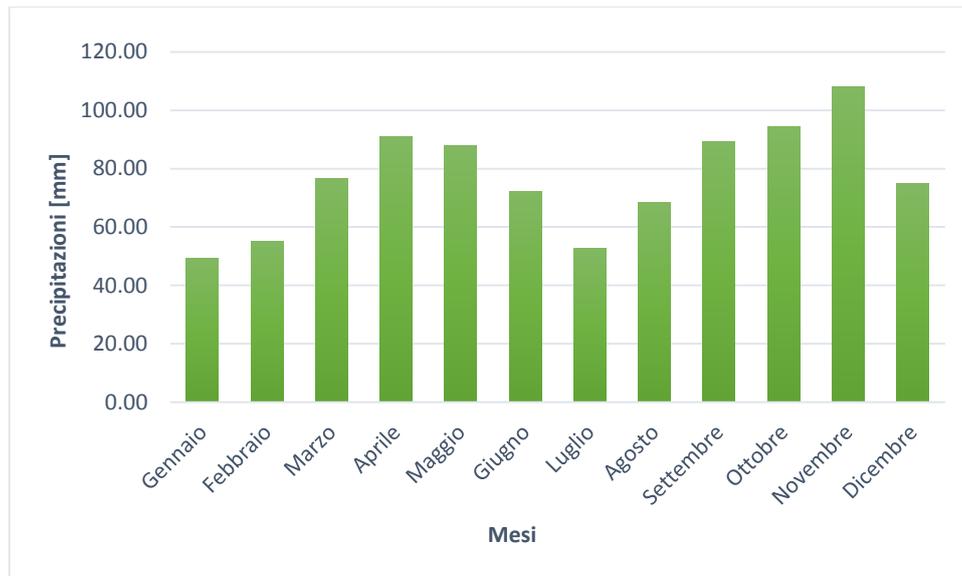


Figura 2.1.2: Precipitazioni medie mensili nel territorio dei Colli Euganei. Il regime pluviometrico è equinoziale con due picchi nei mesi di Aprile-Maggio e Novembre. La precipitazione totale annuale è in media 800 mm.

Di seguito viene riportato il DEM originato da cartografia tradizionale con risoluzione 5m sovrapposto al relativo "hillshade", modello che permette di visualizzare una superficie in modo tridimensionale (figura 2.1.3).

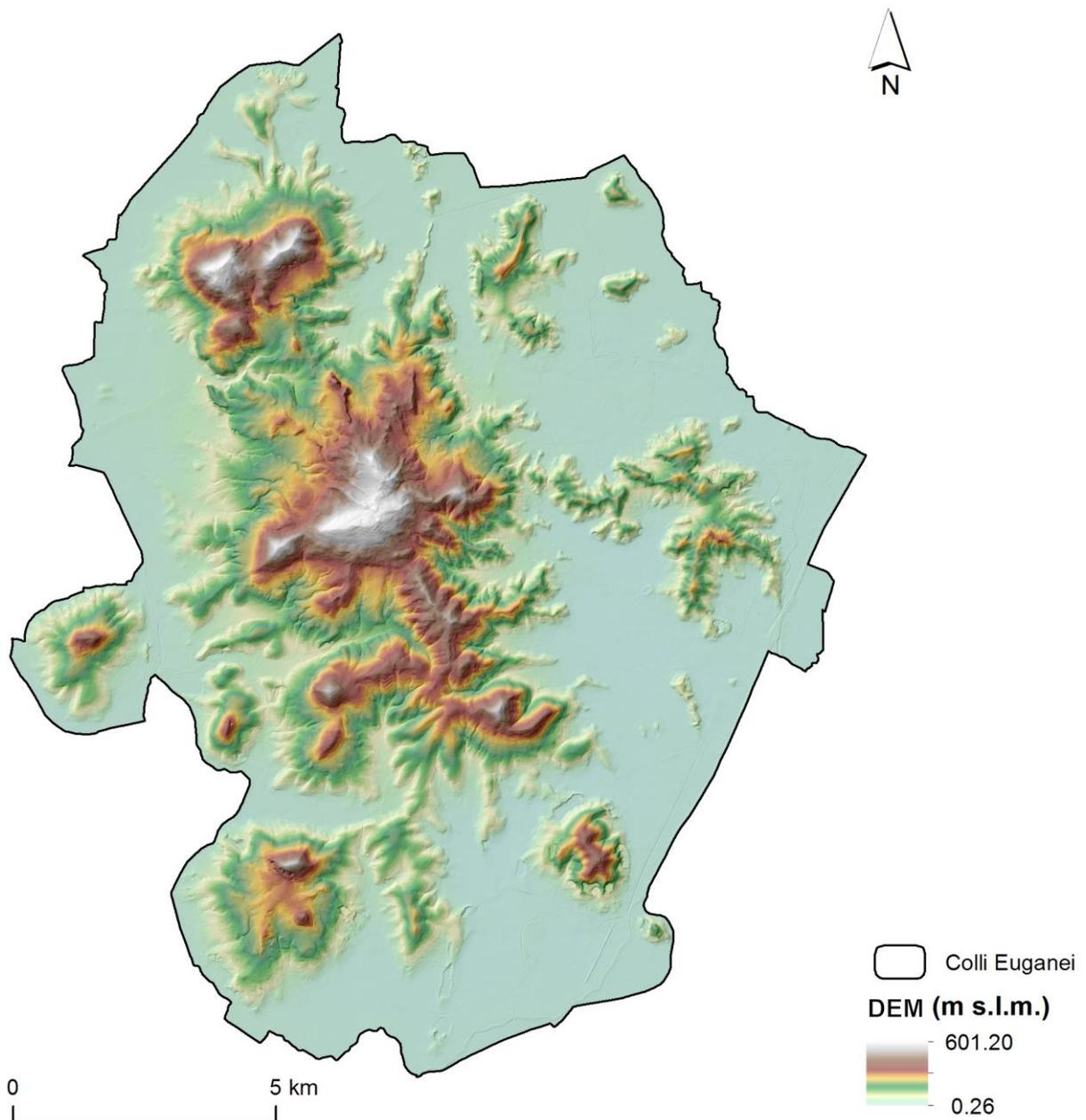


Figura 2.1.3: DEM dell'area dei Colli Euganei a risoluzione di 5 m.

A scopo illustrativo vengono di seguito proposte le mappe relative alle pendenze (figura 2.1.4) e all'uso del suolo (figura 2.1.5).

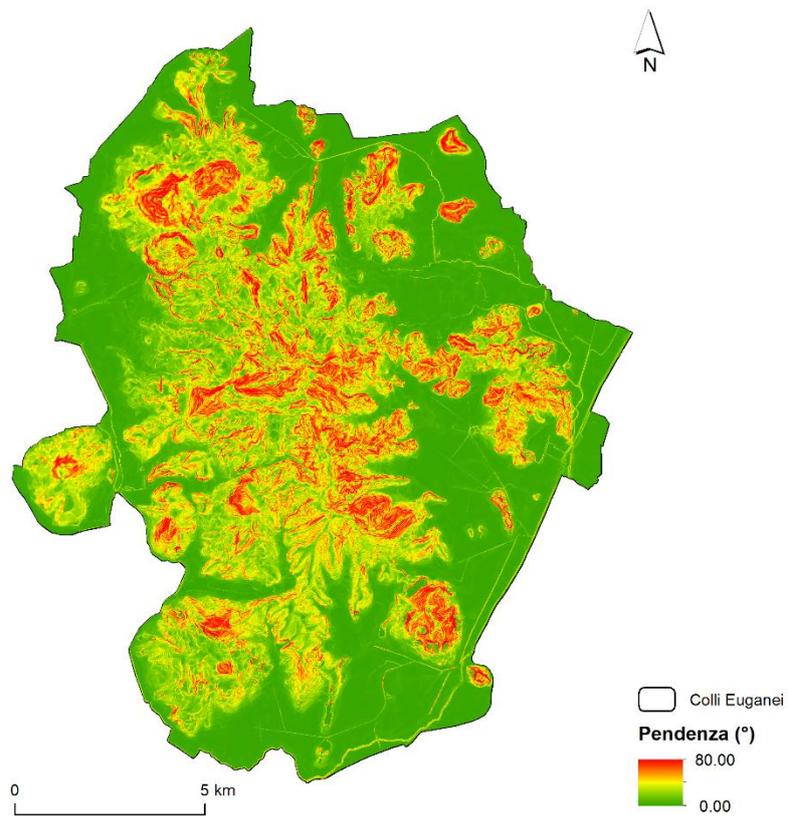


Figura 2.1.4: Mappa della pendenza dell'area dei Colli Euganei ricavata da DEM originato da cartografia tradizionale.

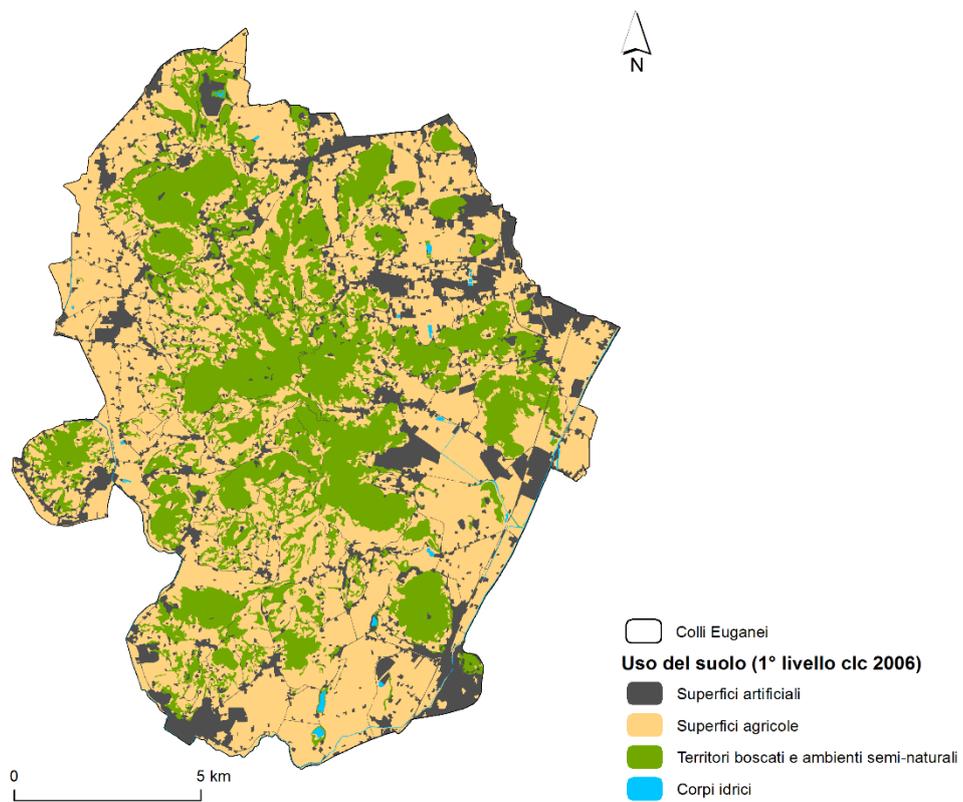


Figura 2.1.5: Mappa dell'uso del suolo dell'area dei Colli Euganei secondo il I livello della Corine Land Cover (2006)

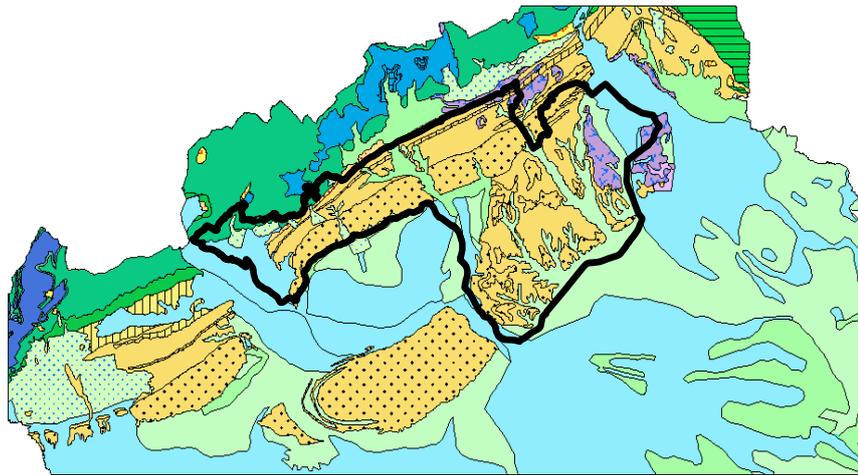
2.2 *Il Consorzio di Tutela del Prosecco (DOCG)*

L'area di studio si trova in Veneto, nella fascia delle Prealpi trevigiane, ed è compresa tra i comuni di Conegliano e Valdobbiadene ad una distanza di circa 50 km dalla laguna di Venezia e a 30 km dalle Alpi. L'area tutelata dal Consorzio del Prosecco copre una superficie di circa 215 km².

Si tratta di una zona collinare ai piedi delle Alpi, costituita da una serie di rilievi disposti in direzione Est-Ovest nella parte settentrionale e Nord-Sud nella parte più meridionale. Le quote raggiunte non superano i 500 m sul livello del mare.

Dal punto di vista geomorfologico la fascia collinare che collega Valdobbiadene a Vittorio Veneto si sviluppa lungo una struttura monoclinale. Essa separa in modo caratteristico la dorsale asimmetrica delle Prealpi, M. Cesen - Col Visentin, dalle creste delle colline subalpine. La dorsale prealpina è costituita da calcari e dolomie sollevati in un'anticlinale asimmetrica, nota col nome di "flessura Bassano Valdobbiadene ". E' a causa di questa struttura se, su tutto il tratto prealpino, gli strati calcarei e dolomitici, sono da fortemente a mediamente inclinati verso Sud – Est (Piccin M., 1980). A mano a mano che si sale verso la linea di cresta l'inclinazione diminuisce fino a scomparire; oltre tale linea, nel versante bellunese, gli strati sono lievemente e gradualmente inclinati a Nord - Ovest, formando il fianco sud orientale della sinclinale bellunese.

Dal punto di vista litologico, i rilievi di questa zona sono costituiti principalmente da rocce sedimentarie calcaree quali marne, argilliti, siltiti, arenarie e conglomerati formati nel Miocene (figura 2.2.1). A Nord, i versanti meridionali della dorsale prealpina M. Cesen – Col Visentin sono caratterizzati da calcari argillosi selciferi con intercalazioni di calcareniti (talora dolomizzate) e brecce calcaree risalenti al Cretaceo.



Legenda

 Area_studio	 7 b - Marne e calcari - Oligocene inf. - Eocene
no data	 10 - Arenarie e calcareniti torbiditiche in fitta alternanza con marne ed argilliti - Eocene
 1 - Depositi infravallivi	 11 - Calcari, calcari argillosi e marne - Eocene inf. - Cretaceo sup.
 2 - Depositi eluviali, colluviali, detritici e di frana - Quaternario	 12 - Calcari, calcareniti e breccie di scogliera - Cretaceo
 3 a - Depositi morenici - Quaternario	 13 a - Calcari e calcari argillosi selciferi, con intercalazioni di calcareniti e breccie calcaree - Cretaceo - Malm
 3 b - Depositi inframorenici	 14 - Calcari nodulari e selciferi, argilliti, con intercalazioni di calcareniti e breccie calcaree - Malm - Dogger
 4 a - Ghiaie e sabbie prevalenti - Quaternario	 15 a - Calcareniti oolitiche, talora dolomitizzate - Dogger
 4 b - Alternanze di ghiaie e sabbie con limi e argille - Quaternario	 15 b - Calcari selciferi e marne - Dogger inf. - Lias sup.
 4 c - Limi e argille prevalenti - Quaternario	 15 c - Dolomie, dolomie selciferi e breccie dolomitiche - Lias med. - inf.
 5 - Siltiti, argilliti ed arenarie - Pliocene med. - inf.	 16 - Calcari oolitici ed encriniti, calcari con intercalazioni marnose, dolomie - Dogger inf. - Lias sup.
 6 a - Molassa sudalpina; conglomerati poligenici - Miocene sup.	
 6 b - Conglomerati poligenici, argilliti e arenarie con lenti conglomeratiche, arenarie quarzose e calcaree, arenarie glauconitiche, siltiti e marne - Miocene sup. - Oligocene sup.	
 6 c - Calcareniti e arenarie - Miocene med.	

Figura 2.2.1: Litologia dell'area del Consorzio di Tutela del Conegliano Valdobbiadene. Primeggiano rocce di tipo sedimentario (conglomerati, arenarie, siltiti e marne) risalenti al Miocene. Fonte: Regione Veneto (idt.regione.veneto.it)

Tra Vittorio Veneto e Conegliano sono presenti dei depositi morenici che, pur presentando forme dolci ed ondulate tipiche del paesaggio delle argille mioceniche, si sono originati attraverso la deposizione dei materiali trasportati dai ghiacciai (in particolare il ghiacciaio del Piave) che hanno raggiunto la pianura durante i periodi più freddi del Quaternario.

Le rocce presenti in questa area di studio hanno subito una forte modellazione causata dalle spinte tettoniche. Gli strati depositi sono stati portati in superficie ed esposti all'azione modellante dei diversi agenti erosivi quali il vento, la pioggia e il gelo, che agendo in maniera diversificata a seconda della composizione litologica hanno determinato le forme degli attuali rilievi.

L'89% delle coltivazioni nell'area di studio è lavorata a vigneti, nonostante le pratiche agricole siano rese difficili dalle pendenze che si possono riscontrare in molte zone (figura 2.2.2). Le lavorazioni intensive hanno fortemente modificato il territorio soprattutto dal punto di vista idrogeologico, rendendolo particolarmente propenso ad eventi franosi. Frequenti, infatti, sono gli smottamenti.



Figura 2.2.2: Vigneti sulle colline trevigiane. Si può notare come la pendenza sia rilevante. Foto di Prosdocimi M.

Il clima è mite in tutta la zona con inverni non eccessivamente freddi ed estati calde ma ventilate. Questo grazie alla vicinanza del Mar Adriatico e all'esposizione dei versanti per gran parte a Sud. La presenza della fascia alpina alle spalle di queste colline, invece, fa sì che le precipitazioni siano abbondanti. Infatti piovono in media circa 1250 mm l'anno. Il regime pluviometrico è equinoziale e presenta due picchi nei mesi di Maggio e Novembre. Il grafico in figura 2.2.3 rappresenta la distribuzione delle precipitazioni durante l'anno. I dati utilizzati sono stati forniti dall'ARPAV e coprono lo stesso intervallo di tempo coperto da quelli per l'area dei Colli Euganei.

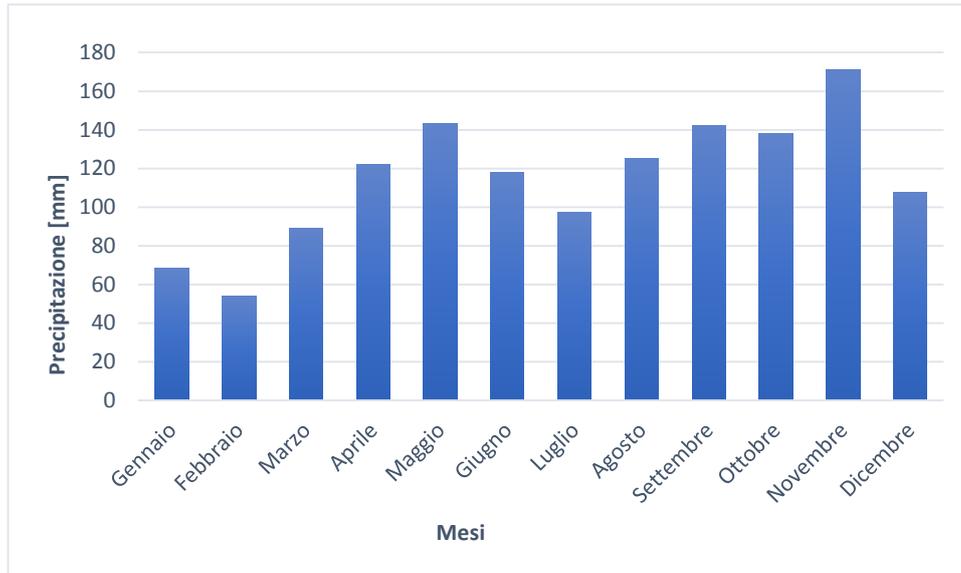


Figura 2.2.3: Andamento delle precipitazioni annuali nel territorio del Prosecco. Il regime pluviometrico è equinoziale, con due picchi nei mesi di Maggio e Novembre.

Di seguito si riporta il DEM originato da CTR a risoluzione 5 m sovrapposto alla corrispondente hillshade (figura 2.2.4).

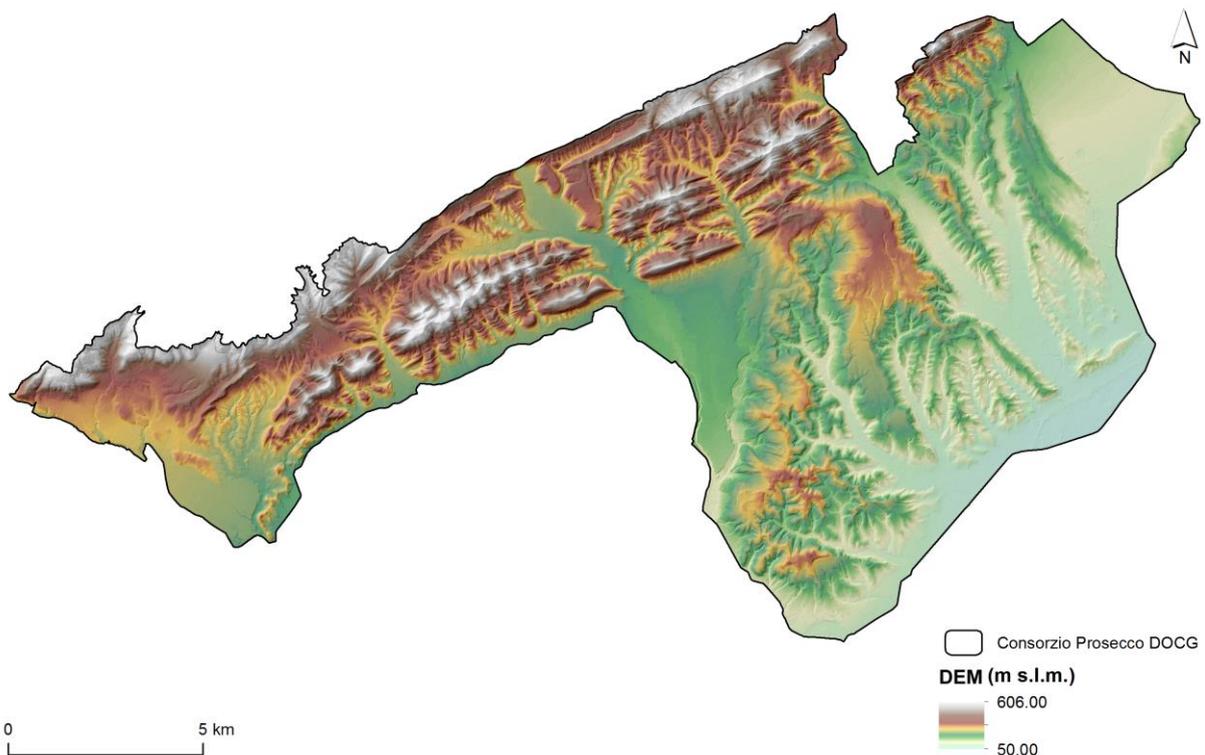


Figura 2.2.4: DEM da CTR con risoluzione 5 m per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG.

Nelle figure 2.2.5 e 2.2.6 sono mostrate rispettivamente la mappa delle pendenze e la mappa dell'uso del suolo.

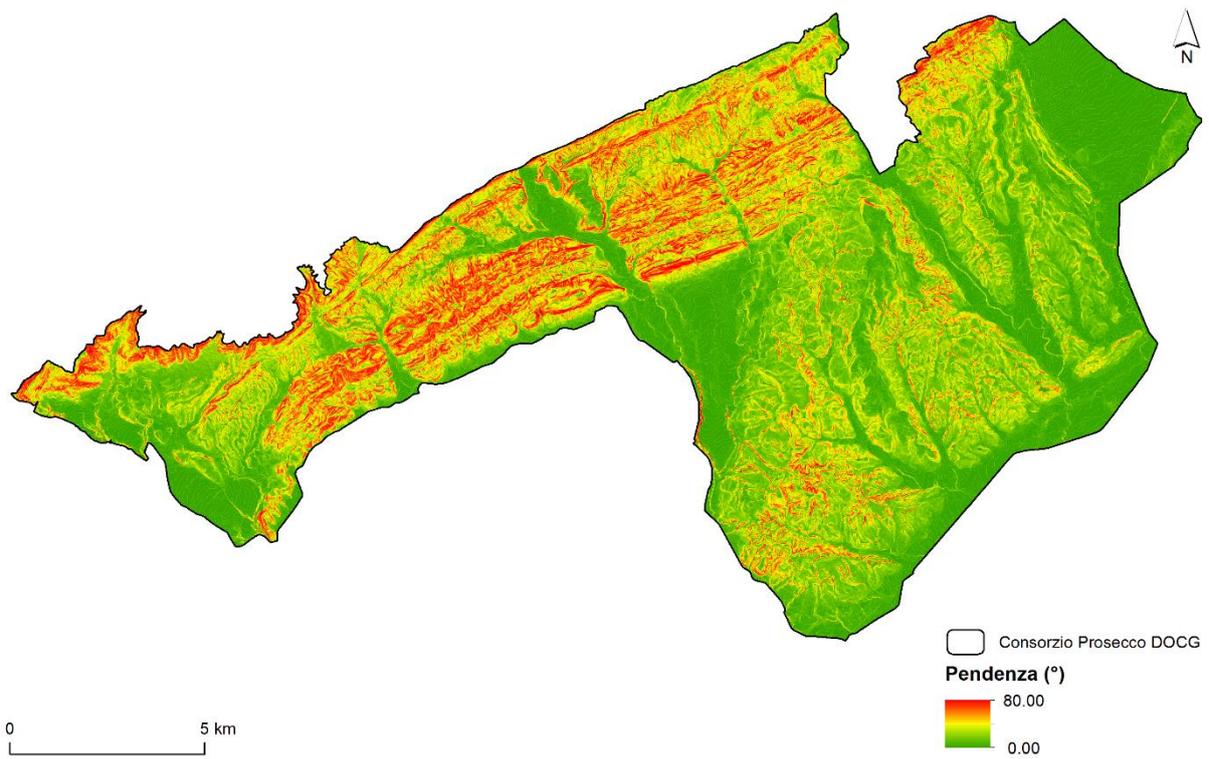


Figura 2.2.5: Mappa della pendenza per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG ricavata da DEM originato da cartografia tradizionale

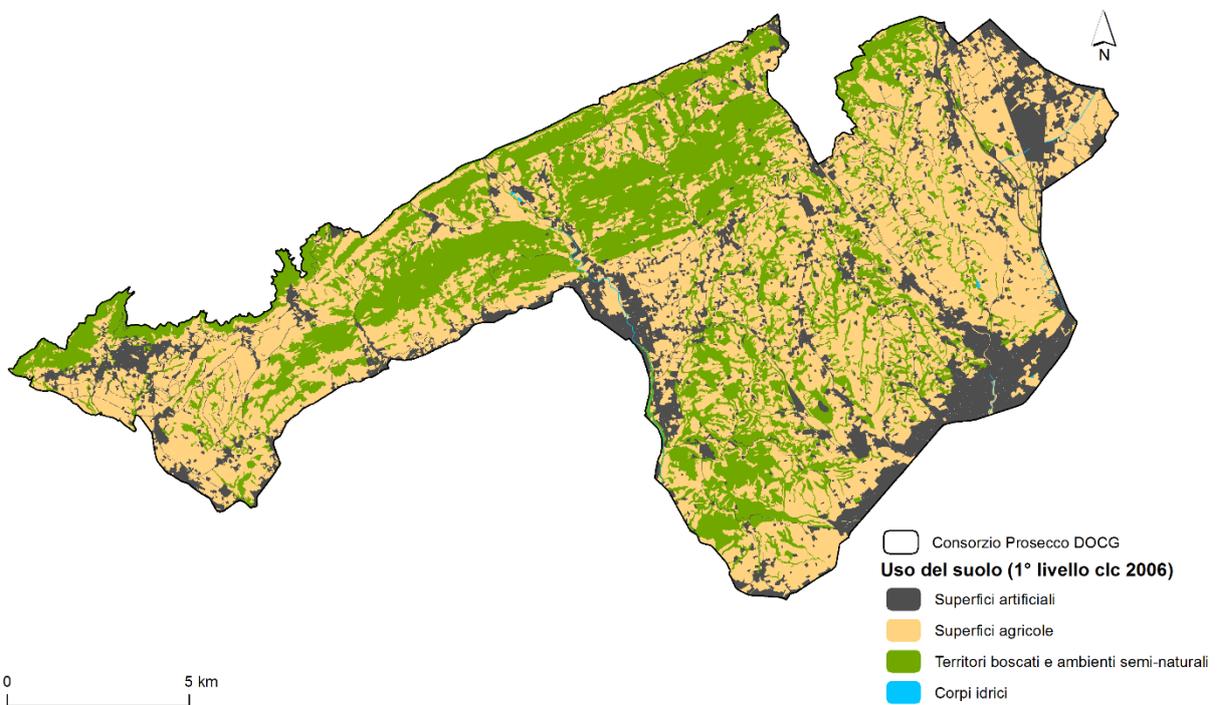


Figura 2.2.6: Mappa dell'uso del suolo per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG secondo il 1° livello della Corine Land Cover (2006).

2.2.1 Bacino (a)

Il primo bacino analizzato si trova nella parte centrale del territorio del Prosecco e si estende per circa 3.5 km². Si divide tra il comune di Follina a Sud-Ovest e quello di Cison di Valmarino a Nord-Est. La figura 2.2.7 mostra la localizzazione del bacino rispetto al territorio del Prosecco e le sue caratteristiche morfologiche.

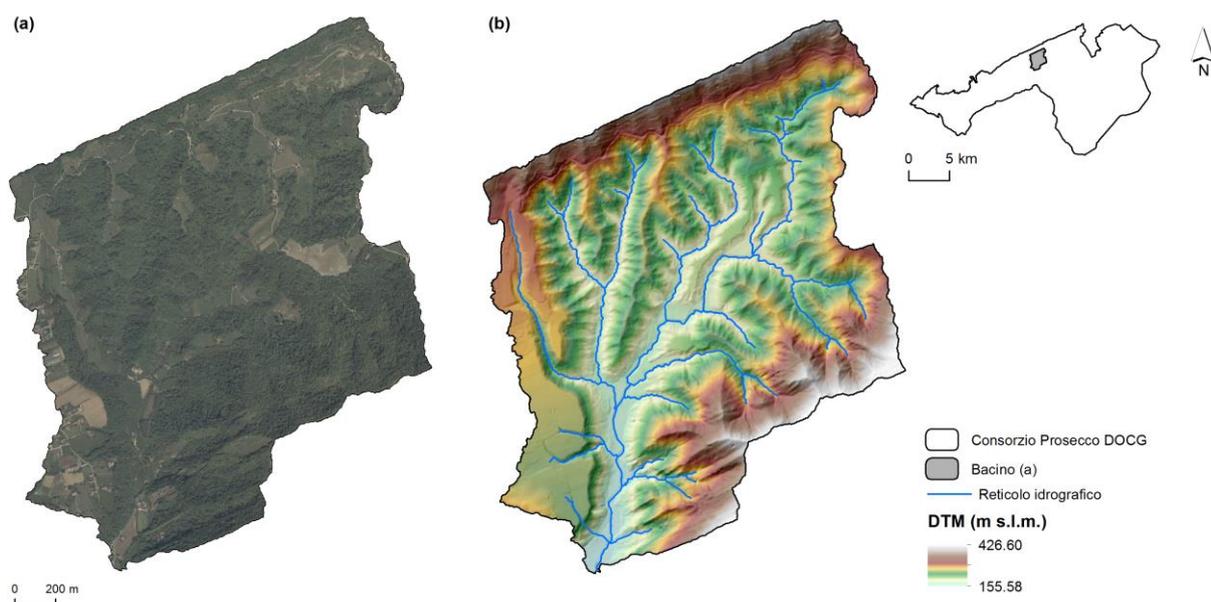


Figura 2.2.7: Ortofoto del bacino a (a) e DTM con reticolo idrografico (b).

Il perimetro del bacino, delineato dallo spartiacque, ha una lunghezza di circa 9.7 km. Le quote rilevate variano da 155 m s.l.m. alla sezione di chiusura a 426 m s.l.m. nel punto più elevato con pendenze di circa 24° di media.

In tabella 2.2.1 sono riassunti i parametri morfometrici calcolati per il bacino (a).

Tabella 2.2.1: Tabella riassuntiva dei parametri morfometrici relativi al bacino (a).

Parametri morfometrici	Valore	Unità di misura
Area	3.50	km ²
Perimetro	9742.76	m
Quota massima	426.57	m s.l.m.
Quota media	235.99	m s.l.m.
Quota alla sezione di chiusura	155.57	m s.l.m.
Lunghezza collettore principale	3533.92	m
Lunghezza collettore estesa fino allo spartiacque	3955.02	m
Pendenza media	24.32	%

La figura 2.2.8 rappresenta il raster delle pendenze in gradi ricavato dal DTM LiDAR a risoluzione di 1m e viene inoltre riportato il raster dell'esposizione. L'esposizione prevalente è a Sud-Est e Nord-Ovest.

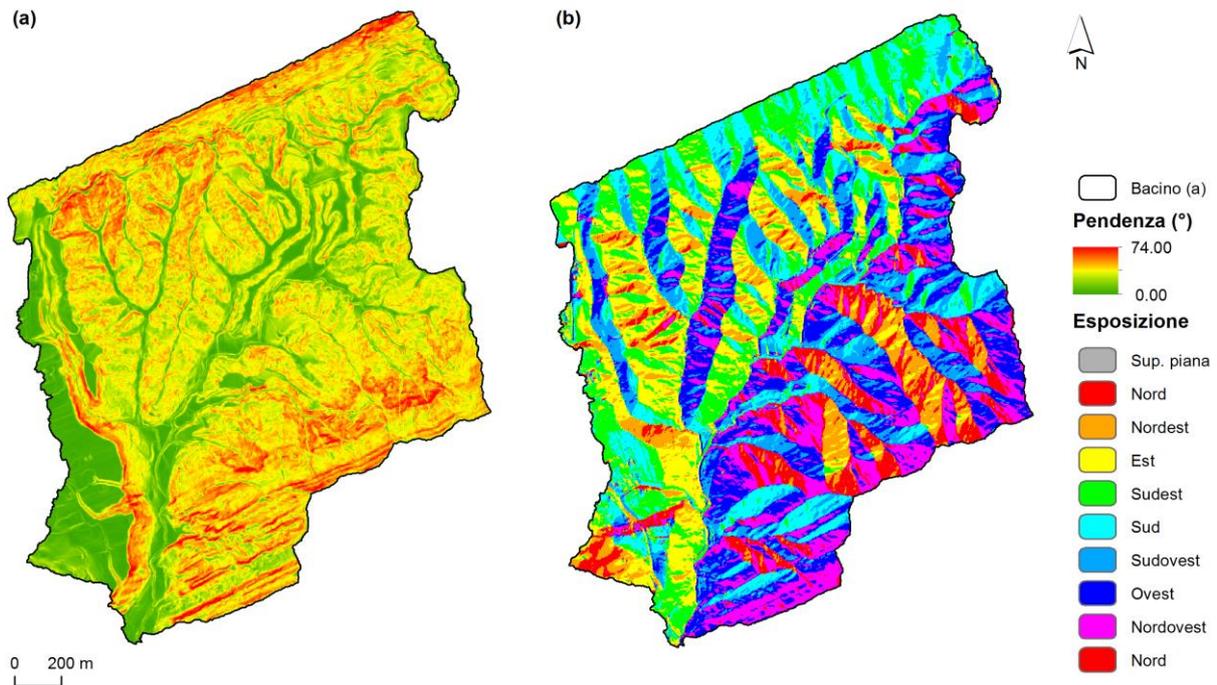


Figura 2.2.8: Parametri morfometrici del bacino: pendenze (a) ed esposizioni (b).

Con un'estensione di circa 2.5 km², il bosco ricopre il 67% del territorio. In figura 2.2.9 è rappresentato l'uso del suolo relativo al bacino (a). Quasi il 20% della superficie è adibita a terra di coltivazione, di cui circa l'85% è destinata a vigneti.

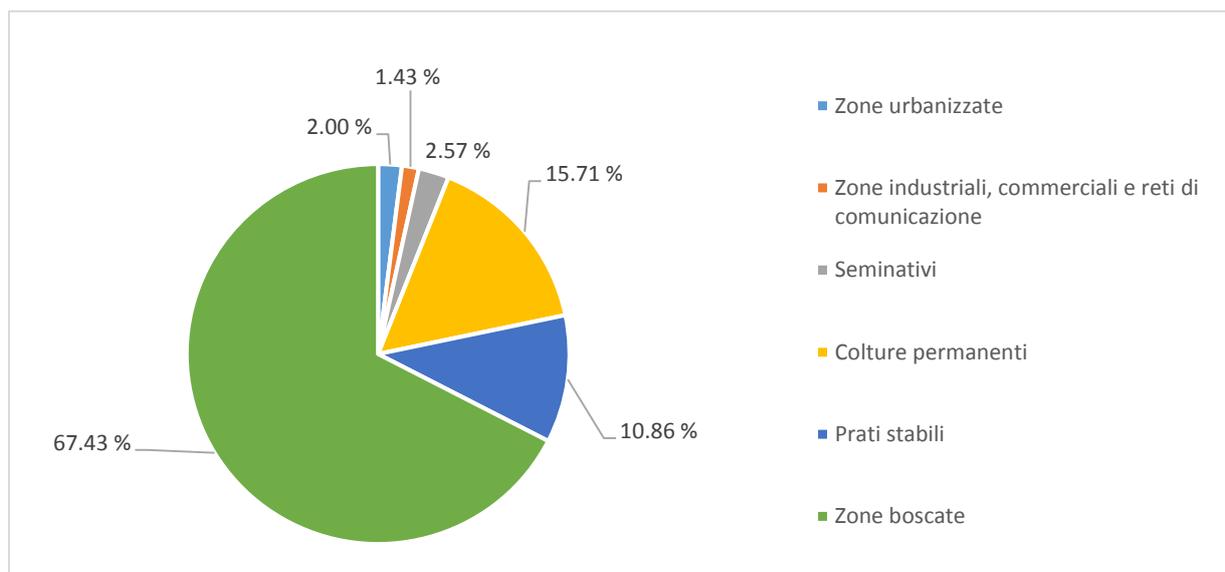


Figura 2.2.9: Diagramma dell'uso del suolo relativo al bacino (a). Le classi di uso del suolo corrispondono al II livello della Corine Land Cover 2006

2.2.2 Bacino (b)

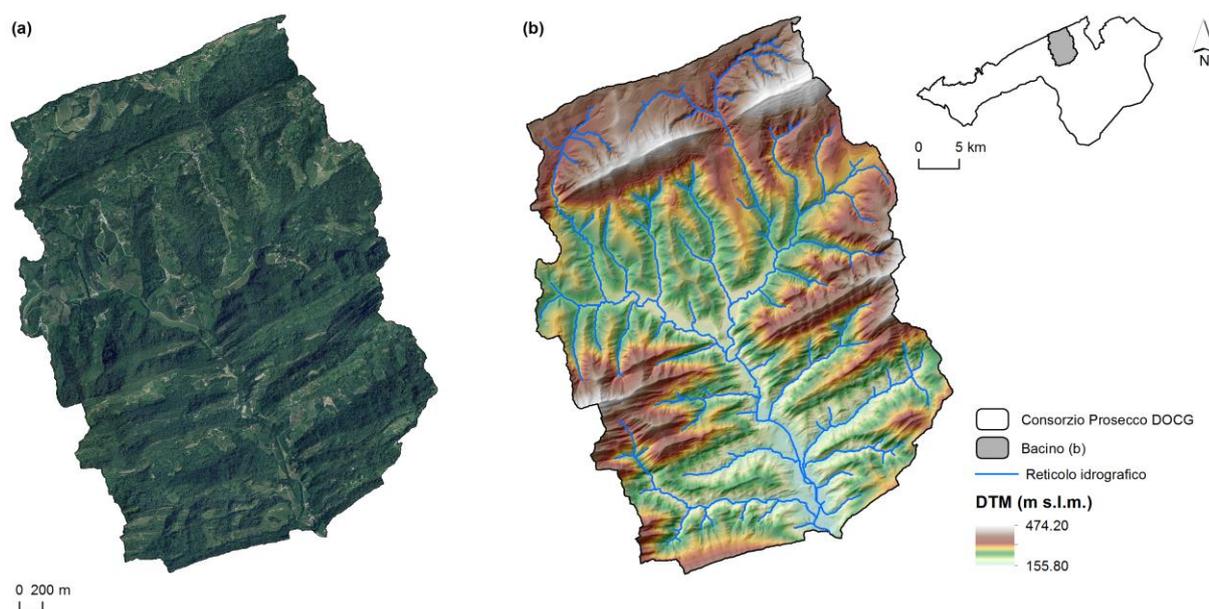


Figura 2.2.10: Ortofoto del bacino b (a) e DTM con reticolo idrografico (b).

Il secondo bacino analizzato è adiacente al precedente ed ha un'estensione maggiore, pari a 12 km². Si sviluppa all'interno di quattro comuni: Cison di Valmarino, Tarzo, Refrontolo e Pieve di Soligo. La figura 2.2.9 mostra le sue caratteristiche morfologiche.

Il perimetro del bacino, delineato dallo spartiacque, ha una lunghezza di circa 17 km. Le quote rilevate variano da 155 m s.l.m. alla sezione di chiusura a 473 m s.l.m. nel punto più elevato con pendenze di circa 25° di media. La tabella 2.2.2 riporta i parametri morfometrici del bacino.

Tabella 2.2.2: Tabella riassuntiva dei parametri morfometrici relativi al bacino (b).

Parametri morfometrici	Valore	Unità di misura
Area	12.04	km ²
Perimetro	17232.49	m
Quota massima	474.21	m s.l.m.
Quota media	276.74	m s.l.m.
Quota alla sezione di chiusura	155.81	m s.l.m.
Lunghezza collettore principale	6369.80	m
Lunghezza collettore estesa fino allo spartiacque	6769.95	m
Pendenza media	24.62	%

In figura 2.2.10 sono rappresentati il raster delle pendenze in gradi (a) ricavato dal DTM LiDAR a risoluzione di 1m e il raster dell'esposizione (b).

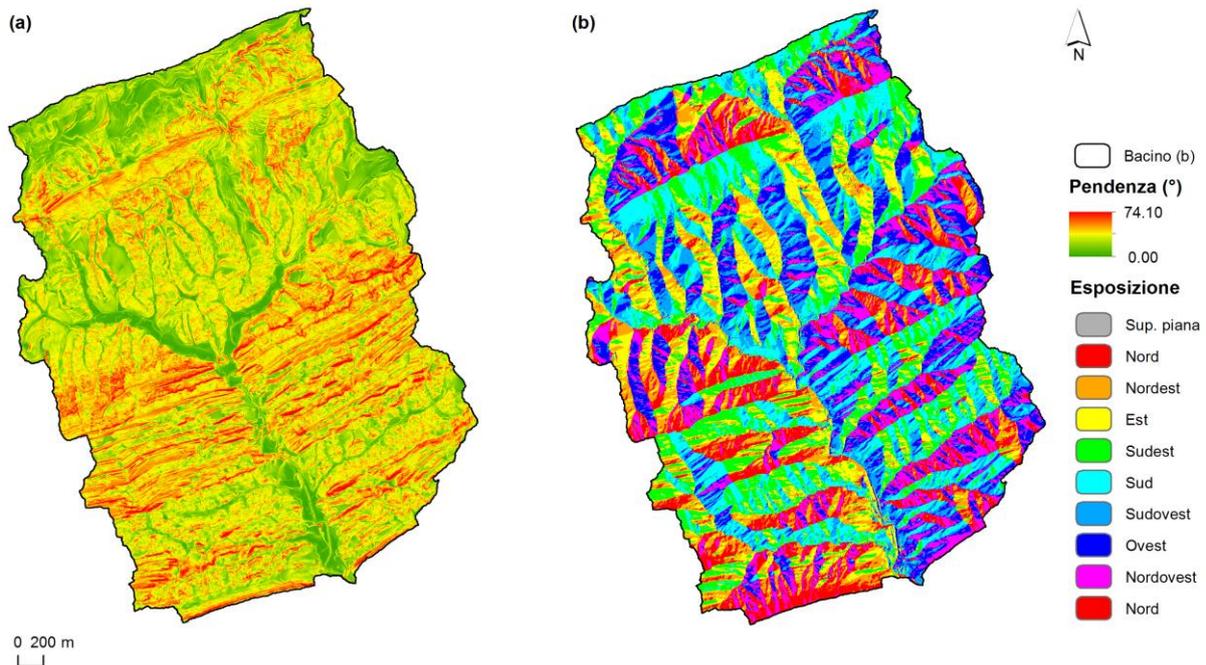


Figura 2.2.11: Parametri morfometrici del bacino: pendenze (a) ed esposizioni (b).

Quasi il 70% della superficie di questo bacino è costituito da bosco (figura 2.2.11). Le coltivazioni occupano gran parte del terreno non boscato, circa il 15% dell'area totale è infatti destinata a tali occupazioni. Il 95% delle coltivazioni è costituito da vigneti.

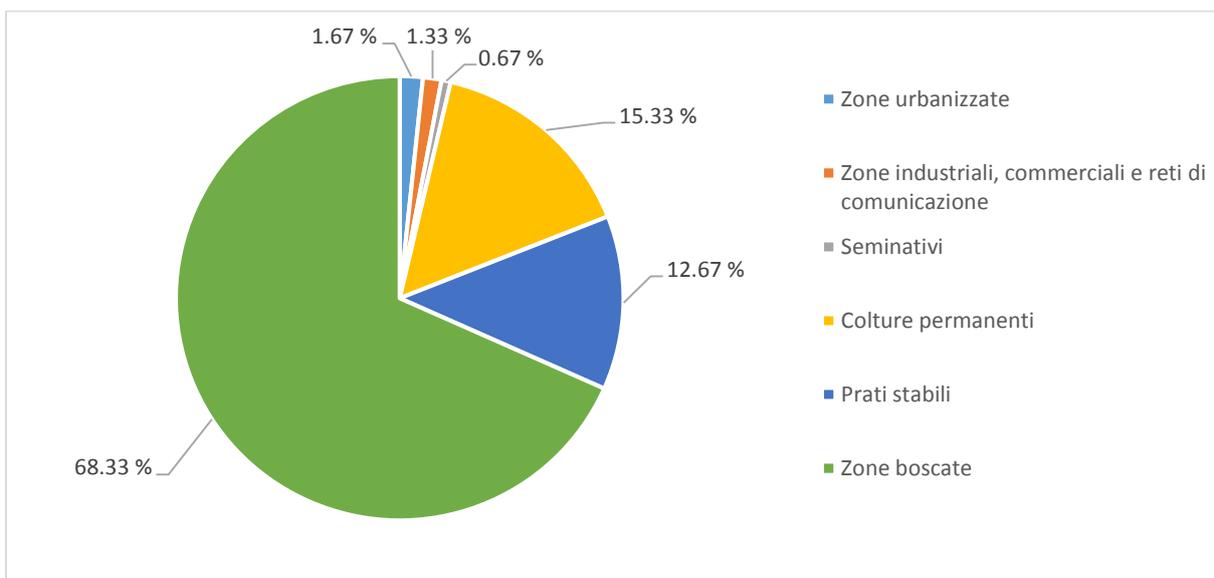


Figura 2.2.12: Diagramma dell'uso del suolo relativo al bacino (b). Le classi di uso del suolo corrispondono al II livello della Corine Land Cover 2006.

3 MATERIALI E METODI

In questo studio l'analisi dell'erosione è stata fatta basandosi su modelli digitali del terreno (DTM) di origine diversa:

1. Carte Tecniche Regionali (CTR) con risoluzione a 5 m;
2. Dati LiDAR con risoluzione di cella a 1, 3, 5, 10 e 30 m.

I DEM ricavati dalle carte tecniche regionali sono stati scaricati dal sito della Regione Veneto dedicato alle cartografie digitali. Questi sono stati realizzati dal CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) di Pisa. I dati di partenza sono le curve di livello e i punti quotati desunti dalla CTR da cui sono stati generati TIN (*Triangulated Irregular Network*), un formato vettoriale di modello digitale del terreno costituito da una serie di triangoli uniti a formare una rete irregolare. E' stato infine effettuato il passaggio da TIN a DEM, ossia in formato raster, con celle di 5 m di lato. I DEM così realizzati sono stati utilizzati per esaminare tutta l'area del Prosecco e quella dei Colli Euganei.

La seconda tipologia di dato, invece, è stata utilizzata per l'analisi di dettaglio dei due bacini idrografici situati all'interno del Consorzio del Prosecco, uno dei quali è stato recentemente soggetto a eventi franosi ed esondazione. I dati LiDAR, originati da scansione laser aerea, sono stati forniti dalla Provincia di Treviso, la quale, ha stipulato una convenzione con l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS) per realizzare il progetto "Rilievo LIDAR (laser a scansione) ed iperspettrale della Provincia di Treviso (Progetto Geo7)". Il rilievo è stato effettuato a cavallo tra il 2008 e il 2009 con l'utilizzato del sistema ALTM GEMINI, montato su elicottero di tipo Ecureil AS350B2, di proprietà di Helica srl di Amaro (UD). Il piano di volo ed i parametri di acquisizione sono stati scelti in funzione della densità dei dati grezzi di 2 punti al metro quadro. L'altezza media dei voli laser è stata di 1000 m sul livello del suolo. Il sistema ALTM GEMINI, di proprietà della ditta Helica s.r.l., è costituito da un laser operante nell'infrarosso vicino ($\lambda=1064$ nm) che invia impulsi di luce ad una frequenza che varia dai 33 ai 167 kHz a seconda dell'altezza di volo. La rete di inquadramento e misure a terra è stata programmata come supporto e controllo del rilievo remote sensing. Per questo sono stati istituiti, nell'area di interesse, 7+1 nuovi caposaldi, utilizzando misure GPS e livellazione di precisione, nonché sono stati rilevati 500 punti notevoli con modalità RTK, da cui risultano un errore verticale medio di - 0.082 m ed un valore di Root Square Mean Error (RSME) di 0.251 (OGS, 2009). Gli impulsi laser vengono diretti verso uno specchio oscillante che riflette gli stessi in senso ortogonale alla direzione di

avanzamento dell'aeromobile. La scansione del terreno deriva dalla combinazione dei due movimenti, quello di oscillazione dello specchio e quello di avanzamento dell'aeromobile.

Per i calcoli è stato utilizzato il software ArcGIS 10.2. Tramite l'utilizzo del software e basandosi sui modelli digitali del terreno sopracitati, è stato possibile costruire una mappa per ogni fattore del modello USLE, e quindi, una mappa del modello stesso.

Al fine della realizzazione di tale elaborato, sono state usate anche delle ortofoto. Queste sono state fornite dalla Regione Veneto e dalla Provincia di Treviso rispettivamente per quanto riguarda l'area dei Colli Euganei e del Consorzio del Prosecco. Le ortofoto risalgono rispettivamente al 2006 e al 2009.

I dati relativi a precipitazioni ed erodibilità dei suoli per entrambe le macro aree sono stati forniti dall'ARPAV. I dati delle stazioni pluviometriche coprono uno spazio temporale dal 1994 al 2013 e riguardano le precipitazioni cumulate mensili.

3.1 Modello USLE (Universal Soil Loss Equation)

Il modello USLE fornisce la quantità di suolo potenzialmente asportabile dall'erosione idrica espressa in tonnellate/ettaro/anno tramite la seguente relazione:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

dove:

A: quantità di suolo potenzialmente asportabile dall'erosione, ($t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$);

R: fattore di erosività delle precipitazioni, ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot anno^{-1}$);

K: fattore di erodibilità del suolo, ($t \cdot MJ^{-1} \cdot h \cdot mm^{-1}$);

L: fattore di lunghezza del versante, (-);

S: fattore di pendenza del versante (-);

C: fattore di copertura vegetale e uso del suolo, (-);

P: tecniche sistematorie, (-).

Ognuno di questi fattori si ottiene applicando degli algoritmi elaborati empiricamente. Il modello è stato definito, infatti, sulla base di esperimenti fatti su parcelle con determinate caratteristiche, prese come condizioni di riferimento. Tali terreni si presentavano con una pendenza del 9%, lunghezza della pendice di 22.1 m, suolo completamente privo di vegetazione e continuamente arato a rittochino. Quest'ultima particolarità è stata scelta poiché nessun sistema di colture è comune a tutte le aree agricole e la perdita di suolo sarebbe stata influenzata dagli effetti delle pratiche colturali che variano da una località ad un'altra.

3.1.1 Fattore R – Erosività delle piogge

Il fattore R rappresenta l'erosività delle piogge ed è influenzato dall'intensità e dall'altezza di precipitazione e dall'energia cinetica delle gocce. Esso è quindi significativamente connesso alla collocazione geografico-climatica della stazione analizzata. Tra i fattori considerati dell'equazione, il fattore R è l'unico che non fornisce una misura della resistenza dell'ambiente all'erosione.

Come nel lavoro di Borin e Bonamano (2005), in questo studio il fattore R è stato calcolato tramite la seguente formula proposta da Arnoldus (1980) che riprende l'indice di Fournier basato sul rapporto tra valori di pioggia annuale e mensile:

$$R = 4.17 \cdot \sum_1^{12} \left(\frac{p^2}{P} \right) - 152 \quad (2)$$

Dove:

p: precipitazione cumulata mensile (mm);

P: precipitazione cumulata annuale (mm).

A tal fine sono stati analizzati i dati di precipitazione forniti dall'ARPAV di 14 stazioni pluviometriche, 4 situate nella provincia di Padova e 10 nella provincia di Treviso, elencate in tabella 3.1.1.

Tabella 3.1.1: Elenco delle stazioni pluviometriche di cui sono stati analizzati i dati. A sinistra sono elencate quelle situate nell'area dei Colli Euganei, mentre a destra quelle collocate nel territorio trevigiano, presso il Consorzio del Prosecco.

Provincia	Stazione	Provincia	Stazione	Stazione
Padova	Este-Calaone	Treviso	Conegliano Veneto	Maser
	Faedo (Cinto Euganeo)		Crespano del Grappa	Valdobbiadene - Bigolino
	Galzignano - Cà Demia		Farra di Soligo	Vazzola - Tezze
	Teolo		Follina	Vittorio Veneto
			Gaiarine	Volpago del Montello

Esse sono dislocate nelle vicinanze delle aree di studio, come si può osservare dalla figura 3.1.1.

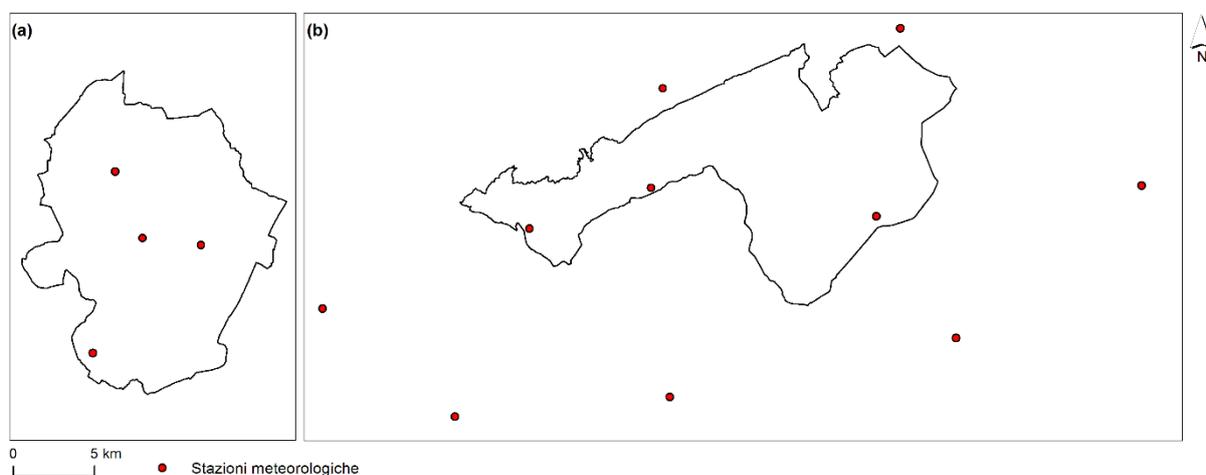


Figura 3.1.1: Localizzazione delle stazioni pluviometriche prese in considerazione per l'area dei Colli Euganei (a) e del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG (b)

Per ognuna di queste sono stati esaminati i dati delle piogge cumulate degli anni compresi tra il 1994 e il 2013.

L'indice R, specifico di ogni stazione, è stato ottenuto facendo la media dei valori annuali. I risultati sono riportati in tabella 3.1.2.

Tabella 3.1.2: Risultati relativi al calcolo dell'indice R ottenuti tramite l'utilizzo della formula di Arnoldus (1980). Il fattore R, specifico di ogni stazione, è stato ottenuto facendo una media dei vari R annuali.

	Stazione	Indice R
Padova	Este-Calaone	238.572
	Faedo (Cinto Euganeo)	354.756
	Galzignano - Cà Demia	313.164
	Teolo	317.432
Treviso	Conegliano Veneto	453.992
	Crespano del Grappa	660.565
	Farra di Soligo	612.870
	Follina	696.258
	Gaiarine	434.000
	Maser	410.682
	Valdobbiadene - Bigolino	574.871
	Vazzola - Tezze	425.049
	Vittorio Veneto	559.361
	Volpago del Montello	429.282

Al fine di ottenere un valore spazializzato di questo fattore, si è proceduto con l'interpolazione dei dati tramite software GIS. Si è scelto di utilizzare il metodo Spline. In questo modo si è ottenuto un raster con i valori di R in ogni cella. A titolo esemplificativo si mostra la mappa ottenuta per l'area del Prosecco in figura 3.1.2.

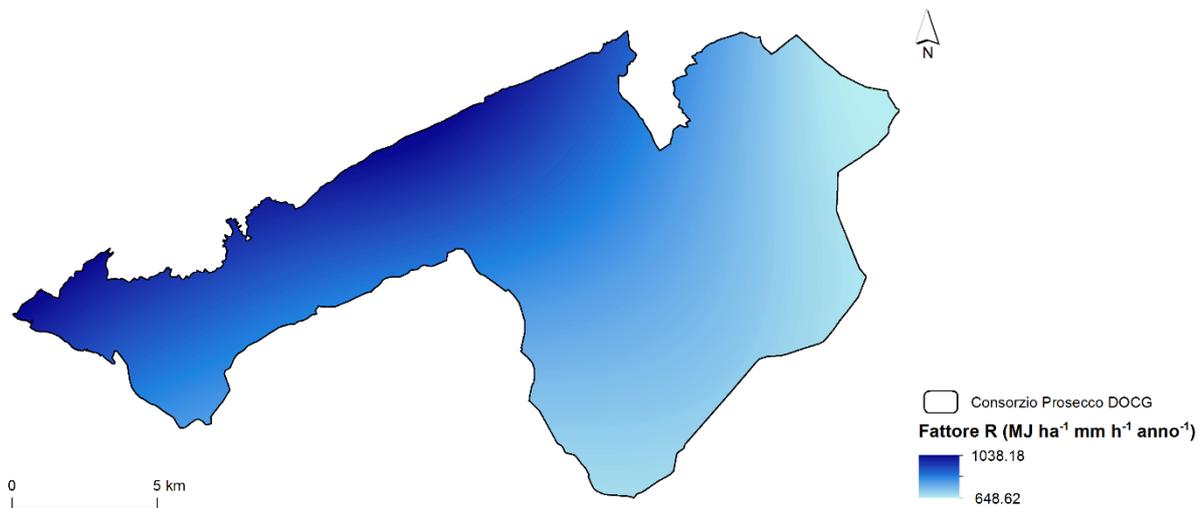


Figura 3.1.2: Mappa del fattore R ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG.

3.1.2 Fattore K – Erodibilità del suolo

Il fattore K rappresenta l'erosibilità del suolo, ossia l'attitudine del suolo ad essere eroso in seguito all'azione di forze esterne. Precipitazioni, deflussi e infiltrazioni sono le cause dell'azione erosiva che agisce sul suolo. La quantità asportabile da questi eventi dipende dalle proprietà fisico chimiche del terreno, ossia da:

- Granulometria;
- Struttura;
- Capacità di trattenuta idrica;
- Permeabilità e velocità di infiltrazione superficiale.

Esso varia dimensionalmente da circa 0 a 0.10 ed esprime la quantità media annuale di suolo potenzialmente asportabile dai processi erosivi.

Per la stima del fattore K, il metodo più ampiamente utilizzato è il nomogramma messo a punto da Wischmeier (Wischmeier et al. 1971) (figura 3.1.3). Esso comprende cinque parametri caratteristici del suolo:

1. Percentuale di limo e sabbia fine ($d \leq 0.1$ mm);
2. Percentuale di sabbia ($0.1 \leq d \leq 2.0$ mm);
3. Percentuale di materiale organico (O.M.);
4. Struttura;

5. Permeabilità.

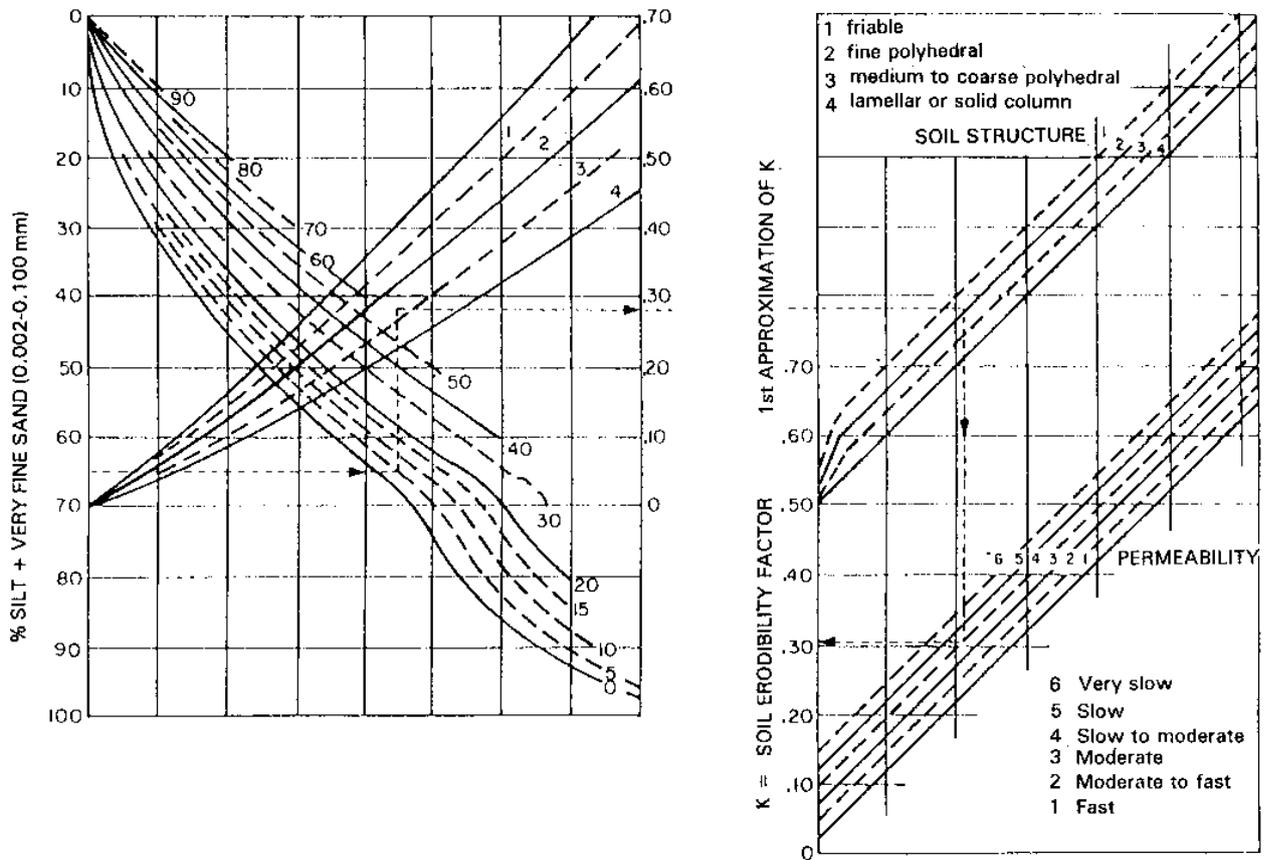


Figura 3.1.3: Nomogramma per la determinazione del fattore K in funzione delle caratteristiche del suolo (Wischmeier and Smith, 1978). Esempio: 27.2% di argilla, 65% di limo e sabbia fine, 5% di sabbia e 2.8% di sostanza organica. Si parte dal 65 % di limo e sabbia fine, si prosegue con il 5% di sabbia, 2.8% di sostanza organica, struttura granulare fine (2) e permeabilità da bassa a moderata (4). Il risultato, in unità anglosassoni, è $k=0.31$ ovvero $k=0.041$ in unità metriche.

Per i casi in cui la frazione di limo non supera il 70% è stata studiata un'approssimazione algebrica del nomogramma rappresentata dalla seguente formula:

$$K = \frac{2,1 \cdot 10^{-4} (12 - OM) M^{1,14} + 3,25(s - 2) + 2,5(p - 3)}{100} \quad (3)$$

Dove:

OM: percentuale di sostanza organica dell'orizzonte superficiale, (%);

M: percentuali tessiturali, parametro (sabbia, sabbia molto fine, argilla e limo), (%);

s: classe di struttura, (-);

p: classe di permeabilità, (-).

In questo studio sono stati utilizzati i dati forniti dall'ARPAV i quali sono stati elaborati utilizzando la formula 3. Gli stessi dati sono stati utilizzati in un lavoro realizzato sempre

dall'ARPAV relativo alla valutazione del rischio d'erosione per la regione Veneto (ARPAV, 2008). Tutti i parametri del suolo sono stati estratti dalla banca dati delle Unità Tipologiche di Suolo (UTS) della carta dei suoli in scala 1:250,000 e adattati alla forma richiesta dall'equazione. Dato che ogni Unità Cartografica (UC) della carta è descritta in termini di più tipologie di suolo (fino a un massimo di sei), è stato attribuito ad ogni UC un valore K ottenuto dalla media ponderata sulla percentuale di presenza dei fattori K delle singole tipologie di suolo presenti.

Il file elaborato (formato vettoriale) presentava, esclusivamente per l'area dei Colli Euganei, delle zone per cui i dati mancavano. Queste zone corrispondono a delle aree di non suolo, generalmente aree di cava, per le quali non è stato possibile calcolare il fattore K. Tali aree non sono state considerate nel calcolo finale dell'USLE. Pertanto, l'area di studio dei Colli Euganei risulta caratterizzata da alcuni spazi vuoti.

Il fattore K in formato vettoriale è stato poi trasformato in raster per mezzo dell'utilizzo di Arcgis. A titolo illustrativo in figura 3.1.4 è rappresentato il raster del fattore K dell'area del Prosecco.

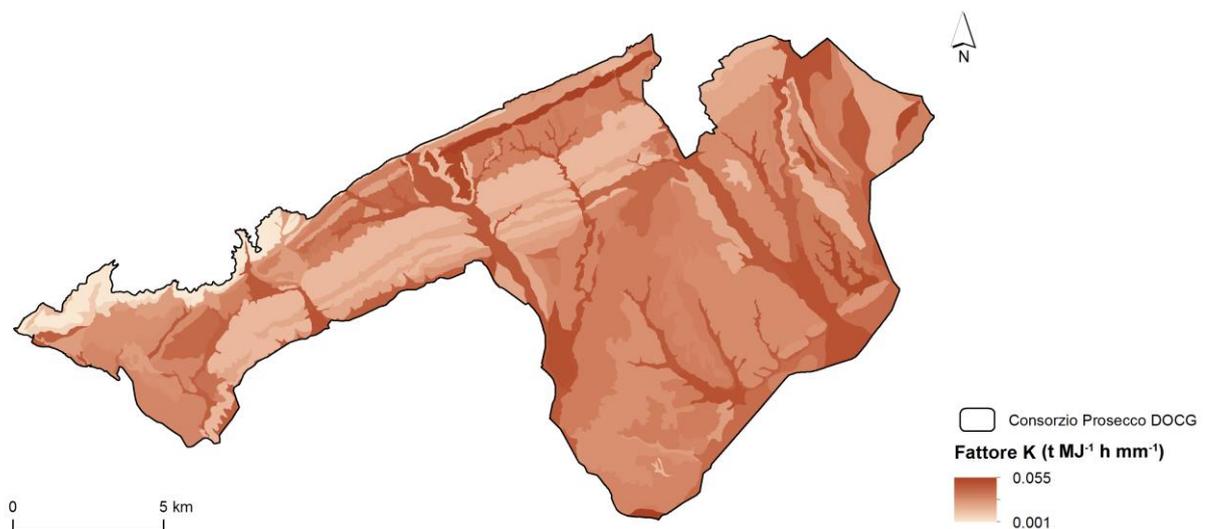


Figura 3.1.4: Mappa del fattore K ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG.

3.1.3 Fattore L – Lunghezza del versante

I fattori L e S rappresentano rispettivamente la lunghezza e la pendenza dei versanti. Secondo la spiegazione di Wischmeier e Smith (1978), la lunghezza del versante è definita come la distanza orizzontale dal punto in cui si origina il deflusso superficiale al punto in cui il gradiente di pendenza decresce abbastanza da dare inizio alla deposizione, o al punto in cui il deflusso si concentra in un canale ben definito. Sono state elaborate diverse formule che uniscono entrambi i fattori in un unico fattore, LS. In questo lavoro si è scelto di utilizzare la formula proposta da Moore e Burch (1986a e 1986b):

$$LS = \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^m \cdot \left(\frac{\sin \beta}{0,0896} \right)^n \quad (4)$$

Dove:

m = costante di regressione = 0.4

A_s = specific catchment area, (m);

β = angolo di pendenza del versante, (rad);

n = costante di regressione = 1.3

I fattori L e S vengono calcolati separatamente.

Il fattore L, corrispondente al primo membro della formula (4) ha valore rilevante nell'analisi dell'erosione del suolo poiché determina la quantità di energia cinetica che l'acqua acquisisce scorrendo lungo il versante. Esso determina quindi la capacità erosiva del deflusso. Nella formula (4), non viene considerata la semplice lunghezza unidimensionale del versante ma si ricorre al concetto di specific catchment area (Figura 3.1.5).

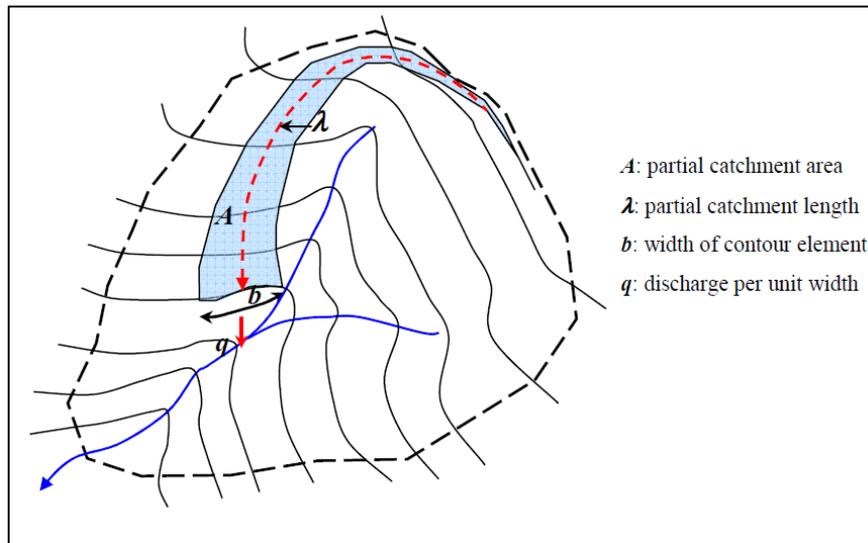


Figura 3.1.5: Identificazione della specific catchment area. (ARPAV, 2008)

La specific catchment area è definita come il rapporto tra l'area del versante e la larghezza della sua parte terminale. Dal punto di vista dimensionale, si tratta quindi di una lunghezza e non di un'area. Per il calcolo di questa, si è ricorso a due funzioni di ArcGIS che permettono di calcolare prima la direzione dei deflussi e poi l'area drenata.

Per l'analisi della direzione dei deflussi esistono diversi algoritmi che permettono di individuare la "cella di assegnazione" dell'acqua, tra cui: *Algoritmo D8*, *Algoritmo Multiple Flow* e *Algoritmo D ∞* . Il prodotto finale è un raster in cui ogni cella ha un valore, in base alla direzione del deflusso stabilita dall'algoritmo. Con il termine area drenata si intende la porzione planimetrica a monte di un elemento topografico, estesa fino allo spartiacque, che contribuisce alla formazione di deflusso nell'elemento preso in considerazione. Essa è condizionata dalla topografia della zona considerata e viene calcolata sommando in modo progressivo il numero di celle che si trovano lungo tutti i percorsi dallo spartiacque alla sezione di chiusura. Ovviamente, in corrispondenza della sezione di chiusura, si ritrova il numero totale di celle del bacino. Il calcolo di quest'area avviene sulla base della direzione dei deflussi.

In primo luogo si è proceduto col depittaggio del DEM. Sulla base del DEM depittato è possibile calcolare la direzione dei deflussi e, in seguito, l'area drenata. Attraverso una semplice moltiplicazione si è così ottenuto prima il raster della specific catchment area, poi, applicando la formula (4), quello raffigurante il fattore L (figura 3.1.6).

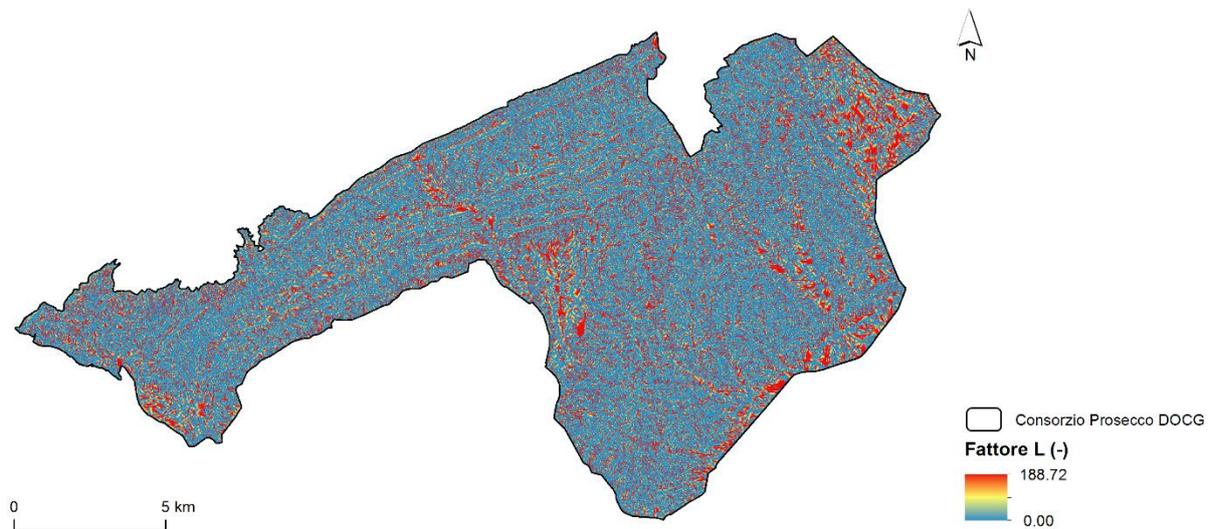


Figura 3.1.6: Mappa del fattore L ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG.

3.1.4 Fattore S – Pendenza del versante

Il fattore della pendenza è fondamentale poiché regola la velocità del deflusso superficiale attraverso la forza di gravità. Più è pendente il versante, più l'erosione aumenta. Per il calcolo di questo indice si è applicata la formula (4) che richiede la pendenza espressa in radianti. Si riporta in figura 3.1.7 la mappa del fattore S per l'area del Prosecco.

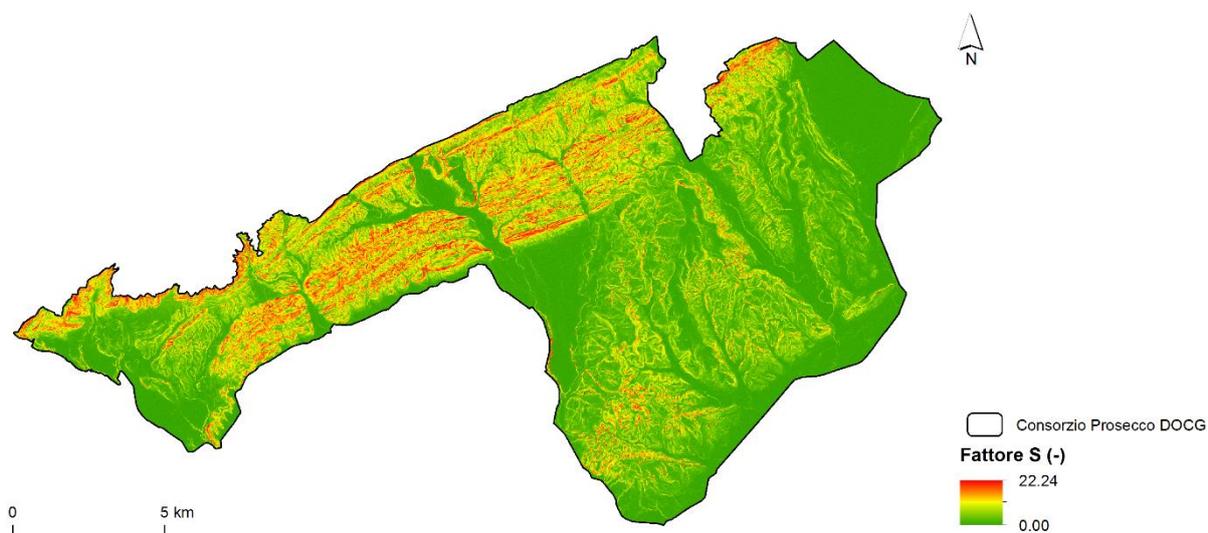


Figura 3.1.7: Mappa del fattore S ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG.

3.1.5 Fattore C – Copertura e uso del suolo

Il fattore C riflette l'influenza della copertura del suolo e del suo utilizzo sul tasso di erosione del suolo. Esso si basa sul concetto di deviazione dalla condizione modello descritta al capitolo 3.1.

La vegetazione gioca un ruolo positivo nella stabilità del suolo, limitando l'erosione. La parte epigea delle piante intercetta l'acqua meteorica riducendone la velocità e l'energia d'impatto col suolo. L'apparato radicale, invece, sottrae umidità dal suolo favorendo fenomeni di suzione dovute a tensioni capillari. Tutto ciò incrementa la stabilità meccanica del versante. Poiché la copertura vegetale varia nel tempo, l'influenza sull'erosione del suolo cambia durante l'anno. Il calcolo di questo fattore è pertanto complesso poiché richiede un'ingente mole di dati difficili da reperire. In questo studio, in assenza di una base dati riferibile al variare dell'uso del suolo nel tempo, si sono utilizzate le classi del Corine Land Cover 2006 correlabili a valori del fattore C secondo relazioni ricavate da bibliografia (Bazzoffi, 2007; Bartolini et al., 2004; Rousseva e Stefanova, 2006; Suri et al, 2002; Wischmeier. e Smith, 1978) che rappresentano un valore medio del fattore nel variare del tempo. Infine, si è rasterizzato il file vettoriale ottenendo la mappa del fattore C (figura 3.18).

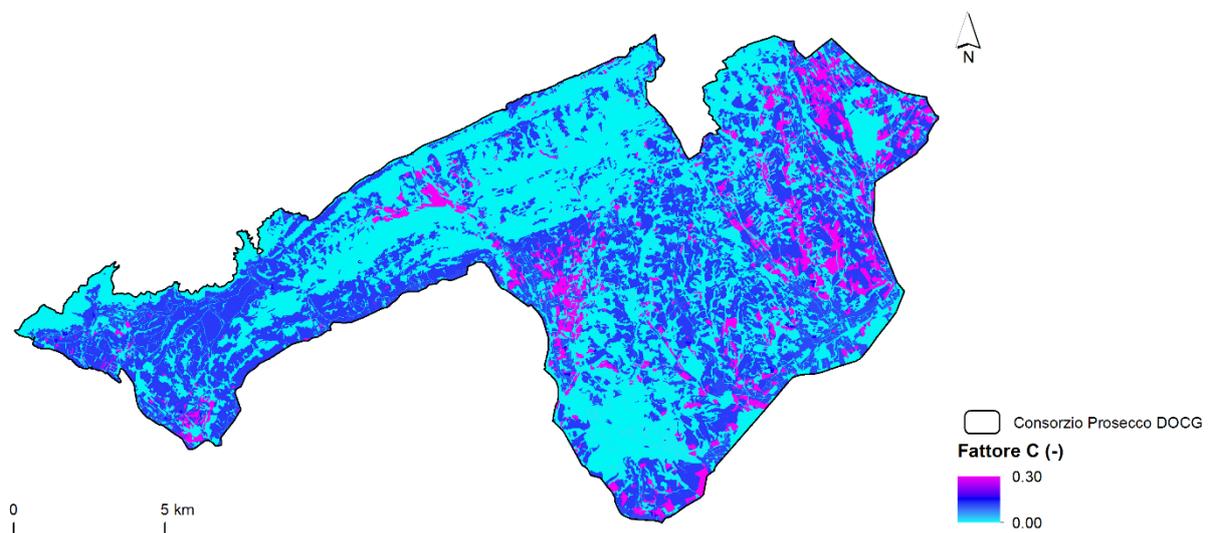


Figura 3.1.8: Mappa del fattore C ottenuta per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG.

Dalla tabella 3.1.3, che riprende le classi d'uso del suolo con il relativo fattore C, si nota come le coltivazioni presentino un valore di C più elevato rispetto alle aree urbane.

Tabella 3.1.3: Correlazione tra classi del Corine Land Cover 2006 e fattore C per le aree di studio.

Classificazione	Fattore C
Zone residenziali a tessuto continuo	0.000
Zone residenziali a tessuto discontinuo	0.110
Strutture residenziali isolate	0.110
Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	0.000
Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	0.000
Aree estrattive	0.000
Discariche	0.000
Cantieri	0.000
Aree in attesa di destinazione d'uso	0.000
Aree verdi urbane	0.006
Aree ricreative e sportive	0.300
Seminativi in aree non irrigue	0.300
Terreni arabili in aree irrigue	0.300
Vigneti	0.120
Frutteti e frutti minori	0.120
Oliveti	0.120
Altre colture permanenti	0.120
Prati stabili (foraggiere permanenti)	0.005
Superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorata	0.005
Colture temporanee associate a colture permanenti	0.150
Sistemi colturali e particellari complessi	0.150
Boschi di latifoglie	0.001
Boschi di conifere	0.001
Brughiere e cespuglieti	0.003
Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	0.000
Aree con vegetazione rada	0.003
Aree percorse da incendi	0.000
Corsi d'acqua, canali e idrovie	0.000
Bacini d'acqua	0.000

4 RISULTATI E DISCUSSIONE

La metodologia generale per il calcolo dei fattori componenti l'USLE, descritta nel capitolo 3, è stata applicata sia alle due macro aree, ovvero Colli Euganei e Consorzio del Prosecco DOCG, sia ai due bacini del Consorzio del Prosecco. La distinzione risiede nell'origine dei DEM utilizzati al fine del calcolo dei fattori L ed S. A livello delle macro aree, è stato utilizzato il DEM con risoluzione 5 m derivato da CTR. Pertanto, anche la mappa USLE derivante risulta avere una risoluzione di 5 m. A livello dei due bacini, si è invece utilizzato il DTM di origine LiDAR partendo da una risoluzione originaria di 1 m, passando per 3, 5, 10 fino a 30 m. Pertanto, per ciascun bacino, si sono ottenute cinque mappe di erosione a diversa risoluzione.

Si ritiene opportuno presentare i risultati suddivisi per macro-aree.

4.1 *Colli Euganei*

La figura 4.1.1 riporta la mappa dell'erosione calcolata per l'area dei Colli Euganei. Essa ha una risoluzione di 5 m poiché è stata ottenuta sulla base del DEM derivato da CTR. Gli spazi vuoti corrispondono alle aree di non suolo per le quali non è stato possibile calcolare il fattore K (Cap. 3.1.2) e, di conseguenza, nemmeno il valore di perdita di suolo.

La tabella 4.1.1 riporta i valori minimo, massimo, medio, mediano e deviazione standard della mappa dell'erosione ottenuta.

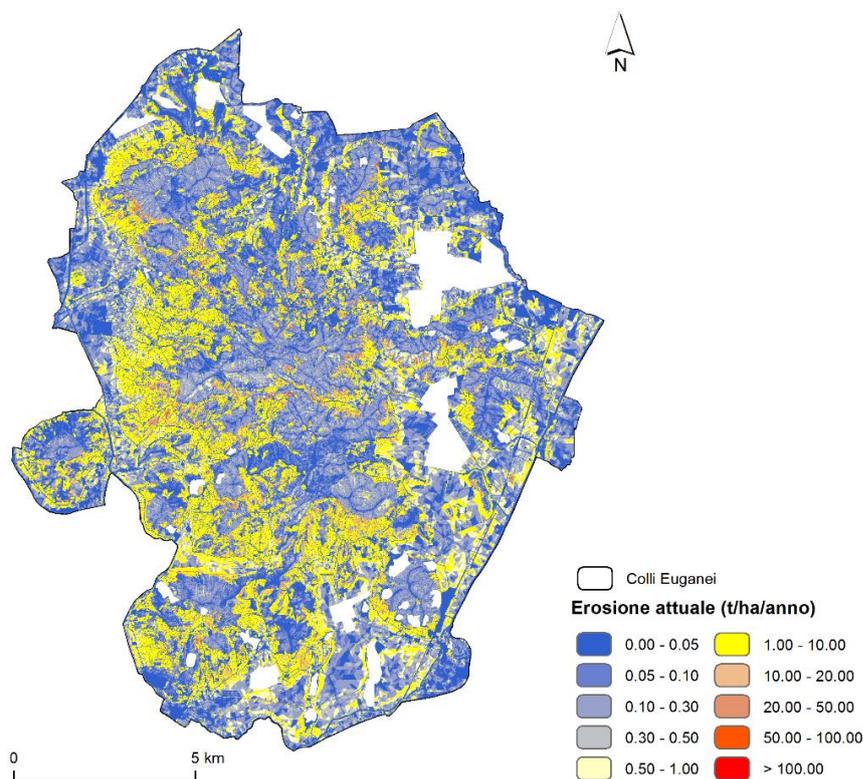


Figura 4.1.1: Mappa dell'erosione attuale calcolata applicando il modello USLE per l'area dei Colli Euganei

Tabella 4.1.1: Dati statistici relativi all'erosione calcolata per l'area dei Colli Euganei.

	Min	Max	Media	Mediana	Dev st
Erosione attuale (t/ha/anno)	0.00	1992.83	1.97	0.18	7.00

Dalla tab. 4.1.1 emerge che l'erosione media calcolata è di circa 2 t/ha/anno, con una deviazione standard pari a 7.00 e mediana pari a 0.18. Il valore massimo, corrispondente a 1992.83 t/ha/anno, risulta essere troppo elevato per rappresentare un valore ammissibile nella realtà. Tale valore può essere dovuto anche ad un singolo pixel che presenti un valore estremo, tra i cinque fattori presi in considerazione per il calcolo dell'USLE. Tra i cinque fattori che compongono l'USLE, i fattori L ed S possono rappresentare una grande fonte di errore, in quanto derivanti dal DEM. I DEMs possono contenere diversi tipi di errori a seconda sia della qualità dei dati grezzi di origine e sia delle tecniche di interpolazione utilizzate per il loro ottenimento. In aggiunta a ciò, il fattore L necessita ad esempio del calcolo dell'area drenata, la quale, in zone estremamente pianeggianti, per sua stessa definizione, perde di significato in quanto in queste aree la pendenza non gioca un ruolo fondamentale distribuire deflusso da una cella all'altra. Va inoltre ricordato che il DEM in questione è di origine CTR e non LiDAR e, pertanto, è più probabile che presenti dei valori anomali. La presenza di parecchi valori estremi è riscontrabile anche dalla differenza tra il

valore medio e mediano (1.97 vs 0.17 t/ha/anno). La stessa deviazione standard risulta essere pari a 7.00.

Per valutare l'influenza dell'uso del suolo sull'erosione calcolata, si è suddivisa l'intera area dei Colli Euganei in classi sulla base del II livello della Corine Land Cover (2006). La tabella 4.1.2 mostra l'erosione media espressa in t/ha/anno calcolata per ciascuna classe di uso del suolo.

Tabella 4.1.2: Valori medi di erosione per ogni classe d'uso del suolo sulla base del II livello della Corine Land Cover (2006)

Classi di uso del suolo	Erosione media (t/ha/anno)
Zone urbanizzate	1.96
Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	0.19
Zone estrattive, discariche e cantieri	0.01
Zone verdi artificiali non agricole	1.53
Seminativi	2.62
Colture permanenti (tra cui i vigneti)	4.63
Prati stabili	0.37
Zone agricole eterogenee	5.54
Zone boscate	0.18
Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	0.48
Zone aperte con vegetazione rada o assente	0.67
Acque continentali	0.25

Dalla tab. 4.1.2 risulta che i valori risultano essere piuttosto bassi per tutte le classi d'uso del suolo, fatta eccezione per le categorie delle zone agricole eterogenee e delle colture permanenti. Nella categoria "Colture permanenti" rientrano anche i vigneti. Le zone boscate e quelle con copertura vegetale presentano i valori più bassi, evidenziando in questo modo il ruolo delle radici nella mitigazione dell'erosione sui versanti.

4.2 Consorzio di Tutela del Prosecco (DOCG)

La figura 4.1.1 riporta la mappa dell'erosione calcolata per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG. Tale mappa è stata elaborata sulla base del DEM derivato da CTR avente risoluzione di 5 m.

La tabella 4.2.1 riporta i valori minimo, massimo, medio, mediano e deviazione standard della mappa dell'erosione ottenuta.

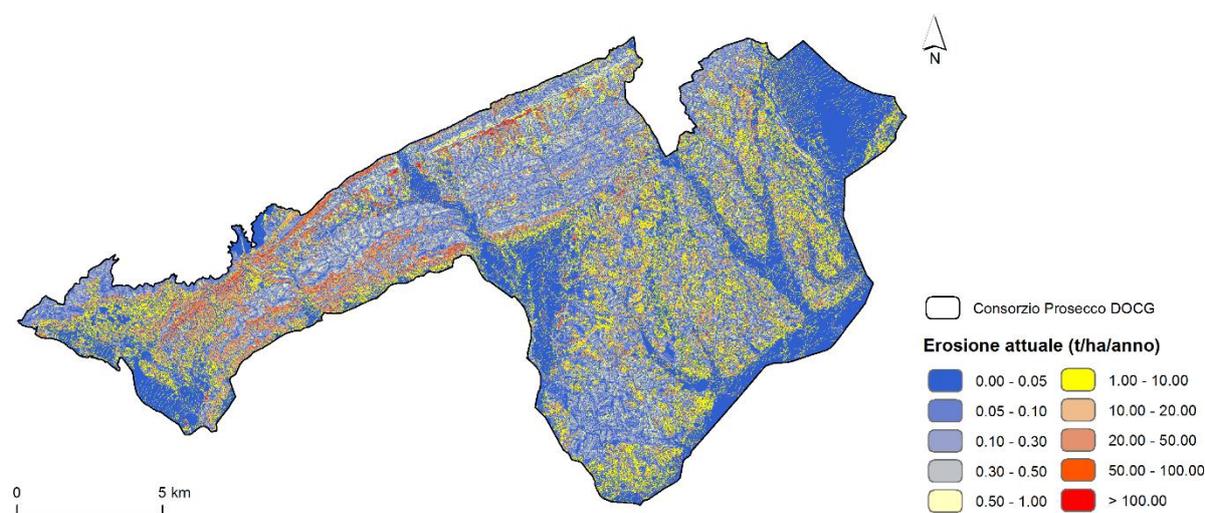


Figura 4.2.1: Mappa dell'erosione attuale calcolata, impiegando DEM da CTR, applicando il modello USLE per l'area del Consorzio di Tutela del Prosecco DOCG

Tabella 4.2.1: Dati statistici relativi all'erosione calcolata per l'area del Consorzio del Prosecco.

	Min	Max	Media	Mediana	Dev st
Erosione attuale (t/ha/anno)	0.00	9757.72	4.88	0.12	20.87

Dalla tab. 4.2.1 emerge che l'erosione media è di circa 4.88 t/ha/anno, con una deviazione standard pari a 20.87 e mediana pari a 0.12. Il valore massimo, corrispondente a 9757.72 t/ha/anno, risulta essere, anche in questo caso, troppo elevato per rappresentare un valore ammissibile nella realtà. I valori di media e deviazione standard risultano essere pressoché doppi rispetto a quelli ottenuti per l'area dei Colli Euganei. Tra i fattori considerati dall'USLE, quello che risulta avere un'influenza maggiore rispetto ai Colli Euganei è il fattore R. Infatti, esso mostra valori (Min=648.62 Max=1038.18 e Media=810.49) che doppiano quelli ottenuti per l'area dei Colli Euganei (Min=234.92 Max=360.46 Media=304.67). Le precipitazioni in quest'area sono, infatti, molto abbondanti per via della

posizione pedemontana. Anche per quest'area, i valori statistici ottenuti confermano la presenza di molti pixel anomali. Al fine di analizzare più nel dettaglio questo problema, si è deciso di investigare meglio la mappa ottenuta. A titolo esemplificativo, si riporta in figura 4.2.2 uno zoom dell'area investigata.

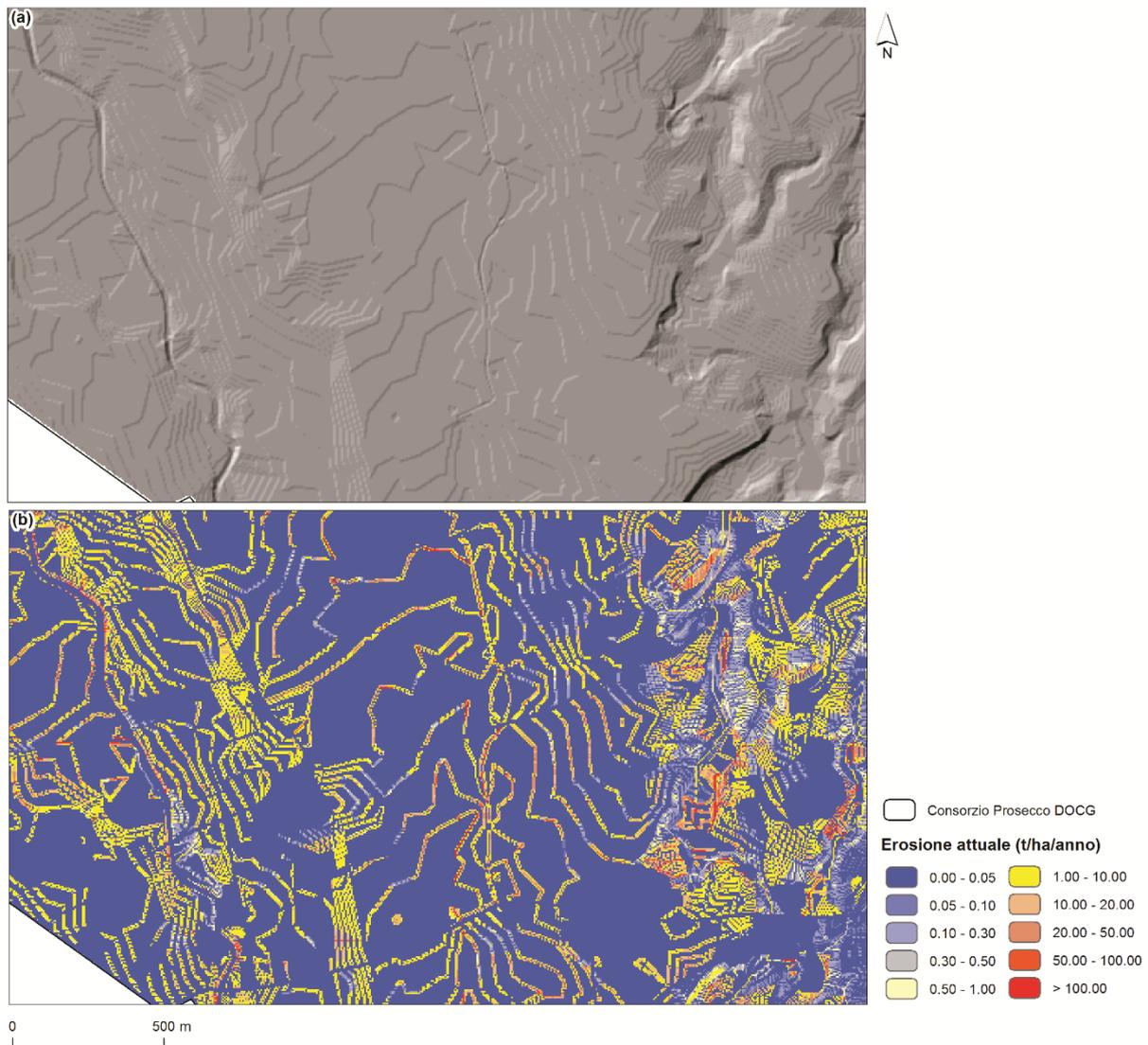


Figura 4.2.2: Zona di dettaglio che mette in evidenza gli errori del DEM derivato da CTR della Regione Veneto: (a) hillshade, (b) mappa di erosione attuale.

Dalla mappa dell'hillshade ricavata dal DEM-CTR (fig. 4.2.2 a), risultano evidenti delle striature simili a dei terrazzi che però non trovano un riscontro nella realtà. Queste striature provocano una brusca variazione di pendenza e, pertanto, i valori di erosione qui ottenuti risultano essere maggiori. Questo è un chiaro esempio di come il DEM possa contenere degli errori e di come, questi errori, possano poi avere degli effetti sulle elaborazioni successive (es. caso di studio del bacino (a) dove la USLE derivata da CTR a 5 m presenta valori massimi superiori della stessa derivata da LiDAR alla medesima risoluzione). Per questo tipo di

applicazione, il DEM derivato da CTR e scaricato dal sito della Regione Veneto non risulta essere affidabile. A tal riguardo, si suggerisce una rielaborazione delle mappe di erosione a livello delle macro aree tramite l'impiego di dati topografici di origine LiDAR, che come vedremo in seguito danno una migliore interpretazione della morfologia dei versanti.

Anche per quest'area di studio, al fine di valutare l'influenza del fattore della copertura del suolo sull'erosione, sono stati analizzati i dati relativi all'uso del suolo.

Di seguito, in tabella 4.2.2, sono elencate le classi d'uso del suolo presenti sul territorio con il relativo valore di erosione media (t/ha/anno).

Tabella 4.2.2: Valori medi di erosione per ogni classe d'uso del suolo sulla base del II livello della Corine Land Cover (2006). Si noti che il valore maggiore è dato dalle colture permanenti, che in questo territorio sono costituite per la maggior parte da vigneti.

Classi di uso del suolo	Erosione media (t/ha/anno)
Zone urbanizzate	4.46
Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	0.14
Zone estrattive, discariche e cantieri	0.01
Zone verdi artificiali non agricole	4.06
Seminativi	10.72
Colture permanenti (tra cui i vigneti)	11.14
Prati stabili	0.56
Zone agricole eterogenee	6.08
Zone boscate	0.32
Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	0.57
Zone aperte con vegetazione rada o assente	0.45
Acque continentali	0.99

Dalla tab. 4.2.2, emerge che il tasso di erosione medio maggiore è dato dalle colture permanenti, che in questo territorio sono costituite prevalentemente da vigneti. I valori più bassi, invece, sono ottenuti nelle zone boscate e ed in quelle industriali/commerciali.

In generale, mettendo a confronto le due macro aree, si può affermare che il fattore che le differenzia maggiormente è quello relativo all'aggressività delle precipitazioni (fattore R). Per quanto riguarda il fattore K, ossia l'erodibilità dei suoli, non si sono riscontrate grosse differenze tra i due territori analizzati. Le rocce presenti, pur essendo di tipo diverso, danno luogo a suoli che presentano un'attitudine ad essere erosi molto simile. I fattori L ed S stessi risultano essere simili tra loro. Riguardo l'uso del suolo, il confronto evidenzia come in entrambe le aree le colture permanenti abbiano un ruolo molto forte sulla degradazione dei suoli, ottenendo, in entrambe le aree, i valori di erosione medi maggiori.

4.2.1 Bacini (a) e (b)

Per i bacini (a) e (b), Il calcolo dell'USLE è stata effettuata sulla base dei DTMs derivati da LiDAR a diversa risoluzione: 1, 3, 5, 10 e 30m. E' stato poi effettuato un confronto tra CTR e LiDAR.

Tabella 4.2.3: Tabella riassuntiva del tasso di erosione (t/ha/anno) per ogni risoluzione: 1, 3, 5, 10 e 30m e per ciascun bacino. Per la risoluzione 5m, si riporta il confronto coi valori ottenuti dalla mappa USLE di origine CTR

Bacino (a) – Erosione attuale (t/ha/anno)					
Risoluzione	Min	Max	Media	Mediana	Dev st
1m	0	3643.43	4.08	0.16	23.18
3m	0	2302.71	5.77	0.25	22.38
5m	0	954.68	6.14	0.27	23.02
5m (CTR)	0	1376.41	5.90	0.24	23.70
10m	0	652.44	6.16	0.28	22.15
30m	0	346.69	6.03	0.25	22.83
Bacino (b) - Erosione attuale (t/ha/anno)					
Risoluzione	Min	Max	Media	Mediana	Dev st
1m	0	10966.34	2.91	0.14	22.53
3m	0	3499.58	4.19	0.23	18.15
5m	0	2287.86	4.37	0.25	16.00
5m(CTR)	0	1136.55	4.07	0.22	16.12
10m	0	878.71	4.33	0.26	14.69
30m	0	492.48	3.70	0.23	14.13

Nel bacino (a), a parità di risoluzione, la mappa creata su base LiDAR riporta un valore massimo inferiore rispetto a quello ottenuto dalla mappa di origine CTR. I valori di media, mediana e deviazione standard sono invece pressoché simili tra le due diverse mappe. Per quanto riguarda il bacino (b), i valori di media, mediana e deviazione standard si confermano simili tra le diverse mappe mentre, il valore massimo della mappa di origine LiDAR è, questa volta, maggiore rispetto a quello della mappa di origine CTR. Dalla tabella 4.2.3 si evince come il DEM derivato da CTR, contenente gli errori in precedenza menzionati (interpretazione a terrazzi di versanti, laddove terrazzi non ci sono), condizioni sensibilmente la stima (nei valori massimi) della USLE per il bacino (a), stimando un valore superiore rispetto alla stessa elaborazione usando DTM LiDAR a 5 m. Considerando solo i dati concernenti DTM LiDAR, emerge come al diminuire della risoluzione di cella vi sia anche una diminuzione progressiva del valore massimo di erosione. Ciò è dovuto al fatto che, al

diminuire della risoluzione, i valori di pendenza vengono mediati tra di loro, pertanto, la superficie che ne deriva risulta essere più smussata e meno rumorosa.

Anche per i due bacini, è stata calcolata l'erosione media secondo le diverse classi di uso del suolo e secondo le diverse risoluzioni (tabella 4.2.4). In questa tabella sono stati aggiunti anche i valori relativi alle mappe originate su base CTR al fine di una valutazione comparativa.

Tabella 4.2.4: Valori di erosione medi (t/ha/anno) per ogni classe di uso del suolo per le cinque diverse risoluzioni LiDAR per entrambi i bacini. I valori tendono a rimanere costanti al variare della risoluzione. Sono stati inoltre aggiunti i valori ricavati da CTR al fine di una valutazione comparativa.

Bacino (a) - Erosione media (t/ha/anno)						
Classi di uso del suolo	1m	3m	5m	5m (CTR)	10m	30m
Zone urbanizzate	5.15	6.73	6.07	4.99	5.24	3.82
Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	0.37	1.29	0.00	3.11	0.00	0.00
Seminativi	20.53	29.36	33.65	35.28	35.88	47.43
Colture permanenti (tra cui i vigneti)	21.24	30.04	32.29	29.38	32.04	29.52
Prati stabili	0.64	0.83	0.77	0.96	0.78	0.88
Zone agricole eterogenee	2.85	2.98	3.12	2.60	3.60	3.48
Zone boscate	0.26	0.37	0.29	0.48	0.30	0.27
Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	0.44	0.60	0.62	0.64	0.57	0.43
Zone aperte con vegetazione rada o assente	0.37	0.33	0.28	0.18	0.08	0.32

Bacino (b) - Erosione media (t/ha/anno)						
Classi di uso del suolo	1m	3m	5m	5m (CTR)	10m	30m
Zone urbanizzate	11.13	13.51	12.85	9.44	11.09	9.21
Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	0.11	0.48	0.77	1.33	2.08	0.75
Zone estrattive, discariche e cantieri	0.00	0.03	0.05	0.03	0.01	0.00
Seminativi	11.89	15.55	17.09	26.13	17.32	29.65
Colture permanenti (tra cui i vigneti)	15.78	22.97	23.96	22.04	23.32	18.43
Prati stabili	0.65	0.97	1.06	1.05	1.25	1.32
Zone boscate	0.21	0.31	0.34	0.32	0.40	0.51
Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	0.43	0.47	0.44	0.39	0.34	0.18
Acque continentali	0.28	1.04	0.00	0.01	3.48	0.21

Dalla tabella 4.2.4 emerge che i valori più bassi di erosione media (zone boscate, zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea, zone estrattive e zone industriali), tendono a rimanere pressoché costanti al diminuire della risoluzione. Al contrario, i valori di erosione media maggiori (zone urbanizzate, seminativi, colture permanenti) risentono maggiormente della variazione di risoluzione. I seminativi, ad esempio, riportano i valori più alti in entrambi

i bacini e mostrano una variabilità maggiore rispetto, per esempio, alle zone boscate. I risultati ottenuti sulla base del DEM da CTR non si differenziano molto da quelli calcolati sulla base del DTM da LiDAR per le categorie di uso del suolo caratterizzate da bassi valori medi di erosione. Al contrario, i valori si differenziano per quelle classi di uso del suolo affette da maggiore erosione. Come esempio si possono considerare le classi dei seminativi (17.09 vs 26.13), delle zone urbanizzate (12.85 vs 9.44) e delle colture permanenti (23.96 vs 22.04).

All'interno dei due bacini sono state identificate due zone di dettaglio in cui è stata valutata la differenza di risoluzione delle mappe di erosione.

La prima zona, denominata “anfiteatro” per via della sua morfologia, si trova nella porzione settentrionale del bacino (a) ed è caratterizzata da colture a vigneto terrazzate (ciglioni) (figura 4.2.3).

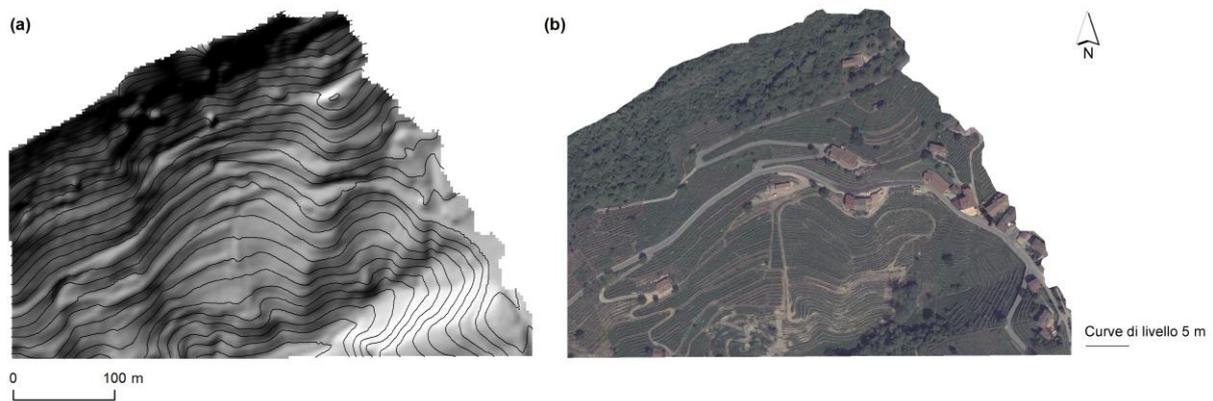


Figura 4.2.3: Zona di dettaglio denominata “anfiteatro” localizzata all’interno del bacino a. La figura (a) mostra l’hillshade ottenuta da DTM con risoluzione 3 m e le curve di livello (5 m), mentre la figura b riporta l’ortofoto.

La seconda zona è stata individuata nella porzione meridionale del bacino (b) (figura 4.2.4). Quest’area è caratterizzata prevalentemente dalla presenza di vigneti e aree boscate.

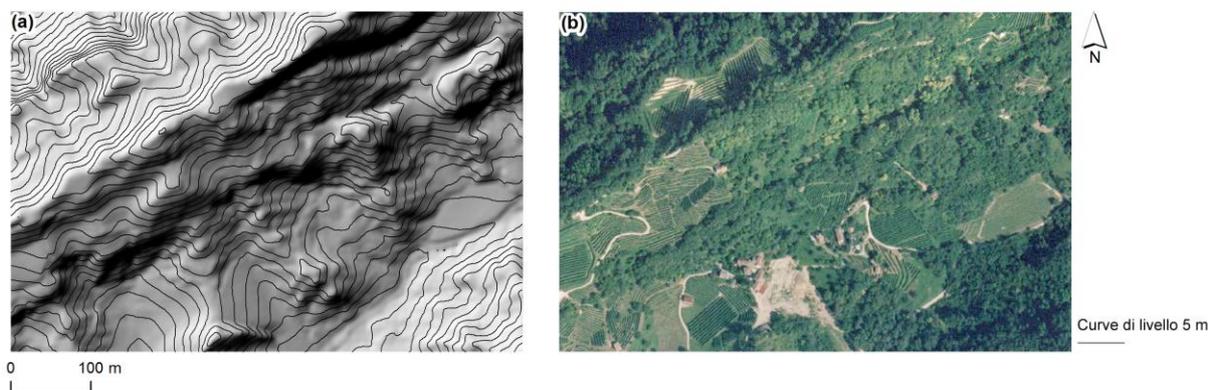


Figura 4.2.4: Zona di dettaglio localizzata all’interno del bacino b. La figura (a) mostra l’hillshade ottenuta da DTM con risoluzione 3 m e le curve di livello (5 m), mentre la figura b riporta l’ortofoto.

Di seguito, nelle figure 4.2.5 e 4.2.6, vengono rispettivamente riportate, per entrambe le aree, le mappe dell'erosione a diversa risoluzione (1, 3, 5, 10 e 30 m). Le mappe sono state tutte originate dal DTM di origine LiDAR.

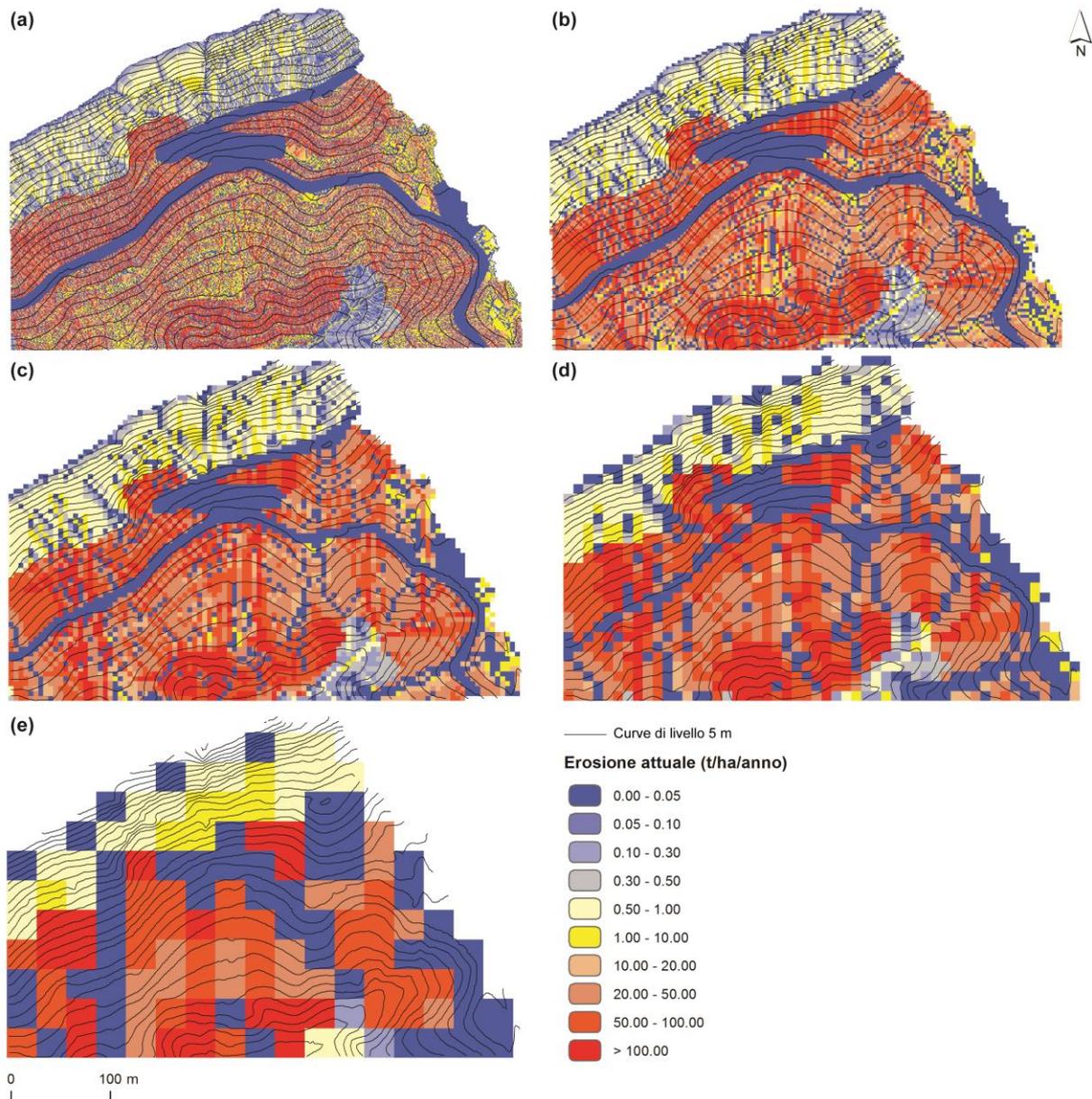


Figura 4.2.5: Mappe di erosione calcolate per la prima zona di dettaglio (bacino a) alle cinque diverse risoluzioni: 1 (a), 3 (b), 5 (c), 10 (d) e 30 m (e). Ogni mappa riporta anche le curve di livello (5 m).

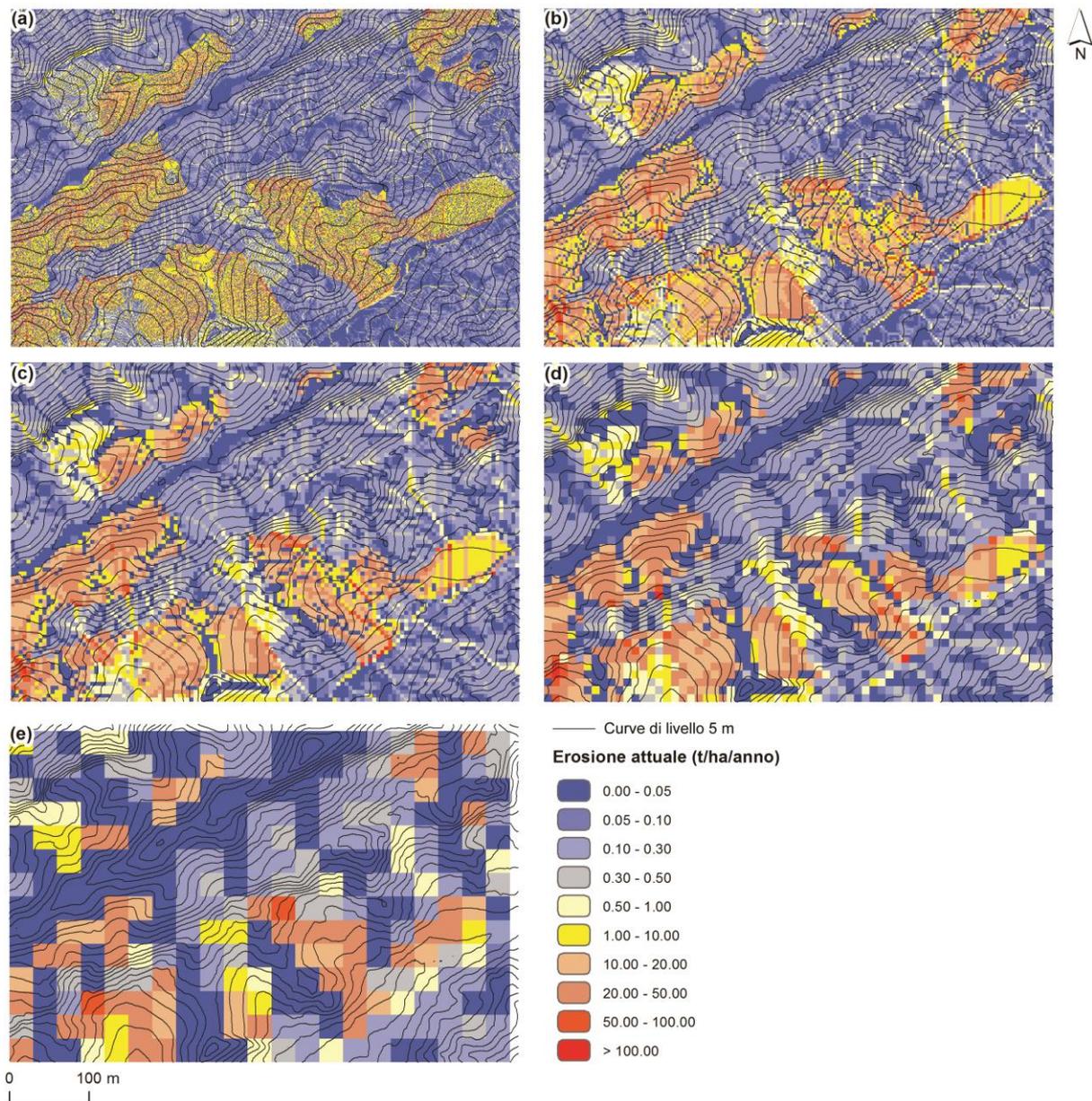


Figura 4.2.6: Mappe di erosione calcolate per la seconda zona di dettaglio (bacino b) alle cinque diverse risoluzioni: 1 (a), 3 (b), 5 (c), 10 (d) e 30 m (e). Ogni mappa riporta anche le curve di livello (5 m).

La risoluzione dell'immagine è data dalle dimensioni del pixel: maggiore è il pixel, minore è la risoluzione dell'immagine. Le mappe con celle di 1 m sono chiaramente più dettagliate e, all'aumentare del pixel, tale dettaglio viene perso. Tuttavia ad 1 m di risoluzione, e con dati LiDAR, i valori erosione sono sensibilmente condizionati dall'elevato dettaglio della morfologia locale, poiché la pendenza locale può presentare per lo stesso versante valori o molto elevati o prossimi allo zero qualora nel versante siano presenti massicce variazioni locali di 1 m. La figura 4.2.6 (a) evidenzia chiaramente questo mostrando pixel con valori molto bassi se non nulli di erosione (pixel blu scuro) per un versante dove la tendenza comune è di predisposizione all'erosione. Tale problematica è stata evidenziata anche da Tarolli & Tarboton (2006) nella modellistica di frana: impiegando DTM LiDAR a 1 m si ha una minore

performance dello stesso se paragonato a DTM (sempre su base LiDAR) con risoluzione di 5 m.

Le risoluzioni 3 e 5 m invece sono il miglior compromesso fra dettaglio e rappresentatività di una mappa di erosione. Risoluzioni superiori ai 5 m non sono auspicabili poiché poco dettagliate. La scelta della risoluzione da utilizzare va fatta in base al tipo di analisi da effettuare ed in base alla scala di analisi. Infatti, per quanto la mappa con celle di 1 m sia dettagliata, la mole di dati che comporta è decisamente elevata. Tale risoluzione è sicuramente più appropriata a studi su aree circoscritte e nei quali si necessita di dati ad alta precisione. Le basse risoluzioni, invece, con celle di 30 m, sono adatte per analisi su larga scala, in cui il dettaglio perde di importanza.

Nell'analisi delle macro aree, la risoluzione 5 m è risultata sufficiente al fine di individuare le zone maggiormente soggette ad erosione. A livello di bacino, quindi scala locale, la risoluzione di 3 m risulta probabilmente essere il giusto compromesso tra il massimo dettaglio fornito dalla risoluzione di 1 m e l'informazione meno dettagliata della risoluzione di 5 m.

A questo punto, un'interessante osservazione da fare è la valutazione visiva della differenza tra le due mappe di erosione ottenute, a parità di risoluzione (5 m), dalle due diverse fonti: CTR e LiDAR (figura 4.2.7).

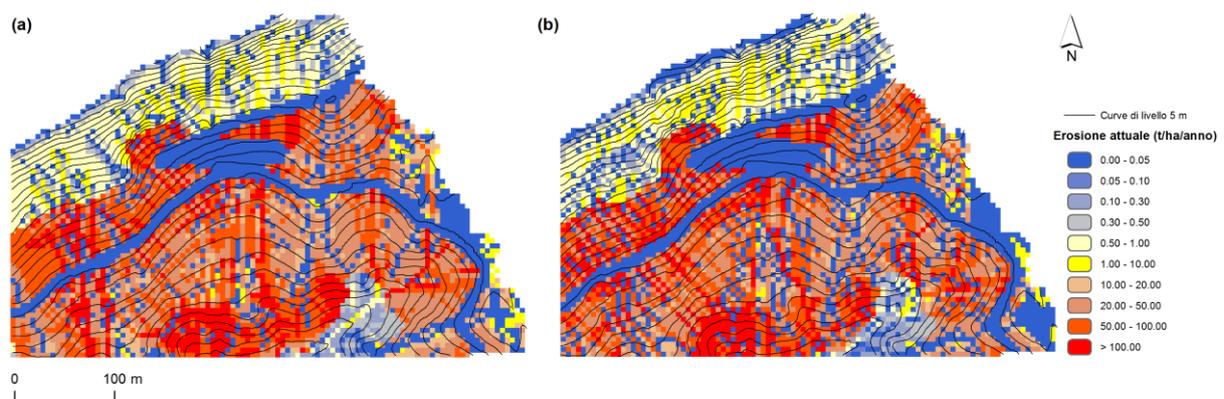


Figura 4.2.7: Dettaglio della zona "anfiteatro": (a) mappa dell'erosione derivata da LiDAR, (b) mappa dell'erosione derivata da CTR.

Le differenze tra le due mappe sono minime, non chiaramente individuabili. Per questa analisi, l'utilizzo di una base topografica piuttosto che dell'altra non sembra dare risultati molto differenti tra loro. Tuttavia è sempre da tenere presente il fatto che in alcune porzioni del DEM derivato da CTR vi siano degli errori significativi (fig.4.2.2)

4.2.2 Caso studio dell'evento di Refrontolo

La scelta nell'identificazione del bacino (b) risiede nel fatto che esso è stato affetto da un grave evento alluvionale che ha colpito i comuni di Refrontolo e Tarzo il 2 agosto 2014. Il periodo 1-3 agosto 2014 è stato caratterizzato da eventi temporaleschi che hanno interessato l'intero territorio regionale, in particolare l'alto trevigiano. Nella serata del 2 agosto, forti temporali hanno interessato la parte nord-orientale del trevigiano, persistendo maggiormente su una fascia ristretta tra Vittorio Veneto e Follina. I quantitativi massimi di precipitazione sono stati registrati a Nogarolo di Tarzo (TV) con 66.2 mm/24 h e da Vittorio Veneto (TV) con 64 mm/24 h (ARPAV, 2014). Tali dati tuttavia sono in fase di elaborazione, poiché si necessita un'interpretazione da Radar meteorologico per una stima più corretta della precipitazione. Probabilmente le due stazioni sopra menzionate riportano precipitazioni non rappresentative dell'evento. Testimonianze parlano di estrema localizzazione dell'evento sul territorio e di valori di precipitazione (intensità oraria) veramente estremi. Le intense precipitazioni hanno causato l'esondazione del torrente Lierza in corrispondenza del Molinetto della Croda di Refrontolo. Uno dei fattori scatenanti potrebbe essere il fatto che l'evento si è verificato su suoli già saturati da un'estate particolarmente piovosa, e per il fatto che si sia localizzato su un'area (testata del bacino (b)) caratterizzata da suoli particolarmente superficiali e con rocce affioranti. L'ARPAV ha affermato che quello di questa estate è stato il Luglio più piovoso negli ultimi 20 anni, stimando infatti una precipitazione cumulata di circa 218 mm in tutto il Veneto (figura 4.2.8), il 160% in più rispetto alla media 1994-2013 (di 84 mm). In particolare nell'alto trevigiano si è stimato un incremento rispetto alla media dell'ordine di 100-150 mm (ARPAV, 2014).

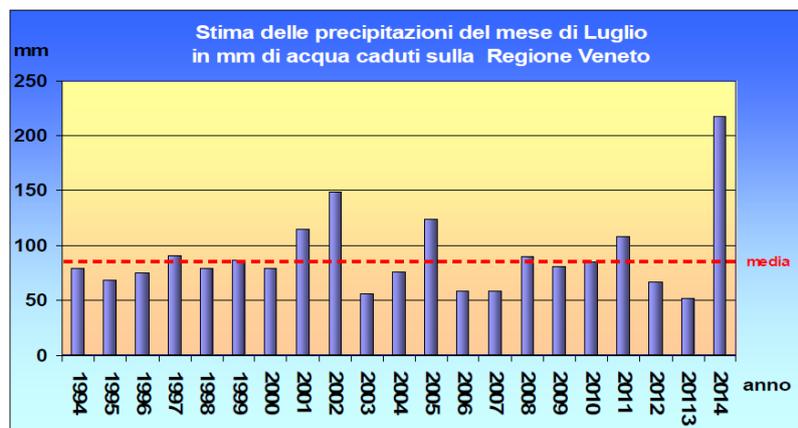


Figura 4.2.8 Precipitazioni cumulate del mese di Luglio registrate negli ultimi 20 anni (1994 - 2014) per il territorio della Regione Veneto. Fonte: ARPAV.

Gli intensi fenomeni temporaleschi hanno favorito l'innesco di numerose frane di tipo superficiale sia all'interno del bacino del Lierza (bacino (b)) che all'interno dell'adiacente bacino (a). Di seguito vengono riportate alcune foto scattate a distanza di 5 giorni il tragico evento (figure 4.2.9 e 4.2.10)



Figura 4.2.9 Esempi di alcune frane superficiali innescate a seguito dei forti eventi temporaleschi dei primi giorni di agosto 2014. Le frane sono localizzate esattamente al di sopra della strada principale. Foto di Tarolli P.



Figura 4.2.10 Esempio di frana di tipo superficiale situata all'interno del bacino (b) innescata a seguito dei forti eventi temporaleschi dei primi giorni di agosto 2014. La frana si è originata in una porzione di vigneto soprastante la strada principale. Foto di Tarolli P.

Da un sopralluogo effettuato cinque giorni dopo il tragico evento, 33 frane superficiali sono state mappate in campo mediante GPS nella porzione settentrionale dei bacini (a) e (b). Ai fini di una semplice valutazione comparativa, le frane sono state sovrapposte alle mappe di erosione USLE con risoluzione 3 m (figura 4.2.11). Le frane mappate sono localizzate soprattutto in prossimità della strada principale.

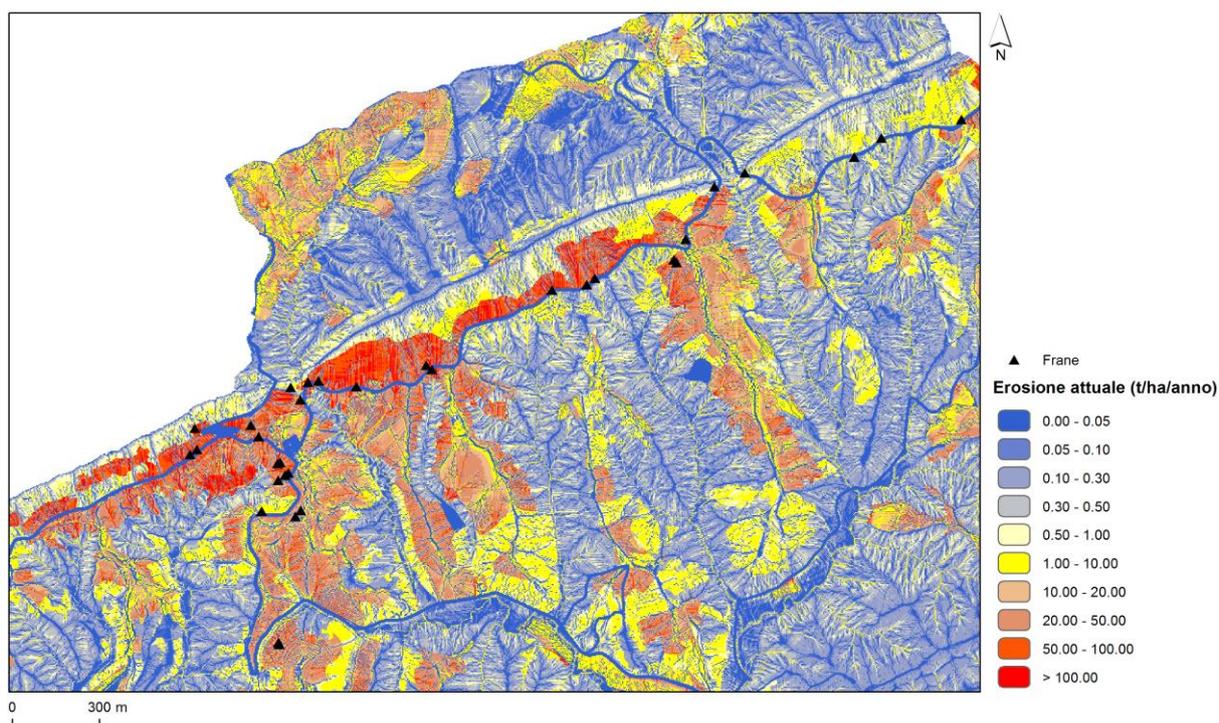


Figura 4.2.11: Frane mappate in campo a seguito del tragico evento alluvionale del 2 agosto 2014. In figura sono mostrate anche le mappe di erosione calcolate per entrambi i bacini con risoluzione 3m.

Dalla figura 4.2.11 emerge che la maggior parte delle frane sono localizzate in aree caratterizzate da un tasso di erosione elevato, evidenziando in questo modo una buona capacità predittiva del modello di zone a potenziale erosione. Ai fini di un'analisi più corretta, considerando che il modello USLE non è un modello di suscettibilità al franamento superficiale, è auspicabile l'applicazione di un modello di frana di tipo superficiale. Il modello USLE, considerate anche la semplicità e velocità di calcolo che esso richiede, può costituire tuttavia uno strato informativo importante a livello pianificatorio, in supporto alle carte di pericolosità (alluvione, frane, incendi ecc). Il modello è in grado di quantificare, in modo rapido, le perdite annue di suolo sia a livello di appezzamenti di terreno che a livello di consorzi, province e regioni, fornendo pertanto un'idea di quelli che sono i processi

degradativi del suolo di una determinata area. Il modello applicato ad una specifica area, se viene abitualmente aggiornato nel corso del tempo, potrebbe inoltre confermare e, soprattutto quantificare, interessanti trend, quali l'intensificazione delle piogge intense (fattore R) ed il cambio di uso del suolo (fattore C), mettendoli in stretta relazione con i tassi di erosione.

5 CONCLUSIONI

L'erosione è un fenomeno naturale da sempre presente sul nostro pianeta (Kirkby e Morgan, 1980), responsabile della rimozione di suolo dai terreni acclivi. Una delle forme più critiche di erosione è quella causata dall'acqua: si stima che in Europa, circa il 12% delle terre emerse si soggetto a questo tipo di processo (CEC, 2006a). L'erosione idrica dipende da diversi fattori quali l'intensità delle precipitazioni (erosività), le caratteristiche dei suoli (erodibilità), la topografia, il tipo di copertura vegetale e le tecniche di coltivazione. La perdita di suolo diventa un problema ancora più grave laddove si verifica in terreni coltivati, a causa sia delle perdite economiche che ne derivano e sia dei relativi problemi di sicurezza per le persone che vi lavorano. Si stima che ogni anno, in tutto il mondo, circa dieci milioni di ettari di terre coltivate venga perso a causa dell'erosione (Loftas, 1995) con conseguenti elevati costi economici (Pimentel et al., 1995). Per questo motivo in questi ultimi decenni numerosi studiosi in tutto il mondo hanno portato avanti ricerche riguardo l'erosione provocata dalle lavorazioni agrarie (Lindstrom et al., 1992; Lobb et al., 1995; Govers et al., 1996; Li et al., 2009) tra cui anche in ambiente mediterraneo acclive (Porqueddu & Roggero, 1994). La gravità legata ai fenomeni erosivi ha fatto sì che, nel corso degli ultimi decenni, si sviluppassero numerosi modelli per la quantificazione di tali processi. Infatti, lo studio di questi fenomeni non può limitarsi ad una semplice analisi qualitativa, bensì necessita di una stima quantitativa. Tra i vari modelli presenti in letteratura, attualmente, il più famoso ed applicato è senza dubbio il modello USLE. Questo modello prevede l'applicazione di un'equazione che tiene in considerazione dei principali fattori che influenzano l'erosione del suolo, tra cui l'erosività delle piogge, l'erodibilità del suolo, la topografia e l'uso del suolo. Lo scopo di questo lavoro è stato pertanto l'analisi quantitativa dell'erosione, espressa in t/ha/anno, del suolo in ambito agricolo collinare attraverso il modello USLE. Il calcolo dei fattori R ed S ha richiesto l'utilizzo di un Modello Digitale del Terreno. A tal riguardo, si sono utilizzati DTMs di origine diversa a seconda dell'area presa in considerazione: i) DEM derivato dalla Carta Tecnica Regionale (5 m), scaricabile gratuitamente dal portale cartografico della Regione Veneto per le due macro aree dei Colli Euganei e del Consorzio di Tutela del Prosecco DOG, e ii) DTM di origine LiDAR (1 m) fornito dalla Provincia di Treviso per due aree di dettaglio (bacini (a) e (b)) all'interno del Consorzio del Prosecco DOCG. A partire dal DTM di origine LiDAR con risoluzione 1 m, sono stati poi ottenuti DTMs a quattro minori risoluzioni: 3, 5, 10 e 30 m. A questo punto, esclusivamente per i due bacini idrografici, è stato anche valutato l'effetto del cambio di risoluzione sulla media,

mediana, massimo e deviazione standard calcolati per ciascuna mappa di erosione. Dopodiché, sia a livello delle macro aree che dei due bacini idrografici, è stata valutata l'incidenza di ciascuna classe di uso del suolo, derivata dalla Corine Land Cover del 2006, sul valore dell'erosione media.

Dapprima il modello USLE è stato applicato a larga scala, ossia a livello di macro area, utilizzando, come già riportato precedentemente, il DEM di origine CTR. I risultati ottenuti per l'area dei Colli Euganei evidenziano una maggiore erosione in prossimità delle pendenze più elevate. La topografia, infatti, riveste un ruolo fondamentale per l'innescio di processi erosivi. Un altrettanto importante fattore risulta essere l'uso del suolo. La categoria delle colture permanenti, all'interno della quale sono inseriti i vigneti, mostra un'erosione media di circa 4.63 t/ha/anno, contro un'erosione media di circa 0.18 t/ha/anno ottenuto per le zone boscate. Per quanto riguarda i risultati ottenuti per il territorio del Prosecco DOCG, essi hanno mostrato l'influenza che riveste il clima in questa zona. Infatti, i valori ottenuti per il fattore dell'aggressività delle piogge sono molto più elevati di quelli ottenuti per l'area dei Colli Euganei: 810.49 contro 304.67 MJ·ha⁻¹·mm·h⁻¹·anno⁻¹, in media. Per quanto concerne l'uso del suolo, esso riveste un ruolo importante anche nell'area del Consorzio del Prosecco DOCG. Anche in questo caso, le colture permanenti sono quelle che presentano il valore di erosione medio maggiore pari a 11.14 t/ha/anno. Confrontando le due macro aree, la differenza principale riscontrata è stata prevalentemente l'aggressività delle precipitazioni. Le piogge abbondanti e frequenti dell'area trevigiana hanno un impatto rilevante nel processo erosivo, in modo più accentuato rispetto all'area dei Colli Euganei. Un aspetto in comune tra le due aree, invece, è stato sicuramente l'influenza della topografia e dell'uso del suolo.

Dopodiché, l'analisi dell'erosione è stata eseguita a scala locale, a livello di due bacini idrografici localizzati all'interno del Consorzio del Prosecco DOCG. In questo caso sono stati utilizzati come base topografica i DTM derivati da LiDAR con risoluzioni a 1, 3, 5, 10, 30 m. Grazie alla disponibilità di dati con diversa risoluzione è stato possibile osservare la variazione del tasso di erosione medio a scala di bacino in relazione alla variazione della risoluzione. Al diminuire della risoluzione, si è assistito ad una diminuzione progressiva dei valori massimi di erosione (tab. 4.2.3), indicativa sia di un miglior addolcimento delle pendenze (effetto smoothing) che di una riduzione in pixel anomali che sono più facilmente riscontrabili per risoluzioni elevate. Al diminuire della risoluzione infatti, i valori estremi vengono mediati maggiormente tra di loro e, pertanto, la superficie che ne deriva risulta essere più smussata e meno rumorosa. E' stata poi calcolata l'erosione media per ogni classe di uso del suolo. Gli esiti hanno mostrato che i valori più bassi di erosione media (zone

boscate, zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea, zone estrattive e zone industriali), tendono a rimanere pressoché costanti al diminuire della risoluzione. Al contrario, i valori di erosione media maggiori (zone urbanizzate, seminativi, colture permanenti) risentono maggiormente della variazione di risoluzione. I seminativi, ad esempio, riportano i valori più alti in entrambi i bacini e mostrano una variabilità maggiore rispetto, per esempio, alle zone boscate. Per la risoluzione di 5 m, è stata valutata una significativa differenza nei valori massimi di erosione derivata da DEM – CTR e DTM – LiDAR. Nel caso del bacino (a) l'elaborazione della USLE a 5 m DEM da CTR mostra valori di erosione massimi più elevati se paragonati con la stessa elaborazione a 5 m ma impiegando DTM ricavato da LiDAR. Ciò è dovuto all'“effetto terrazzamento” presente in numerose zone del DEM ricavato da CTR, si tratta di un effetto dovuto a interpolazione delle curve di livello della CTR, che rappresenta un errore e quindi un'interpretazione non corretta della morfologia delle superfici. Tale errore si ripercuote sulla stima dell'erosione.

I risultati ottenuti sulla base del DEM da CTR per il bacino (b) non si differenziano molto da quelli calcolati sulla base del DTM da LiDAR sia in termini di statistiche generali (tab. 4.2.3) che in termini di variazione dell'uso del suolo (4.2.4). Tuttavia è importante sottolineare come il DEM – CTR per la zona del Consorzio del Prosecco presenti evidenti anomalie (fig. 4.2.2). Quindi per il tipo di analisi considerato nel presente lavoro di tesi, sarebbe auspicabile non impiegare DEM da CTR.

A livello dei due bacini, si è poi scesi più nel dettaglio focalizzando l'attenzione su due zone caratteristiche dell'area. Per entrambe queste zone di dettaglio, è stata effettuata un'analisi visiva della variazione di risoluzione delle diverse mappe dell'erosione (1, 3, 5, 10 e 30 m). Da questa analisi è emerso che una risoluzione di 3 o 5 m potrebbe essere il miglior compromesso fra dettaglio e rappresentatività di una mappa di erosione.

Infine, è stato considerato il caso studio inerente la tragica alluvione avvenuta il 2 agosto 2014 a Refrontolo, Comune localizzato all'interno del Consorzio del Prosecco DOCG. Si è trattato di un evento meteorologico, estremo in termini di intensità di pioggia e molto localizzato, che ha interessato il bacino del torrente Lierza (bacino (b) preso in esame). Le abbondanti precipitazioni hanno causato l'innescò di numerose frane superficiali. Da un sopralluogo effettuato cinque giorni dopo il tragico evento, 33 frane superficiali sono state mappate in campo con il GPS. Ai fini di una valutazione comparativa, le frane sono state interfacciate alle mappe di erosione USLE con risoluzione 3 m (figura 4.2.11). È emerso che la maggior parte delle frane mappate sono localizzate in aree caratterizzate da un tasso di erosione elevato. Ai fini di un'analisi più corretta, sarebbe auspicabile l'applicazione di un modello di frana di tipo

superficiale per valutare una possibile corrispondenza tra le aree soggette a franamento e quelle caratterizzate da elevati tassi di erosione.

In conclusione, si può affermare che la topografia ad alta risoluzione di origine LiDAR assume un ruolo fondamentale principalmente nelle analisi a piccola scala, come a livello dei bacini. Ciò nonostante, l'utilizzo di un DTM di origine LiDAR a livello di macro-area è comunque auspicabile considerate le evidenti anomalie riscontrate nel DEM di origine CTR. Gli svantaggi che sussistono nell'uso di DTM ad alta risoluzione sono il limite delle risorse di calcolo disponibili e il tempo che i DTM richiedono per essere elaborati. Risulta altrettanto evidente che la scelta della risoluzione del DTM va fatta in base alla scala di applicazione.

Il modello USLE spazializzato si conferma un modello semplice e rapido da applicare, a patto chiaramente che si abbiano i corretti dati di input e che possa essere validato con dati reali di erosione rilevati in campo. Esso può costituire uno strato informativo importante a livello pianificatorio, da supporto alle carte di pericolosità: alluvione, frane, incendi ecc.

6 BIBLIOGRAFIA

AA.VV. 2010. *Wine: Global Industry Guide*. Datamonitor Publisher.

ARPAV. 2008. *Valutazione del rischio d'erosione per la regione Veneto*. Available online at <http://www.arpa.veneto.it/>

ARPAV. 2014. *Sabato 2 agosto 2014 – Fenomeni alto trevigiano. Dati di precipitazione misurati dalle stazioni della rete di telemisura ARPAV*. Available online at <http://www.arpa.veneto.it/>

FAO 2011. FAOSTAT, commodities by country. Available online at <http://faostat.fao.org/>

Agnoletti, M., Santoro, A., Emanuelli, F., Maggiari, G., Preti F. 2012. *Terracing and hydrogeological risk. A study of the environmental disaster of 25 October 2011 in Cinque Terre*. M. Agnoletti, A. Carandini, W. Santagata (Eds.), Florens 2012 Studi e Ricerche Essays and researches, Bandecchi & Vivaldi Editori-Stampator, Pontedera (2012), pp. 25–46.

Akay, A. E., Oğuz, H., Karas, I. R., & Aruga, K. 2009. *Using LiDAR technology in forestry activities*. Environmental monitoring and assessment, 151(1-4), 117-125.

Augustinus, PGEF and Nieuwenhuysen, P.J. 1986. *Soil erosion in vineyards in the Ardeche region*. Catena, 13, 295-304.

Aurighi, M. e Vitadello, A., 1999. *Testimonianze geologiche dei Colli Euganei – Itinerari per riconoscere la geologia dei nostri colli*.

Bagarello, V., & Ferro, V. 2004. *Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental area of Sparacia (southern Italy)*. Hydrological Processes, 18(1), 141-157.

Bagarello, V., & Ferro, V. 2010. *Analysis of soil loss data from plots of differing length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy*. Biosystems engineering, 105(3), 411-422.

Bagarello, V., Ferro, V., & Giordano, G. 2010. *Testing alternative erosivity indices to predict event soil loss from bare plots in Southern Italy*. Hydrological processes, 24(6), 789-797.

Bailly, J. S., Lagacherie, P., Millier, C., Puech, C., & Kosuth, P. 2008. *Agrarian landscapes linear features detection from LiDAR: application to artificial drainage networks*. International Journal of Remote Sensing, 29(12), 3489-3508.

Barrows, H. L., & Kilmer, V. J. 1963. *Plant nutrient losses from soils by water erosion*. Adv. Agron, 15, 303-316.

Bartolini, D., Borselli, L., Calzolari, M.C., Salvador Sanchiz, P., Torri, D.B., Ungaro, F., Zandomeneghi, M. (a cura di), 2004. *Applicazione della USLE/RUSLE ai suoli di collina e montagna della Regione Emilia Romagna. Definizione dei parametri R, erosività delle piogge, e C, copertura del suolo*. Regione Emilia-Romagna, Documento interno.

Bazzoffi, P., 2007. *Erosione del suolo e sviluppo rurale*. Ed agricole, Bologna, 250 pp.

Blanos R, De Cillia C, Paganini P, Pavan A, Pietrapertosa C, Sterzai P, Coren F. 2009. *Rilievo lidar ed iperspettrale della provincia di Treviso. Relazione tecnica realizzata dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) - Dipartimento di Geofisica della Litosfera (GDL) - CARS GROUP (Cartography and Remote Sensing)*

Blavet, D., De Noni, G., Le Bissonnais, Y., Leonard, M., Maillo, L., Laurent, JY., Asseline, J., Leprun, JC., Arshad, MA. and Roose, E. 2009. *Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards*. Soil and Tillage Research, 106, 124-136.

Boels, D., Davies, D.B., Johnston, A.E. (Eds.), 1981. *Soil degradation. Proceedings of the land use seminar on soil degradation/ Wageningen/ 13-15 October 1980*. A.A. Balkema-Rotterdam-1982.

Borga, M., Anagnostou, EN., Blöschl, G., Creutin, J-D. 2011. *Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project*. Environmental Science & Policy, 14, 7, 834-844.

Borin M., Bonamano A. 2005 *Caratterizzazione dell'indice di erosività della pioggia in alcune località collinari del Veneto*. Atti del Convegno nazionale AIAM, "Agrometeorologia, risorse naturali e sistemi di gestione del territorio", Vasto, in rivista italiana di Agrometeorologia, anno 9, n. 1, pp.36-37.

- Brenot, J., Quiquerez, A., Petit, C. and Garcia, J. 2008. *Erosion rates and sediment budgets in vineyards at 1-m resolution based on stock unearthing (Burgundy, France)*. *Geomorphology*, 100, 345-355.
- Cerdan O, Le Bissonnais Y, Couturier A, Saby N. 2002. *Modelling interrill erosion in small cultivated catchments*. *Hydrological Processes* 16, 3215–3226.
- Chan, Y. C., Chen, Y. G., Shih, T. Y., & Huang, C. 2007. *Characterizing the Hsincheng active fault in northern Taiwan using airborne LiDAR data: detailed geomorphic features and their structural implications*. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31(3), 303-316.
- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J. A., & Ramos, M. C. 2006. *Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring*. *Agriculture, ecosystems & environment*, 115(1), 88-96.
- Dahlgren, R.A., Tate, K.W., Lewis, D.J., Atwill, E.R., Harper, J.M. and Allen-Diaz, B.H. 2001. *Watershed research examines rangeland management effects on water quality*. *California Agriculture*, 55, 64–71.
- Desmet, P. J. J., & Govers, G. 1995. *GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: a comparison of model results with soil map information*. *Catena*, 25(1), 389-401.
- Dotterweich, M. 2013. *The history of human-induced soil erosion: geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation—a global synopsis*. *Geomorphology*, 201, 1-34.
- Eynard, I., & Dalmasso, G. 1990. *Viticultura moderna: manuale pratico: evoluzione della viticoltura, nozioni generali, tecnica viticola, ampelopatie e difesa del vigneto*. HOEPLI EDITORE.
- Faulkner H, Ruiz J, Zukowsky, P, Downward S. 2003. *Erosion risk associated with rapid and extensive agricultural clearances on dispersive materials in southeast Spain*. *Environmental Science & Policy* 6, 115-127.

Ferro, V., Porto, P., & Yu B. 1999. *A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia*. Hydrological Sciences Journal, 44:1, 3-24

Floris, A. e Clementel, F. 2011. *Esperienze di ricerca per l'impiego operativo del LiDAR aereo in Assestamento forestale*. VII Corso intensivo di alta formazione per Dottorandi di Ricerca del Settore forestale-ambientale, CSALP - Pieve Tesino (TN), 11 aprile - 16 aprile 2011.

García-Ruiz JM, Lana-Renault N, Beguería S, Lasanta T, Regüés D, Nadal-Romero E, Serrano-Muela P, López-Moreno JI, Alvera B, Martí-Bono C, Alatorre LC. 2010. *From plot to regional scales: interactions of slope and catchment hydrological and geomorphic processes in the Spanish Pyrenees*. Geomorphology 120, 248–257.

Gomarasca, M. A., 2004. *Elementi di geomatica*. Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano, 618 pp.

Govers, G., Quine, T.A., Desmet, P.J.J., Walling, D.E., 1996. *The relative contribution of soil tillage and overland flow erosion to soil redistribution on agricultural land*. Earth Surf. Processes Landforms 21, 929–946.

Harden, C. P. 1996. *Interrelationships between land abandonment and land degradation: a case from the Ecuadorian Andes*. Mountain Research and Development, 274-280.

Ketcheson, J. W. 1980. *Long-range effects of intensive cultivation and monoculture on the quality of southern Ontario soils*. Canadian Journal of Soil Science, 60(3), 403-410.

Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C., 1980. *Soil erosion*. A Wiley Interscience Publication, Chichester, New York, Brisbane, Toronto.

Komárek, M., Čadková, E., Chrástný, V., Bordas, F., & Bollinger, J. C. 2010. *Contamination of vineyard soils with fungicides: a review of environmental and toxicological aspects*. Environment international, 36(1), 138-151.

Kosmas, C., Danalatos, N., Cammeraat, L.H., Chabart, M., Diamantopoulos, J., Farand, R., Gutierrez, L., Jacob, A., Marques, H., Martínez-Fernandez, J., Mizara, A., Moustakas, N., Nicolau, J.M., Oliveros, C., Pinna, G., Puddu, R., Puigdefabregas, J., Roxo, M., Simao, A., Stamou, G., Tomasi, N., Usai, D. and Vacca, A. 1997. *The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions*. Catena, 29, 45–59.

- Lal, R. 1994. *Soil erosion research methods*. CRC Press.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Oserín, M., & Ortigosa, L. M. 2001. Marginal lands and erosion in terraced fields in the Mediterranean mountains: a case study in the Camero Viejo (Northwestern Iberian System, Spain). *Mountain Research and Development*, 21(1), 69-76.
- Li, S., Lobb, D.A., Tiessen, K.H.D., 2009. *Modeling tillage-induced morphological features in cultivated landscapes*. *Soil Tillage Res.* 103, 33–45.
- Lindstrom, M.J., Nelson W.W., Schumacher, T.E., 1992. *Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing*. *Soil Tillage Res.* 24, 243–255.
- Llasat, MC., Puigcerver, M. 1992. Pluie extrême en Catalogne. Influences orographiques et caractéristiques synoptiques. *Hydrol. Cont.* 7, 99–115.
- Lobb, D.A., Kachanoski, R.G., Miller, M.H., 1995. *Tillage translocation and tillage erosion of shoulder slope landscape positions measured using ¹³⁷Cs as a tracer*.
- Loftas, T., 1995. *Necessita e risorse: atlante dell'alimentazione e dell'agricoltura*. Food & Agriculture Org. *Can. J. Soil Sci.* 75, 211–218.
- Lo Brutto, M., 2005. *I sistemi Laser Scanning aerei. Geomatica e modellizzazione digitale del terreno, Master Universitario di II livello in "Sistemi Informativi Territoriali"*, Università degli Studi di Palermo, (<http://www.idra.unipa.it/>).
- Martínez-Casasnovas, J. A., & Ramos, M. C. 2006. *The cost of soil erosion in vineyard fields in the Penedès–Anoia Region (NE Spain)*. *Catena*, 68(2), 194-199.
- Morgan, RPC. 1995. *Soil Erosion and Conservation* (2nd ed.). Longman, Harlow.
- Nearing, M. A., Pruski, F. F., & O'neal, M. R. 2004. *Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59(1), 43-50.
- Norbiato, D., Borga, M., Degli Espositi, S., Gaume, E., Anquetin, S. 2008. Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: an assessment for gauged and ungauged basins. *Journal of Hydrology*, 362, 3-4.
- Opsi, F., Biddoccu, M., & Cavallo, E. 2011. Misure decennali di deflusso, perdita di suolo e nutritivi da vigneti con diversa gestione del suolo in alto Monferrato.
- Piccin, M., 1980. *La Comunità Montana delle Prealpi Trevigiane. Appunti di Geologia, Morfologia e Idrografia*, in Il Flaminio.

- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. *Soil-erosion estimates and costs—reply*. Science 269 (5223), 464–465.
- Pirotti F. 2012. *Sviluppi della tecnologia laser scanner*. Sherwood, Foreste ed alberi oggi, 181: 11-15.
- Poesen, JWA., Hooke, J.M. 1997. *Erosion, flooding and channel management in the Mediterranean environments of southern Europe*. Progress in Physical Geography, 21, 157–199.
- Porqueddu, C. & Roggero, P. P., 1994. *Effetto delle tecniche agronomiche di intensificazione foraggera sui fenomeni erosivi dei terreni in pendio in ambiente mediterraneo*. Rivista di agronomia, 28(4), 364-370.
- Preti, F., Tarolli, P., Dani, A., Calligaro, S., & Prosdocimi, M. 2013. *LiDAR derived high resolution topography: the next challenge for the analysis of terraces stability and vineyard soil erosion*. Journal of Agricultural Engineering, 44(2s).
- Ramos, MC., Porta, J., 1994. *Rainfall intensity and erosive potentiality in the NE Spain Mediterranean area: results on sustainability of vineyards*. Il Nuovo Cimento 17, 291–299.
- Ramos, MC., Martínez-Casasnovas, JA. 2007. *Soil loss and soil water content affected by land leveling in Penedès vineyards, NE Spain*. Catena, 71, 210-217.
- Renard KG., Foster GR., Weesies GA., McCool DK., Yoder DC. 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. USDA., Agr. Handb. No. 703
- Romero-Calcerrada, R., & Perry, G. L. 2004. *The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del rio Alberche y Cofio, Central Spain, 1984–1999*. Landscape and Urban Planning, 66(4), 217-232.
- Romero Díaz, MA, Tobarra Ochoa P, López-Bermúdez F, González-Barberá G. 2002. *Changing social and economic conditions in a region undergoing desertification in the Guadalentín*. In: Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes, J.B.(Eds.), Mediterranean Desertification - A mosaic of processes and responses. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK.

- Rousseva S., Stefanova, V. 2006. *Assessment and mapping of soil erodibility and rainfall erosivity in Bulgaria*. In: Proc. BALWOIS 2006. (This issue).
- Santos, M.J. 2000. *The evolution of maximum precipitations in 24 hours throughout the XXth Century in Alicante*. Int. Scien. Meeting on Detection and Modelling of Recent Climate Change and its Effects on a Regional Scale. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, p. 73.
- Šúri M., Cebecauer T., Hofierka J., Fulajtár E. 2002). *Soil erosion assessment of Slovakia at a regional scale using GIS*. Ekoloógia (Bratislava), 2002, Vol. 21, No. 4, 404-422.
- Tarolli, P., & Tarboton, D. G. 2006. *A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping*. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 10(5), 663-677.
- Tarolli, P. (2014). High-resolution topography for understanding Earth surface processes: Opportunities and challenges. *Geomorphology*, 216, 295-312.
- Tarolli, P., Borga., M., Morin, E., Delrieu G. 2012a. *Analysis of flash flood regimes in the North-Western and South-Eastern Mediterranean regions*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 1255-1265.
- Tarolli, P., Sofia, G., & Dalla Fontana, G. 2012b. *Geomorphic features extraction from high-resolution topography: landslide crowns and bank erosion*. Natural Hazards, 61(1), 65-83.
- Tarolli, P., Preti, F., & Romano, N. 2014a. *Terraced landscapes: From an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land abandonment*. Anthropocene, doi:10.1016/j.ancene.2014.03.002
- Tarolli, P., Sofia, G., Calligaro, S., Prosdocimi, M., Preti, F., & Dalla Fontana, G. 2014b. *Vineyards in terraced landscapes: new opportunities from LiDAR data*. Land Degradation & Development, doi:10.1002/ldr.2311
- Tropeano D. 1983. *Soil erosion on vineyards in the Tertiary Piedmontese basin (northwestern Italy): studies on experimental areas*. Catena, Suppl. 4, 115-127.
- Van Wesemael B, Poesen J, Solé Benet L, Cara Barrionuevo L, Puigdefábregas J. 1998. *Collection and storage of runoff from hillslopes in a semi-arid environment: geomorphic and hydrologic aspects of the aljibe system in Almeria Province, Spain*. Journal of Arid Environments 40, 1-14.

Walther, P. 1986. *Land abandonment in the Swiss Alps: a new understanding of a land-use problem*. Mountain Research and Development, 305-314.

Wischmeier WH., Smith DD. 1965. *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. USDA Handb. 282, U.S. Gov. Print. Off., Washington, D.C.

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

Woodward, C. L. 1996. *Soil compaction and topsoil removal effects on soil properties and seedling growth in Amazonian Ecuador*. Forest Ecology and Management, 82(1), 197-209.

Yuan T, Fengmin L, Puhai L., 2003. *Economic analysis of rainwater harvesting and irrigation methods, with an example from China*. Agricultural Water Management 60, 217-226.

7 RINGRAZIAMENTI

I miei più sinceri ringraziamenti vanno anzitutto a Massimo Prosdocimi, che nonostante gli impegni è sempre stato pronto ad aiutarmi ed incoraggiarmi e senza il quale questo lavoro non sarebbe stato lo stesso. Grazie davvero!

Ringrazio inoltre il prof. Paolo Tarolli che ha avuto la pazienza di seguirmi in tutto il mio percorso nonostante gli obblighi accademici, e il quale mi ha dato la possibilità di fare esperienze strutturanti nell'ambito universitario.

Un ringraziamento va inoltre a Maurizio che mi ha sempre sopportata e supportata, a Iole e a Salvatore, che sono stati i miei "mecenati".

Infine desidero ringraziare la mia famiglia, in particolare Irene, mia sorella, poiché nei momenti più difficili è sempre stata presente.