



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea magistrale in Scienze forestali e Ambientali

**ANALISI DECISIONALE MULTICRITERIO PER LA
DEFINIZIONE DELLE PRIORITÀ DI MANUTENZIONE
DELLA VIABILITÀ AGRO-SILVO-PASTORALE:
RISULTATI DI UN'APPLICAZIONE IN
COMUNITÀ MONTANA VALLI DEL VERBANO**

Relatore:
Prof. Stefano Grigolato
Correlatore:
Ing. Luca Marchi

Laureando:
Luca Folador
Matricola n. 2058873

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

INDICE

RIASSUNTO	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUZIONE	6
1.1 LA VIABILITÀ AGRO-SILVO-PASTORALE	6
1.2 MANUTENZIONE DELLA VIABILITÀ AGRO-SILVO-PASTORALE.....	7
1.3 OBIETTIVI	8
2. MATERIALI E METODI	9
2.1 CASO STUDIO.....	9
2.2 METODO DI ANALISI.....	13
2.2.1 <i>Principi e fondamenti dell'Analytic Hierarchy Process</i>	13
2.2.2 <i>Organizzazione del problema come una gerarchia</i>	13
2.2.3 <i>Confronto a coppie fra criteri per determinare le preferenze degli esperti</i>	14
2.2.4 <i>Conversione degli attributi in valori standardizzati</i>	17
2.2.5 <i>Classificazione delle alternative</i>	17
2.3 DEFINIZIONE E CALCOLO DEI CRITERI	18
2.4 IMPOSTAZIONE DEL QUESTIONARIO	22
2.5 SCELTA DEGLI ESPERTI.....	23
2.6 IMPOSTAZIONE DEL FOGLIO DI CALCOLO E ANALISI	23
3. RISULTATI	25
3.1 VALUTAZIONE BASATA SU ESPERTI LOCALI	25
3.2 VALUTAZIONE BASATA SU ESPERTI DI ALTRE AREE.....	30
4. DISCUSSIONE	35
4.1 DISCUSSIONE DEI RISULTATI	35
4.2 DISCUSSIONE SUL METODO E REPLICABILITÀ	39
5. CONCLUSIONI	41
6. BIBLIOGRAFIA	43
RINGRAZIAMENTI	46

RIASSUNTO

Il lavoro di tesi combina gli strumenti GIS e l'analisi decisionale multicriterio di tipo AHP per ottenere un ordine di priorità di manutenzione della viabilità agro-silvo-pastorale in gestione alla Comunità Montana Valli del Verbano, in provincia di Varese.

Si intende paragonare i risultati ottenuti sottoponendo il confronto a coppie sia a esperti in grado di riferirsi all'area di studio sia a esperti esterni all'area di studio.

Il metodo AHP si basa sulle seguenti fasi: (1) organizzazione del problema come una gerarchia, (2) confronto a coppie fra attributi per determinare le preferenze di decisori ed esperti, (3) conversione degli attributi in valori standardizzati e (4) classificazione delle alternative. La gerarchia è stata sviluppata a partire dai concetti di multifunzionalità e di utilizzo e transitabilità delle strade forestali. Gli esperti sono stati selezionati sulla base della loro formazione professionale, esperienza lavorativa e imparzialità di giudizio sull'argomento. I pareri sono stati raccolti mediante la somministrazione di un questionario realizzato su Moduli Google di Google LLC; per l'applicazione del metodo AHP è stato utilizzato un foglio di calcolo predisposto da Klaus D. Goepel (2013).

L'analisi condotta su esperti locali ha evidenziato che viene posta maggiore attenzione alle funzioni svolte dalla strada e, in particolare, alla funzione antincendio espletata dal servizio in prossimità di punti logistici AIB e alla funzione produttiva forestale. Secondaria ma non trascurabile importanza viene data alla transitabilità della strada con un'attenzione rivolta al miglioramento del deflusso delle acque. Gli esperti di altre aree hanno ritenuto che le funzioni avessero un'importanza simile all'utilizzo e transitabilità della strada. Da un lato la priorità è stata data alla funzione antincendio e alla funzione produttiva privilegiando le utilizzazioni forestali in aree già soggette a tagli recenti. Parallelamente è stata attribuita notevole importanza alla transitabilità della strada ed è stata così evidenziata la marcata necessità di interventi atti a migliorare il deflusso delle acque.

Le strade a maggiore priorità (prime 15) e quelle a minore priorità di manutenzione (ultime 10) risultano in gran parte (fra il 60 e l'80%) le medesime, come emerso dal confronto fra le classificazioni di esperti interni ed esterni sul totale delle 54 strade in gestione a Comunità Montana. La variazione media di posizione in valore assoluto è pari a 6,4 posizioni. La strada a cui è stata complessivamente attribuita maggiore priorità è denominata "S. com. della Pezza" (ID 30) e si estende nel Comune di Duno.

ABSTRACT

The thesis work combines GIS tools and AHP multi-criteria decision analysis to obtain a priority order of maintenance of the agro-sylvo-pastoral road system managed by Comunità Montana Valli del Verbano, in the province of Varese.

It intends to compare the results obtained by subjecting the pairwise comparison to both experts able to refer to the study area and experts from outside the study area.

The AHP method is based on the following steps: (1) organization of the problem as a hierarchy, (2) pairwise comparison of attributes to determine the preferences of decision makers and experts, (3) conversion of attributes into standardized values, and (4) ranking of alternatives. The hierarchy was developed from the concepts of multifunctionality and forest road use and transitability. Experts were selected according to their professional training, work experience, and impartiality of judgment on the topic. Opinions were collected by administering a questionnaire created on Google Forms of Google LLC; a spreadsheet prepared by Klaus D. Goepel (2013) was used to apply the AHP method.

The analysis conducted on local experts showed that more attention is given to the functions performed by the road and, in particular, to the fire-fighting function performed by the service near AIB logistics points and the forestry production function. Secondary but not insignificant importance is given to the transitability of the road with a focus on improving water runoff. Experts from other areas considered the functions to have similar importance to the use and transitability of the road. On the one hand, priority was given to the fire-fighting function and the productive function by prioritizing forestry uses in areas already subject to recent logging. At the same time, considerable importance was given to the transitability of the road and thus the marked need for interventions to improve water runoff was highlighted.

The highest-priority roads (top 15) and the lowest-priority roads for maintenance (bottom 10) turn out to be largely (between 60 and 80 %) the same, as revealed by comparing the rankings of internal and external experts on the total of 54 roads under Mountain Community management. The average position change in absolute value is 6.4 positions. The road with the highest priority overall is named "S. com. della Pezza" (ID 30) and extends into the municipality of Duno.

1. INTRODUZIONE

1.1 La viabilità agro-silvo-pastorale

Per viabilità forestale si intende «la rete di strade, piste, vie di esbosco, piazzole e opere forestali aventi carattere permanente o transitorio, comunque vietate al transito ordinario, con fondo prevalentemente non asfaltato e a carreggiata unica, che interessano o attraversano le aree boscate e pascolive, funzionali a garantire il governo del territorio, la tutela, la gestione e la valorizzazione ambientale, economica e paesaggistica del patrimonio forestale, nonché le attività di prevenzione ed estinzione degli incendi boschivi» (Decreto Legislativo 3 aprile 2018, n. 34)

Attraverso la definizione di viabilità forestale, il testo unico in materia di foreste e filiere forestali esprime la caratteristica di multifunzionalità che questa infrastruttura intrinsecamente assume.

La rete agro-silvo-pastorale, come funzione primaria, facilita l'esecuzione delle operazioni forestali in sicurezza, agevolando l'accesso umano e dei mezzi di lavoro al bosco, consentendo l'asportazione del legname utilizzato (Hippoliti 1976, Grigolato et al. 2019).

Inoltre, la viabilità forestale agevola 1) lo svolgimento delle attività di sorveglianza e monitoraggio, 2) la realizzazione e manutenzione delle opere di sistemazione idraulico-forestale e difesa idrogeologica, 3) la fruizione ai servizi ecosistemici per attività turistico-ricreative, 4) le attività di estinzione degli incendi boschivi e 5) le attività di protezione civile, i soccorsi e 6) gli interventi di emergenza sanitaria. Essa può essere funzionale alla gestione delle aree agricole e pastorali collocate in prossimità delle superfici forestali (Grigolato et al. 2019).

D'altra parte, la presenza di strade in un contesto naturale ha molti effetti indesiderati sulle componenti biotiche e abiotiche della foresta (Grigolato et al 2013).

La realizzazione e lo sfruttamento della viabilità forestale generano impatti negativi sull'ambiente come la perdita e la frammentazione degli habitat, ma soprattutto come una delle principali fonti di produzione di sedimenti e inquinamento delle acque superficiali a seguito di fenomeni erosivi (Çalışkan, 2013, Grigolato et al 2013).

Le strade forestali, vista la loro abituale ubicazione in aree a elevata pendenza, sono principalmente soggette a frane e movimenti di massa che possono interrompere la

carreggiata o provocare crolli parziali. Inoltre, sono associate a erosione superficiale accelerata causata dalla compressione sotto carichi pesanti di pneumatici, dall'azione atmosferica e dalla lunghezza e pendenza stessa della strada (Thompson et al. 2010).

Alla luce di quanto esposto risulta necessario sopperire ai danni che la strada subisce nel tempo mantenendo un'efficiente funzionalità anche al fine di ridurre al minimo gli impatti negativi sull'ambiente.

Regione Lombardia, con lo scopo di gestire in modo oculato la viabilità forestale, prevede la realizzazione di un piano della Viabilità Agro-Silvo-Pastorale (VASP) da realizzarsi contestualmente al Piano di Indirizzo Forestale (PIF) a livello di Comunità Montana, Parco Regionale, Consorzio Forestale o Amministrazione Provinciale. Il documento prevede la caratterizzazione dello stato di fatto della viabilità, la definizione della densità viaria ottimale nel rispetto delle caratteristiche geomorfologiche e socio-economiche del territorio, l'organizzazione viaria secondo livelli di importanza e un programma di interventi relativo alle manutenzioni e alle nuove realizzazioni.

1.2 Manutenzione della viabilità agro-silvo-pastorale

Gli strumenti utili a rendere praticabili ed efficienti le reti stradali forestali esistenti sono le manutenzioni ordinarie e straordinarie.

Le pratiche di controllo e mitigazione dell'erosione sono essenziali per ridurre la quantità di sedimenti introdotta nelle formazioni forestali e disponibile per il trasporto diretto verso i sistemi di corsi d'acqua (Akbarimehr and Naghdi, 2012).

Per eseguire le manutenzioni alla viabilità agro-silvo-pastorale vengono spese ingenti somme di denaro ogni anno. Tali fondi risultano comunque limitati e pertanto risulta importante definire le priorità di intervento valutando le esigenze gestionali, territoriali e ambientali. Come precedentemente espresso le funzioni della viabilità forestale e i fattori che impattano su tale infrastruttura sono molteplici e coinvolgono l'ambiente naturale e il contesto socioeconomico di riferimento. Per questo motivo, la definizione delle priorità manutentive richiede l'analisi e il confronto di numerose variabili indipendenti sfruttando una metodologia che possa integrare obiettivi multipli di gestione per giungere a un risultato univoco. L'utilizzo di strumenti GIS (*Geographic Information System*) combinati con l'analisi decisionale multicriterio si sono rivelati un buono e utile strumento per fornire linee guida necessarie a stabilire le priorità delle operazioni di manutenzione (Pellegrini et al. 2013).

L'analisi decisionale multicriterio basata sul GIS (GIS-MCDA) è un processo che trasforma e combina dati geografici e giudizi di valore individuale espressi da decisori ed esperti del settore al fine di prendere una decisione e risolvere un problema decisionale (Borouhaki and Malczewski 2010).

Il confronto a coppie sviluppato da Saaty (1980), conosciuto come *Analytical Hierarchy Process* (AHP) e utilizzato in un processo decisionale multicriterio, risulta una delle più promettenti tecniche per assegnare il peso a un determinato insieme di criteri.

L'*Analytical Hierarchy Process* (AHP) è stato utilizzato per definire le priorità di manutenzione al fine di minimizzare l'impatto ambientale su suolo e risorse idriche derivante dalle strade forestali. Questo processo possiede il potenziale per gestire sistemi stradali esistenti fornendo agli utenti un metodo strutturato per incorporare sia dati scientifici che giudizi professionali in un processo replicabile e adattabile agli obiettivi prefissati (Coulter et al. 2006).

1.3 Obiettivi

Il presente lavoro di tesi combina gli strumenti GIS e l'analisi di tipo AHP per ottenere un ordine di priorità di manutenzione della viabilità agro-silvo-pastorale in gestione ad un ente pubblico al fine di guidare gli investimenti in accordo con gli obiettivi prefissati. In sintesi, la metodologia proposta si pone l'obiettivo di individuare la migliore classificazione delle strade secondo un ordine di priorità di manutenzione considerando la multifunzionalità della rete stradale e gli aspetti di utilizzo e transitabilità.

In ultimo, si intende confrontare i risultati ottenuti sottoponendo il confronto a coppie a esperti in grado di riferirsi all'area di studio e a un gruppo di esperti esterni all'area di studio.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Caso studio

L'area di studio si estende sull'intero territorio della Comunità Montana Valli del Verbano, situata in Lombardia nella porzione settentrionale della Provincia di Varese.

Essa è delimitata a nord dal confine con la Svizzera, a est dal confine svizzero e da uno spartiacque naturale costituito dal massiccio dei Sette Termini, a ovest dal Lago Maggiore e a sud dal massiccio del Campo dei Fiori.

Come spiegato nella relazione tecnica del Piano di Indirizzo Forestale (Nicoloso, 2014), per il 61% il territorio della Comunità Montana è coperto da boschi, i quali si estendono per quasi 15000 ettari. Il piano collinare è dominato per la metà della sua superficie boschiva dalla categoria forestale dei robinieti e in minor parte da castagneti, alneti e acero-frassineti. L'area forestale montana è quasi per la metà della superficie occupata dal castagneto seguito in minor quota dalla faggeta nelle esposizioni nord e nei boschi a settentrione dell'area e da acero-frassineto, betuleto e robinieto.

La Comunità Montana Valli del Verbano gestisce tre siti di interesse comunitario: ZSC Val Veddasca (4920 ha), ZSC Monte Sangiano (195 ha) e ZSC Monti della Valcuvia (1608 ha).

Riferendosi alle superfici boscate interessate dal Piano di Indirizzo Forestale vigente, la rete di strade che interagisce con il sistema forestale, comprese quelle soggette al traffico ordinario, è di circa 883 km, con una densità viabile pari a 60 m/ha. La viabilità agro-silvo-pastorale così come inserita nel Piano della viabilità agro-silvo-pastorale (2014) ammonta a 168 km gestita in parte dai Comuni e in parte dalla Comunità Montana. In seguito a variante del regolamento del piano approvata nel 2019, i tracciati rimasti in gestione a Comunità Montana risultano 54 come descritto in Tab. 2.1 e rappresentato in Fig. 2.1.

Tabella 2.1: elenco delle strade agro-silvo-pastorali in gestione a Comunità Montana Valli del Verbano

ID	Nome della strada	Comune prevalente	Lung. (m)
1	M. Nudo str. di vetta	Brenta	1257,2
2	M. Nudo str. per pozzo piano	Brenta	1360
3	Brezzo-Ticinello	Brezzo di Bedero	1410,2
4	Pisciò-Roggiano	Brezzo di Bedero	2326,7
5	Villaggio Olandese	Brezzo di Bedero	205
6	M. Nudo str. di vetta	Casalzuigno	168,9
7	M. Nudo str. per pozzo piano	Casalzuigno	898,4
8	Part. 17 PAF	Casalzuigno	1200,2
9	S. mil. del monte S. Martino	Casalzuigno	3758,5
10	S. mil. del monte S. Martino	Cassano Valcurva	222,3
11	Casale Puggiera	Castelveccana	605,1
12	M. Nudo nord	Castelveccana	2142,2
13	Per pozzo Piano	Cittiglio	653,4
14	S. cons. di Brugnetta	Cittiglio	1572,1
15	S. cons. di mezzo	Cittiglio	1267,8
16	Strada su aree di proprietà	Cittiglio	929,5
17	Alpone	Curiglia con Monteviasco	555,2
18	Curiglia Sarona	Curiglia con Monteviasco	1078,6
19	Madonna della Guardia	Curiglia con Monteviasco	2080
20	Sarona	Curiglia con Monteviasco	432,8
21	Sarona Alpone	Curiglia con Monteviasco	1410,4
22	Sarona - Ca del Sasso	Curiglia con Monteviasco	324,9
23	S. com. del Gaggio	Cuveglio	804,1
24	S. cons. del Boscaccio	Cuveglio	354,4
25	Bosco Nassa	Dumenza	744,9
26	Pradecolo nord	Dumenza	770,2
27	Pradecolo - Madonna della Guardia	Dumenza	1451
28	Pragelato - pradecolo	Dumenza	781,1
29	S. com. da S. Antonio a S. Martino	Duno	1904
30	S. com. della Pezza	Duno	658,6
31	Per particella 11 PAF	Laveno Mombello	237,6
32	S. com. di Carona	Laveno Mombello	1057,7
33	S. vic. dei Nositti	Laveno Mombello	847,1
34	Tagliafuoco del Sasso del ferro	Laveno Mombello	3137,1
35	Campagnette	Maccagno con Pino e Veddasca	2435,6
36	Lago Delio	Maccagno con Pino e Veddasca	503,4
37	Lago Delio est	Maccagno con Pino e Veddasca	486
38	Alpe Cortiggia	Maccagno con Pino e Veddasca	1318,9
39	Monti di Pino - Nove Fontane	Maccagno con Pino e Veddasca	2930,1
40	Zenna - Monti di Pino	Maccagno con Pino e Veddasca	3148,4

ID	Nome della strada	Comune prevalente	Lung. (m)
41	Forcora - Lago Delio	Maccagno con Pino e Veddasca	555,5
42	Forcora - Nove Fontane	Maccagno con Pino e Veddasca	1985,5
43	Lozzo - Piero	Maccagno con Pino e Veddasca	2622,7
44	M. della Colonna Nord	Mesenzana	1681,6
45	Casa Profarè	Porto Valtravaglia	1094,2
46	Cascina bassa	Porto Valtravaglia	661
47	M. della Colonna nord	Porto Valtravaglia	1974,3
48	Monte Pian Nave ovest	Porto Valtravaglia	1017,9
49	Muceo - Brezzo di Bedero	Porto Valtravaglia	760,4
50	S. Michele - Muceno	Porto Valtravaglia	5082,2
51	S. cons. della Torriggia et al.	Porto Valtravaglia	632,9
52	S. cons. detta del piano Nave	Porto Valtravaglia	291,7
53	S. Michele Est	Porto Valtravaglia	1249
54	Torrenti Comada e Froda	Porto Valtravaglia	1024,6

La lunghezza complessiva della viabilità forestale in gestione all'ente è pari 70 km.

Le strade presentano la caratteristica di inter-comunalità, condizione prevista dal piano VASP per l'assegnazione del tracciato alla gestione da parte della Comunità Montana e non del Comune di riferimento.

Riguardo lo stato di conservazione delle strade è specificato che i tracciati si trovano in modesto stato di conservazione e che, a causa dell'assenza di una regolare e pianificata manutenzione, il fondo stradale è interessato da un rapido degrado dovuto per lo più ad erosione superficiale. Il fenomeno è aggravato dalla quasi totale assenza di opere di regimazione del deflusso dell'acqua.

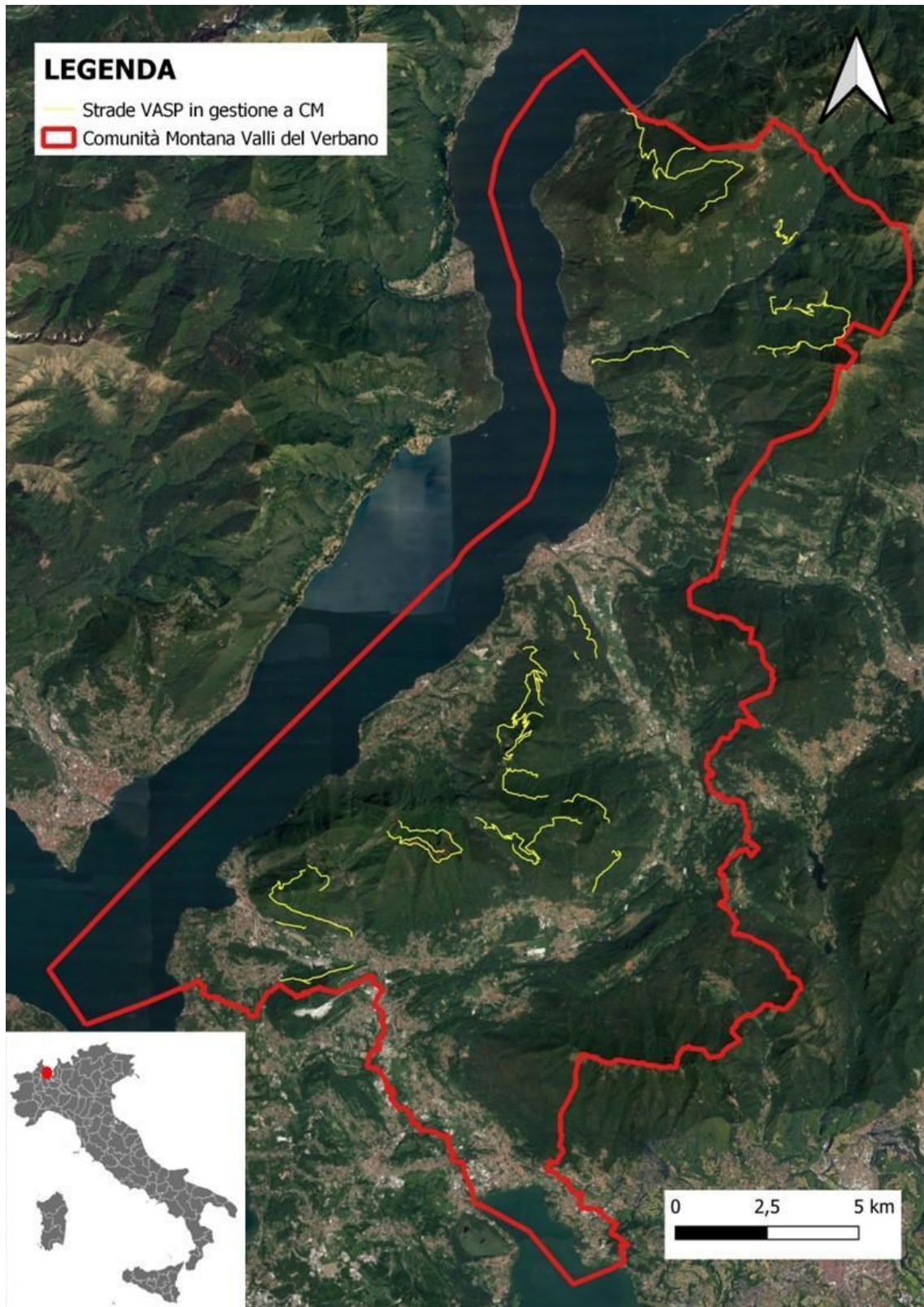


Figura 2.1: localizzazione delle strade agro-silvo-pastorali in gestione a Comunità Montana Valli del Verbano

2.2 Metodo di analisi

2.2.1 Principi e fondamenti dell'Analytic Hierarchy Process

Coulter et al. (2006) hanno applicato il metodo AHP, illustrandone l'utilizzo, nella prioritizzazione degli investimenti nelle strade forestali al fine di minimizzare l'impatto ambientale. Le medesime linee guida sono applicabili nel presente lavoro di tesi.

Il metodo AHP si basa sui seguenti e sequenziali concetti:

- organizzazione del problema come una gerarchia;
- confronto a coppie fra attributi per determinare le preferenze di decisori ed esperti;
- conversione degli attributi in valori standardizzati;
- classificazione delle alternative.

2.2.2 Organizzazione del problema come una gerarchia

La gerarchia è sviluppata a partire da un obiettivo complessivo dell'analisi ed è utile a decomporre e strutturare il problema decisionale nei suoi elementi fondamentali.

Il secondo livello della gerarchia suddivide l'obiettivo in sotto-obiettivi e così via fino al raggiungimento di sotto-obiettivi sempre più specifici come nell'esempio mostrato in Fig. 2.2. Questo processo prosegue generando ulteriori livelli fino all'adeguata rappresentazione del problema. Non è richiesto che ciascun obiettivo, detto anche criterio, sia suddiviso nel medesimo numero di livelli.

Una gerarchia può essere definita completa o incompleta. Nel presente caso di studio la gerarchia risulta incompleta in quanto non tutti gli elementi di tutti i livelli si collegano agli altri elementi nei livelli superiori e inferiori. La scelta della gerarchia incompleta è dettata dall'indipendenza degli elementi individuati.

Nel presente studio l'obiettivo generale è ottenere la migliore classificazione delle strade forestali in gestione alla Comunità Montana secondo la loro priorità di manutenzione. L'obiettivo generale è poi diviso in due sotto-obiettivi che comportano da un lato la massimizzazione della multifunzionalità della viabilità e dall'altro la massimizzazione della sua utilità e transitabilità. A loro volta questi sotto obiettivi sono, in certi casi, nuovamente suddivisi fino a giungere anche al quarto livello di definizione.

L'elemento o gli elementi di livello più basso in ogni ramo della gerarchia contengono gli attributi che permetteranno il giudizio delle priorità di investimento.

Saaty (1977) consiglia di non confrontare più di sette elementi per ogni livello della gerarchia in modo da gestire facilmente la formulazione del problema.

Una volta che viene scomposto il problema come una gerarchia di obiettivi e sotto-obiettivi si può procedere con la tecnica di confronto a coppie per ottenerne il peso, ovvero il valore relativo.

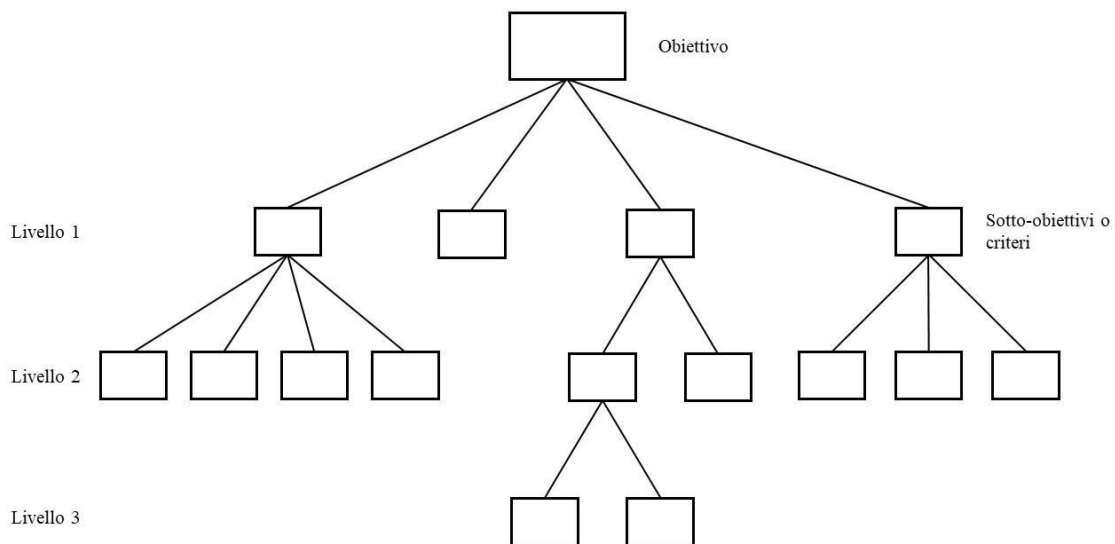


Figura 2.2: esempio di gerarchia che rappresenta un obiettivo generale e tre livelli di sotto-obiettivi o criteri

2.2.3 Confronto a coppie fra criteri per determinare le preferenze degli esperti

Coulter et al. (2006) proseguono spiegando che per stabilire l'importanza relativa di ciascun obiettivo si effettuano confronti a coppie per ogni livello della gerarchia e in relazione all'obiettivo direttamente superiore.

Ad esempio, una domanda che potrebbe essere posta ad un esperto o decisore è: *“Quanto è più importante la funzione produttiva rispetto alla funzione turistico-ricreativa?”*. Tali confronti, unicamente di pari livello gerarchico e riferiti al medesimo obiettivo, vengono posti in una matrice dalla quale saranno ottenuti i pesi per ogni elemento.

Esistono diversi metodi per stimare i pesi all'interno delle matrici di confronto a coppie. In accordo con Coulter et al. (2006) e Pellegrini et al. (2013) è stato utilizzato il metodo dell'*eigenvector* proposto originariamente da Saaty e divenuto uno dei più popolari per calcolare le preferenze da matrici inconsistenti di comparazioni a coppie.

All'interno del metodo AHP sono in certa misura consentiti scostamenti sia dalla consistenza ordinale che da quella cardinale. La consistenza ordinale richiede che se x è maggiore di y e y è maggiore di z , allora x dovrebbe essere maggiore di z . La consistenza cardinale è un requisito più forte che stabilisce che se x è 2 volte più importante di y e y è 3 volte più importante di z , allora x deve essere 6 volte più importante di z .

Saaty (1977) suggerisce di utilizzare un indice di consistenza (CI) che può anche essere espresso come un rapporto di consistenza (CR) al fine di valutare la coerenza delle preferenze espresse dal decisore durante le comparazioni a coppie utilizzate per costruire le matrici di confronto. In termini pratici, l'indice di consistenza confronta il grado di variabilità nelle preferenze assegnate alle diverse coppie di elementi. Un valore basso di CR indica una buona consistenza nelle valutazioni a coppie, mentre un valore elevato suggerisce una potenziale incoerenza nelle preferenze espresse. Saaty afferma che CR dovrebbe essere inferiore o uguale a 0,1, ma la scelta è arbitraria (Coulter et al. 2006) ed è stata oggetto di critiche (Bureš et al. 2020). Saaty inoltre afferma che per le matrici di ordine tre e quattro le soglie possono essere considerate rispettivamente 0,05 e 0,08 (Pant et al. 2022). Se dopo il completamento di una matrice di confronto a coppie, CR supera il valore di soglia, all'utente viene richiesto di rivedere i confronti fino a quando il valore di CR non è accettabile.

Per attribuire i pesi relativi ai criteri o agli elementi di una gerarchia, Saaty propone una scala di valutazione per quantificare le preferenze e le relazioni tra i diversi elementi del processo decisionale. La scala AHP è basata su confronti a coppie, come già anticipato, per i quali si utilizza una scala da 1 a 9 con relativa interpretazione verbale come espresso in Tab. 2.2.

Tabella 2.2: Scala utilizzata nel metodo AHP

Intensità di importanza	Definizione	Spiegazione
1	Uguale importanza	Due attività che contribuiscono equamente all'obiettivo
2	Debole importanza	
3	Moderata importanza	L'esperienza e il giudizio favoriscono moderatamente un'attività rispetto a un'altra
4	Importanza più che moderata	
5	Importanza forte	L'esperienza e il giudizio favoriscono decisamente un'attività rispetto a un'altra
6	Importanza più che forte	
7	Importanza molto forte o evidente	Un'attività è fortemente favorita rispetto a un'altra, con la sua supremazia dimostrata nella pratica
8	Importanza notevolmente forte	
9	Estrema importanza	L'evidenza a favore di un'attività rispetto a un'altra è confermata al massimo livello possibile

Il questionario di valutazione viene sottoposto al decisore attraverso una sequenza di domande per ogni possibile coppia del medesimo livello gerarchico.

Nella matrice, secondo il metodo Saaty, quando all'attività A è assegnato uno dei valori fra quelli riportati in Tab. 2.2 quando confrontata con l'attività B, allora B ha il valore reciproco quando confrontato con A.

2.2.4 Conversione degli attributi in valori standardizzati

Una volta raccolte e mediate le preferenze dei decisori espresse nei confronti a coppie, vengono calcolati i pesi prioritari per ciascun elemento della gerarchia. I dati di input per ciascuna alternativa devono essere confrontabili gli uni con gli altri; pertanto, è necessaria la conversione in dati relativi e quindi compresi fra 0 e 1. In questo modo all'interno del processo multicriterio possono essere utilizzati attributi misurati con diverse scale e di diverso tipo come dati numerici, descrittivi e categorici. Una tecnica comune di normalizzazione prevede la divisione di ciascun valore dell'attributo per il valore massimo di quell'attributo presente tra le alternative come affermato da Coulter E. et al. (2006) e applicato da Pellegrini M. et al. (2013).

Tuttavia, nel presente studio è stata utilizzata la normalizzazione di tipo “*min-max scaling*”, dimostratasi affidabile quando applicata con il metodo AHP (Vafaei, N. et al. 2020) e quando si vuole mantenere la forma generale della distribuzione dei dati mentre li si porta su una scala standardizzata.

La normalizzazione di tipo “min-max” risponde alla seguente formula:

$$n_{ij} = r_{ij} - r_{\min} / r_{\max} - r_{\min} \quad (1)$$

dove n_{ij} è il valore normalizzato, r_{ij} è il valore originale del dato, r_{\max} è il valore massimo dell'insieme di dati e r_{\min} è il valore minimo dell'insieme di dati.

2.2.5 Classificazione delle alternative

Una volta calcolati i valori relativi di tutte le alternative di ciascun attributo, questi possono essere moltiplicati con i pesi derivati dai confronti a coppie. In ogni livello della gerarchia i risultati di questo prodotto vengono sommati. Questa somma diventa il valore relativo per il nodo direttamente superiore. Il processo viene ripetuto al livello successivo della gerarchia fino al raggiungimento dell'obiettivo.

Il punteggio complessivo di un'alternativa assume significato solo in relazione ai punteggi complessivi delle altre alternative; preso singolarmente, non ha alcun significato intrinseco. Solo quando confrontato con i punteggi delle altre opzioni, questo numero diventa significativo. A questo punto, è possibile classificare le alternative in base alla

loro importanza nel contribuire all'obiettivo dell'analisi, ordinandole semplicemente in base al loro punteggio totale. Le alternative con punteggi più alti avranno posizioni più alte nella classificazione.

2.3 Definizione e calcolo dei criteri

La gerarchia del presente caso di studio (Fig. 2.3) è stata sviluppata a partire da due pilastri essenziali per un'infrastruttura come la viabilità forestale, ovvero la multifunzionalità e le caratteristiche legate all'utilizzo e alla transitabilità della stessa. Questi due concetti risultano essere il primo livello del confronto a coppie dell'analisi multicriterio.

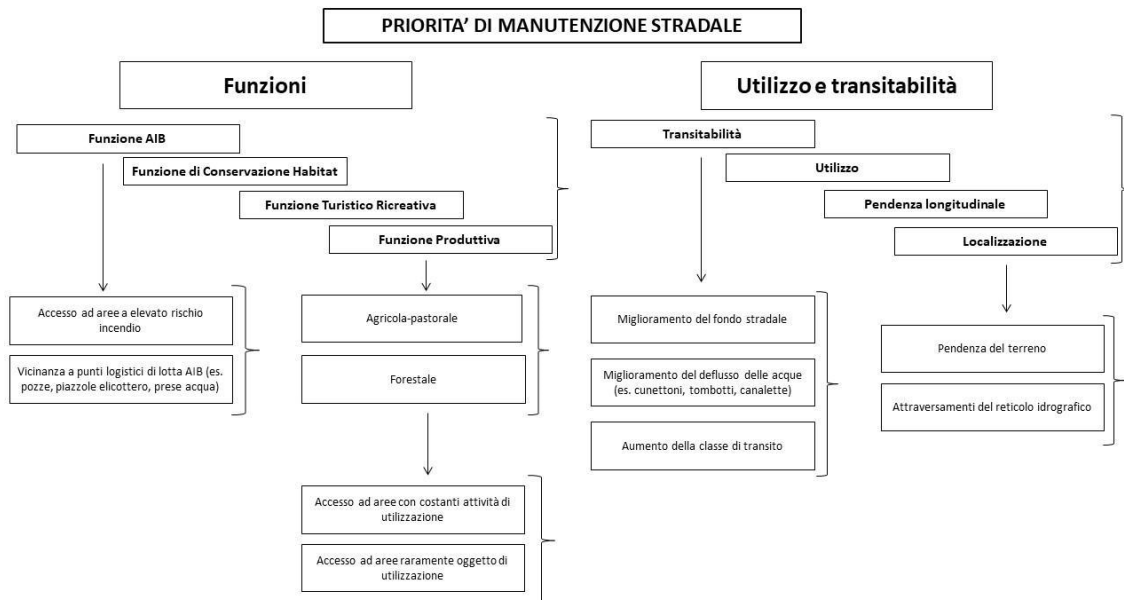


Figura 2.3: Gerarchia del caso studio della Comunità Montana Valli del Verbano

A partire da questi due criteri principali è stata sviluppata la gerarchia, strutturata nei livelli inferiori cominciando dagli aspetti considerati da Pellegrini, M. et al. (2013), ovvero l'erosione e la massimizzazione del valore sociale della rete stradale. Sono stati introdotti e re-organizzati numerosi nuovi criteri e differenti metodi di calcolo degli attributi al fine di espandere e rendere più oggettiva e univoca l'attribuzione delle priorità di manutenzione. Al pari della funzione produttiva e della funzione turistico ricreativa sono state considerate anche la funzione di supporto all'antincendio boschivo e la funzione di conservazione degli habitat, vista la presenza di Siti Natura 2000 nell'area di studio.

Le strade forestali, infatti, svolgono un ruolo chiave nelle attività di lotta antincendio contribuendo a garantire una sorveglianza efficace, permettendo una risposta rapida in caso di incendio, rappresentando una linea di fuoco sicura grazie al carico combustibile ridotto e consentendo l'uso e la manutenzione alle infrastrutture antincendio (A. Laschi et al. 2019).

Inoltre, all'interno dei Siti Natura 2000 la viabilità agro-silvo-pastorale è utile al fine di impostare una corretta strategia di conservazione e monitoraggio del sito (European Commission. Directorate-General for the Environment 2016).

In aggiunta è stata data importanza all'utilizzo della strada, inteso come numero di permessi di transito rilasciati dall'ente gestore per quel tratto stradale, e al numero di attraversamenti del reticolo idrografico, vista la criticità di questa interfaccia dal punto di vista dell'erosione (Kastridis, A. 2020).

In Tab. 2.3 e Tab. 2.4 sono indicati i criteri per i quali è stata elaborata una metodologia di calcolo per l'attribuzione di un valore relativo per ogni alternativa. Nel presente caso le alternative sono identificate come le singole strade in gestione a Comunità Montana.

Tabella 2.3: metodologia di calcolo dei criteri relativi al sotto obiettivo "Funzioni"

Criterio	Metodo di valutazione	Dati
Funzioni		
Funzione di conservazione degli habitat	Analisi GIS: area ZSC entro 100 m dalla strada	Geoportale della Lombardia
Funzione turistico-ricreativa	Analisi GIS: numero di punti di interesse e strutture ricettive entro 50 m dalla strada	Geoportale della Lombardia
Accesso ad aree a elevato rischio incendio	Analisi GIS: area pesata sulla base del livello di rischio incendio entro 400 m dalla strada	Piano AIB
Vicinanza a punti logistici di lotta AIB	Analisi GIS: punti logistici pesati sulla base della distanza dalla strada entro 50 m	Piano AIB
Funzione produttiva agricola	Analisi GIS: area agricola entro 100 m dalla strada	Geoportale della Lombardia
Accesso ad aree con costanti attività di utilizzazione	Analisi GIS: area a funzione produttiva con maggiori utilizzazioni in termini di massa negli ultimi 10 anni entro 400 m dalla strada	Geoportale della Lombardia
Accesso ad aree raramente oggetto di utilizzazione	Analisi GIS: area a funzione produttiva con minori utilizzazioni in termini di massa negli ultimi 10 anni entro 400 m dalla strada	Geoportale della Lombardia

Tabella 2.4: metodologia di calcolo dei criteri relativi al sotto obiettivo "Utilizzo e transitabilità"

Criterio	Metodo di valutazione	Dati
Utilizzo e transitabilità		
Utilizzo	Numero dei permessi di transito rilasciati negli ultimi 5 anni	Registro dei permessi di transito
Pendenza longitudinale della strada	Analisi GIS: pendenza longitudinale media della strada	Geoportale della Lombardia
Miglioramento fondo stradale	Codice adottato da Pellegrini, M. et al. (2013) (Tab. 2.5)	Interviste e analisi di campo
Miglioramento del deflusso delle acque	Codice adottato da Pellegrini, M. et al. (2013) (Tab. 2.5)	Interviste e analisi di campo
Aumento della classe di transito	Classi di transitabilità	Piano VASP
Pendenza del terreno	Analisi GIS: pendenza media del versante entro 100 m dalla strada	Geoportale della Lombardia
Attraversamenti del reticolo idrografico	Analisi GIS: numero di intersezioni fra reticolo idrografico e strada	Geoportale della Lombardia

La gran parte dei dati utili alle elaborazioni sono stati ottenuti dal Geoportale della Lombardia, sicché l'analisi risulta facilmente replicabile su tutto il territorio regionale. I dati di alcuni criteri sono stati ricavati dalla pianificazione vigente sul territorio della Comunità Montana come il Piano AIB o il piano VASP. In ultimo, i dati relativi alle condizioni stradali sono stati ottenuti tramite interviste a professionisti che operano sul territorio e tramite analisi di campo facendo riferimento alla metodologia proposta da Pellegrini, M. et al. (2013) (Tab. 2.5).

Tabella 2.5: metodologia di attribuzione dei punteggi relativi ad opere di drenaggio e condizioni del fondo stradale

		Punteggio
Opere di drenaggio		
Presenti e funzionanti	Il sistema di drenaggio non necessita di manutenzione	0
Presenti e non funzionanti	Il sistema di drenaggio necessita di manutenzione immediata	1
Assenti	Il sistema di drenaggio è assente	2
Condizioni del fondo stradale		
Regolare	La superficie stradale è funzionale e la percorribilità è efficiente. La strada si adatta perfettamente alla sua preminente funzione. Non ci sono segni evidenti di erosione o buche.	1
Parzialmente danneggiata	Sulla superficie sono presenti leggeri solchi. La condizione influenza leggermente la percorribilità. Ci sono buche e un processo di erosione in corso, ma non sono molto evidenti. La strada necessita di interventi regolari di manutenzione della superficie.	2
Danneggiata	Sulla superficie sono presenti solchi gravi. La percorribilità è compromessa e a volte la strada non riesce a svolgere la sua funzione. La strada necessita di un intervento straordinario di manutenzione della superficie.	3

I dati spaziali sono stati elaborati inizialmente grazie al software open source QGIS (versione 3.28.6) e successivamente tramite Microsoft Excel. I dati condizionati dalla lunghezza della strada sono stati normalizzati al metro lineare prima di essere standardizzati con il metodo “min-max”.

2.4 Impostazione del questionario

La realizzazione di un questionario risulta fondamentale al fine di raccogliere e quantificare le preferenze e le relazioni tra i diversi elementi del processo decisionale.

La scelta dello strumento di implementazione del questionario è ricaduta sul software collaborativo Moduli Google di Google LLC, il quale permette di raccogliere informazioni dagli utenti tramite un sondaggio o un quiz personalizzato. Inoltre, tale strumento risulta intuitivo e facilmente utilizzabile sia su smartphone che su pc.

Agli esperti, prima del confronto a coppie, è stato spiegato l'obiettivo primario dell'analisi, ovvero l'attribuzione di un ordine di priorità di manutenzione delle strade agro-silvo-pastorali, sono state spiegate le modalità di compilazione e sono state date alcune definizioni utili alla corretta interpretazione delle domande.

Sono poi state raccolte informazioni generali riguardo il compilatore come la professione svolta, l'eventuale esperienza nella progettazione di strade forestali, l'area di riferimento per la compilazione del questionario e la regione o provincia in cui l'esperto opera prevalentemente.

Espletata questa sezione introduttiva agli esperti sono stati somministrati i confronti a coppie ponendo due domande consecutive per ogni confronto:

1. “Quale elemento è più importante?”
2. “E quanto è più importante su una scala da 1 a 9?”

Alla prima domanda è stata associata una risposta a scelta multipla del tipo (A; B; Uguale importanza) e nella seconda domanda un elenco a discesa con intensità e definizione come esposte in Tab. 2.2. Nel caso in cui alla prima domanda la risposta data risultasse “Uguale importanza” è stato attribuito automaticamente valore 1, come previsto dalla scala di valutazione di Saaty.

I risultati ottenuti sono stati esportati tramite file .csv direttamente dal software ed ordinati tramite Excel.

2.5 Scelta degli esperti

Gli esperti sono stati selezionati sulla base della loro formazione professionale, dell'esperienza lavorativa nell'ambito di studio e della loro imparzialità di giudizio sull'argomento. Le figure idonee individuate sono state:

- Dottori forestali o dottori agronomi liberi professionisti
- Tecnici laureati o non laureati operanti in enti pubblici e coinvolti nella gestione di strade agro-silvo-pastorali

Non è stato attribuito alcun peso ai giudizi sulla base della professione svolta.

2.6 Impostazione del foglio di calcolo e analisi

Nel presente lavoro di tesi per l'applicazione del metodo AHP è stato utilizzato un foglio di calcolo Excel predisposto da Klaus D. Goepel (2013) aggiornato alla versione del 7 agosto 2022. Il modello AHP Excel funziona con Office Libre e la versione di Excel MS Excel 2013. La cartella di lavoro è composta da 20 fogli di input per il confronto a coppie, un foglio per il raggruppamento di tutti i giudizi, un foglio di riepilogo per la visualizzazione del risultato, un foglio con tabelle di riferimento e un foglio per la risoluzione del problema degli *eigenvalue* quando si utilizza il metodo degli *eigenvector*. I dati inseriti sul foglio principale di riepilogo denominato "summary" (Fig. 2.4) durante le elaborazioni sono stati i seguenti:

- n : numero dei criteri
- N : numero dei partecipanti
- *Scale*: tipo di scala da applicare per l'attribuzione dei punteggi
- α : soglia di accettazione della consistenza

Nel caso di studio il numero dei criteri è variabile da 2 a 4, mentre il numero di partecipanti è pari a 10 per gli esperti che si sono espressi per l'area interna a Comunità Montana Valli del Verbano e 11 per gli altri esperti.

Come *scale* è stata scelta la scala lineare proposta da Saaty e come soglia di accettazione della consistenza (α) è stato scelto il valore di 0,1.

Per ognuno dei fogli di input corrispondenti a ciascun compilatore sono state inserite le preferenze e i punteggi da 1 a 9 ottenuti attraverso la somministrazione del questionario per ogni confronto a coppie e per ogni esperto.

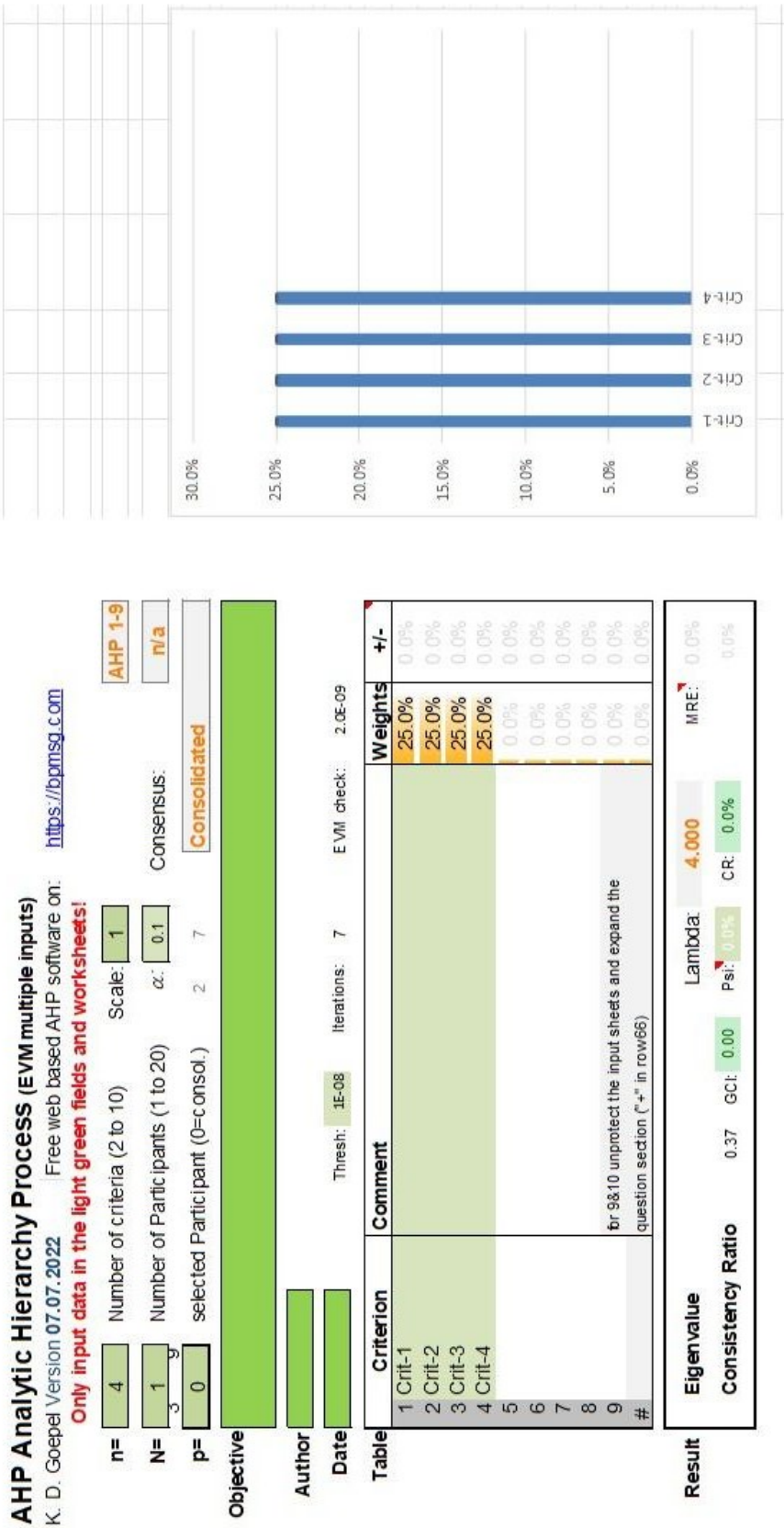


Figura 2.4: esempio di foglio di calcolo riepilogativo (summary) predisposto da Klaus D. Goepel (2013) con 4 criteri

3. RISULTATI

3.1 Valutazione basata su esperti locali

I 10 esperti locali, la cui analisi si riferisce al territorio interno a Comunità Montana Valli del Verbano, risultano così ripartiti:

- 5 dottori forestali
- 2 dottori agronomi
- 2 tecnici laureati
- 1 tecnico non laureato

La totalità dei partecipanti ha dichiarato di avere esperienza nella progettazione di strade forestali e di lavorare prevalentemente in Lombardia.

Dalla compilazione del questionario da parte degli esperti sono emersi i risultati dei confronti a coppie, di seguito riassunti in Fig. 3.1.

Per quanto concerne il primo livello di confronto a coppie si nota come sia stata attribuita una maggiore importanza alle funzioni svolte (58,3 %) rispetto all'utilizzo e transitabilità della strada (41,7 %).

La funzione di supporto all'antincendio boschivo (38,5 %) e la funzione produttiva (32,5 %) risultano nettamente privilegiate rispetto a quella turistico ricreativa (15,7 %) e a quella di conservazione degli habitat (13,3 %).

Viene attribuita forte importanza alla funzione produttiva forestale (61,7 %) rispetto a quella agricola-pastorale (38,3 %), dando simile importanza alle aree con costanti attività di utilizzazione (51,4 %) e a quelle raramente oggetto di interventi selvicolturali (48,6 %).

L'accesso a punti logistici di lotta AIB come pozze e piazzole per elicottero (66,1 %) risulta prioritario rispetto all'accesso ad aree ad elevato rischio incendio (33,9 %).

Nel secondo livello gerarchico la transitabilità è il criterio ritenuto di maggiore rilievo (36,7 %) rispetto alla localizzazione (26,3 %), alla pendenza longitudinale (23,3 %) e all'utilizzo (13,7 %) della strada.

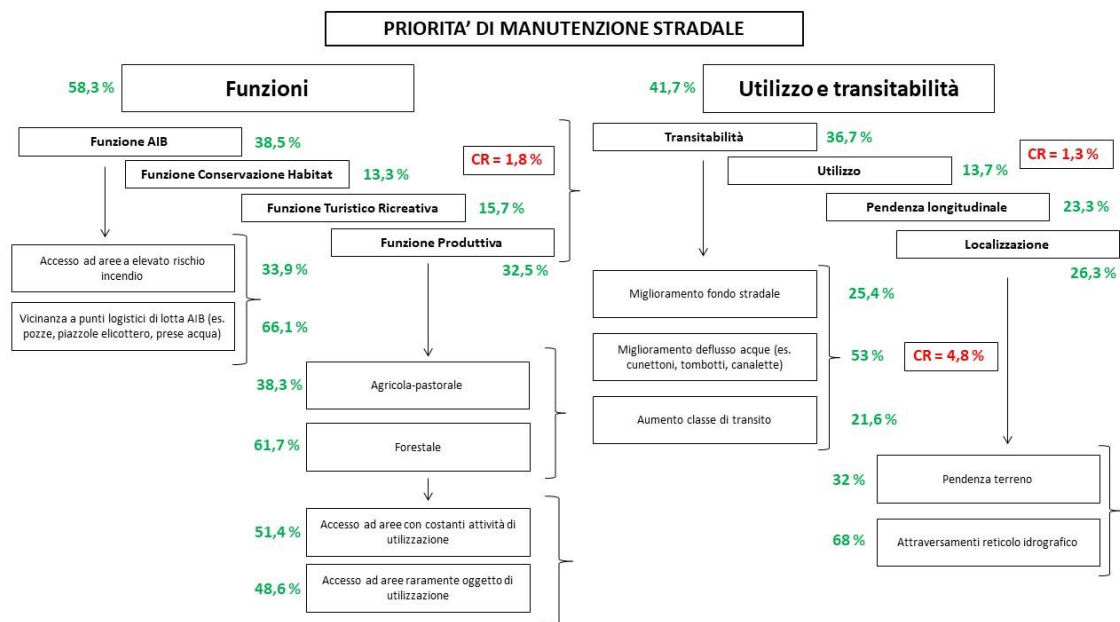


Figura 3.1: risultati dei confronti a coppie emersi da esperti locali dell'area di Comunità Montana Valli del Verbano

Il miglioramento del deflusso delle acque (53 %) è il criterio prioritario in confronto a miglioramento del fondo stradale (25,4 %) e aumento della classe di transito della strada (21,6 %).

Infine, il numero di attraversamenti del reticolo idrografico risulta nettamente più rilevante (68 %) rispetto alla pendenza del terreno su cui insiste la strada (32 %), restituendo il confronto a coppie con maggiore discrepanza percentuale fra criteri.

In seguito alla prima somministrazione del questionario, il rapporto di consistenza (CR) è risultato inferiore al 10 % in entrambe le matrici di ordine quattro, ma ha riportato un valore di 11,8 % nei confronti della matrice di ordine tre. Questo esito ha reso necessaria la revisione di una parte dei questionari in modo da rispettare il valore soglia del 5 %, ritenuto idoneo per le matrici di ordine tre.

Il metodo di correzione è stato quello di chiedere una revisione dei confronti fra miglioramento del fondo stradale, miglioramento del deflusso delle acque e aumento della classe di transito, consigliando agli esperti di prestare maggiore attenzione ai punteggi attribuiti ai criteri durante i confronti, pur mantenendo inalterate le preferenze precedentemente espresse. La revisione è stata richiesta a partire dal compilatore a CR individuale più elevato proseguendo con altri esperti fino al rispetto della soglia desiderata. Sono risultate necessarie le revisioni di tre esperti per rispettare la soglia di

CR minore di 0,05. Tale risultato ha permesso di avere una buona consistenza nelle valutazioni a coppie e coerenza nelle preferenze espresse.

Dalla combinazione dei valori relativi ottenuti dal calcolo dei criteri e dei pesi derivati dall'espressione degli esperti dell'area di studio è stata stilata la classificazione delle strade agro-silvo-pastorali della Comunità Montana Valli del Verbano in relazione alla loro priorità di manutenzione (Tab. 3.1 e Fig. 3.2).

Tabella 3.1: ordine di priorità di manutenzione e punteggio totale per i pareri espressi da esperti dell'area di studio

Ordine di priorità di manutenzione	ID	Nome della strada	Punteggio totale
1	20	Sarona	0,5194
2	17	Alpone	0,4385
3	10	S. mil. del Monte S. Martino	0,4319
4	25	Bosco Nassa	0,4265
5	30	S. com. della Pezza	0,4206
6	35	Campagnette	0,4177
7	53	S. Michele Est	0,4019
8	34	Tagliafuoco del Sasso del ferro	0,4014
9	14	S. cons. di Brugnetta	0,3995
10	3	Brezzo - Ticinello	0,3958
11	31	Per particella 11 PAF	0,3883
12	33	S. vic. dei Nositti	0,3763
13	6	M. Nudo str. Di vetta	0,3717
14	23	S. com. del Gaggio	0,3647
15	37	Lago Delio est	0,3587
16	44	M. della Colonna Nord	0,3565
17	22	Sarona - Ca del Sasso	0,3514
18	39	Monti di Pino - Nove Fontane	0,3494
19	26	Pradecolo nord	0,3440
20	24	S. cons. del Boscaccio	0,3421
21	8	Part. 17 PAF	0,3411
22	18	Curiglia Sarona	0,3373
23	16	Strada su aree di proprietà	0,3341
24	42	Forcora - Nove Fontane	0,3321

25	47	M. della Colonna nord	0,3239
26	32	S. com. di Carona	0,3116
27	54	Torrenti Comada e Froda	0,3105
28	19	Madonna della Guardia	0,3061
29	52	S. cons. detta del piano Nave	0,3039
30	36	Lago Delio	0,3011
31	43	Lozzo-Piero	0,2997
32	2	M. Nudo str. per pozzo piano	0,2973
33	4	Pisciò - Roggiano	0,2905
34	1	M. Nudo str. Di vetta	0,2880
35	21	Sarona Alpone	0,2855
36	28	Pragelato - pradecolo	0,2848
37	9	S. mil. del Monte S. Martino	0,2824
38	41	Forcora - Lago Delio	0,2822
39	27	Pradecolo - Madonna della Guardia	0,2821
40	11	Casale Puggiera	0,2767
41	40	Zenna - Monti di Pino	0,2735
42	7	M. Nudo str. per pozzo piano	0,2668
43	15	S. cons. di mezzo	0,2665
44	5	Villaggio Olandese	0,2644
45	48	Monte Pian Nave ovest	0,2624
46	29	S. com. da S. Antonio a S. Martino	0,2576
47	51	S. cons. della Torriggia et al.	0,2498
48	46	Cascina bassa	0,2396
49	38	Alpe Cortiggia	0,2381
50	50	S. Michele-Muceno	0,2131
51	13	Per pozzo piano	0,2054
52	49	Muceo - Brezzo di Bedero	0,1957
53	12	M. Nudo Nord	0,1828
54	45	Casa Profarè	0,1796

La variazione percentuale di punteggio fra la prima e l'ultima alternativa risulta essere del 189 %. La variazione percentuale di punteggio fra la prima e la seconda alternativa raggiunge un valore di 18 %. Tale variazione supera il 30 % già alla nona alternativa e il 50 % alla diciannovesima alternativa.

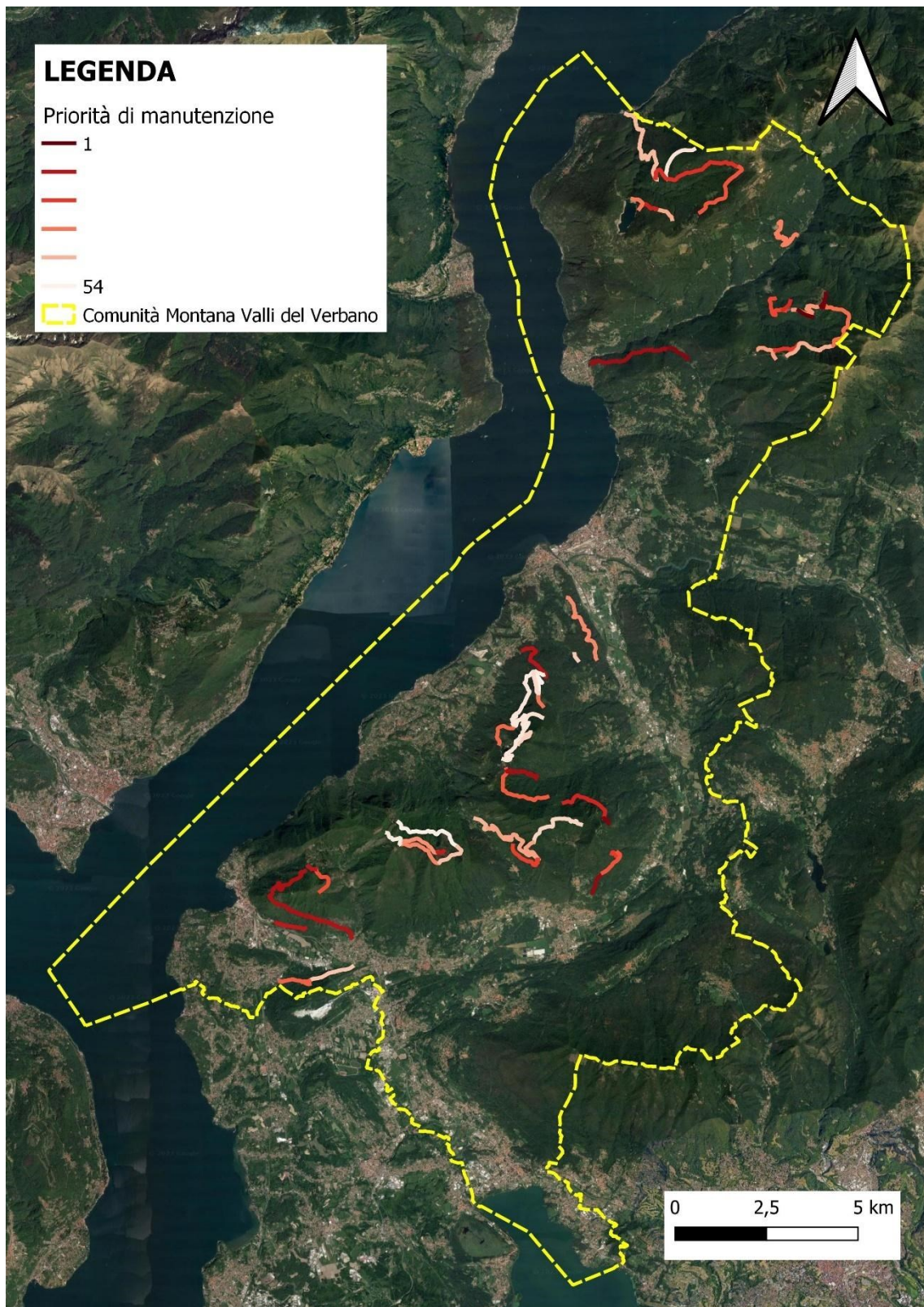


Figura 3.2: ordine di priorità di manutenzione per i pareri espressi da esperti dell'area di studio rappresentati come gradazioni di rosso: più intenso per la maggiore priorità e più tenue per la minore priorità

3.2 Valutazione basata su esperti di altre aree

Gli 11 esperti di aree esterne a quella di Comunità Montana risultano così ripartiti:

- 10 dottori forestali
- 1 dottore agronomo

L'82% dei partecipanti ha dichiarato di avere esperienza nella progettazione di strade forestali. Il 64% lavora prevalentemente in Veneto, il 27% in Lombardia e il 9% in Trentino – Alto Adige.

Dalla compilazione del questionario sono emersi i risultati complessivi dei confronti a coppie, di seguito riassunti in Fig. 3.3.

Per quanto concerne il primo livello di confronto a coppie si nota come ci sia un sostanziale equilibrio fra funzioni (47,2 %) e utilizzo e transitabilità della strada (52,8 %). La funzione produttiva (35,5 %) e la funzione di supporto all'antincendio boschivo (33,8 %) risultano privilegiate rispetto a quella di conservazione degli habitat (17,4 %) e a quella turistico ricreativa (13,3 %).

Viene attribuita forte importanza alla funzione produttiva forestale (60,6 %) rispetto a quella agricola-pastorale (39,4 %), privilegiando le aree con costanti attività di utilizzazione (65,4 %) rispetto a quelle raramente oggetto di interventi (34,6 %).

Importanza pressoché simile fra l'accesso ad aree ad elevato rischio incendio (44 %) e l'accesso a punti logistici di lotta AIB come pozze e piazzole per elicottero (56 %) e l'accesso a punti logistici di lotta AIB come pozze e piazzole per elicottero (56 %).

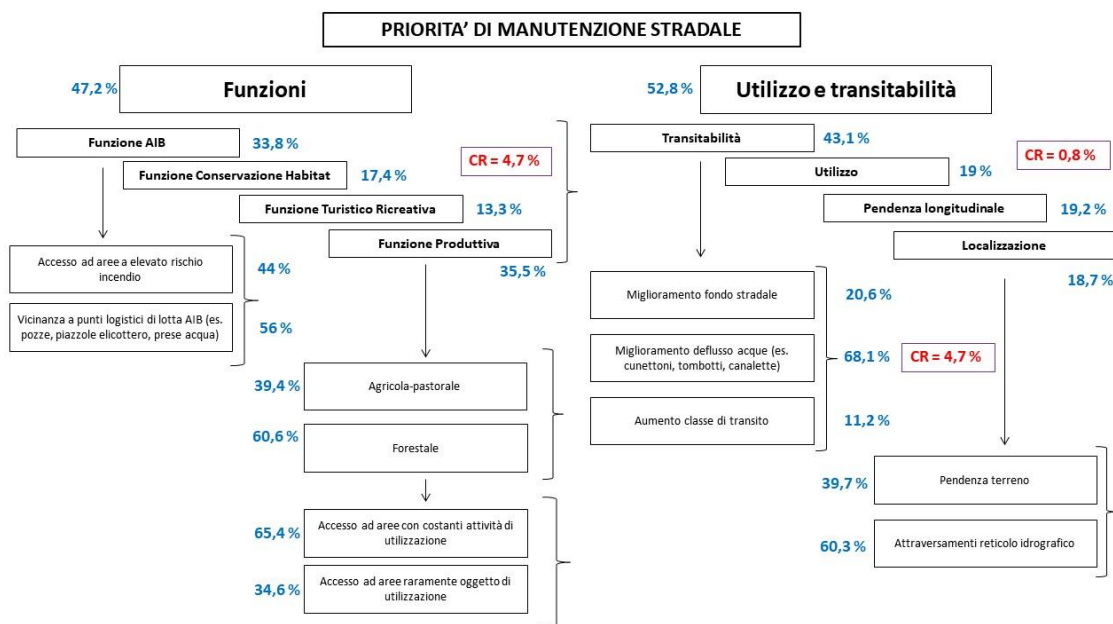


Figura 3.3: risultati dei confronti a coppie eseguiti da esperti di aree esterne a Comunità Montana Valli del Verbano

La transitabilità è nettamente il criterio ritenuto di maggiore rilievo (43,1 %) rispetto alla pendenza longitudinale (19,2 %), all'utilizzo (19 %) e alla localizzazione (18,7 %) della strada.

La maggiore discrepanza fra criteri si rileva a favore del miglioramento del deflusso delle acque (68,1 %) in confronto a miglioramento del fondo stradale (20,6 %) e aumento della classe di transito della strada (11,2 %).

Infine, il numero di attraversamenti del reticolo idrografico risulta di primaria importanza (60,3 %) rispetto alla pendenza del terreno su cui insiste la strada (39,7 %).

Il rapporto di consistenza (CR) è risultato sempre inferiore al 10 % esprimendo una buona consistenza nelle valutazioni a coppie e coerenza nelle preferenze espresse senza la necessità di chiedere agli esperti una revisione dei confronti. Inoltre, il CR è risultato inferiore all'8 % nei confronti fra quattro criteri e inferiore al 5% nella matrice di ordine tre.

Dalla combinazione dei valori relativi ottenuti dal calcolo dei criteri e dei pesi espressi dagli esperti è stata stilata la classificazione delle strade agro-silvo-pastorali della Comunità Montana Valli del Verbano in relazione alla loro priorità di manutenzione (Tab. 3.2 e Fig. 3.4).

La variazione percentuale di punteggio fra la prima e l'ultima alternativa risulta essere del 199 %. Le prime 4 alternative sono racchiuse entro una variazione percentuale di punteggio rispetto alla prima del 5% e tale variazione non supera il 10 % per le prime 7 alternative. La variazione percentuale rispetto alla prima alternativa supera il 30 % alla ventunesima alternativa e il 50 % alla trentaquattresima alternativa.

Tabella 3.2: ordine di priorità di manutenzione e punteggio totale per i pareri espressi da esperti di altre aree

Ordine di priorità di manutenzione	ID	Nome della strada	Punteggio totale
1	30	S. com. della Pezza	0,4778
2	31	Per particella 11 PAF	0,4590
3	35	Campagnette	0,4571
4	34	Tagliafuoco del Sasso del ferro	0,4557
5	14	S. cons. di Brugnetta	0,4543
6	20	Sarona	0,4473
7	25	Bosco Nassa	0,4407
8	37	Lago Delio est	0,4297
9	10	S. mil. Del Monte S. Martino	0,4286
10	3	Brezzo - Ticinello	0,4233
11	53	S. Michele Est	0,4232
12	33	S. vic. Dei Nositti	0,4220
13	23	S. com. del Gaggio	0,4188
14	26	Pradecolo nord	0,4160
15	16	Strada su aree di proprietà	0,4086
16	17	Alpone	0,4002
17	6	M. Nudo str. di vetta	0,3989
18	24	S. cons. del Boscaccio	0,3979
19	8	Part. 17 PAF	0,3913
20	52	S. cons. detta del piano Nave	0,3833
21	36	Lago Delio	0,3655
22	54	Torrenti Comada e Froda	0,3618
23	32	S. com. di Carona	0,3610
24	41	Forcora – Lago Delio	0,3581
25	18	Curiglia Sarona	0,3578
26	44	M. della Colonna Nord	0,3571
27	4	Pisciò - Roggiano	0,3453
28	28	Pragelato – pradecolo	0,3428
29	51	S. cons. della Torriggia et al.	0,3297
30	15	S. cons. di mezzo	0,3273
31	22	Sarona – Ca del Sasso	0,3272
32	5	Villaggio Olandese	0,3223
33	19	Madonna della Guardia	0,3211

34	43	Lozzo – Piero	0,3168
35	2	M. Nudo str. per pozzo piano	0,3146
36	48	Monte Pian Nave ovest	0,3137
37	1	M. Nudo str. di vetta	0,3082
38	47	M. della Colonna nord	0,2962
39	9	S. mil. del Monte S. Martino	0,2923
40	46	Cascina bassa	0,2922
41	39	Monti di Pino – Nove Fontane	0,2915
42	21	Sarona - Alpone	0,2910
43	11	Casale Puggiera	0,2869
44	29	S. com. da S. Antonio a S. Martino	0,2771
45	42	Forcora – Nove Fontane	0,2707
46	27	Pradecolo – Madonna della Guardia	0,2668
47	38	Alpe Cortiggia	0,2573
48	40	Zenna – Monti di Pino	0,2505
49	49	Muceo – Brezzo di Bedero	0,2374
50	7	M. Nudo str. per pozzo piano	0,2342
51	45	Casa Profarè	0,2133
52	13	Per pozzo piano	0,1895
53	50	S. Michele – Muceno	0,1809
54	12	M. Nudo nord	0.1600

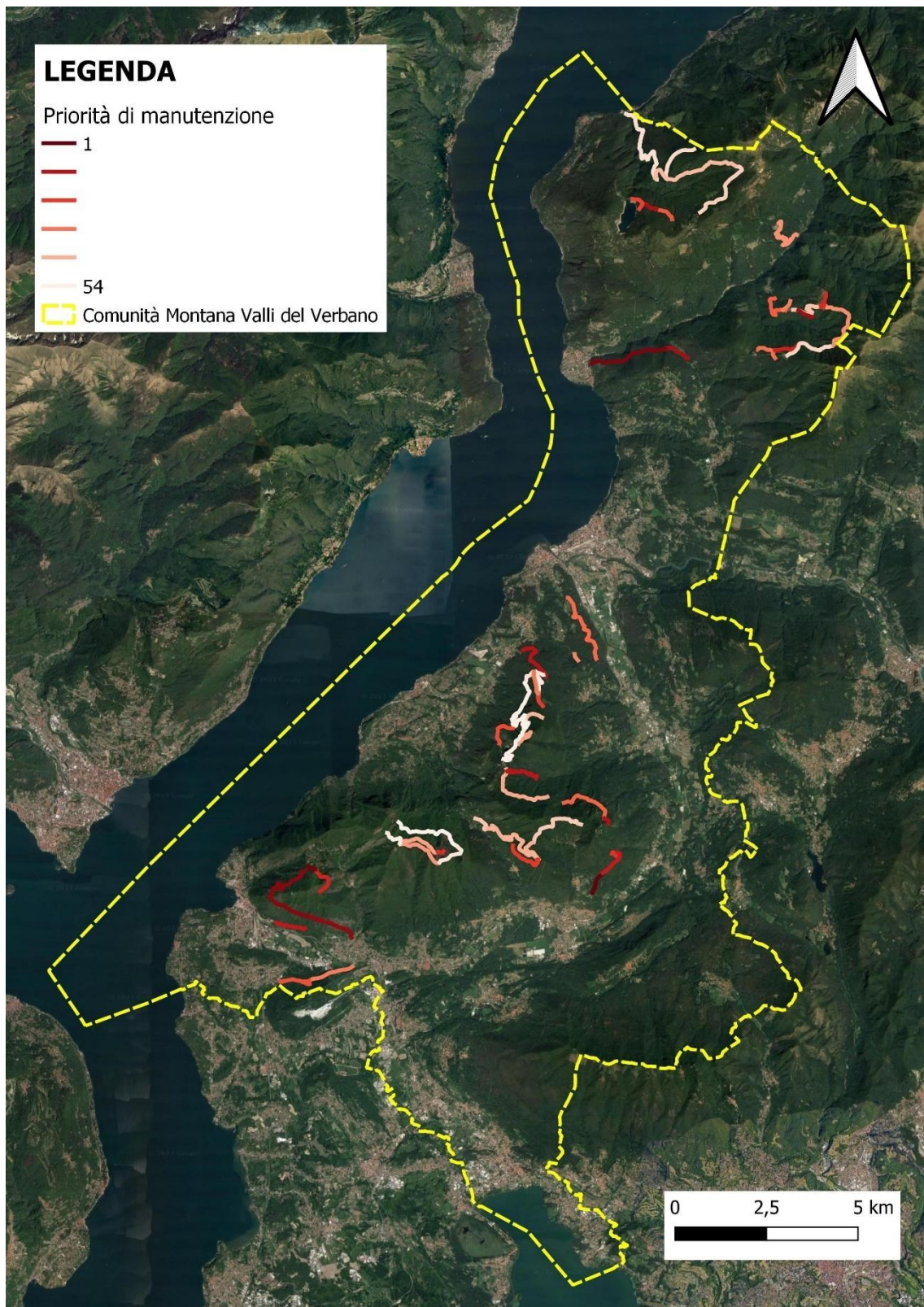


Figura 3.4: ordine di priorità di manutenzione per i pareri espressi da esperti di altre aree rappresentati come gradazioni di rosso: più intenso per la maggiore priorità e più tenue per la minore priorità

4. DISCUSSIONE

4.1 Discussione dei risultati

I risultati dei confronti a coppie espressi come valore percentuale possono essere confrontati al fine di comprendere le disparità fra le preferenze dichiarate da esperti locali dell'area di Comunità Montana Valli del Verbano ed esperti di aree esterne. In Fig. 4.1 sono riassunte le disuguaglianze come differenza assoluta di punti percentuali fra criteri confrontati.

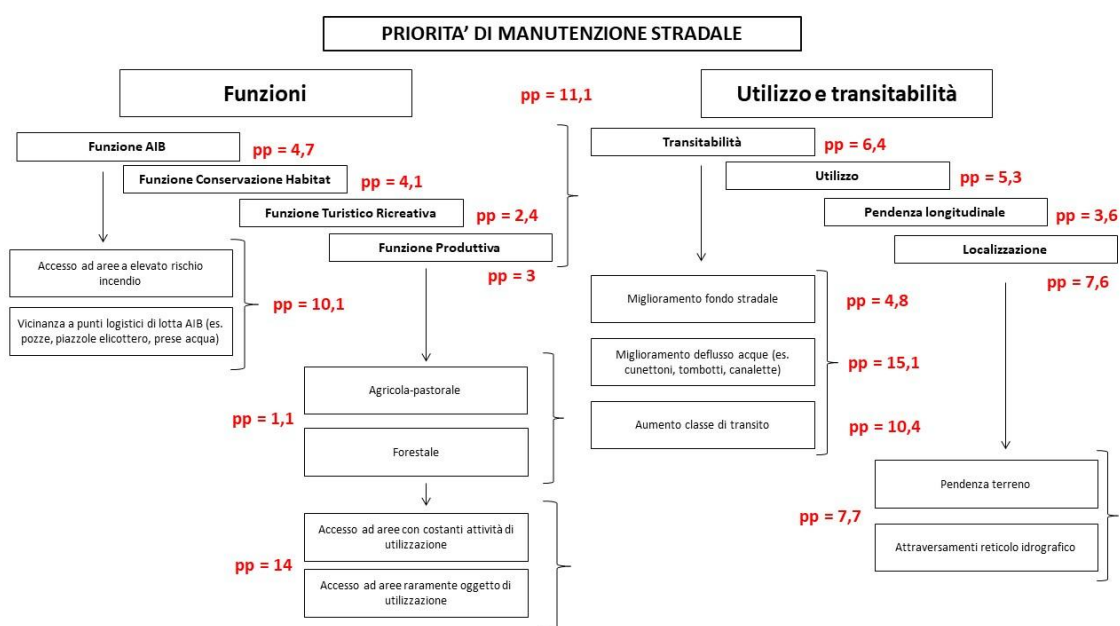


Figura 4.1: differenza in valore assoluto fra risultati percentuali dei confronti a coppie eseguiti da esperti locali dell'area di Comunità Montana Valli del Verbano ed esperti di aree esterne

Si può notare come la più marcata differenza sia relativa al criterio di miglioramento del deflusso delle acque (15,1 pp), derivante dalla notevole importanza attribuita a questo criterio da parte degli esperti di aree esterne (68,1 %). In questo caso, perciò, sono state privilegiate le strade senza sistemi di drenaggio delle acque o con sistemi severamente danneggiati.

Facendo riferimento al medesimo confronto di ordine tre e tenendo conto della differenza rilevata nel criterio precedente, si rileva una maggiore priorità attribuita all'aumento della classe di transito da parte degli esperti dell'area di studio (21,6 %) portando a una differenza di 10,4 punti percentuali fra i due gruppi di intervistati.

Si riscontra uno scarto di ben 14 punti percentuali nel confronto fra l'accesso ad aree con costanti o rare attività di utilizzazione forestale. Gli esperti di aree esterne hanno privilegiato in modo più deciso l'accesso ad aree produttive con costanti utilizzazioni forestali (65,4 %) rispetto agli esperti dell'area di Comunità Montana, i quali hanno dato sostanzialmente uguale importanza ad aree con costanti (51,4 %) e rari (48,6 %) interventi selvicolturali.

Entrambi i gruppi di esperti hanno privilegiato l'accesso a punti logistici di lotta AIB rispetto all'accesso ad aree ad elevato rischio incendio. Il parere espresso è stato maggiore di 10,1 punti percentuali per gli esperti dell'area interna a Comunità Montana Valli del Verbano (66,1 %).

Infine, si sottolinea una differenza non trascurabile nel confronto a coppie gerarchicamente più importante, infatti le funzioni svolte dalla strada hanno ricevuto una priorità maggiore di 11,1 punti percentuali nel caso degli esperti dell'area di studio (58,3 %) e invece tale differenza è risultata a favore dell'utilizzo e transitabilità della strada per gli esperti esterni (52,8 %).

In termini generali non sono state riscontrate differenze più ampie di 15,1 punti percentuali e la media risulta essere di 7 punti percentuali dimostrando una certa omogeneità di pensiero da parte degli esperti intervistati.

In conseguenza a quanto affermato si riscontrano parallelismi nell'ordine di priorità di manutenzione delle strade agro-silvo-pastorali di Comunità Montana Valli del Verbano precedentemente riportate in Tab. 3.1 e Tab. 3.2.

Confrontando le prime 5 posizioni si evidenzia un'unica strada in comune, la quale risulta prima nell'ordine di priorità dettato dagli esperti di altre aree e quinta nell'ordine di priorità degli esperti dell'area di studio. Tale strada è denominata "S. com. della Pezza" (ID 30) e si estende nel Comune di Duno.

Prendendo in considerazione le prime 10 posizioni risultano esserci ben 8 strade in comune fra le due classificazioni, delle quali però solo una si presenta nella medesima posizione, la decima, in entrambi i casi.

Nelle prime 15 posizioni risultano esserci in comune 13 strade (87%), delle quali nella medesima posizione solo la decima e la dodicesima.

L'analisi attraverso un intervallo mobile di 10 posizioni ha permesso di comprendere in quale sezione della classificazione si hanno il maggior numero di medesime strade entro posizioni ravvicinate. Dalle elaborazioni dei dati e da quanto visibile in Fig. 4.2 si

conferma come le strade a maggiore priorità e in particolare quelle classificate entro le prime tredici posizioni, siano fra l'80 e il 60 % comuni fra entrambi gli ordini di priorità di manutenzione. Il 60 % viene nuovamente raggiunto nell'ultimo intervallo mobile che comprende le posizioni 45-54.

L'analisi effettuata aiuta a comprendere come le strade a maggiore priorità (prime 15 posizioni) e quelle a minore priorità (ultime 10 posizioni) siano in gran parte le medesime nelle due classificazioni a ulteriore dimostrazione di una contenuta differenza fra pareri di esperti dell'area di studio ed esperti esterni.



Figura 4.2: relazione fra intervalli mobili da dieci posizioni e (1) percentuale di strade in comune fra le due classificazioni (linea arancione) e (2) variazione media di posizione in valore assoluto (linea blu)

In tab. 4.1 sono riassunte le variazioni di posizione fra l'ordine di priorità di manutenzione ottenuto dai pareri degli esperti di aree esterne e quello ottenuto dai pareri degli esperti dell'area interna a Comunità Montana Valli del Verbano.

La più ampia salita è stata di 18 posizioni e la più ampia discesa è stata di 23 posizioni. Solamente due strade non hanno evidenziato alcuna variazione di posizione paragonando le due classificazioni.

La variazione media di posizione in valore assoluto è stata di 6,4 posizioni considerando tutte le strade in gestione a Comunità Montana. Questa variazione è stata analizzata anch'essa attraverso un intervallo mobile di 10 posizioni. Il risultato è riportato in Fig.

4.2. Il massimo valore medio raggiunto è di 10,1 posizioni nell'intervallo 16-25 e il minimo risulta di 3,3 posizioni nell'intervallo 5-14.

Tabella 4.1: variazione di posizione nell'ordine di priorità di manutenzione nelle classificazioni degli esperti di aree interne ed esterne a Comunità Montana Valli del Verbano

ID	Nome della strada	Priorità per esperti di aree interne a CM	Priorità per esperti di aree esterne a CM	Variazione di posizione
20	Sarona	1	6	-5
17	Alpone	2	16	-14
10	S. mil. del Monte S. Martino	3	9	-6
25	Bosco Nassa	4	7	-3
30	S. com. della Pezza	5	1	+4
35	Campagnette	6	3	+3
53	S. Michele Est	7	11	-4
34	Tagliafuoco del Sasso del ferro	8	4	+4
14	S. cons. di Brugnetta	9	5	+4
3	Brezzo - Ticinello	10	10	0
31	Per particella 11 PAF	11	2	+9
33	S. vic. dei Nositti	12	12	0
6	M. Nudo str. Di vetta	13	17	-4
23	S. com. del Gaggio	14	13	+1
37	Lago Delio est	15	8	+7
44	M. della Colonna Nord	16	26	-10
22	Sarona - Ca del Sasso	17	31	-14
39	Monti di Pino - Nove Fontane	18	41	-23
26	Pradecolo nord	19	14	+5
24	S. cons. del Boscaccio	20	18	+2
8	Part. 17 PAF	21	19	+2
18	Curiglia Sarona	22	25	-3
16	Strada su aree di proprietà	23	15	+8
42	Forcora - Nove Fontane	24	45	-21
47	M. della Colonna nord	25	38	-13
32	S. com. di Carona	26	23	+3
54	Torrenti Comada e Froda	27	22	+5
19	Madonna della Guardia	28	33	-5
52	S. cons. detta del piano Nave	29	20	+9
36	Lago Delio	30	21	+9
43	Lozzo-Piero	31	34	-3
2	M. Nudo str. per pozzo piano	32	35	-3
4	Pisciò - Roggiano	33	27	+6
1	M. Nudo str. Di vetta	34	37	-3
21	Sarona Alpone	35	42	-7
28	Pragelato - pradecolo	36	28	+8
9	S. mil. del Monte S. Martino	37	39	-2
41	Forcora - Lago Delio	38	24	+14

27	Pradecolo - Madonna della Guardia	39	46	-7
11	Casale Puggiera	40	43	-3
40	Zenna - Monti di Pino	41	48	-7
7	M. Nudo str. per pozzo piano	42	50	-8
15	S. cons. di mezzo	43	30	+13
5	Villaggio Olandese	44	32	+12
48	Monte Pian Nave ovest	45	36	+9
29	S. com. da S. Antonio a S. Martino	46	44	+2
51	S. cons. della Torriggia et al.	47	29	+18
46	Cascina bassa	48	40	+8
38	Alpe Cortiggia	49	47	+2
50	S. Michele-Muceno	50	53	-3
13	Per pozzo piano	51	52	-1
49	Muceo - Brezzo di Bedero	52	49	+3
12	M. Nudo Nord	53	54	-1
45	Casa Profarè	54	51	+3

4.2 Discussione sul metodo e replicabilità

In termini generali la metodologia applicata al fine di ottenere l'ordine di priorità di manutenzione delle strade agro-silvo-pastorali in gestione a un ente pubblico come Comunità Montana Valli del Verbano risulta essere efficace al raggiungimento dello scopo prefissato riuscendo a conciliare le funzioni svolte dalla strada e il suo utilizzo e transitabilità attraverso un'analisi multicriterio basata su GIS.

Il metodo AHP, notoriamente applicato nell'ambito della viabilità agro-silvo-pastorale, è risultato uno strumento efficiente e utile a sintetizzare i molteplici aspetti che convergono in questa infrastruttura permettendo di raccogliere i giudizi di professionisti ed esperti dell'area di studio e di altre aree.

Il questionario realizzato attraverso Moduli Google è risultato uno strumento intuitivo e semplice per la raccolta dei dati; infatti, i risultati sono stati raccolti nell'arco di pochi giorni senza difficoltà comunicate da parte degli intervistati. L'estrapolazione e l'analisi dei confronti a coppie è facilitata dall'esportazione in Excel, ma essi non risultano immediatamente trasponibili nel foglio di calcolo Excel predisposto da Klaus D. Goepel (2013), pertanto un numero elevato di confronti e intervistati rendono più lento e macchinoso il processo.

Quest'ultimo foglio elettronico si è dimostrato ottimale per le elaborazioni svolte vista la sua chiara organizzazione, maneggevolezza e la sua compatibilità con il numero limitato

di esperti considerati (massimo undici). Il foglio di calcolo Excel predisposto da Klaus D. Goepel (2013) non prevede il collegamento fra più livelli gerarchici, pertanto, è necessario realizzare un file per ogni insieme di elementi da confrontare. Risulta molto utile l'assistenza del modello al calcolo del CR con l'individuazione dei confronti problematici e inconsistenti. Ciò aiuta a indirizzare correttamente l'eventuale revisione degli esperti.

Il calcolo dei valori da attribuire ai criteri eseguito a livello spaziale tramite GIS e perfezionato con l'utilizzo di Excel risulta largamente replicabile, in modo particolare in Regione Lombardia, in quanto la maggior parte dei dati è disponibile in rete sul Geoportale della Lombardia o desumibile dalla pianificazione locale (Piano AIB e Piano VASP).

Complessivamente la metodologia applicata si ritiene efficace e largamente replicabile oltre che adattabile al contesto di applicazione tramite l'aggiunta di ulteriori criteri all'interno della gerarchia.

5. CONCLUSIONI

In questo studio è stato applicato un metodo di analisi decisionale multicriterio basato sul GIS al fine di stabilire un ordine di priorità di manutenzione della viabilità agro-silvo-pastorale in gestione alla Comunità Montana Valli del Verbano.

L'obiettivo è stato suddiviso in modo da considerare la multifunzionalità della rete stradale e gli aspetti di utilizzo e transitabilità.

Attraverso il metodo sopracitato, sono stati considerati parallelamente i pareri di esperti del settore operanti all'interno di Comunità Montana e di esperti in attività all'esterno dell'area di studio, con lo scopo di confrontare i risultati ottenuti.

Il problema decisionale è stato risolto grazie all'applicazione dell'*Analytical Hierarchy Process (AHP)* proposto da Saaty (1980) e implementato in un foglio di calcolo predisposto da Klaus D. Goepel (2013). I pareri degli esperti sono stati raccolti mediante la somministrazione di un questionario realizzato su Moduli Google di Google LLC.

Questo metodo è apparso efficiente per il tipo di problema decisionale affrontato e facilmente replicabile per casi simili a quello di studio, ovvero per enti pubblici locali con un numero contenuto di strade forestali in gestione.

L'analisi condotta su esperti locali ha evidenziato che viene posta maggiore attenzione alle funzioni svolte dalla strada e, in particolare, alla funzione antincendio espletata dal servizio in prossimità di punti logistici AIB e alla funzione produttiva forestale. Secondaria ma non trascurabile importanza viene data alla transitabilità della strada con un'attenzione rivolta al miglioramento del deflusso delle acque.

Gli esperti di altre aree hanno ritenuto che le funzioni avessero un'importanza simile all'utilizzo e transitabilità della strada. Da un lato la priorità è stata data alla funzione antincendio e alla funzione produttiva privilegiando le utilizzazioni forestali in aree già soggette a tagli recenti. Parallelamente è stata attribuita notevole importanza alla transitabilità della strada ed è stata così evidenziata la marcata necessità di interventi atti a migliorare il deflusso delle acque.

Quest'ultimo aspetto viene messo in luce in entrambe le analisi e risulta fondamentale sia per lo specifico caso della rete stradale oggetto di studio, come espresso dai professionisti che operano in Comunità Montana Valli del Verbano, sia come criterio generale prioritario nella manutenzione ed efficientamento di una strada agro-silvo-pastorale.

Unendo i risultati di entrambe le analisi si può confermare che per migliorare la transitabilità delle strade è prioritario un intervento di installazione o manutenzione delle opere di deflusso delle acque (canalette, tombotti, cunettoni...) al fine di servire efficacemente aree di produzione forestale e aree che necessitano il raggiungimento dei punti logistici di lotta AIB o zone a elevato rischio incendio.

Le analisi condotte a partire dai pareri di esperti interni ed esperti esterni all'area di studio, pur avendo portato a risultati differenti sulla base delle preferenze espresse, hanno evidenziato anche interessanti parallelismi dettati da alcuni aspetti comunemente percepiti come prioritari, come è stato precedentemente evidenziato.

Le strade a maggiore priorità (prime 15 posizioni) e quelle a minore priorità di manutenzione (ultime 10 posizioni) risultano in gran parte (fra il 60 e l'80%) le medesime, come emerso dal confronto fra le classificazioni di esperti interni ed esterni sul totale delle 54 strade in gestione a Comunità Montana Valli del Verbano.

Prendendo in considerazione le prime 10 posizioni risultano esserci ben 8 strade in comune fra le due classificazioni; considerando invece le ultime 10 posizioni le strade in comune risultano 6.

Analizzando le variazioni di posizione fra l'ordine di priorità di manutenzione ottenuto dai pareri degli esperti di aree esterne e quello di esperti dell'area interna a Comunità Montana Valli del Verbano si ottiene una variazione media di posizione in valore assoluto pari a 6,4 posizioni.

La strada a cui è stata complessivamente attribuita maggiore priorità è denominata "S. com. della Pezza" (ID 30) e si estende nel Comune di Duno.

Analizzando le prospettive future si può affermare che risulterebbe idonea un'analisi dei costi degli interventi manutentivi sulle infrastrutture individuate come prioritarie, al fine di impiegare efficacemente le risorse disponibili ponderandole in base al tipo di intervento previsto. Pertanto, l'ordine di priorità dovrebbe poi essere reso esecutivo sulla base dei costi e dei finanziamenti disponibili o prevedibili, realizzando un vero e proprio programma degli interventi così come indicato nelle norme di redazione dei piani di Viabilità Agro-Silvo-Pastorale di Regione Lombardia.

Infine, per una corretta applicazione delle priorità di manutenzione, è opportuno considerare i costi manutentivi già sostenuti negli anni precedenti differenziandoli per tipo di intervento, al fine di garantire continuità ed equità negli interventi limitando il cattivo impiego delle risorse economiche.

6. BIBLIOGRAFIA

Articoli, libri, manuali, normative

2018. Decreto Legislativo 3 aprile 2018, n. 34 “Testo unico in materia di foreste e filiere forestali”

Akbarimehr, M., & Naghdi, R. (2012). Reducing erosion from forest roads and skid trails by management practices. *Journal of Forest Science*, 58(4), 165-169. doi: 10.17221/136/2010-JFS

Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2010). Participatorygis: a web-based collaborative gis and Multicriteria decision analysis. In Jankowski and Nyerges (Vol. 22, Issue 1)

Bureš, V., Cabal, J., Čech, P., Mls, K., & Ponce, D. (2020). The influence of criteria selection method on consistency of pairwise comparison. *Mathematics*, 8(12), 1–13. <https://doi.org/10.3390/math8122200>

Çalışkan, E. (2013). Planning of Forest Road Network and Analysis in Mountainous Area. In *Life Science Journal* (Vol. 10, Issue 2).

Coulter, E. D., Coakley, J., & Sessions, J. (2006). The Analytic Hierarchy Process: A Tutorial for Use in Prioritizing Forest Road Investments to Minimize Environmental Effects. *International Journal of Forest Engineering*, 17(2), 51–69. <https://doi.org/10.1080/14942119.2006.10702535>

European Commission. Directorate-General for the Environment. (2016). *Natura 2000 e foreste. Parte I-II.*

Grigolato S, Pellegrini M, Cavalli R, 2013. Temporal analysis of the traffic loads on forest road networks. *iForest* 6: 255-261 [online 2013-06-13] URL: <http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor0773-006>

Grigolato S, Marchi E, Laschi A, Cavalli R (2019). Considerations on forest road networks and related works to support the implementation of the operative guidelines of the consolidated law on forests and forest chains. *Forest - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale* 16(5):49-55

Hippoliti G (1976). Sulla determinazione delle caratteristiche della viabilità forestale. *L'Italia Forestale e Montana* 31 (3): 241-255.

Kastridis, A. 2020. "Impact of Forest Roads on Hydrological Processes" *Forests* 11, no. 11: 1201. <https://doi.org/10.3390/f11111201>

Klaus D. Goepel, (2013). Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making In Corporate Enterprises – A New AHP Excel Template with Multiple Inputs, *Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kuala Lumpur 2013*. DOI: <https://doi.org/10.13033/isahp.y2013.047>

Laschi, Andrea & Foderi, Cristiano & Fabiano, Fabio & Neri, Francesco & Cambi, Martina & Mariotti, Barbara & Marchi, Enrico. (2019). Forest Road Planning, Construction and Maintenance to Improve Forest Fire Fighting: a Review. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 40. 207-219.

Pant, S., Kumar, A., Ram, M., Klochkov, Y., & Sharma, H. K. (2022). Consistency Indices in Analytic Hierarchy Process: A Review. In *Mathematics* (Vol. 10, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/math10081206>

Pellegrini, M., Grigolato, S., & Cavalli, R. (2013). Spatial Multi-Criteria Decision Process to Define Maintenance Priorities of Forest Road Network: an Application in the Italian Alpine Region. In *Croat. j. for. eng* (Vol. 34).

Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*. 15:234-281.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York.

Thompson, M., Sessions, J., Boston, K., Skaugset, A., Tomberlin, D., 2010: Forest Road Erosion Control Using Multiobjective Optimization. *Journal of the American Water Resources Association* 46(4): 712–723.

Vafaei, N., Ribeiro, R. A., & Camarinha-Matos, L. M. (2020). Selecting Normalization Techniques for the Analytical Hierarchy Process. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 577, 43–52. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45124-0_4

Sitografia

<https://vallidelverbano.va.it/piano-di-indirizzo-forestale-p-i-f/>

<https://bpmsg.com/new-ahp-excel-template-with-multiple-inputs/>

<https://www.geoportale.regione.lombardia.it/>

<https://www.google.it/intl/it/forms/about/>

RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia gratitudine ai colleghi dell'Area Agricoltura e Foreste della Comunità Montana Valli del Verbano per la collaborazione nel reperimento dei dati e nella redazione del lavoro di tesi.

Ringrazio gli esperti che hanno pazientemente compilato il questionario contribuendo alla tesi con le loro competenze e la loro esperienza professionale.