

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Corso di laurea in Scienze Forestali e Ambientali

ANALISI SULL'EFFICIENZA DI ALCUNE STRADE AD USO PREVALENTE
FORESTALE IN ALTA VAL CAMONICA

Relatore:

Prof. Stefano Grigolato

Laureando: Marco Schivardi

Matricola: 1134104

ANNO ACCADEMICO 2017-2018

Ai miei genitori con affetto
e gratitudine per avermi
sempre supportato e sopportato
durante tutto il percorso dei miei studi

Indice

Abstract	7
1 Introduzione	9
1.1 Inquadramento territoriale	9
1.2 Il bosco in Valle Camonica	9
1.3 La viabilità agro-silvo-pastorale.....	10
1.4 Il Consorzio Forestale Due Parchi.....	12
2 MATERIALI E METODI	17
2.1 Studio del territorio: le strade a prevalente uso forestale.....	17
2.2 I rilievi.....	18
2.3 Casi di studio	21
2.4 Le imprese boschive	25
2.4.1 Sistemi di esbosco	25
2.4.2 Cantieri di utilizzazione forestale	25
2.5 Rappresentazione raggio di curvatura con AutoCAD	26
2.6 Computo metrico per l'allargamento dei tornanti.....	28
3 RISULTATI.....	31
3.1 Analisi della carta VASP	31
3.2 Confronto fra VASP e rilievi.....	33
3.3 I tornanti.....	35
3.4 I modelli.....	36
3.5 Calcolo del costo di allargamento dei tornanti	43
4 CONCLUSIONI FINALI	51
5 BIBLIOGRAFIA	53
5.1 Piani d'Assestamento.....	55
6 SITOGRAFIA.....	56
7 RINGRAZIAMENTI	57

ABSTRACT

[ITA]

L'intento di questo elaborato finale, sviluppato in collaborazione con il Consorzio Forestale Due Parchi che opera in Alta Valle Camonica, è quello di migliorare l'attuale informazione relativa allo stato di gestione della viabilità agro-silvo-pastorale dell'alto territorio camuno.

Durante questo lavoro è stata compiuta un'indagine per mettere in evidenza le incongruenze tra dati digitali attualmente disponibili e la realtà a terra, tenendo presente non solo il parere degli esperti, ma anche quello delle imprese forestali che lavorano sul territorio.

Il lavoro svolto è stato sviluppato in tre principali parti:

- inquadramento territoriale;
- rilievo e analisi della viabilità agro-silvo-pastorale;
- considerazioni e proposte di miglioramento.

L'elaborato si prefigge quindi di analizzare le criticità della viabilità forestale locale e nello stesso tempo di verificare l'eventuale pianificazione di una nuova viabilità. Allo stato attuale, data anche la dotazione tecnologica delle imprese boschive locali, non sembra essere indispensabile la programmazione di interventi di miglioramento della viabilità forestale attuale con nuove strade, ma prevale l'esigenza di miglioramento della viabilità esistente.

[ENG]

The purpose of this final work, carried out in collaboration with the *Consorzio Forestale Due Parchi*, which operates in *Valle Camonica*, is to compensate for the lack of data about the state of management of the forest and rural roads in the upper *Camun* territory.

In addition, during this work, an investigation has been carried out with the aim of underlining the incongruence between multimedia data and reality, considering not only the opinion of experts but also forestry companies which work directly on the territory, and concluding with an economic analysis of the costs of realizing a new track.

The work has been developed on three parts:

- analysis of the case study area;
- forest and rural road network analysis;
- discussion and suggestions.

The thesis aims to observe the weakness point of local forest roads networks and at the same time emphasizes that new forest roads are not necessary to improve the yarding efficiency because, the current available technology is adapted to work efficiently with the current state of road network.

1 INTRODUZIONE

1.1 Inquadramento territoriale

La Valle Camonica si estende, con andamento Nord-Sud, dalla sorgente del fiume Oglio al lago d'Iseo per più di 1200 km² (126 096 ha), comprende 41 comuni della provincia di Brescia ed è la più vasta valle lombarda in termini di superficie.

Si tratta di un'area caratterizzata da un elevato dislivello, infatti, si passa dai 250 m s.l.m. a livello del lago d'Iseo ai 3539 m s.l.m. del Monte Adamello, e ciò si riflette sulla composizione forestale e paesaggistica.

1.2 Il bosco in Valle Camonica

Dal punto di vista legislativo il principale riferimento in ambito forestale è la **Legge Regionale n° 31 del 5 dicembre 2008 "Testo unico delle leggi in materia di agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale"** che ha sostituito la L. R. 27/2004 (Tutela e valorizzazione delle superfici, del paesaggio e dell'economia forestale).

In particolare l'articolo 42 considera bosco *le formazioni vegetali, a qualsiasi stadio di sviluppo, di origine naturale o artificiale, nonché i terreni su cui esse sorgono, caratterizzate simultaneamente dalla presenza di vegetazione arborea o arbustiva, pari o superiore al 20 per cento, nonché da superficie pari o superiore a 2000 metri quadrati e larghezza non inferiore a 25 metri.*

Il territorio della Valle Camonica può essere suddiviso in tre regioni¹ forestali, ovvero quella esalpica, mesalpica ed endalpica (Del Favero et al. 2002).

Nella regione esalpica, la fascia submontana è caratterizzata dalla presenza prevalente di latifoglie (*Castanea sativa*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus ornus*, *Ostrya carpinifolia*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Quercus petraea*) mentre le conifere, in minoranza, sono rappresentate da larice (*Larix decidua*) e abete rosso (*Picea excelsa*).

Man mano che aumenta l'altitudine si assiste ad un progressivo cambiamento della vegetazione forestale e le latifoglie lasciano spazio alle conifere a causa di precipitazioni più elevate e temperature più rigide.

Nella fascia montana prevalgono le conifere, in particolare l'abete rosso alternato al larice, mentre in quell'altimontana, le peccete diminuiscono a favore di lariceti che spesso costituiscono il limite superiore del bosco.

¹ *Regioni forestali o tipi: Il tipo forestale è l'unità fondamentale caratterizzata da un elevato grado d'omogeneità sotto l'aspetto floristico, ecologico e tecnico culturale (Del Favero R. – I boschi delle regioni alpine Italiane- 2004)*

La superficie pubblica assestata è di ben 85.917 ha, quella privata è di 42.788 ha, inoltre la realtà camuna presenta 39.779 ha di aree boscate (principalmente fustaie, cedui, lariceti, arbusteti e mugheti) e 11.179 ha di pascoli alpini.

Le superfici incolte produttive sono quantificate essere pari a 14.361 ha mentre quelle improduttive 20.688 ha (Figura 1).

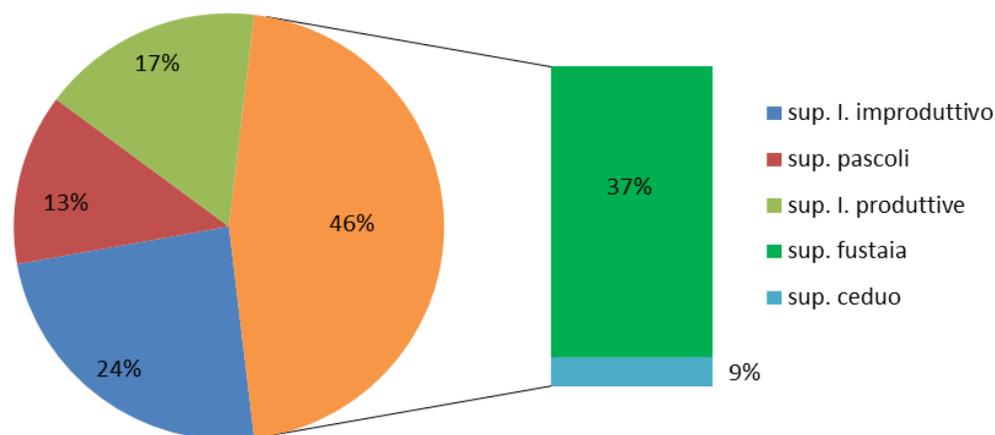


Figura 1: suddivisione della superficie totale della Valle Camonica. Fonte dati: Consorzio Forestale Due Parchi

1.3 La viabilità agro-silvo-pastorale

I tracciati, ubicati in aree montane e collinari, che sono al servizio di boschi, alpeggi e pascoli, costituiscono la Viabilità Agro-Silvo-Pastorale (VASP) e in base all'articolo 59 della Legge Regionale 31/2008, sono definiti "infrastrutture finalizzate a un utilizzo prevalente di tipo agro-silvo-pastorale non adibite al pubblico transito".

La viabilità forestale è l'elemento indispensabile per una corretta gestione e tutela del territorio infatti, le aree boscate non supportate da un'adeguata rete viaria sono difficilmente raggiungibili e quindi più vulnerabili in caso d'incendio, inoltre sono facilmente soggette a fenomeni di abbandono con inevitabili conseguenze negative economiche e paesaggistiche.

Il transito è disciplinato da un regolamento comunale, approvato sulla base dei criteri stabiliti dalla Giunta Regionale, articolo 21 L.R 27 del 28 ottobre 2004.

Le strade costituenti la VASP non sono soggette alle norme del Codice della Strada e hanno una propria classificazione basata su determinati parametri, i quali ne consentono la suddivisione per

classi di transitabilità. La Regione Lombardia tramite il D.G.R. n.14016/2003 ha definito quattro classi di transitabilità per quanto riguarda la viabilità agro-silvo-pastorale (Tabella 1).

Tabella 1: Classificazione delle strade forestali per classi di transitabilità

Classe di transitabilità	Fattore di transitabilità		Largh. minima (m)	Pendenza (%)			Raggio Tornanti (m)
	Mezzi	Carico ammissibile (t)		Prevalente	Massima		
					Naturale	Stabilizzato	
I	Autocarri	25	3,5	<10	12	16	9
II	Trattori con rimorchio	20	2,5	<12	14	20	8
III	Trattori di piccole dimensioni 90CV	10	2	<14	16	25	6
IV	Piccoli automezzi	4	1,8	>14	>16	>25	<6

Quando si parla di VASP, ci si riferisce a infrastrutture a fondo prevalentemente naturale nonostante talora può presentarsi anche parzialmente stabilizzato/pavimentato al fine di garantire la sicurezza del transito e la conservazione del percorso in seguito alla presenza di elevate pendenze o instabilità del fondo naturale.



Figura 2: rappresentazione con Google Earth della VASP in Alta Val Camonica aggiornata al 2015

In Valle Camonica, il Servizio Bonifica Montana della Comunità Montana di Valle Camonica ha realizzato nel 2005 il primo censimento² delle strade forestali e nel triennio 2007-2009 il secondo livello d'analisi (catasto³) dell'intero sistema viabile della Valle.

Il primo livello d'analisi ha rilevato una lunghezza complessiva della rete stradale pari a 1597 km mentre attraverso il secondo livello d'analisi essa si è ridotta a 1104 km.

Nel 2012 l'Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste (ERSAF) ha raccolto i dati riguardanti l'estensione della VASP in tutta la Lombardia ed è emerso che la Valle Camonica è la valle con l'estensione viabile superiore a qualsiasi altra valle Lombarda (1.216 km) conteggiando un numero di strade pari a 868.

Infine nel 2015 la Comunità Montana di Valle Camonica ha realizzato un'altra carta della viabilità agro-silvo-pastorale, la quale è stata digitalizzata tramite il software di visualizzazione grafica GIS e, attraverso una rielaborazione dei dati contenuti nelle tabelle degli attributi è emerso che la lunghezza complessiva della viabilità agro-silvo-pastorale (VASP) è stimata essere di 2.076 km.

La densità viabile⁴ Camuna è di 17,3 m/ha, al di sotto del range di valori ottimali delle regioni alpine che sono compresi tra 20-35 m/ha (Cavalli et al. 2013).

Nei comprensori forestali la rete VASP si collega alla "rete delle vie d'esbosco" (Cielo et al, 2003) o "rete viabile secondaria" cioè tracciati esclusivamente dedicati al trasporto a valle di assortimenti legnosi e sono in genere disposti lungo le linee di massima pendenza, eventualmente anche in modo obliquo.

La rete viabile secondaria può essere distinta in:

- vie d'esbosco per trattori, ricavate dal solo taglio della vegetazione su pendenze elevate non percorribili dai normali mezzi motorizzati
- linee di gru a cavo
- linee di avvallamento per gravità, sia naturali che artificiali

1.4 Il Consorzio Forestale Due Parchi

Il territorio camuno è gestito dalla Comunità Montana, la quale si avvale di Enti intercomunali per tutelarlo e valorizzarlo.

² Il censimento è un'indagine preliminare con l'obiettivo di individuare la consistenza della rete della viabilità forestale o silvo-pastorale

³ Il catasto è un aggiornamento della rete viabile che ha riguardato esclusivamente le strade che i Comuni hanno inserito nel proprio "regolamento di chiusura al traffico" e gestione della viabilità

⁴ La densità viabile esprime la densità della viabilità in metri di tracciato per ettaro di superficie. Questo parametro può essere utilizzato per esprimere il livello di servizio in aree medio-grandi.

Questi Enti sono i Consorzi Forestali, ai quali è stata affidata mediante convenzione e in coerenza con gli indirizzi della pianificazione forestale, la gestione di alcune superfici agro-silvo-pastorali comunali.

L'articolo 56 della Legge Regionale 5 dicembre 2008 n.31 stabilisce: "I consorzi forestali sono costituiti volontariamente tra soggetti pubblici e privati proprietari dei terreni e altri soggetti della filiera bosco-legno, al fine di svolgere prevalentemente le attività di assistenza tecnica [...], le attività selvicolturali [...], nonché le attività di apicoltura [...]. Tali attività sono svolte esclusivamente nei terreni conferiti."

Tutte queste attività possono essere racchiuse nella definizione di servizi ambientali e quindi comprendono tutte quelle azioni finalizzate alla manutenzione e al ripristino delle funzioni ecologiche, protettive e ricreative svolte dai Consorzi.

In particolare i Consorzi si occupano della selvicoltura e della gestione degli ambienti naturali attraverso tagli, sfolli, conversioni e rinnovazione artificiale, del miglioramento degli habitat naturali nonché anche del controllo dei deflussi idrici e della stabilità dei versanti, della lotta fitosanitaria e del miglioramento fondiario e della manutenzione della VASP.

La Regione Lombardia ha pubblicato, il 23 marzo 2017, un elenco di tutti i Consorzi Forestali riconosciuti sul suo territorio e, in Valle Camonica, ne sono presenti sei:

- Due Parchi (22.540 ha)
- Alta Valle Camonica (29.028 ha)
- Valle Allione (7758 ha)
- Pizzo Badile (6484 ha)
- Pizzo Camino (4393 ha)
- Bassa Valle Camonica (4857 ha)

I Consorzi Forestali utilizzano fondi pubblici e quelli dei Comuni consorziati per svolgere le proprie attività sul territorio.



Figura 3: sistemazione Idraulico Forestale con palificata **Figura 4: attraversamento con sistema doppio tombotto**

Questo Ente è il secondo in tutta la Valle Camonica per ettari di superficie gestita e si occupa di tutelare e valorizzare ben 22.540 ha.

Tutta l'area gestita è localizzata su suoli pubblici e suddivisi in 8705 ha di bosco, 5346 ha di pascoli e prati e i restanti 8489 ha di tare e incolti.

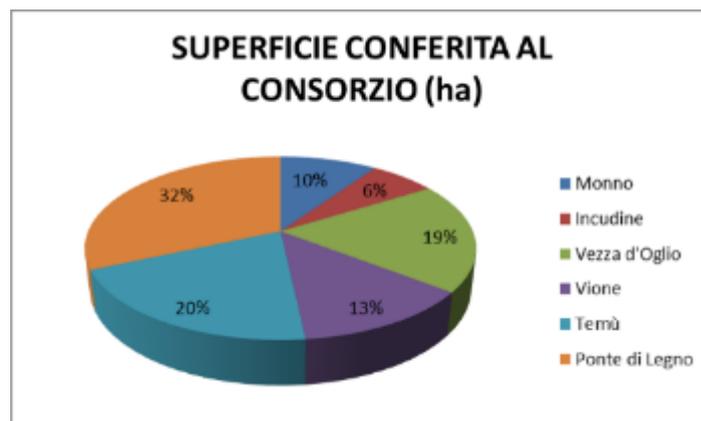


Figura 5: suddivisione delle superfici tra i vari Comuni

Consorzio Forestale Due Parchi è stato costituito nel maggio del 2002 dai Comuni di Monno, Incudine, Veza d'Oglio, Vione, Temù e Ponte di Legno con l'obiettivo di gestire con cura ed attenzione il patrimonio agro-silvo-pastorale.

Il Consorzio agisce sul territorio a diverse scale, sia a livello pratico tramite opere di miglioramento della viabilità forestale, consolidamento dei versanti e protezione dai deflussi idrici, sia a livello informativo e di raccolta dati attraverso la cartellonistica adeguata sui sentieri e un'attenta fase di raccolta dati in modo tale da poter offrire al pubblico il miglior servizio possibile e, quindi, rispettare le aspettative per il quale è stato fondato.



Figura 6: opera a corda molla per la messa in sicurezza di un guado



Figura 7: miglioramento fondo stradale



Figura 8: sistemazione idraulico-forestale



Figura 9: impiego di geostuoie per la protezione dei versanti



Figura 10: valorizzazione dei manufatti antropici risalenti al periodo bellico in alta Valle



Figura 11: intervento di sistemazione idraulico forestale con l'ausilio di un sistema a gru a cavo per il trasporto del materiale

2 MATERIALI E METODI

2.1 Studio del territorio: le strade a prevalente uso forestale

L'analisi e lo studio del territorio sono gli elementi cardine per poter effettuare una corretta gestione del patrimonio silvo-pastorale.

Per raggiungere questo fine è stato opportuno consultare i Piani d'Assestamento dell'area oggetto di studio e individuare le superfici appartenenti alla funzione produttiva poiché sono quelle ad essere potenzialmente soggette a taglio, in seguito, è stato possibile identificare undici strade.

L'alta valle Camonica è composta da sei Comuni:

- Incudine
- Monno
- Vezza d'Oglio
- Vione
- Temù
- Ponte di Legno

Per ognuno di questi Comuni è stato necessario consultare il Piano d'Assestamento, alcuni sono ancora all'interno del loro periodo di validità, altri invece sono terminati e in attesa di fondi regionali per finanziarne la stesura.

La scelta delle strade VASP sulle quali effettuare i rilievi si è basata sulla frequenza dalle utilizzazioni; infatti come riferimento si è considerato gli ultimi esboschi effettuati nell'alto territorio Camuno.

Il risultato di questa indagine è stata l'individuazione di undici tracciati, alcuni dei quali sono stati oggetto di utilizzazioni recentemente mentre altri non lo sono stati affatto ma potrebbero esserlo a breve, infatti la qualità del bosco e l'accessibilità intesa sia come rete viabile sia come densità forestale sono adeguate per le utilizzazioni.

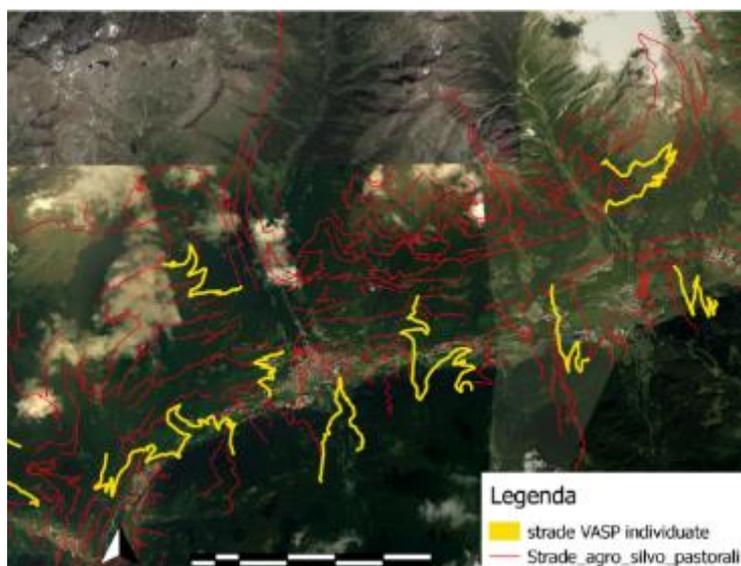


Figura 12: distribuzione della viabilità agro-silvo-pastorale tramite applicativo GIS e evidenziazione delle undici strade VASP individuate attraverso il Piano d'asestamento

2.2 I rilievi

Prima di iniziare i rilievi, è stato necessario redigere un protocollo di rilievo e una tabella dove riportare gli elementi di analisi, in altre parole tutti i parametri da valutare in fase di misurazione sul campo e da considerare nel momento in cui si esegua un confronto con i dati riportati in VASP.



Figura 13: rappresentazione dei parametri considerati al fine del rilevamento

I principali parametri considerati al fine di compiere il campionamento sono stati:

- Larghezza della strada (A), considerando la somma tra carreggiata⁵ (B), banchina⁶ e cunetta⁷ (C)

⁵ Carreggiata: porzione di strada disponibile per il passaggio dei veicoli

⁶ Banchina: striscia che delimita il piano stradale, può essere o meno transitabile

⁷ Cunetta: canalette laterali che raccolgono le acque che si formano sulla carreggiata, possono essere rivestite o in fondo naturale

(Prof. Gian Battista Bischetti. –Linee guida per la progettazione della viabilità agro-silvo-pastorale in Lombardia- 2005)

- Pendenza e lunghezza dei versanti, sia quello a monte (D) che quello a valle e tipologia del fondo forestale
- Larghezza del taglio (E)

Inoltre è stata valutata la pendenza e la tipologia del fondo della carreggiata.

Tabella 2: tabella redatta per effettuare il campionamento

wp	P%_carr	Larg_carr (m)	F_carr	Larg_banc	Larg_cun	Ps%_mont	LungS_mont	FS_mont	Ps%_valle	LungS_valle	FS_valle	Larg_tg	Larg_strada	Coord	note

Tabella 3: legenda della tabella utilizzata per il campionamento

<i>P%_carr</i>	pendenza carreggiata	<i>Larg_cun</i>	larghezza cunetta	<i>Ps%_valle</i>	pendenza scarpata di valle	<i>Larg_strada</i>	larghezza strada
<i>Larg_carr</i>	larghezza carreggiata	<i>Ps%_mont</i>	pendenza scarpata di monte	<i>LungS_valle</i>	lunghezza scarpata di valle	<i>coord</i>	coordinate
<i>F_carr</i>	fondo carreggiata	<i>LungS_mont</i>	lunghezza scarpata di monte	<i>FS_valle</i>	fondo scarpata di valle	<i>note</i>	eventuali note da segnalare
<i>Larg_banc</i>	larghezza banchina	<i>FS_mont</i>	fondo scarpata di monte	<i>Larg_tg</i>	larghezza taglio		

Un altro aspetto organizzativo, prima d'effettuare il campionamento, è stato localizzare i punti sul tracciato scelto nei quali misurare i dati necessari per completare la tabella.

Sono stati quindi considerati un numero sufficiente di punti in modo tale che essi possano rappresentare in modo oggettivo e casuale le condizioni della VASP. Tale numero è stato posto pari a dieci punti dispersi casualmente lungo la strada. Per ottenere dieci punti in modo casuale, si è usufruito di una funzione del software QGIS la quale restituisce un numero predefinito di punti all'interno di un poligono.



Figura 14: tombotti in località Niclo

Essendo la rete VASP in formato digitale composta da polilinee, è stato necessario creare delle piccole aree di buffer di ridotte dimensioni intorno alla rete viabile così da ottenere dei poligoni e poi, attraverso gli strumenti di ricerca del software GIS, localizzare i dieci punti sul tracciato.

In aggiunta ai dieci punti è stato deciso di eseguire anche il rilevamento di altre opere quali tornanti, guadi e tombotti⁸ (Figura 14) e per esse è stata adottata una tabella differente riportante esclusivamente la larghezza, la pendenza e la tipologia del fondo o del materiale di costruzione.

Tabella 4: tabella aggiuntiva per le opere non comprese nei dieci punti casuali

wp	Tipo	Larghezza	Pendenza	Tipologia_fondo	Note

Il rilevamento è stato effettuato utilizzando i seguenti strumenti:

- cordella metrica da 20 metri;
- metro riavvolgibile da 5 metri;
- GPS di tipo escursionistico con precisione di circa 10 m;
- Inclino metro con bussola integrata;
- Clinometro e bussola;
- Fotocamera.

⁸ Manufatti antropici realizzati per consentire l'attraversamento di piccoli corsi d'acqua ed impluvi per i quali la realizzazione di un ponte sarebbe eccessivamente onerosa.



Figura 15: strumenti utilizzati durante i rilievi

2.3 Casi di studio

Di seguito sono riportate le undici strade analizzate durante i rilevamenti.

Per ognuna è stato riportato un breve indice delle caratteristiche principali che sono:

- Comune d'appartenenza e codice di riconoscimento regionale
- Categoria di appartenenza secondo quanto riportato sulla VASP
- Lunghezza, larghezza e pendenza medie in accordo con i rilievi
- Numero di tornanti individuati e tra parentesi viene specificato quanti di essi sono regolari, cioè quanti sono conformi agli standard minimi richiesti per la classe di appartenenza della strada forestale

Strada 1	Incudine SO17083_00008 "Niclo" Classificazione: III categoria Lunghezza: 8883 m Pendenza media: 9,7 % Larghezza media: 3,4 m Pendenza media del versante: 55,1 % N° tornanti: 10 (6 non conformi agli standard minimi previsti)	
----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

<p>Strada 2</p>	<p>Monno SO17110_000010 "Fracai-Martini-Paghera" Classificazione: II categoria Lunghezza:2040 m Pendenza media: 7,6 % Larghezza media: 4,1 m Pendenza media del versante: 40,15 % N° tornanti: 3 (2 non conformi agli standard minimi previsti)</p>	
<p>Strada 3</p>	<p>Monno SO17110_000020 "Santel-Fracai" Classificazione: II categoria Lunghezza:1120 m Pendenza media: 4,2 % Larghezza media: 3,68 m Pendenza media del versante: 28,5 % N° tornanti: 0</p>	
<p>Strada 4</p>	<p>Ponte di Legno SO17148_00016 "Valbione-Corno d'Aola" Classificazione: II categoria Lunghezza:3910 m Pendenza media: 8 % Larghezza media: 3,13 m Pendenza media del versante: 57,45 % N° tornanti: 5 (5 non conformi agli standard minimi previsti)</p>	

Strada 5	<p>Temù SO17184_00018 "Roccolo Ventura" Classificazione: II categoria Lunghezza:3586 m Pendenza media: 3,02 % Larghezza media: 3,11 m Pendenza media del versante: 45,5 % N° tornanti: 3 (3 non conformi agli standard minimi previsti)</p>	
Strada 6	<p>Veza d'Oglio SO17198_00014 "Pornina-Malga salì" Classificazione: II categoria Lunghezza:2000 m Pendenza media: 4,6 % Larghezza media: 3,04 m Pendenza media del versante: 60,9 % N° tornanti: 2 (1 non conforme agli standard minimi previsti)</p>	
Strada 7	<p>Veza d'Oglio SO17198_00019 "Plazz" Classificazione: II categoria Lunghezza:2865 m Pendenza media: 7,9 % Larghezza media: 3,04 m Pendenza media del versante: 64,4 % N° tornanti: 12 (10 non conformi agli standard minimi previsti)</p>	
Strada 8	<p>Veza d'Oglio SO17198_00021 "Rifugio La Cascata-Pornina" Classificazione: II categoria Lunghezza:2440 m Pendenza media: 4,6 % Larghezza media: 3,4 m Pendenza media del versante: 60,9 % N° tornanti: 0</p>	

<p>Strada 9</p>	<p>Veza d'Oglio SO17198_00052 "Rosolina-Stòl" Classificazione: II categoria Lunghezza:4240 m Pendenza media: 10 % Larghezza media: 3,59 m Pendenza media del versante: 34,7 % N° tornanti: 9 (9 non conformi agli standard minimi previsti)</p>	
<p>Strada 10</p>	<p>Villa Dalegno SO1784_00008 "Pifferetto-Villa Dalegno" Classificazione: II categoria Lunghezza:5974 m Pendenza media: 7,2 % Larghezza media: 3,06 m Pendenza media del versante: 52,6 % N° tornanti: 9 (9 non conformi agli standard minimi previsti)</p>	
<p>Strada 11</p>	<p>Vione SO172020_00008 "Case Vallaro-Malga Calvo" Classificazione: II categoria Lunghezza:7545 m Pendenza media: 10,2 % Larghezza media: 3,64 m Pendenza media del versante: 46,3 % N° tornanti: 11 (9 non conformi agli standard minimi previsti)</p>	

2.4 Le imprese boschive

2.4.1 Sistemi di esbosco

Il Consorzio Forestale Due Parchi favorisce le utilizzazioni con esbosco a pianta intera (*full tree system*) fino all'imposto, dove è invece effettuato l'allestimento e quindi accatastato il legname pronto per il trasporto al centro di prima lavorazione.

A seguito delle utilizzazioni e trasporto legname, le spese di ripristino delle strade forestali sono a carico dell'impresa di utilizzazione qualora essa ne abbia usufruito compromettendone la stabilità e la sicurezza; in particolare si fa riferimento alla viabilità secondaria dove il continuo transito di mezzi forestali danneggia facilmente il fondo stradale. Per evitare questo problema le imprese preferiscono utilizzare gru a cavo in modo tale da trasportare il legname il più vicino possibile alla viabilità principale cercando quindi di transitare sulle strade forestali in bosco il meno possibile ma solo per lo stretto necessario.

2.4.2 Cantieri di utilizzazione forestale

A tal proposito è stato chiesto a quattro imprese locali che collaborano con il Consorzio Forestale Due Parchi di rispondere ad un'intervista telefonica dove venivano richieste informazioni generali riguardanti le utilizzazioni e le macchine impiegate solitamente nei cantieri in collaborazione con il Consorzio Forestale.

Nel complesso la dimensione dei lotti varia dagli 800-1000 m³ fino a 3000 m³. I cantieri prevedono lavorazioni con esbosco tramite l'impiego di gru a cavo (prevalentemente a stazione motrice mobile di tipo medio) e in alcuni casi l'impiego di macchine dedicate per l'esbosco a strascico come lo *skidder*. All'imposto si utilizzano escavatori al cui braccio è stata installata una testa allestitrice-sramatrice (processore) per la depezzatura a misura del legname (e nel caso di intere piante anche la sramatura). Il trasporto lungo la viabilità principale con caratteristiche standard limitate per pendenza e larghezza può avvenire tramite trattori con rimorchio forestale oppure nel caso di strade camionabili, tramite autocarro o autocarro e rimorchio.

Due delle quattro imprese intervistate dispongono di autocarri 3 assi con rimorchio per trasportare il legname fino in segheria, le altre invece operano esclusivamente come imprese di utilizzazione nel senso stretto (abbattimento, allestimento ed esbosco) e lasciano il trasporto del legname ad altre ditte specializzate in conto-terzi.

2.5 Rappresentazione raggio di curvatura con AutoCAD

Il limite prevalente che penalizza l'efficienza del trasporto del legname lungo la viabilità principale e secondaria è il transito nei tornanti che rappresentano un punto critico sul percorso e allo stato attuale sono rare le applicazioni di software per l'analisi del raggio di curvatura. Tramite l'elaborazione di modelli informatici si potrebbe aiutare nella riprogettazione dei tornanti esistenti.

Ecco quindi che il lavoro di tesi si propone di provare ad impostare una serie di test di modellizzazione tramite l'impiego del programma *Vehicle Tracking*, su raggi di curvatura e manovra per autocarri destinati al trasporto del legname.

Osservando le undici strade rilevate, è emerso che un aspetto rilevante che non viene considerato in fase di classificazione delle strade forestali è il raggio di curvatura, in particolare l'allargamento che accompagna il mezzo durante la manovra facilitandone il transito.

Per questo motivo si è ritenuto necessario elaborare, attraverso il software *AutoCAD*, dei modelli informatici che rappresentassero il veicolo mentre percorre un tornante.

I modelli realizzati si basano su tornanti con ampiezze variabili, in particolare sono stati realizzati campioni con raggi di curvatura pari a 6, 8, 10, 12 e 14 metri alla mezzaria. (Figura 16)

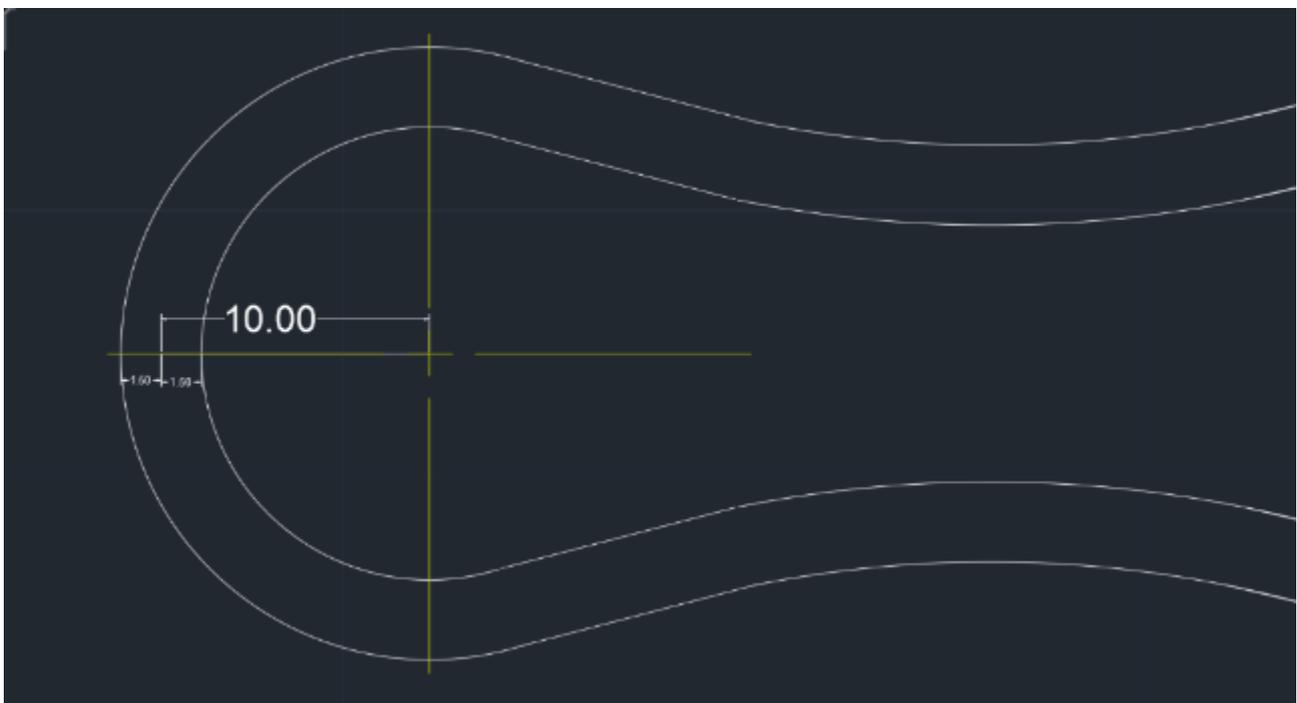


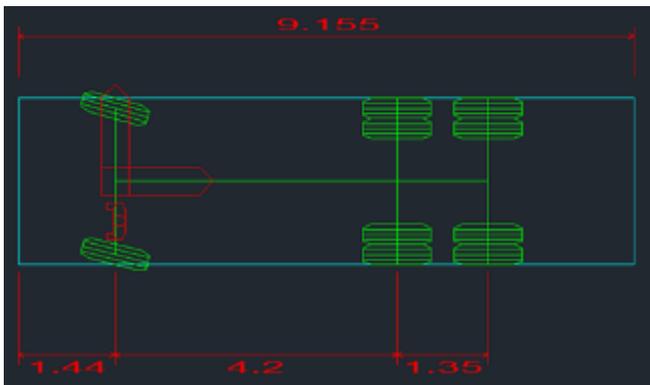
Figura 16: tornante con raggio di curvatura pari a dieci metri a mezzaria

In seguito, ad una distanza di 1.5 metri sono stati tracciati i limiti della carreggiata ottenendo in questo modo una strada con larghezza pari a tre metri in ogni modello.

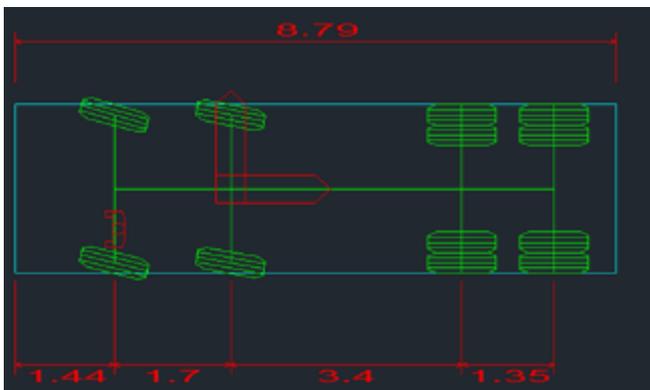
Il passo successivo è stato la scelta dei mezzi da far transitare sui tornanti che sono stati:



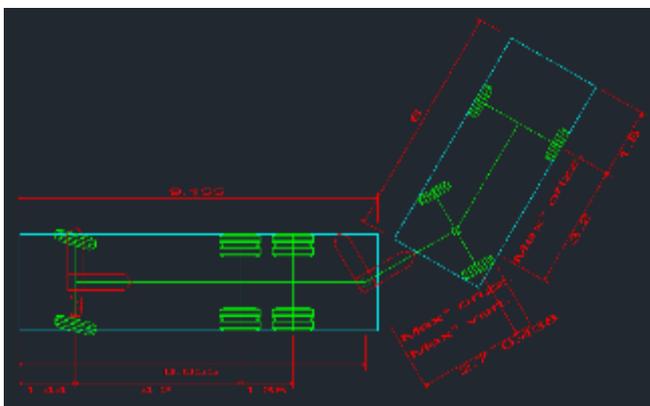
Modello: Mercedes 6x2
Lunghezza: 9155 mm
Larghezza: 2500 mm
Raggio di sterzata muro a muro: 7900 mm



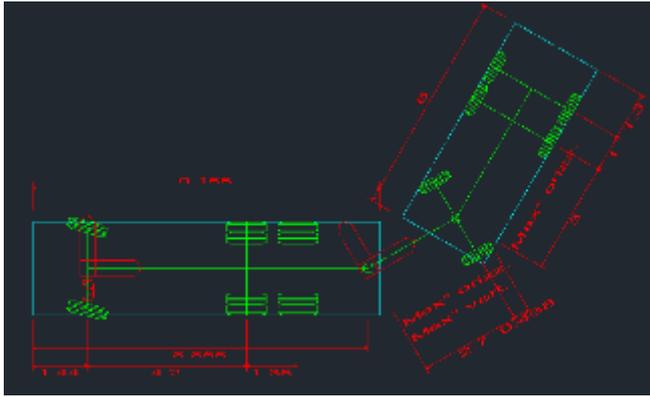
Modello: Mercedes 6x4
Lunghezza: 9155 mm
Larghezza: 2500 mm
Raggio di sterzata muro a muro: 9400 mm



Modello: Mercedes 8x4
Lunghezza: 8790 mm
Larghezza: 2500 mm
Raggio di sterzata muro a muro: 10750 mm



Modello: Mercedes 6x2 con rimorchio a due assi
Lunghezza: 16555 mm
Larghezza: 2500 mm
Raggio di sterzata muro a muro: 7900 mm

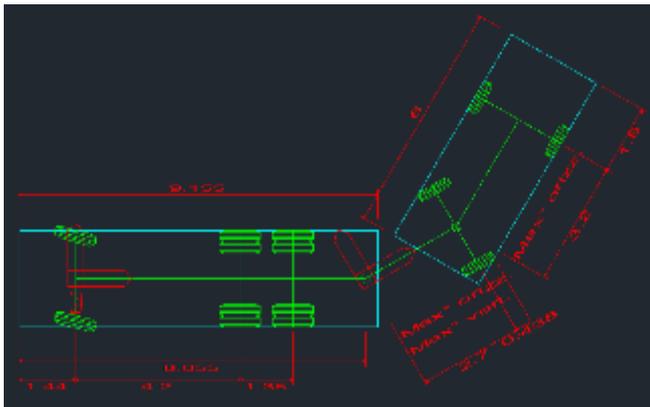


Modello: Mercedes 6x2 con rimorchio a tre assi

Lunghezza: 16855 mm

Larghezza: 2500 mm

Raggio di sterzata muro a muro: 7900 mm

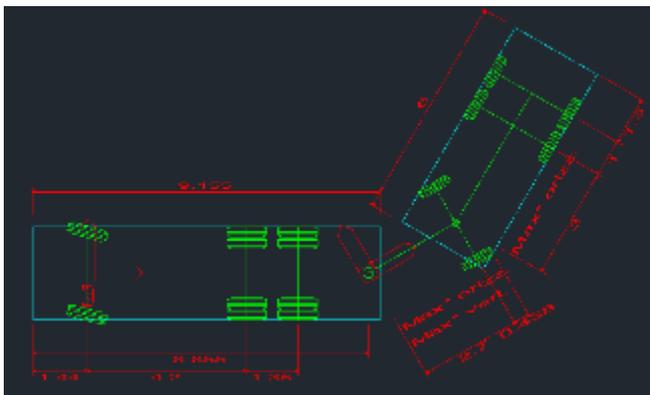


Modello: Mercedes 6x4 con rimorchio a due assi

Lunghezza: 16555 mm

Larghezza: 2500 mm

Raggio di sterzata muro a muro: 9400 mm



Modello: Mercedes 6x4 con rimorchio a tre assi

Lunghezza: 16855 mm

Larghezza: 2500 mm

Raggio di sterzata muro a muro: 7900 mm

2.6 Computo metrico per l'allargamento dei tornanti

La realizzazione di modelli dei raggi di curvatura ha l'obiettivo di riprogettare i soli tornanti che rappresentano un punto critico sulle undici strade considerate nei rilievi.

Lo scopo è quello di individuare lo spazio necessario da aggiungere al fine di poter garantire il transito ad un autocarro 6x4 con rimorchio a due assi. Tale situazione rappresenta una condizione di transitabilità elevata in quanto autocarri 6x4 con rimorchio rappresentano una condizione ideale nel trasporto legname su strade di montagna.

Il procedimento eseguito per questo calcolo è quello di ricostruire tramite software *AutoCAD* il tornante oggetto di studio e impostare tramite l'applicativo *Vehicle Tracking* la traiettoria ideale che l'autocarro con carrello dovrà seguire.

Poi si calcola tramite una differenza matematica, lo spazio che è sotteso tra il limite della sede stradale fino alla linea più esterna individuata dal modello di curvatura ottenendo così l'area dell'allargamento.

Al fine di poter calcolare il costo per la realizzazione dell'intervento di allargamento saranno valutate le seguenti voci di costo:

- scavo di sbancamento ed eventuale scavo in roccia del versante;
- deposizione di brecciolino per la creazione della sede stradale;
- se necessario costruzione di opere di sostegno per il consolidamento della sede stradale o delle scarpate di valle e di monte;
- inerbimento (se necessario).

Lo scavo è eseguito da un escavatore che si occuperà di rimuovere il fondo forestale che ospiterà l'allargamento, qualora la pendenza non consenta la lavorazione di scavo, sarà necessario realizzare un'opera di sostegno per garantire la stabilità e la messa in sicurezza della sede stradale. Il fondo stradale prevede la deposizione di brecciolino e poi successivamente ricoperto col materiale ricavato dallo scavo.

Le opere di sostegno verranno realizzate al fine di stabilizzare i versanti, soprattutto per la protezione idro-geologica e dal dilavamento delle acque provenienti da monte.

In accordo con il Consorzio Forestale, le opere d'arte sono di due tipologie:

- palificate semplici;
- gabbionate.

3 RISULTATI

3.1 Analisi della carta VASP

Il passo successivo alla raccolta dei dati in campo è stato l'elaborazione dei valori ottenuti tenendo come riferimento la VASP e cercando un confronto con quanto riportato sulle carte.

L'obiettivo originario della tesi trova in questa parte la sua applicazione tanto che la prima curiosità che balza all'occhio riguarda la carta della viabilità agro-silvo-pastorale. In alcuni casi, la classificazione della viabilità riporta alcune difformità in termini di continuità di classificazione. Alcuni esempi riportano come strade classificate in Classe II sono collegate alla rete strade principale tramite strade di Classe di transitabilità inferiore (Classe III o Classe IV). Di fatto quindi le strade di Classe II pur essendo di una Classe di transitabilità superiore possono essere percorse solo da mezzi di piccole dimensioni a seguito dei limiti che hanno le strade di collegamento con la viabilità principale.

La Figura 18 evidenzia che le strade VASP (in rosso), appartenenti alla Classe II in base ai parametri per la classificazione della Regione Lombardia sono direttamente connesse (cerchi blu) alle strade di Classe III (in giallo) collegate a loro volta alla viabilità principale.

Inoltre sono presenti strade di Classe II connesse a strade di Classe IV che dovrebbero essere riservate a trattori di piccole dimensioni con un carico non superiore alle 10 t (Figura 18).

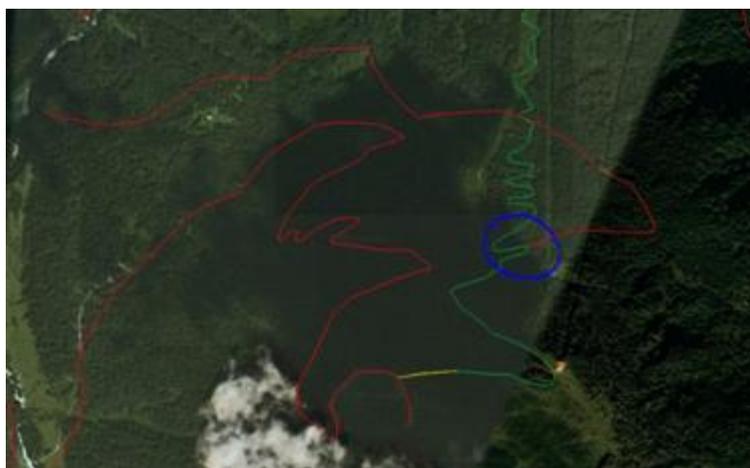


Figura 17: strada di categoria II connessa a strada di categoria IV

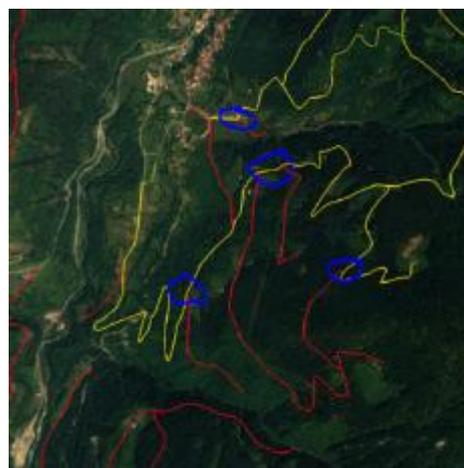


Figura 18: incomprensioni sulla carta VASP

Questo rappresenta una criticità per le imprese di utilizzazione in quanto devono organizzare il lavoro nel modo migliore possibile cercando di ottimizzare i tragitti e minimizzare i costi, migliorando inoltre la logistica dei punti intermodali.

Le ditte saranno obbligate ad utilizzare mezzi con capacità di carico inferiore per il trasporto verso la viabilità principale, ad esempio con trattori e rimorchi forestali, e successivamente caricare su

mezzi con capacità di carico utile maggiore e destinati al trasporto su medie-lunghe distanze, come autocarri.

Un altro aspetto che si è considerato è stato inoltre la discordanza tra percorso riportato in VASP e strada reale; come si può notare in Figura 19, la strada in colore giallo segnata dalla VASP è alquanto differente da quella in blu rilevata tramite GPS.



Figura 19: discordanze strada-VASP



Figura 20: discordanza tra tracciato VASP e realtà



Figura 21: altre discordanza



Figura 22: altre differenze



Figura 23: altre differenze

3.2 Confronto fra VASP e rilievi

L'analisi della viabilità agro-silvo-pastorale è continuata con il confronto tra i dati derivati dalla categorizzazione delle strade secondo la VASP e i rilievi.

Tabella 5: statistica di sintesi sui parametri principali delle strade VASP selezionate come casi di studio

Strada	P% media.	Dev. Std	max	min	Larg. carr. media (m)	Dev. Std	max	min	Raggio di curvatura medio (m)	Dev. Std	max	min
1	9,7	3,60	14	1	2,57	0,47	3,5	2,2	4,24	1,63	8	2,1
2	7,6	3,83	22	2	2,72	0,32	3,1	2,2	4,08	3,39	8	2
3	4,2	4,91	14	0	3,09	0,14	3,3	3,0	Tornanti non presenti			
4	8	1,24	10	6	2,94	0,40	3,4	2,5	3,24	0,97	4,95	2,6
5	10,5	1,5	13	8	3,02	0,22	3,4	2,8	3,3	1,85	5,2	1,5
6	5,4	2,75	9	2	2,31	0,21	2,7	2	6	5,4	9,85	2,15
7	7,9	0,99	9	6	2,49	0,36	3,4	2,1	4,78	2,8	11	2,8
8	4,6	2,11	9	2	2,56	0,32	3,2	2,2	Tornanti non presenti			
9	10	2,98	15	6	3,5	0,72	4,7	2,4	3,4	0,89	5	2
10	7,2	3,99	11	2	2,49	0,60	3,3	1,1	2,73	0,65	4,2	2,1
11	10,2	3,45	14	3	3,27	0,40	4	2,6	4,59	1,65	8	2,2

I dati riportati in Tabella 5, si riferiscono alle undici strade misurate e sono il risultato dell'analisi di 184 punti rilevati complessivamente.

In sintesi le strade rilevate presentano una pendenza media del 7 % con qualche picco locale e una larghezza media della carreggiata di circa 2,8 metri.

In alcuni casi, come si può notare dal valore minimo della larghezza della careggiata sulla strada 10, sono stati misurati dei dati molto discordanti con la media delle altre strade, questo risultato è frutto della variabilità locale in quanto la larghezza minima di 1,1 m che è stata misurata in un rilievo, è inferiore alla larghezza minima per il transito di mezzi forestali, che mediamente sono larghi 2,5 metri, però è sempre presente una banchina transitabile di larghezza sufficiente da consentire il transito dei mezzi forestali.

Il corpo stradale è quasi sempre realizzato a mezza costa⁹, a parte per brevi tratti realizzati in scavo, e costituito sia da fondo naturale che da brecciolino.

Spesso nella realizzazione di una strada forestale, in Val Camonica, il materiale ottenuto durante lo scavo è impiegato come brecciolino dopo essere stato sminuzzato adeguatamente e predisposto sul corpo stradale, creando così il fondo della strada.

Nei tratti ad elevata pendenza invece è impossibile lasciare il fondo stradale alla continua erosione causata sia dagli eventi meteorici che dal passaggio dei mezzi, quindi il Consorzio Forestale Due Parchi ha cementato queste aree preservando il tracciato.

La manutenzione ordinaria delle strade forestali è effettuata annualmente dai Comuni, mentre quella straordinaria è gestita dal Consorzio Forestale che interviene nel momento in cui insorge una criticità.

In tutti i tracciati la carreggiata e le banchine sono realizzate in modo tale da favorire sempre il corretto deflusso delle acque a valle, azione che è facilitata dalla presenza di canaline di scolo e raramente da cunette laterali; da sottolineare che la manutenzione delle canaline non sempre è efficiente in quanto esse, su diverse strade, risultano deformate dal passaggio di mezzi oppure ostruite da materiale organico (Figura 24 e Figura 25).



Figura 24: particolare di una canalina



Figura 25: canalina danneggiata dal transito di mezzi pesanti e ostruita dal materiale dello strato di usura

Nel complesso, il controllo del deflusso dell'acqua funziona correttamente e questo grazie alla presenza di diverse opere d'arte inerenti l'attraversamento di impluvi e corsi d'acqua come guadi, tombotti e corde molli (Figura 26 e Figura 27), che consentono lo scorrimento a valle dei torrenti, e sui quali il Consorzio Forestale Due Parchi si è concentrato per la messa in sicurezza attraverso interventi di manutenzione e ricostruzione.

⁹Mezza costa: strada realizzata in parte sotto e in parte sopra il piano di campagna



Figura 26: guado



Figura 27: tombotti

3.3 I tornanti

La normativa della Regione Lombardia (Tabella 1: Classificazione delle strade forestali per classi di transitabilità) prevede una precisa classificazione delle strade forestali in relazione a determinati parametri fisici che le caratterizzano, uno di questi parametri è l'ampiezza dei tornanti che, per ognuno di essi, deve essere al di sopra di un certo valore minimo.

Dai rilievi è emerso che non tutte le strade forestali rispettano il valore minimo d'ampiezza dei tornanti che dovrebbe essere garantito, ma a volte alcune strade appartengono ad una categoria differente da quella che la normativa prevede, in particolare, alcune strade hanno dei tornanti con raggio di curvatura inferiore a quello previsto per legge.

Analizzando le strade forestali considerate durante i rilievi, attribuendo loro una categoria basata sui valori misurati, e confrontandole con la classificazione attuale è emerso che le due classificazioni non coincidono (Tabella 6).

Tabella 6: confronto fra la categorizzazione delle strade forestali sulla VASP con quella ricavata dai rilievi

Strada	Categoria sulla VASP	Categoria dai rilievi
1	III	III
2	II	III
3	II	II
4	II	III
5	II	III
6	II	III
7	II	III
8	II	II
9	II	III
10	II	III
11	II	III

Questa differenza è causata da un motivo pratico, infatti nella Legge Regionale si fa riferimento esclusivamente al raggio di curvatura dei tornanti in base al quale vengono categorizzate tutte le strade e di conseguenza vengono limitati i mezzi che possono transitare su quei tracciati; ma non viene effettuata nessuna misurazione sull'allargamento esterno.

L'allargamento esterno consente il passaggio ai mezzi forestali; da qui la discordanza tra la classificazione basata sulla reale possibilità di passaggio di determinati mezzi e la classificazione secondo la L.R. 31/2008 che si basa esclusivamente su parametri geometrici che non includono l'allargamento.

Le categorie delle strade forestali in alta Valle Camonica si può dire che sono attribuite grazie anche all'esperienza dei dottori forestali e delle imprese che frequentemente le utilizzano.

3.4 I modelli

L'utilizzo del Software *Vehicle Tracking* permette di creare delle rappresentazioni virtuali della traiettoria che un mezzo segue in durante un percorso.

In questo modo è stato possibile analizzare nel dettaglio la differenza tra un autocarro e l'altro sui differenti raggi di curvatura dei tornanti. (Figura 28)

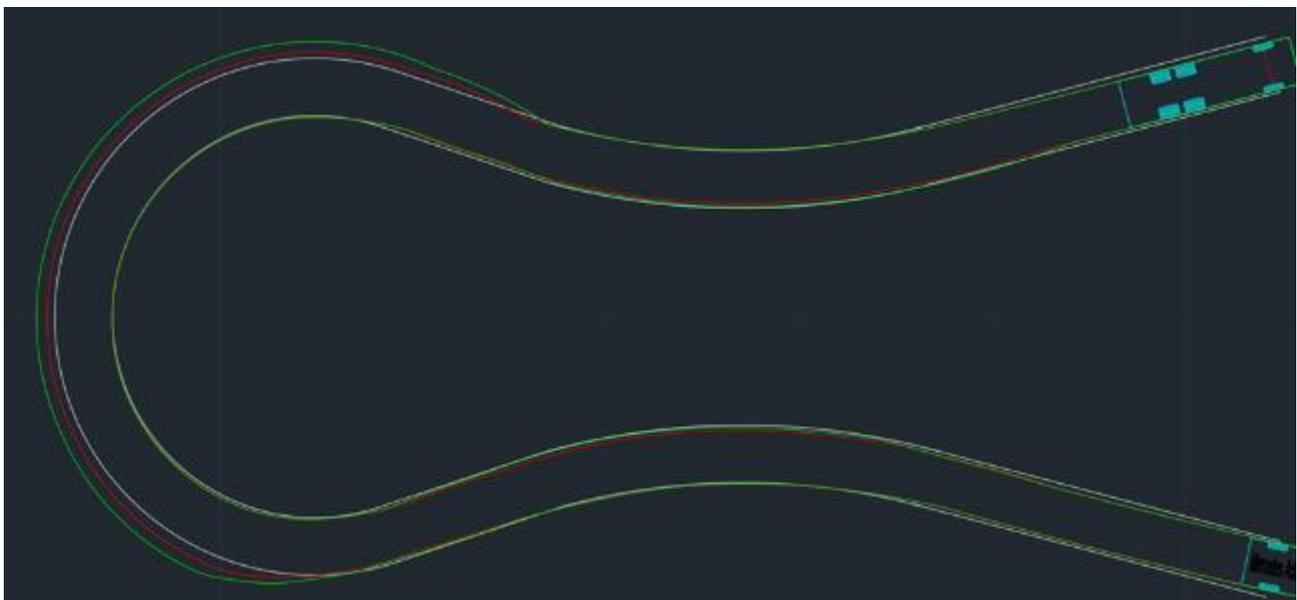


Figura 28: modello di un autocarro 6x4 che percorre un tornante con raggio di curvatura pari a 12 m

In Figura 28 possono essere distinti diversi colori:

- rosso: rappresenta l'ipotetico percorso seguito dalle ruote del mezzo;
- verde: rappresenta l'ipotetico percorso compiuto dalla carrozzeria del mezzo quindi l'ingombro effettivo esercitato in fase di svolta.

Nel caso sia presente anche il rimorchio allora le linee raddoppiano e si avranno quattro linee verdi (due per la motrice e due per il rimorchio) ma solo due linee rosse (una per la ruota della motrice più esterna e una per la ruota del rimorchio più interna). (Figura 29)



Figura 29: autocarro 6x4 con carrello 2 assi in movimento su un tornante di 12 metri di raggio di curvatura

L'area totale occupata dal mezzo in curva è data dallo spazio tra la linea verde più esterna e quella verde più interna.

La creazione di modelli virtuali raffiguranti il percorso seguito da un autocarro in fase di svolta su tornanti con raggi di curvatura diversi, ha prodotto i seguenti risultati:

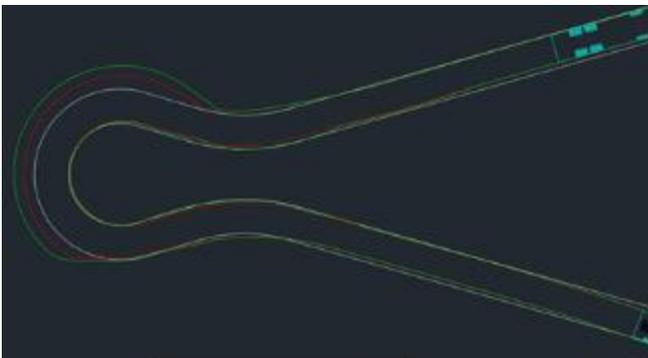


Figura 30: autocarro 6x2 su tornante da 6 m

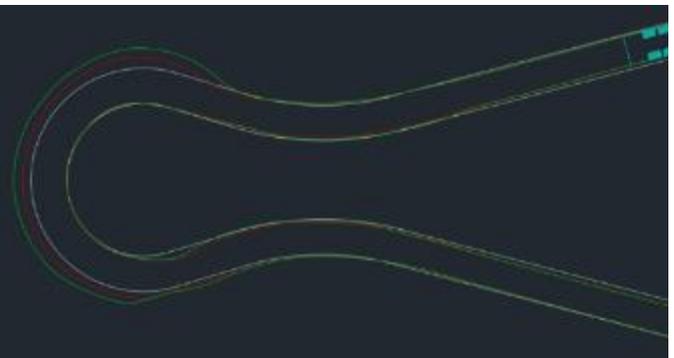


Figura 31: autocarro 6x2 su tornante da 8 m

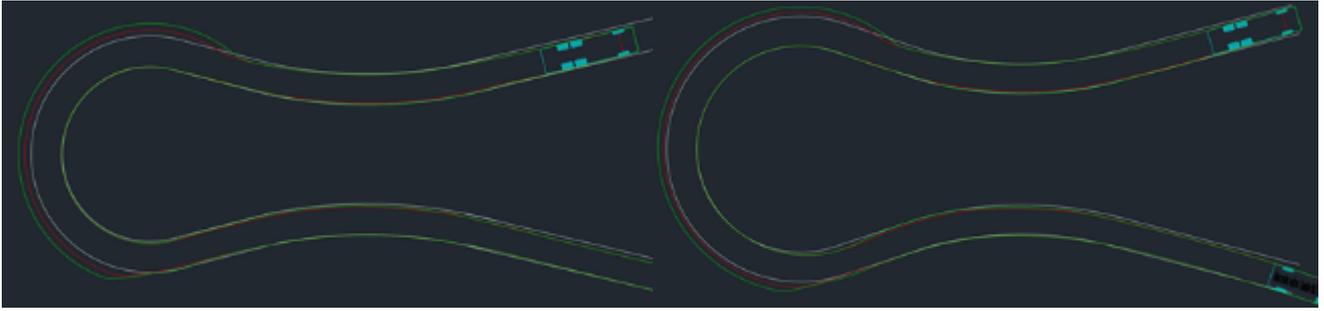


Figura 32: autocarro 6x2 su tornante da 10 m

Figura 33: autocarro 6x2 su tornante da 12 m

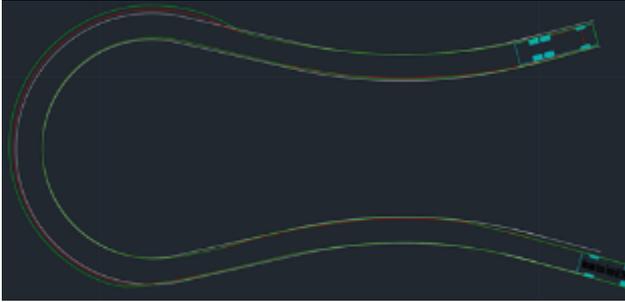


Figura 34: autocarro 6x2 su tornante da 14 m

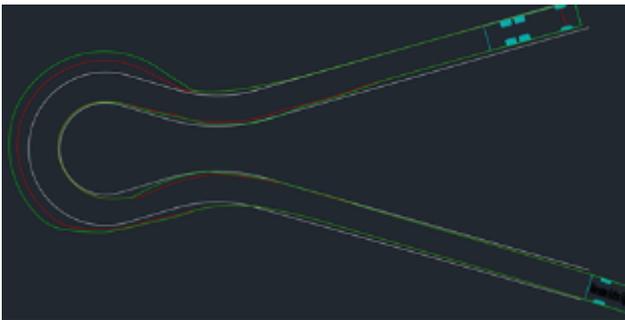


Figura 35: autocarro 6x4 su tornante da 6 m

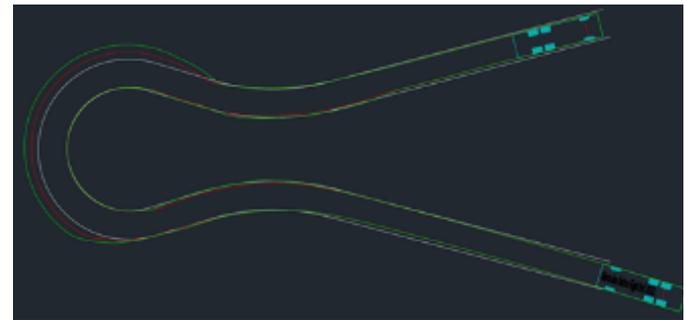


Figura 36: autocarro 6x4 su tornante da 8 m

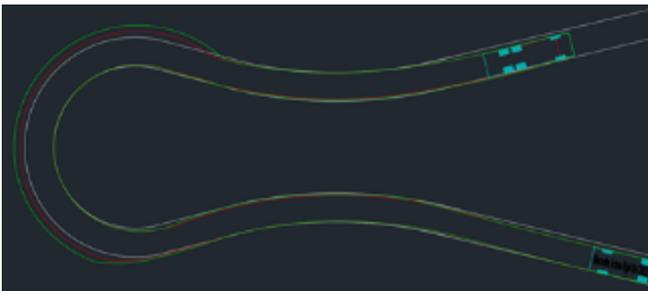


Figura 37: autocarro 6x4 su tornante da 10 m

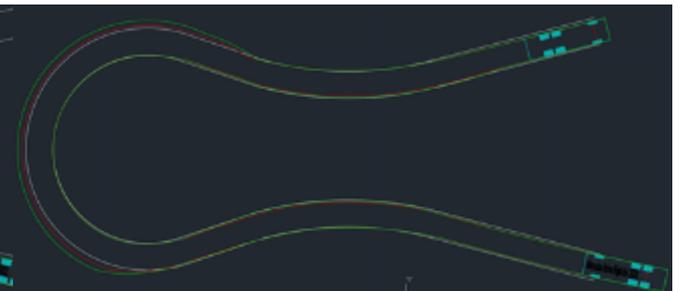


Figura 38: autocarro 6x4 su tornante da 12 m

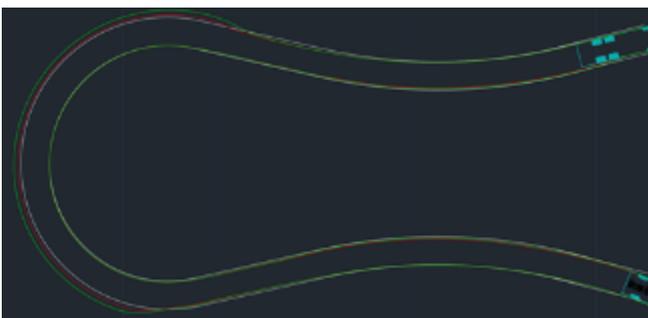


Figura 39: autocarro 6x4 su tornante da 14 m

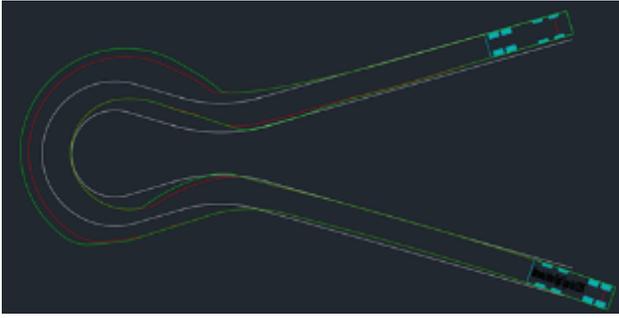


Figura 40: autocarro 8x4 su tornante da 6 m

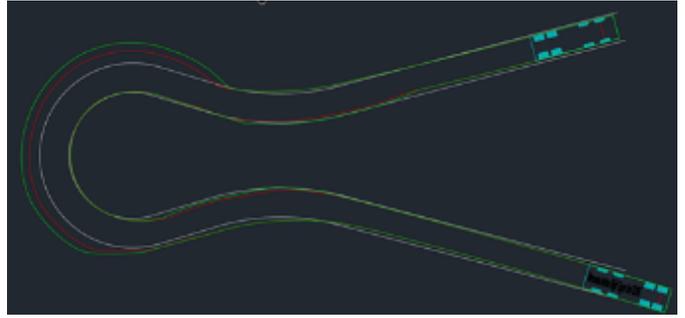


Figura 41: autocarro 8x4 su tornante da 8 m

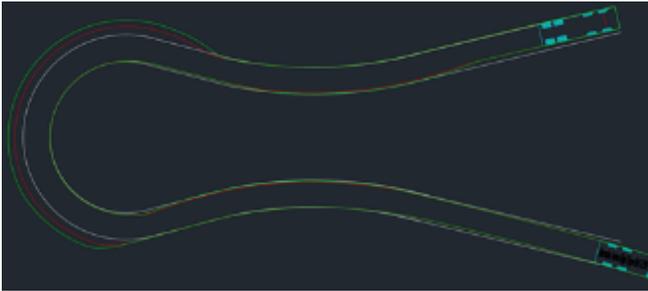


Figura 42: autocarro 8x4 su tornante da 10 m

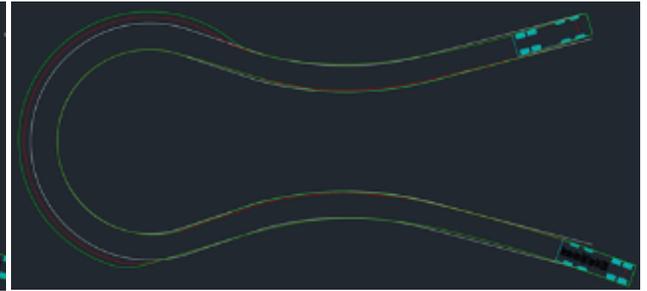


Figura 43: autocarro 8x4 su tornante da 12 m

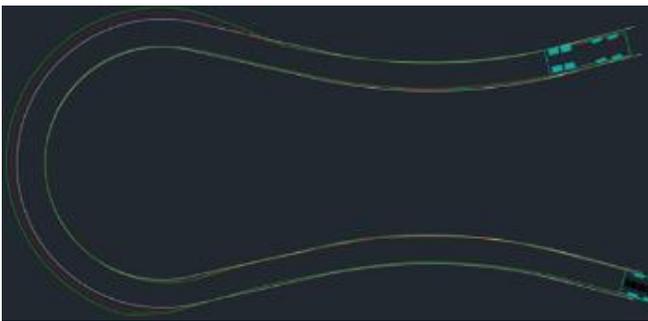


Figura 44: autocarro 8x4 su tornante da 14 m

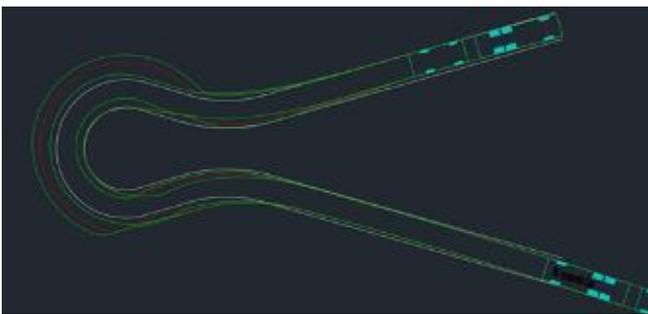


Figura 45: autocarro 6x2 con carrello a due assi su tornante da 6 m

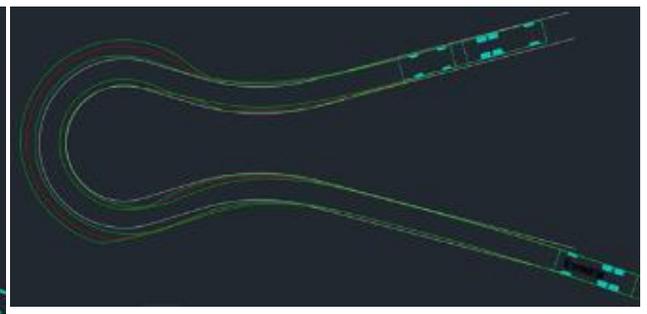


Figura 46: autocarro 6x2 con carrello a due assi su tornante da 8 m

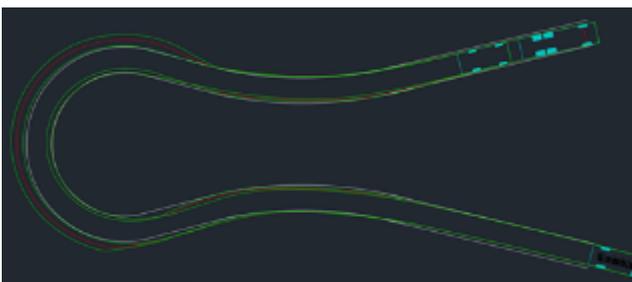


Figura 47: autocarro 6x2 con carrello a due assi su tornante da 10 m

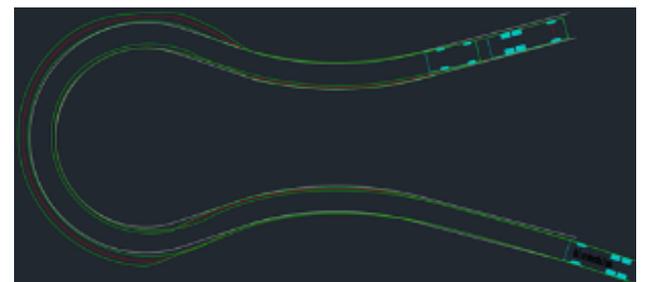


Figura 48: autocarro 6x2 con carrello a due assi su tornante da 12 m

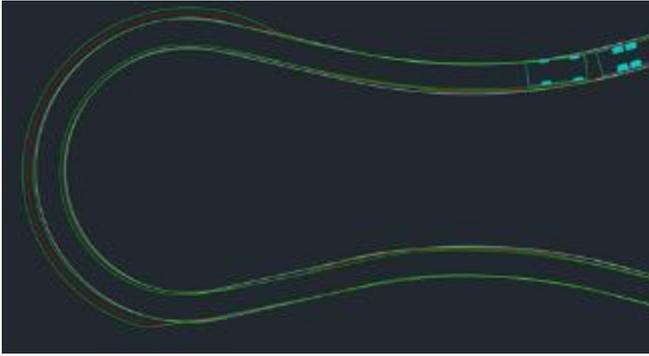


Figura 49: autocarro 6x2 con carrello a due assi su tornante da 14 m

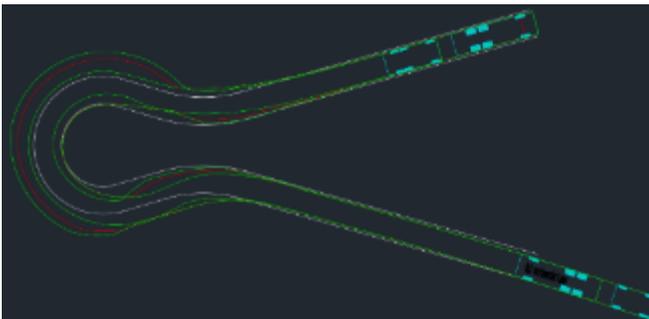


Figura 50: autocarro 6x2 con carrello a tre assi su tornante da 6 m

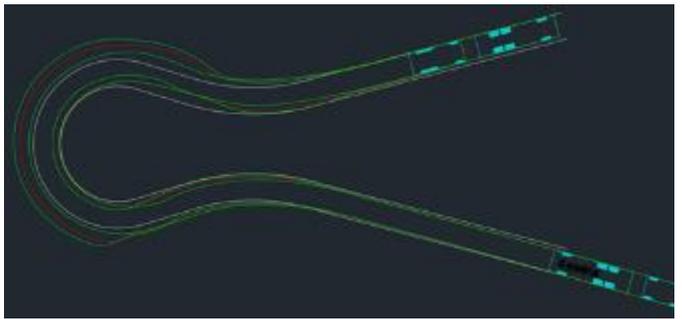


Figura 51: autocarro 6x2 con carrello a tre assi su tornante da 8 m

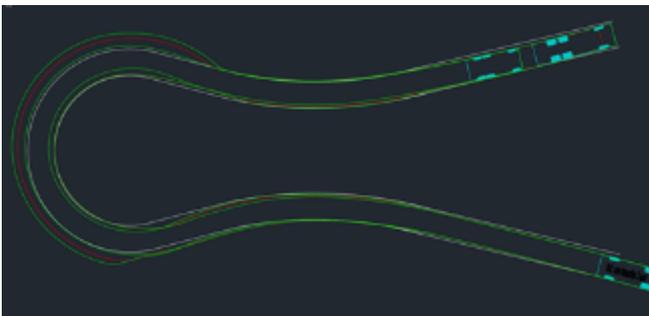


Figura 52: autocarro 6x2 con carrello a tre assi su tornante da 10 m

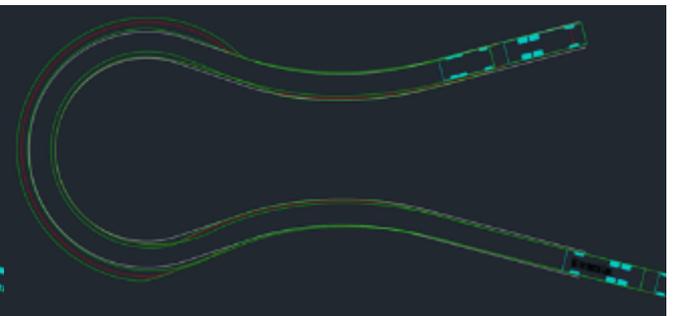


Figura 53: autocarro 6x2 con carrello a tre assi su tornante da 12 m

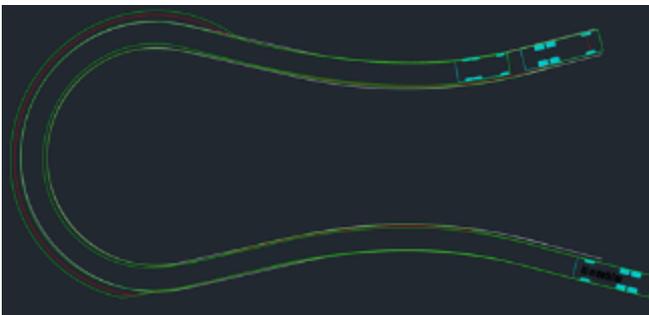


Figura 54: autocarro 6x2 con carrello a tre assi su tornante da 14 m

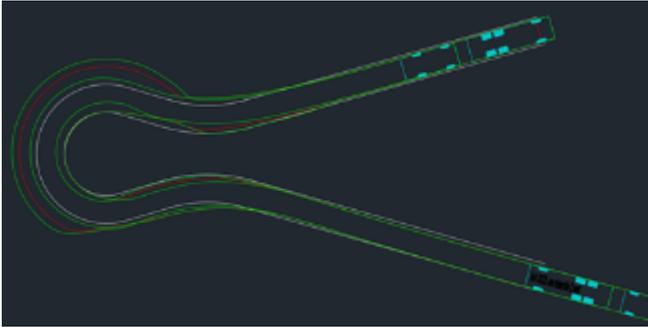


Figura 55: autocarro 6x4 con carrello a due assi su tornante da 6 m

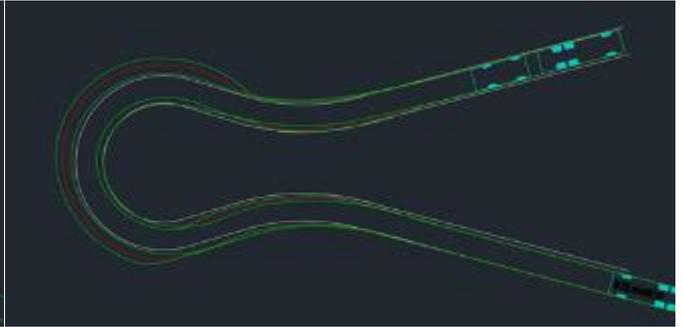


Figura 56: autocarro 6x4 con carrello a due assi su tornante da 8 m

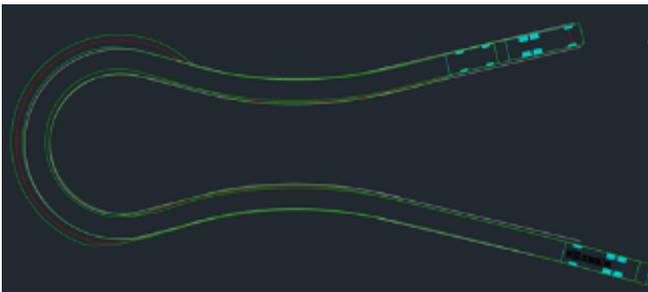


Figura 57: autocarro 6x4 con carrello a tre assi su tornante da 10 m

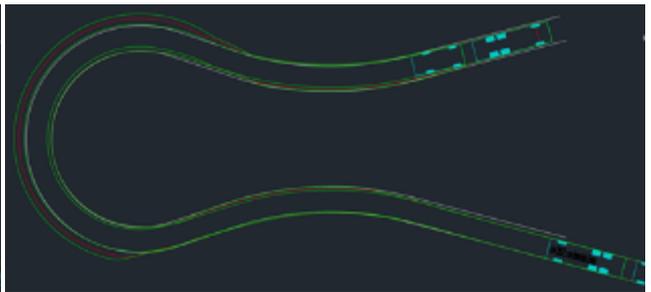


Figura 58: autocarro 6x4 con carrello a due assi su tornante da 12 m

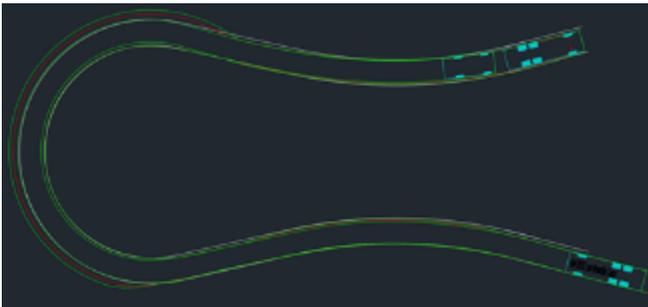


Figura 59: autocarro 6x4 con carrello a due assi su tornante da 14 m

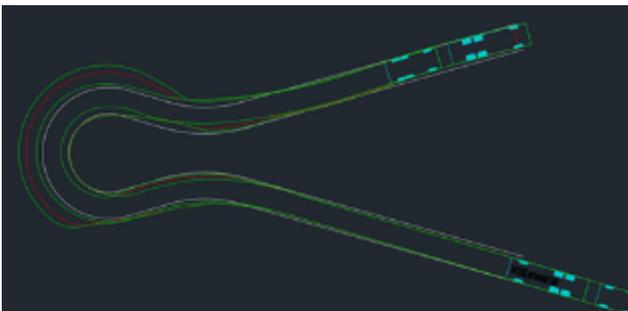


Figura 60: autocarro 6x4 con carrello a tre assi su tornante da 6 m

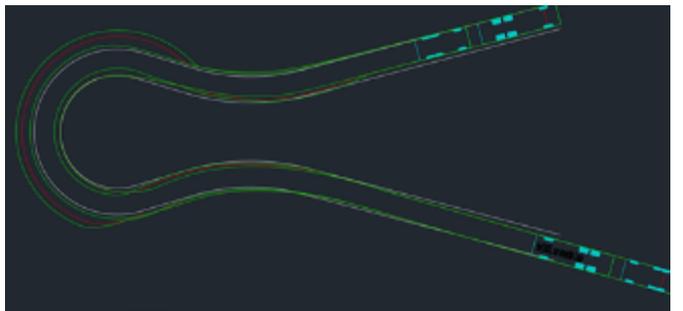


Figura 61: autocarro 6x4 con carrello a tre assi su tornante da 8 m

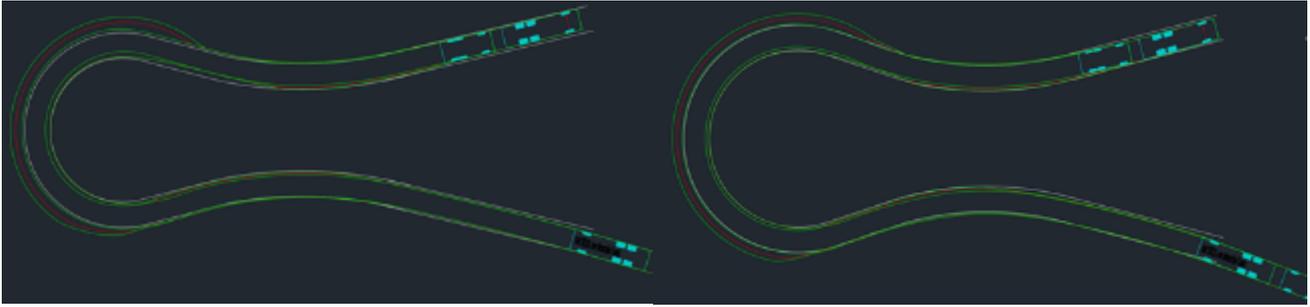


Figura 62: autocarro 6x4 con carrello a tre assi su tornante da 10 m

Figura 63: autocarro 6x4 con carrello a tre assi su tornante da 12 m

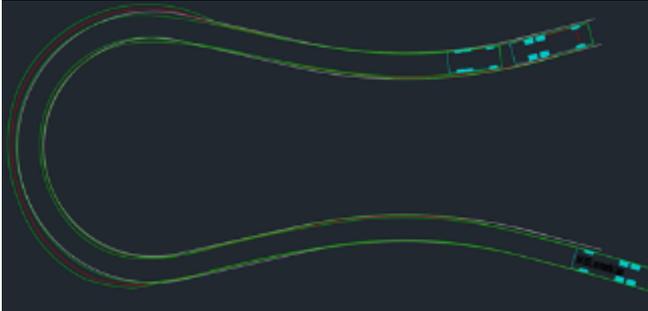


Figura 64: autocarro 6x4 con carrello a tre assi su tornante da 14 m

Questi modelli hanno permesso di individuare l'allargamento minimo necessario a consentire il transito dell'autocarro considerato nei vari tornanti.

Tabella 7: valori dell'allargamento minimo necessario per consentire il transito di diverse configurazioni di autocarro.

Autocarro	Raggio di curvatura a mezzaria (m)	6	8	10	12	14
6x2	Allargamento max ruote (mm)	920	720	580	350	270
	Allargamento max carrozzeria (mm)	1780	1460	1210	890	750
	Allargamento totale ruote (m²)	29,96	28,87	24,6	15,99	13,06
	Allargamento totale carrozzeria (m²)	51,81	50,74	45,30	43,57	41,04
6x4	Allargamento max ruote (mm)	1080	710	480	400	300
	Allargamento max carrozzeria (mm)	1900	1440	1110	950	780
	Allargamento totale ruote (m²)	33,49	25,46	23,59	22,36	6,51
	Allargamento totale carrozzeria (m²)	54,84	52,99	50,24	43,56	39,69
8x4	Allargamento max ruote (mm)	1380	1070	950	740	580
	Allargamento max carrozzeria (mm)	2230	1890	1670	1360	1120
	Allargamento totale ruote (m²)	80,02	39,67	36,77	22,94	19,66
	Allargamento totale carrozzeria (m²)	119,68	73,19	68,28	58,61	56,67
6x2 con carrello a due assi	Allargamento max ruote (mm)	1780	1420	1200	840	830
	Allargamento max carrozzeria (mm)	2550	2110	1830	1360	1320
	Allargamento totale ruote (m²)	63,30	59,79	50,24	48,95	39,69
	Allargamento totale carrozzeria (m²)	83,29	78,37	73,13	70,84	60,10
6x2 con carrello a tre assi	Allargamento max ruote (mm)	1800	1530	880	850	710
	Allargamento max carrozzeria (mm)	2520	2200	1480	1380	1210
	Allargamento totale ruote (m²)	79,21	78,37	58,13	48,95	31,63
	Allargamento totale carrozzeria (m²)	102,18	97,63	79,65	77,01	61,47
6x4 con carrello a due assi	Allargamento max ruote (mm)	1830	1450	1000	860	740
	Allargamento max carrozzeria (mm)	2640	2150	1600	1410	1200
	Allargamento totale ruote (m²)	59,43	57,50	39,85	34,66	26,29
	Allargamento totale carrozzeria (m²)	78,80	76,01	63,45	58,61	53,25

Autocarro	Raggio di curvatura a mezzaria (m)	6	8	10	12	14
6x4 con carrello a tre assi	Allargamento max ruote (mm)	1880	1370	1090	800	650
	Allargamento max carrozzeria (mm)	2700	2060	1710	1350	1100
	Allargamento totale ruote (m²)	67,22	57,5	45,03	37,62	26,29
	Allargamento totale carrozzeria (m²)	77,18	76,48	71,51	57,4	53,25

Nella Tabella 7 sono stati riportate le seguenti voci:

- Autocarro: elenco dei mezzi considerati nella creazione dei modelli
- Raggio di curvatura: i modelli sono costruiti su tornanti con raggio di curvatura a mezzaria pari a 6, 8, 10, 12 e 14 metri
- Allargamento max ruote: corrisponde alla distanza, espressa in millimetri, della linea di curvatura delle ruote dal limite esterno del tornante
- Allargamento max carrozzeria: corrisponde alla distanza, espressa in millimetri, della linea di curvatura della sagoma dell'autocarro dal limite esterno del tornante
- Allargamento totale ruote: area, espressa in metri quadrati, tra la linea del limite esterno del tornante e la linea di curvatura delle ruote
- Allargamento totale carrozzeria: area, espressa in metri quadrati, tra la linea del limite esterno del tornante e la linea di curvatura della sagoma dell'autocarro.

L'allargamento minimo necessario al transito dell'autocarro corrisponde all'allargamento totale della carrozzeria, che nei modelli è rappresentato dalla linea verde più esterna.

3.5 Calcolo del costo di allargamento dei tornanti

Il passo successivo al calcolo dell'allargamento di un tornante è quello di applicare i modelli realizzati con AutoCAD a casi studio reali.

L'obiettivo è quello di calcolare il costo per allargare ogni tornante in modo tale da consentire il transito ad un autocarro 6x4 con carrello due assi.

La finalità è quella modificare i tornanti in modo tale che consentano il passaggio a veicoli di seconda categoria nonostante gli standard minimi di larghezza dei tornanti non siano rispettate.

Il calcolo del costo di ampliamento del tronante prevede:

- Escavatore per rimozione di 250 mm di suolo
- Autocarro leggero per il trasporto del materiale estratto con l'escavatore e l'accumulo nelle immediate vicinanze del sito di lavoro in modo tale che non costituisca un intralcio alle operazioni
- Riempimento di 20 mm dello scavo con brecciolino e i restanti 230 mm con il materiale precedentemente accumulato derivante dallo scavo

- In fase di rimozione del terreno è stata prevista anche l'eventualità di uno scavo in roccia con i relativi costi aggiunti
- Qualora fosse necessario si è calcolato il costo per la costruzione di un'opera di sostegno alla base del tornante
- Infine è stato calcolato il costo per l'inerbimento del versante effettuato tramite idrosemina oppure il costo per la realizzazione di opere d'arte in accordo con gli standard del Consorzio Forestale, per tanto è stato previsto il costo per la messa in opera di palificate semplici oppure di gabbionate
- Per ogni tornante sono stati previsti cinque giorni lavorativi da otto ore ognuno. Per la fase di scavo e deposizione del brecciolino sono state considerate 24 ore di lavoro.

Di seguito alcuni esempi:

Esempio 1:



Figura 65: tornante sul tracciato SO17198_00019

Il tornante in Figura 65 presenta un raggio di curvatura a mezzaria pari a 4,9 metri. Per il calcolo del costo di allargamento di questo tornante è stato previsto un ampliamento necessario di 179 m². Questa superficie non prevede nessun scavo in roccia in quanto sia il terreno che il versante non presentano un'evidente presenza di materiale roccioso dall'esterno.

Inoltre il tornante è pianeggiante all'esterno quindi non è stato previsto nessuno costo aggiuntivo per la realizzazione di opere di sostegno e grazie alla bassa altezza del versante a monte non sono

stati previsti nessun onere per la realizzazione di palificate o gabbionate ma, è stato valutato il solo inerbimento tramite idrosemina.

Le voci di costo quindi sono state le seguenti:

- Costo del brecciolino: 36 €
- Costo per lo sbancamento: 506 €
- Costo per l'inerbimento: 35 €
- Costo totale per l'ampliamento: 577 €

Esempio 2:



Figura 66: tornante presente sulla strada SO17198_00052

Il tornante in Figura 66 presenta un raggio di curvatura a mezzaria pari a 4,9 metri.

L'allargamento individuato per questo tornante è stato pari a di 179 m². Questa superficie non prevede nessun scavo in roccia in quanto sia il terreno che il versante non presentano un'evidente presenza di materiale roccioso dall'esterno.

Inoltre il tornante è pianeggiante all'esterno quindi non è stato previsto nessuno costo aggiuntivo per la realizzazione di opere di sostegno ma è stato valutato il costo per la realizzazione di una palificata semplice sul versante a monte. Nessun costo per l'inerbimento del versante.

Le voci di costo quindi sono state le seguenti:

- Costo del brecciolino: 35 €
- Costo per lo sbancamento: 506 €
- Costo per la messa in opera di una palificata semplice: 2306 €
- Costo totale per l'ampliamento: 2849 €

Esempio 3:



Figura 67: tornante fotografato sul tracciato SO17198_00019

Il tornante in Figura 67 presenta un raggio di curvatura a mezzaria pari a 4,3 metri.

L'allargamento individuato per questo tornante è stato pari a di 189 m² con scavo in roccia sul versante a monte.

Il tornante all'esterno necessita la realizzazione di un'opera di sostegno ed è stato valutato il costo per l'inerbimento del versante.

Le voci di costo quindi sono state le seguenti:

- Costo del brecciolino: 37 €
- Costo per lo sbancamento: 536 €

- Costo per la realizzazione di un muro di sostegno di larghezza pari a 20 cm: 738 €
- Costo totale per l'ampliamento: 1383 €

Esempio 4:



Figura 68: tornante presente sulla strada SO17202_00008

Il tornante in Figura 68 presenta un raggio di curvatura a mezzaria pari a 3,7 metri.

L'allargamento individuato per questo tornante è stato pari a di 208 m² senza scavo in roccia sul versante a monte.

Il tornante all'esterno necessita la realizzazione di un'opera di sostegno ed è stato valutato il costo per la realizzazione di una gabbionata.

Le voci di costo quindi sono state le seguenti:

- Costo del brecciolino: 41 €
- Costo per lo sbancamento: 589 €
- Costo per la realizzazione di un muro di sostegno di larghezza pari a 20 cm: 2955 €
- Costo per la messa in opera della gabbionata: 6942 €
- Costo totale per l'ampliamento: 10529 €

Infine se si sommano i costi per l'allargamento di ogni tornante, si otterranno i seguenti costi di adeguamento per ogni strada:

n. strada	Id strada	n. tornanti da allargare	Totale intervento (€)
1	SO17083_00008	6	5740
2	SO17110_00010	2	-
3	SO17110_00020	Nessun tornante	-
4	SO17148_00016	5	23916
5	SO17184_00018	3	5405
6	SO17198_00014	1	2075
7	SO17198_00019	10	15976
8	SO17198_00021	Nessun tornante	-
9	SO17198_00052	9	24375
10	SO17184_00008	9	46419
11	SO17202_00008	9	33358

In merito al costo per il miglioramento dei tornanti, è evidente che la principale voce di costo è la realizzazione di opere di sostegno, in particolare le gabbionate ma anche lo scavo in roccia. Le voci di costo sono indicative e necessitano di essere verificate tramite progetti di dettaglio con misurazioni di precisione dei casi studio, nonché tramite valutazione geologica per verifica nell'inserimento di opere di consolidamento.

Per la strada n.2 (Figura 69: tornante con pendenza pari al 22% Figura 69) non è ritenuto opportuno un eventuale adeguamento in quanto i tornanti presentano sia una larghezza limitata quanto pendenze elevate e superiori al 20%.

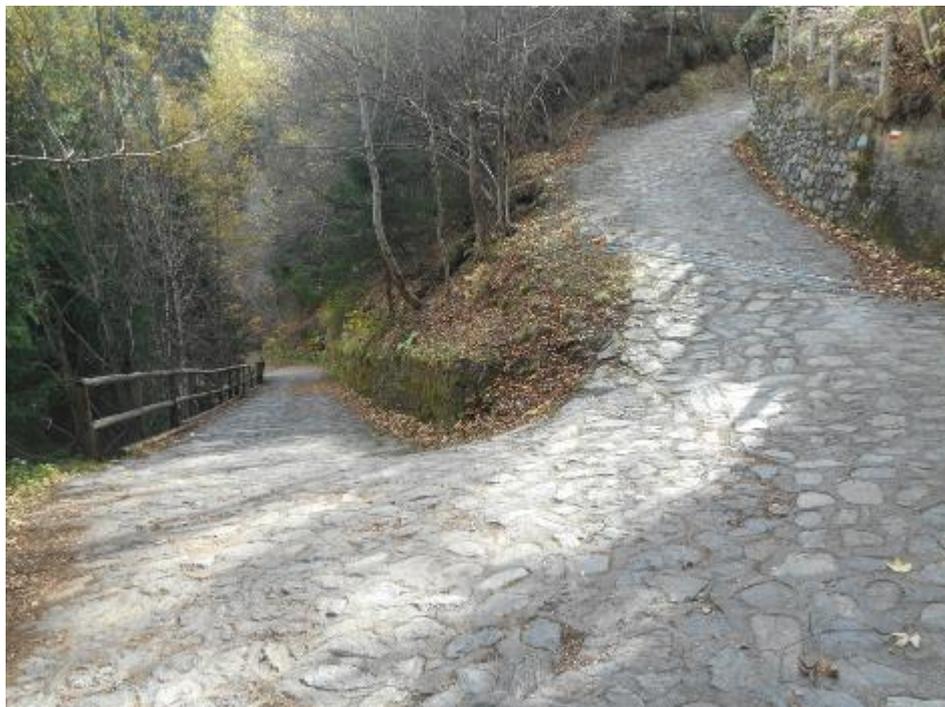


Figura 69: tornante con pendenza pari al 22%

Applicando l'allargamento precedentemente calcolato adegua ogni strada allo standard minimo di otto metri previsti per la seconda categoria. Qualora si volesse aumentare ulteriormente la categoria portandola alla prima, significherebbe un aumento dei costi d'allargamento corrispondente al 12%.

4 CONCLUSIONI FINALI

Il presente lavoro aveva l'obiettivo di comprendere le attuali criticità della Viabilità Agro-Silvo-Pastorale (VASP) nell'Alta Val Camonica e definire delle linee prioritarie di intervento su alcune strade di una certa importanza.

L'approccio inizialmente pratico, basato su osservazioni e misure in campo e in seguito più informatico grazie ad elaborazioni virtuali ha reso possibile un miglioramento dei dati inerenti la Viabilità Agro-Silvo Pastorale di alcune strade evidenziando alcune problematiche che dovrebbero essere ulteriormente approfondite.

In primis la classificazione delle strade forestali, in particolare sia sotto l'aspetto di attribuzione di una categoria al tracciato, sia in termini logistici. Spesso strade di categoria superiore sono direttamente collegate a strade di categoria inferiore, prima di allacciarsi alla viabilità principale e questo rappresenta un ostacolo per le imprese forestali che devono ottimizzare i costi delle utilizzazioni cercando di migliorare la logistica dei trasporti.

Analizzando i tracciati GPS inoltre, è evidente che il percorso delle strade sulla carta VASP non rispecchia la realtà infatti è stato osservato che su qualche tracciato riportato dalla VASP siano totalmente assenti dei tornanti che invece sono presenti sul territorio.

La realizzazione di modelli dei tornanti, attraverso il software *Vehicle Tracking*, ha reso possibile il calcolo dell'allargamento necessario per consentire il transito a diverse tipologie di mezzi forestali su differenti raggi di curvatura.

I modelli sono stati poi impiegati per il calcolo dell'allargamento dei tornanti presenti sulle undici strade oggetto di rilievo, con l'obiettivo di poter definire un costo totale per ogni tracciato per l'adeguamento alla categoria ad essi associata.

In seguito ai rilievi effettuati e dopo aver ascoltato le imprese forestali che operano sul territorio sarebbe opportuno intervenire con un'operazione di manutenzione straordinaria sui tracciati al fine di ripulire le opere superficiali e sotto superficiali di deflusso, in quanto spesso riversano in condizioni critiche essendo ostruite e in altri casi addirittura del tutto assenti. Infatti durante gli eventi meteorologici sono frequenti fenomeni di erosione più o meno intensi che possono danneggiare il piano stradale impedendo così la transitabilità ai mezzi.

La classificazione delle strade forestali basata sui parametri definiti dalla Regione Lombardia non prende in considerazione l'allargamento dei tornanti. Infatti a seguito di questo lavoro di tesi sarebbe possibile una riclassificazione delle strade forestali tenendo presente che, anche se i tornanti non dispongono degli standard minimi per il transito, qualora essi presentino un

allargamento esterno adeguato al transito dei mezzi potrebbero essere classificati sulla categoria più elevata in termini di transitabilità.

L'elaborato ipotizza dei costi di allargamento tale da consentire il passaggio come su tornanti da otto metri a mezzaria che corrisponde allo standard minimo per i tornanti appartenenti alla seconda classe.

In seguito all'adeguamento dei tornanti sarebbe opportuno ampliare anche le piazzole di scambio che attualmente sono presenti ma non adatte alle manovre previste per un autocarro 6x4 con rimorchio.

5 BIBLIOGRAFIA

2003. Delibera Giunta Regionale 8.8.2003 n. 14016. Direttiva relativa alla viabilità locale di servizio all'attività agro-silvo-pastorale.
2008. Legge Regionale 5.12.2008 n. 31. Testo unico delle leggi in materia di agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale.
2016. B.U.R.L. 18. Prezzario delle opere forestali – Aggiornamento 2016.
- B.C. Ministry of Forests. 2002. Forest road engineering guidebook. For. Prac. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Forest Practices Code of British Columbia Guidebook.
- Bassani M. 2016. Linee guida per la progettazione e costruzione di piste strade forestali con l'impiego delle unità di costi standard (UCS) per la valutazione economica dei progetti. DIATI. Politecnico di Torino.
- Begattini A. 2010. Analisi del traffico generato dal trasporto del legname sulle strade forestali. Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali. Relatore Cavalli R. Correlatore Grigolato S. e Pellegrini M. dipartimento territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova. Legnaro.
- Bischetti G.B. 2005. Linee guida per la progettazione della viabilità agro-silvo-pastorale in Lombardia. Milano.
- Cavalli, R., Grigolato, S., Pellegrini, M., Ciesa, M., Albergucci, M. e Cappellari, E. (2013). La viabilità forestale in Veneto. Stato dell'arte e prospettive future. Regione del Vento - Unità di Progetto Foreste e Parchi. 113 p. ISBN 978 88 908313 0 0.
- Cavalli R., Grigolato S., Marinello F. e Sartori L. 2013 Analysis of a double steering forest trailer for long wood log transportation. Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, Legnaro.
- Cielo P., Gottero F., Morera A., Terzuolo P. 2003 – La viabilità agro-silvopastorale: elementi di pianificazione e progettazione. IPLA - Regione Piemonte 2003.
- De Antonis L., Molinari V.M. 2007. Ingegneria naturalistica: nozioni e tecniche di base. CSEA. Regione Piemonte.
- Del Favero R. 2002. I tipi forestali nella regione Lombardia. Cierre edizioni, Regione Lombardia, Verona.
- Del Favero R. 2004. I boschi delle regioni alpine italiane. Cleup sc.
- Sessions J. 2007. Forest Road Operations in the Tropics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Grigolato S. Dispense di Logistica e Viabilità forestale. a.a. 2016/2017.

- Grigolato S, Cavalli R., Mologni O., 2017 GIS Applications in Forest Operations and Road Network Planning: an Overview over the Last Two Decades.
- Heinimann H.R. 2017. Forest Road Network and Transportation Engineering - State and Perspectives.
- New Zealand Forest Owners Association Incorporated (FOA). 2012. New Zealand forest road engineering manual.
- Pulkki R.E. Harvesting Glossary.
- Susan D. Kocher, Jared M. Gerstein, Richard R. Harris. 2007. Rural Roads: A Construction and Maintenance Guide for California Landowners. Publications 8262 The Regents of the University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Susnjar M., Horvat D., Pandur Z., Zori M. 2011. Odredivanje osovinskih opteracenja kamionskoga i tegljackoga skupa za prijevoz drva.
- The Oregon Department of Forestry, State Forests Program. 2000. Forest Road Manual.
- Wiest R. L. 1998. A Landowner's Guide to Building Forest Access Road. Radnor.

5.1 Piani d'Assestamento

- 2001. Piano d'assestamento per il Comune di Vezza d'Oglio per il periodo 2001-2015, a cura di G. Gregorini
- 1996. Piano d'assestamento per il Comune di Incudine per il periodo 1996-2010, a cura di E. Zalon
- 2007. Piano d'assestamento per il Comune di Temù per il periodo 2007-2021, a cura di R. Mariotti
- 2006. Piano d'assestamento per il Comune di Monno per il periodo 2006-2020, a cura di R. Mariotti
- 2005. Piano d'assestamento per il Comune di Vione per il periodo 2005-2019, a cura di R. Mariotti
- 2005. Piano d'assestamento per il Comune di Ponte di Legno per il periodo 2005-2019, a cura di R. Mariotti

6 SITOGRAFIA

- <http://www.geoportale.cmvallecasonica.bs.it>
- <http://www.regione.lombardia.it>
- <http://www.geoportale.regione.lombardia.it>
- <https://www.autodesk.com/products/vehicle-tracking/overview>
- <https://knowledge.autodesk.com/support/vehicle-tracking/learn-explore/caas/sfdarticles/sfdarticles/How-to-Create-and-Populate-New-Vehicle-Libraries.html>

7 RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento al Dott. Forestale Mariotti Riccardo per la disponibilità e la collaborazione offerta durante tutto il lavoro di tesi nonché a tutto l'ufficio del Consorzio Forestale Due Parchi per il materiale fornito per la stesura della tesi.

Ringrazio inoltre il Sig. Piernicola Ceri e il Sig. Michele Corazzola per la reperibilità e il contributo fornito sulla descrizione dei mezzi.