

# *Analisi in ambiente GIS per la valutazione del grado di infrastrutturazione viaria delle aree forestali*

## *Premessa*

Questa procedura è stata messa a punto nell'ambito e ai fini di uno studio più generale sulla valutazione funzionale delle aree forestali effettuato in collaborazione tra ISAFSA e Servizio Foreste della Provincia Autonoma di Trento nello scenario territoriale dell'Altopiano di Pinè (fig. 1). Nel quadro di tale collaborazione il S.F./PAT ha messo a disposizione tutti i dati territoriali necessari allo sviluppo e al test della procedura. In particolare ci si riferisce al modello digitale del terreno della Provincia di Trento e al piano descrittivo vettoriale in ambiente ArcView® della viabilità forestale e della viabilità ordinaria principale<sup>1</sup> del territorio in esame.

## *Obiettivi dello studio*

La determinazione dell'indice si basa sui criteri di valutazione ideati da Hippoliti per connotare le aree forestali sotto il profilo della facilità con cui esse sono raggiungibili mediante la viabilità di servizio al bosco (HIPPOLITI, 1976).

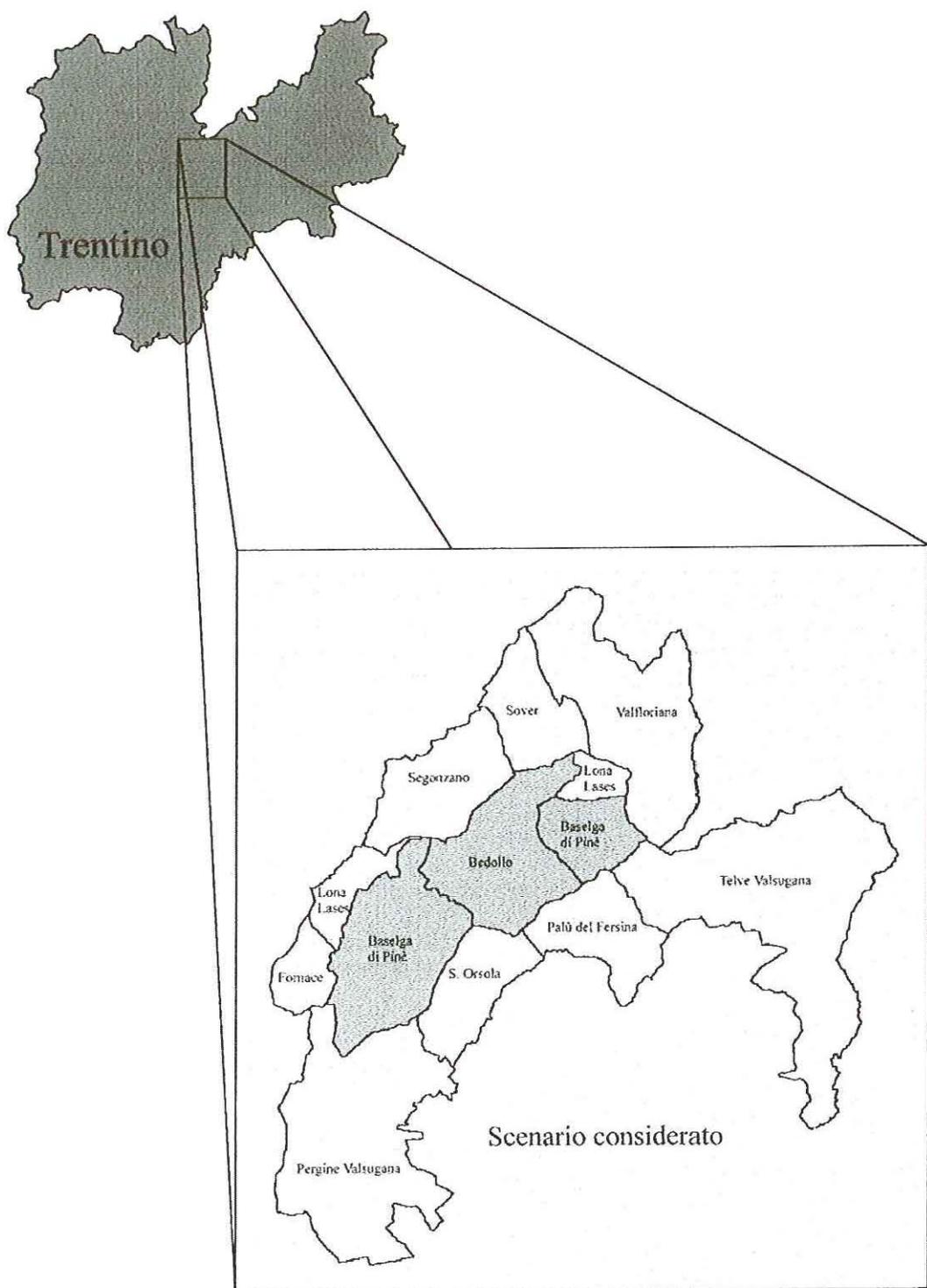
Tali criteri e le valutazioni quantitative che ne conseguono sono molto consolidate nella concezione dei tecnici forestali trentini (POZZATI, 1986), ma benché sempli-

ci e chiari sul piano della concezione, hanno sempre evidenziato significative difficoltà nella loro concreta applicabilità pratica, soprattutto laddove si intenda tradurli in carte e rappresentazioni tematiche di immediata interpretabilità. L'introduzione delle procedure GIS ha reso realizzabile tale obiettivo consentendo di automatizzare criteri e procedure di valutazione che si sono sempre dimostrate troppo laboriose e complesse da effettuare manualmente disponendo semplicemente della sola base cartografica. In tale quadro è opportuno sottolineare fin d'ora che senza un modello digitale del terreno e un piano di descrizione digitale della viabilità (forestale e ordinaria), riferiti al territorio in esame, la procedura di determinazione che verrà illustrata non è realizzabile.

## *I criteri di Hippoliti per la valutazione della viabilità di servizio al bosco*

Secondo l'Autore citato, supponendo una velocità media di percorrenza a piedi di un soggetto pari a 4 km/h su terreni pianeg-

<sup>1</sup> Per una corretta interpretazione dei risultati riportati nell'esempio di applicazione si fa notare che nella viabilità ordinaria non è inclusa quella secondaria (viabilità comunale) in quanto non disponibile in formato digitale come tema a sé stante.



64 Fig. 1 - Inquadramento geografico dello scenario territoriale considerato.

gianti e di 400 m/h di dislivello su terreno in pendenza, si possono definire il “tempo massimo di accesso al bosco” e i limiti, superiore ed inferiore, perché un bosco possa essere considerato “ben servito” o, al contrario, “non servito” dalla viabilità. Il limite inferiore delle situazioni ottimali (bosco ben servito) è determinato da un tempo massimo di accesso ai siti pari a 30 minuti (totale dei tempi di andata e ritorno) a partire dalla sede stradale più prossima. Il limite superiore delle situazioni carenti (bosco non servito) è invece identificato da un tempo massimo di accesso al bosco pari a 2 ore, sempre in andata e ritorno dalla sede stradale più prossima.

Il fattore che influenza l'estensione della viabilità di servizio necessaria al bosco è la pendenza dei versanti. Se la pendenza dei versanti aumenta deve aumentare proporzionalmente lo sviluppo della viabilità.

Con alcune semplici trasformazioni lineari si può dimostrare (come lo stesso Hippoliti chiarisce) che, sotto un profilo teorico, un bosco si trova in condizioni ottimali quando è percorso da una rete stradale di lunghezza (in m/ha) pari ad almeno metà

della pendenza ( $P$ ), mentre non è più connotato da alcuna condizione di accessibilità quando la densità della viabilità scende al di sotto di  $P/10$  metri per ettaro di superficie (fig. 2).

Si è accennato ad una condizione teorica in quanto i criteri di Hippoliti fanno riferimento ad un modello teorico distributivo della viabilità in linee parallele. Considerando la necessità di raccordare i percorsi ascendenti e di non superare pendenze massime ammissibili per il trasporto del legname su autocarro, i citati valori di  $P/2$  e  $P/10$  vengono considerati dallo stesso Hippoliti sottodimensionati anche significativamente nel modello teorico rispetto alle reali necessità.

### *Il calcolo dell'Indice di Infrastrutturazione Viaria (IDV)*

#### *I dati in input e il loro trattamento iniziale*

Attuando una valutazione costi/benefici tra risoluzione della carta finale di rappre-

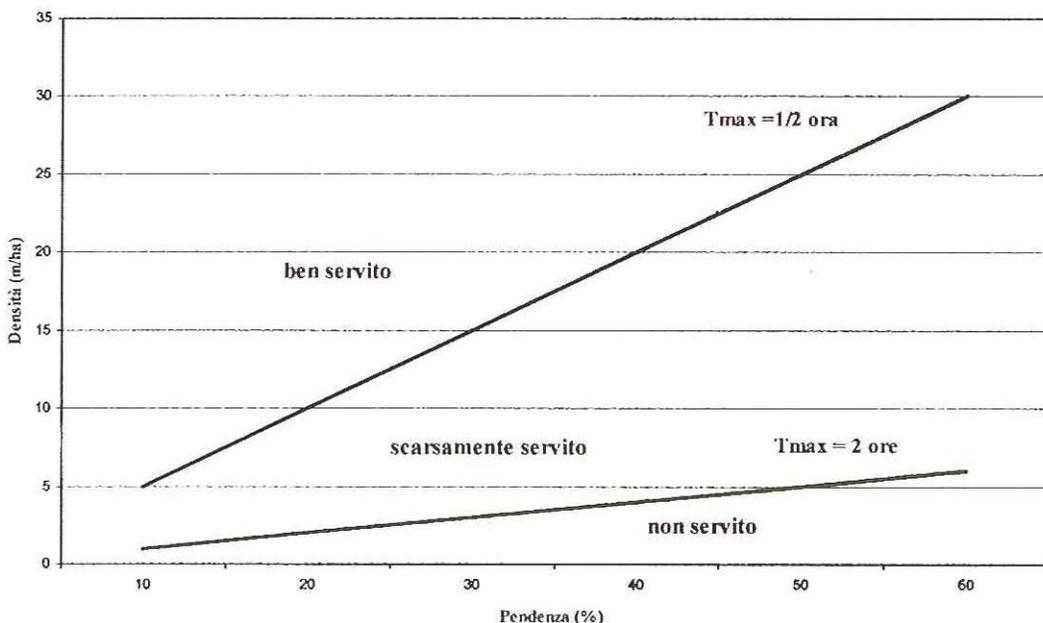


Fig. 2 - Densità stradale teorica in funzione della pendenza del terreno per la valutazione di idoneità del livello di infrastrutturazione viaria del bosco (da HIPPOLITI, 1976 - modificato).

sentazione dell'indice e quantità di dati da gestire, si è deciso di operare ad una risoluzione di 50x50 m sia in input che in output. I dati raster di quota forniti dal DTM/PAT alla risoluzione di 10x10 m sono stati quindi riportati alla risoluzione di 50x50 m. Successivamente i piani descrittivi vettoriali della viabilità ordinaria principale e di quella forestale sono stati combinati in un piano vettoriale unico. È implicito quindi che la viabilità ordinaria è stata considerata a tutti gli effetti utile a integrare la viabilità forestale di servizio vera e propria ai fini delle esigenze di servizio al bosco. Tale scelta potrà forse essere considerata opinabile ma non influenza l'aspetto metodologico dello studio ed attiene alle convenzioni da seguire nella fase applicativa, anche se è indubbiamente da considerare il fatto che la viabilità ordinaria costituisce sempre opportunità per l'accesso al bosco ma non sempre è usufruibile ai fini delle operazioni di esbosco.

Lo strato vettoriale della viabilità è stato trasformato in uno strato raster binario (1 se il pixel è interessato da una strada e 0 altrimenti), utilizzando la stessa risoluzione e la stessa origine del DTM 50x50 m. Un importante parametro misurato a questo punto, utilizzato poi come costante nell'algoritmo di calcolo dell'IDV, è stato lo *sviluppo lineare medio (slp)* di strada per pixel (sviluppo totale lineare della viabilità nel territorio considerato diviso per il numero totale di pixel-strada).

L'ultima fase della preparazione iniziale della base di dati ha riguardato la derivazione dal DTM del raster dell'inclinazione in gradi e la successiva trasformazione del raster inclinazione in raster della pendenza percentuale ( $P\% = \text{tg}(\text{incl.}) \times 100$ ).

### L'algoritmo di calcolo dell'indice IDV

Nell'algoritmo di calcolo dell'indice IDV le variabili di input sono costituite dall'insieme dei valori delle pendenze (*PEND*) e di presenza-assenza delle strade (*STRA*) per tutti i pixel del territorio (derivanti dai rispettivi piani raster), dalla misura del lato

del pixel (*pl*) e dallo sviluppo stradale lineare medio per pixel (*slp*), che nello scenario considerato è risultato pari a circa 41 metri.

Il sistema di calcolo prevede l'uso di una *matrice locale* o di *esplorazione*<sup>2</sup> di ordine dispari e dimensione ( $n \times n$ ) che viene centrata progressivamente su ogni pixel dell'intero scenario e analizza i dati locali di pendenza e presenza-assenza di strade determinando i rispettivi valori medi *pendm* e *stram* riferibili al pixel centrale della matrice di esplorazione stessa:

$$pendm = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^{n^2} PEND_i \quad \text{e} \quad stram = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^{n^2} STRA_i$$

dove  $n^2$  è la dimensione della matrice,  $STRA_i$  è l'insieme dei valori individuati in *STRA* dalla matrice di esplorazione di dimensione  $i$  e  $PEND_i$  è l'insieme dei valori individuati in *PEND* dalla matrice di esplorazione di dimensione  $i$ .

Il valore della densità stradale espresso in metri per ettaro, assegnato ad ogni pixel dello scenario, è dato da:

$$DS(m/ha) = stram \times (slp) \times \frac{10.000}{pl^2}$$

che è dunque funzione della presenza media locale di strade (*stram*), dello sviluppo lineare medio di strada per pixel (*slp*) e della dimensione del lato del pixel (*pl*) e risulta, naturalmente pari a zero quando *stram* è localmente uguale a zero (nessun pixel interessato da strade nella matrice di esplorazione).

Affinché l'IDV assuma valori facilmente interpretabili, pari cioè a 1 nel caso di "bosco ben servito" e a 0 nel caso di "bosco non servito", l'indice è stato normalizzato con i valori limite di densità stradale definiti da Hippoliti appunto per il bosco ben servito e il bosco non servito e dati (in m/ha) da:

2 Il criterio di analisi della viabilità per "matrice di esplorazione" fu sviluppato per la prima volta nell'ambito dello studio "GARDEN: procedura di integrazione tra GIS e sistema esperto per la stima del valore turistico-ricreativo degli ambienti naturali" (CARRIERO A. et al., 1998). Per la procedura IDV il metodo è stato perfezionato con l'introduzione delle matrici di esplorazione a dimensione variabile (vedi paragrafo successivo).

$$S_1 = \frac{pendm}{2} \text{ e } S_0 = \frac{pendm}{10}$$

nel caso in cui *pendm* risulti > 10% (condizioni di versante) e definiti (sempre in m/ha) da:

$$S1 = 5 \text{ e } S0 = 1$$

se *pendm* è ≤10% (condizioni pianeggianti o assimilabili).

Il valore dell'IDV che viene calcolato progressivamente per tutti i pixel dello scenario risulterà quindi pari a:

$$IDV = \frac{DS - S_0}{S_1 - S_0}$$

Questa procedura è stata in realtà attuata in *k* sessioni distinte in ciascuna delle quali è stato calcolato un piano di descrizione  $IDV_k$  per l'intero territorio riferito all'impiego di una specifica dimensione della matrice di esplorazione. La dimensione di tale matrice è stata infatti progressivamente aumentata in ogni sessione (per una dettagliata trattazione di questo aspetto si rimanda al paragrafo successivo).

Il valore di IDV finale assegnato ad ogni pixel del territorio è dato da:

$$IDV_F = \max_k IDV_k$$

È opportuno sottolineare che a seguito della normalizzazione l'IDV assume valori uguali o superiori a 1 se la densità stradale riscontrata nella matrice di esplorazione manifesta valori pari o superiori a  $P/2$ , mentre evidenzia valori uguali a 0 o inferiori se la densità stradale riscontrata è  $P/10$  o minore.

Per meglio connotare l'intervallo di variazione di IDV e la rispettiva rappresentazione cartografica, sono state individuate le seguenti classi (vedi anche tabella 1):

denominazione	IDV	densità stradale (m/ha)
non servito	≤ 0	≤ P/10
scarsamente servito	> 0, 0.38	> P/10, ≤ P/4
discretamente servito	> 0.38, 1	> P/4, ≤ P/2
ben servito	> 1, 1.63	> P/2, ≤ 3/4P
altamente servito	> 1.63, ≤ 2.25	> 3/4P, ≤ P
più che altamente servito	> 2.25	> P

Nella figura 3 vengono riassunte e schematizzate le varie fasi di elaborazione che portano alla determinazione dell'IDV con i risultati intermedi e le risorse software utilizzate (v. oltre). Nella figura 4 viene invece rappresentato il risultato tematico del calcolo di IDV per la zona del Dosso di Costalta sull'Altopiano di Pinè (Trento).

#### *Il fattore critico nell'algorithmo IDV: la dimensione della matrice di esplorazione*

L'aspetto critico nella procedura di calcolo IDV si colloca certamente in un adatto dimensionamento della *matrice locale o di esplorazione*. Sotto questo profilo esistono esigenze del tutto contrastanti. Il caso specifico dell'altopiano di Pinè, sul quale il metodo IDV è stato testato, può forse illustrare compiutamente questo nodo metodologico cruciale.

Il territorio menzionato presenta una pendenza media generale del 43% circa. Se consideriamo una situazione teorica nella quale un versante evidenzia tale pendenza, secondo i criteri di valutazione di Hippoliti la distanza da una strada fino alla quale l'area è da considerare ancora influenzata da quest'ultima arriva a ben 900 m planimetrici. La necessità di andare a cogliere anche tali situazioni spingerebbe quindi ad adottare matrici di esplorazione estremamente ampie. In questo modo però, al progressivo dilatarsi della matrice di esplorazione il dato di stima della densità stradale che viene riferito al pixel centrale perde progressivamente la capacità di connotare effettivamente la specifica situazione di dotazione viaria sul punto e nelle sue zone più prossime. Si pensi per esempio al caso di pixel posizionati esattamente su assi stradali in contesti di bassa densità stradale circostante. Ampliando la matrice di esplorazione essa deprimerà progressivamente il peso dello specifico asse stradale nel connotare la situazione locale del pixel e ciò porterà (come abbiamo verificato) all'incongruenza di classificare quel pixel in classi basse di grado di infrastrutturazione. Il fenomeno si risente naturalmente anche nella stima

Tab. 1 - Valori assunti da IDV al variare della pendenza del versante e della densità stradale.

IDV	PENDENZA (%)																			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25
5	2.25	1.00	0.58	0.38	0.25	0.17	0.11	0.06	0.03	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13
10	4.75	2.25	1.42	1.00	0.75	0.58	0.46	0.38	0.31	0.25	0.20	0.17	0.13	0.11	0.8	0.06	0.04	0.03	0.01	0.00
15	7.25	3.50	2.25	1.63	1.25	1.00	0.82	0.69	0.58	0.50	0.43	0.38	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17	0.14	0.13
20	9.75	4.75	3.08	2.25	1.75	1.42	1.18	1.00	0.86	0.75	0.66	0.58	0.52	0.46	0.42	0.38	0.34	0.31	0.28	0.25
25	12.25	6.00	3.92	2.88	2.25	1.83	1.54	1.31	1.14	1.00	0.89	0.79	0.71	0.64	0.58	0.53	0.49	0.44	0.41	0.38
30	14.75	7.25	4.75	3.50	2.75	2.25	1.89	1.63	1.42	1.25	1.11	1.00	0.90	0.82	0.75	0.69	0.63	0.58	0.54	0.50
35	17.25	8.50	5.58	4.13	3.25	2.67	2.25	1.94	1.69	1.50	1.34	1.21	1.10	1.00	0.92	0.84	0.78	0.72	0.67	0.63
40	19.75	9.75	6.42	4.75	3.75	3.08	2.61	2.25	1.97	1.75	1.57	1.42	1.29	1.18	1.08	1.00	0.93	0.86	0.80	0.75
45	22.25	11.00	7.25	5.38	4.25	3.50	2.96	2.56	2.25	2.00	1.80	1.63	1.48	1.36	1.25	1.16	1.07	1.00	0.93	0.88
50	24.75	12.25	8.08	6.00	4.75	3.92	3.32	2.88	2.53	2.25	2.02	1.83	1.67	1.54	1.42	1.31	1.22	1.14	1.07	1.00
55	27.25	13.50	8.92	6.63	5.25	4.33	3.68	3.19	2.81	2.50	2.25	2.04	1.87	1.71	1.58	1.47	1.37	1.28	1.20	1.13
60	29.75	14.75	9.75	7.25	5.75	4.75	4.04	3.50	3.08	2.75	2.48	2.25	2.06	1.89	1.75	1.63	1.51	1.42	1.33	1.25
65	32.25	16.00	10.58	7.88	6.25	5.17	4.39	3.81	3.36	3.00	2.70	2.46	2.25	2.07	1.92	1.78	1.66	1.56	1.46	1.38
70	34.75	17.25	11.42	8.50	6.75	5.58	4.75	4.13	3.64	3.25	2.93	2.67	2.44	2.25	2.08	1.94	1.81	1.69	1.59	1.50
75	37.25	18.50	12.25	9.13	7.25	6.00	5.11	4.44	3.92	3.50	3.16	2.88	2.63	2.43	2.25	2.09	1.96	1.83	1.72	1.63
80	39.75	19.75	13.08	9.75	7.75	6.42	5.46	4.75	4.19	3.75	3.39	3.08	2.83	2.61	2.42	2.25	2.10	1.97	1.86	1.75
85	42.25	21.00	13.92	10.38	8.25	6.83	5.82	5.06	4.47	4.00	3.61	3.29	3.02	2.79	2.58	2.41	2.25	2.11	1.99	1.88
90	44.75	22.25	14.75	11.00	8.75	7.25	6.18	5.38	4.75	4.25	3.84	3.50	3.21	2.96	2.75	2.56	2.40	2.25	2.12	2.00
95	47.25	23.50	15.58	11.63	9.25	7.67	6.54	5.69	5.03	4.50	4.07	3.71	3.40	3.14	2.92	2.72	2.54	2.39	2.25	2.13
100	49.75	24.75	16.42	12.25	9.75	8.08	6.89	6.00	5.31	4.75	4.30	3.92	3.60	3.32	3.08	2.88	2.69	2.53	2.38	2.25

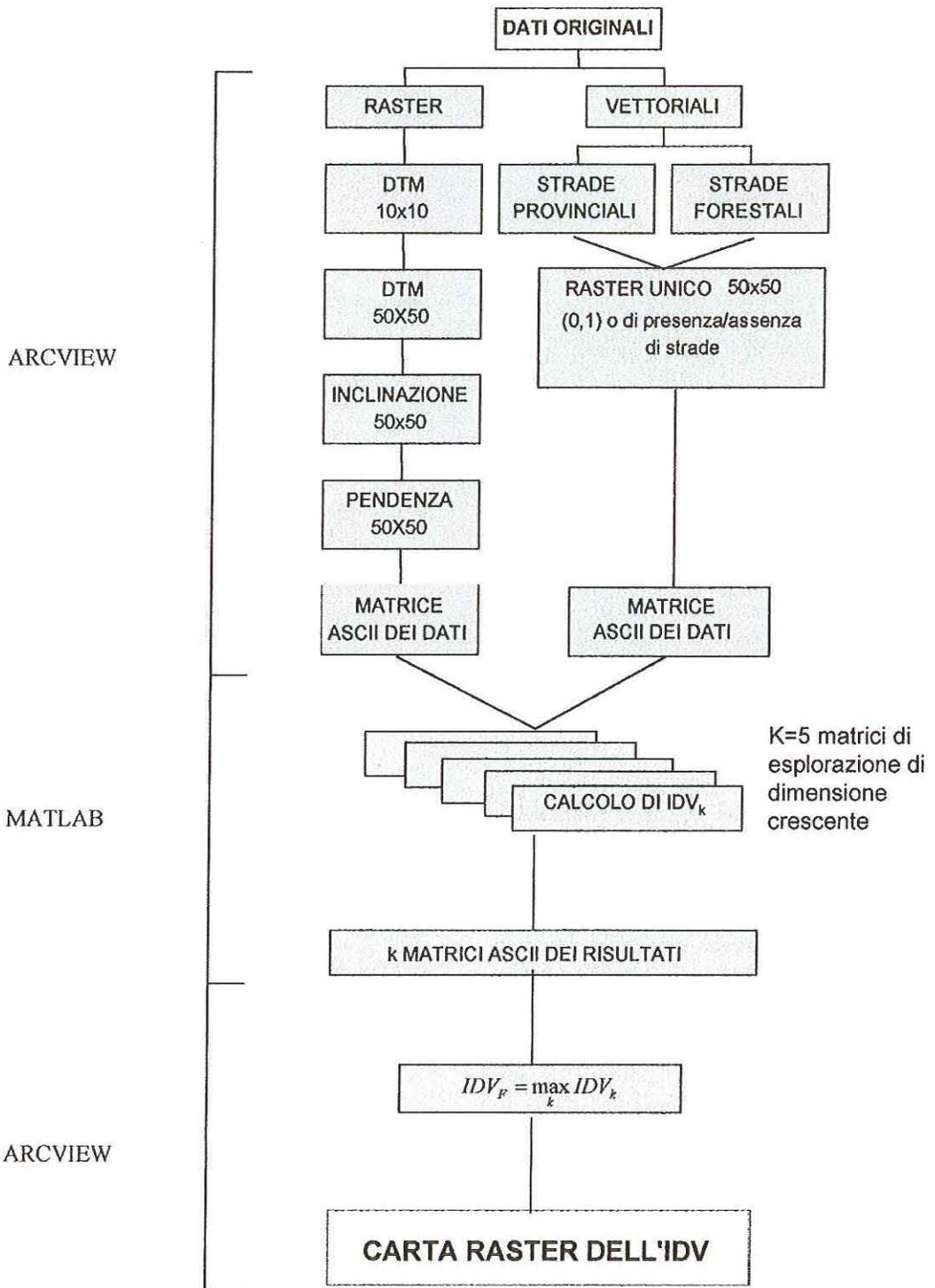


Fig. 3 - Flowchart della procedura di determinazione di IDV.

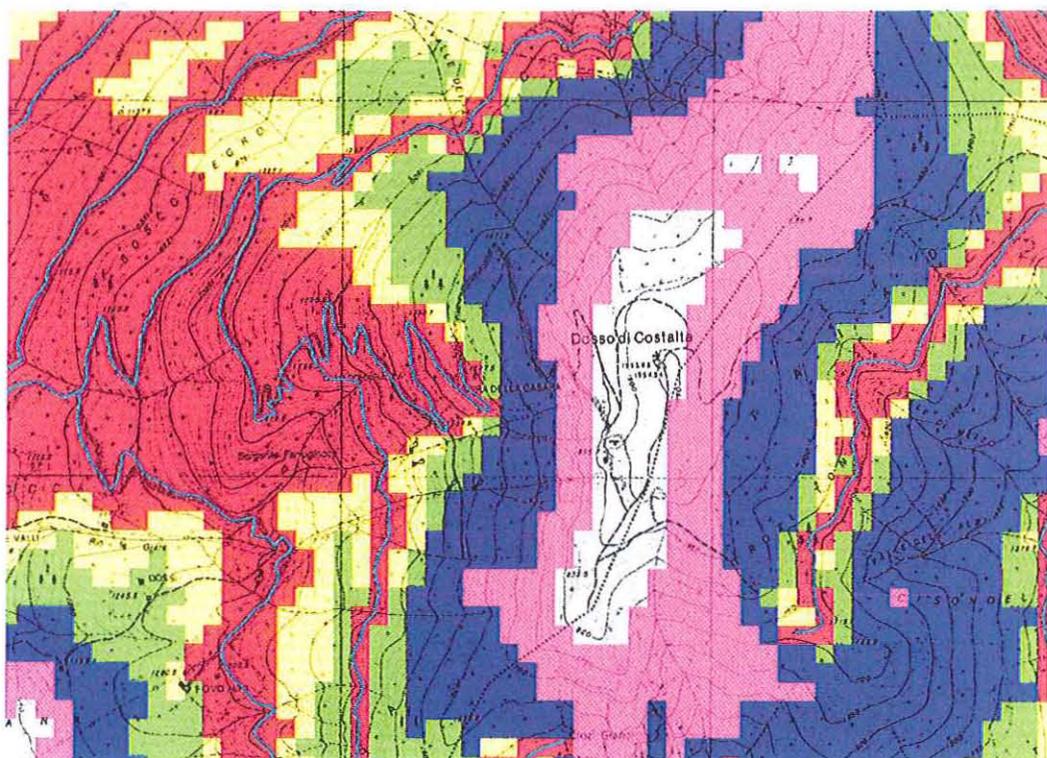


Fig. 4 - Carta tematica di IDV sovrapposta alla carta tecnica PAT; particolare riferito alla zona del Dosso di Costalta (Baselga di Pinè - Trento).

della pendenza media che a sua volta tende sempre meno a connotare le vere inclinazioni locali di versante.

In sostanza, grandi matrici di esplorazione tendono a sottostimare le situazioni di dotazione infrastrutturale nelle zone più prossime agli assi stradali (specie se isolati), mentre piccole matrici perdono in sensibilità nel cogliere l'amplissima variabilità di livello di dotazione viaria che i criteri di Hippoliti sottendono. È intuibile infatti che in quest'ultimo caso tali matrici di limitata estensione registrano facilmente situazioni di densità stradale pari a zero, non avendo la capacità di estendere la verifica della presenza di strade ad una distanza compatibile con i criteri di Hippoliti.

Una soluzione che appare superare questo aspetto cruciale è stata individuata nell'operare con  $k$  matrici di esplorazione di dimensioni progressivamente crescenti,

elaborando un piano descrittivo raster di IDV per ogni dimensione di matrice impiegata. Per ogni pixel del territorio si dispone quindi di  $k$  determinazioni di IDV. Una apposita funzione di ArcView® consente poi di produrre la carta tematica finale di IDV individuando il massimo valore che il parametro assume nei  $k$  piani raster IDV di origine (fig. 5). Le dimensioni delle 5 matrici di esplorazione impiegate sono state:

- 1x1 pixel da 50x50 m (0.25 ha); tale dimensionamento corrisponde soltanto all'esigenza di fissare la convenzione che ogni pixel direttamente interessato dalla presenza di una strada venga classificato nella classe più elevata di IDV;
- 5x5 pixel da 50x50 m (6.25 ha);
- 11x11 pixel da 50x50 m (30.25 ha);
- 15x15 pixel da 50x50 m (56.25 ha);
- 19x19 pixel da 50x50 m (90.25 ha).

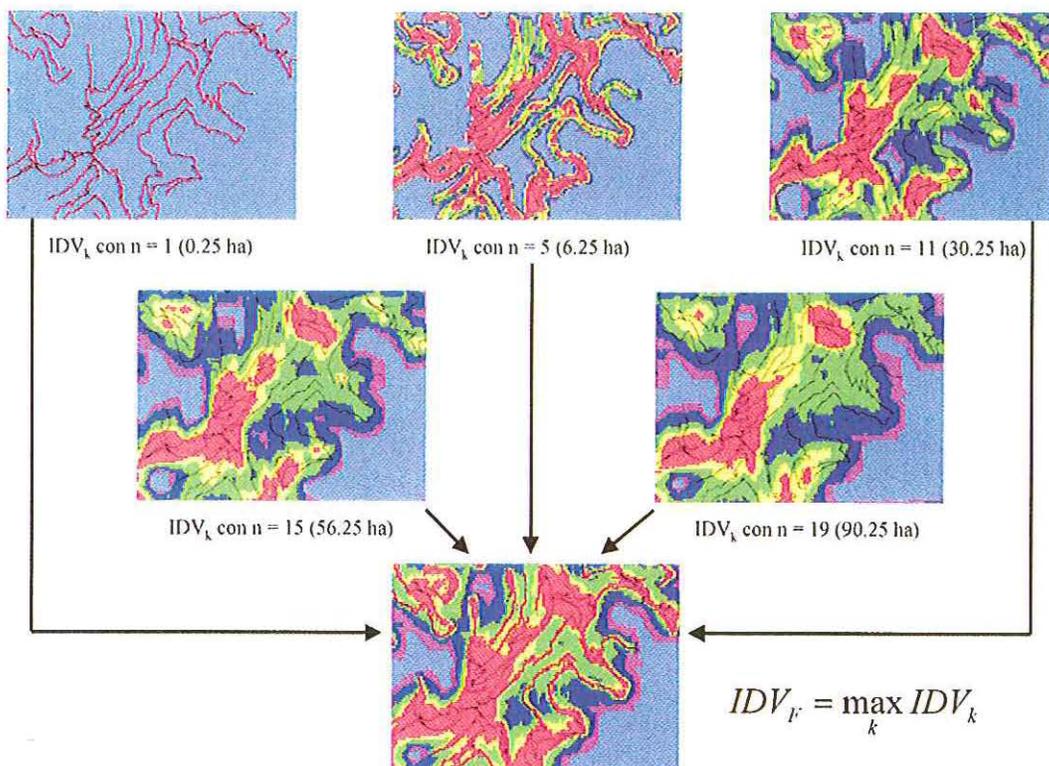


Fig. 5 - Comportamento di stima di IDV all'aumentare della dimensione delle matrici di esplorazione impiegate e risultato finale (IDVF).

### Le applicazioni software di elaborazione utilizzate nella procedura di calcolo dell'IDV: ArcView® GIS e Matlab®

ArcView® GIS è un programma di analisi territoriale prodotto dalla ESRI® che, grazie alla possibilità di utilizzo su piattaforme PC e al costo relativamente contenuto, è molto diffuso tra diverse tipologie di utenti. Nato come derivazione di ArcInfo® è un software versatile, soprattutto con l'aggiunta di moduli specifici. È inoltre in continua evoluzione, grazie anche alla possibilità di utilizzare numerose subroutine per funzionalità specifiche dette *Script*, sorta di "macro", scritte in linguaggio *Avenue*®. La maggior parte di esse sono fornite direttamente dalla ESRI che ne licenzia in continuazione di nuove, provenienti anche da utenti, e le mette a disposizione su un apposito sito Internet<sup>3</sup>.

ArcView® è un'applicazione piuttosto facile da usare per l'input, l'output e le funzioni standard dell'analisi territoriale (rasterizzazione, vettorializzazione, gestione di DTM per il calcolo della pendenza, esposizione ecc..) ma risulta di più difficile approccio per operazioni matriciali (su raster) molto personalizzate come quelle che si sono rese necessarie nel calcolo dell'IDV.

Nello sviluppo della procedura di calcolo dell'indice si è trovato più vantaggioso utilizzare, in singole fasi specifiche di elaborazione, il software Matlab® prodotto dalla Math Works Inc®<sup>4</sup>.

Quest'ultimo è un ambiente destinato alle operazioni su matrici n-dimensionali (con n

3 ESRI ITALIA: <http://www.esriitalia.it>  
 Script: <http://gis.esri.com/arcscrip/scrip/scrip.cfm>  
 Discussion Forum: <http://forums.esri.com/forums/>

4 <http://www.mathworks.com>

limitato solo dalla memoria disponibile) molto potente nel quale risulta relativamente semplice programmare in un linguaggio simile al Basic-plus. Si possono così implementare funzioni estremamente mirate alla risoluzione di esigenze specifiche che consentono una personalizzazione spinta nella costruzione di algoritmi e che si sono rivelate estremamente utili nella procedura di calcolo dell'IDV presentata in questo studio.

### Conclusioni

Da un'analisi di dettaglio della rappresentazione raster di IDV per lo scenario considerato non sembrano emergere particolari incongruenze rispetto alla capacità della procedura di interpretare correttamente i criteri ideati da Hippoliti. Qualche considerazione è però opportuna circa il posizionamento dei limiti numerici di IDV che delimitano le classi di valutazione del grado di idoneità di infrastrutturazione del bosco.

A questo proposito (come già sottolineato in precedenza) lo stesso Hippoliti afferma che per settori boschivi in versante inclinato, larghi 1 km, vincolando la progettazione a non superare la pendenza massima del 10% nella realizzazione dell'asse viabile, un'unica strada ascendente, per servire le esigenze di viabilità del versante boschivo in modo ottimale, dovrà avere uno sviluppo complessivo tale da far registrare, per quel versante, una densità stradale in m/ha pari alla pendenza % del versante (e non alla metà della pendenza come nel modello teorico di strade parallele). Per settori boschivi di larghezza maggiore, la sola strada ascendente non sarà più in grado di determinare densità stradali ( $DS=P$  m/ha) sufficienti per servire in modo ottimale tutta l'area (HIPPOLITI, 1976).

Situazioni di questo tipo (settori boschivi inclinati del 50-60 %, di larghezza intorno agli 1-2 km, da servire con un'unica strada ascendente) sono forse la regola in Trentino più che l'eccezione. Tale constatazione sembrerebbe suggerire la necessità di classificare "ben servite" soltanto aree boschive dove la densità stradale si colloca tra  $3/4 P\%$  e  $P\%$  (IDV tra 1.63 e 2.25) in pratica traslando verso l'alto di una classe le va-

lutazioni di grado di infrastrutturazione adottate in questo studio.

Altro aspetto da valutare in sede di applicazione operativa della procedura sarà quello già ventilato della considerazione o meno della viabilità ordinaria nell'ambito del processo. Sotto questo profilo si potrà optare per una scelta convenzionale, ad esempio considerando solo la viabilità ordinaria minore (comunale) ma non quella provinciale o statale, oppure semplicemente si valuteranno caso per caso i tratti di viabilità ordinaria da considerare o escludere in sede di approntamento del piano di descrizione delle strade.

Un ulteriore perfezionamento metodologico potrebbe essere facilmente implementato considerando anche il piano descrittivo raster dell'esposizione (che viene prodotto automaticamente con funzionalità ArcView® dal modello digitale del terreno). In tale contesto potrebbe apparire opportuno escludere dalle matrici di esplorazione le parti di territorio che presentano esposizioni sensibilmente diverse da quella del pixel centrale per il quale si sta calcolando il rispettivo valore di IDV. Ad esempio, pixel con esposizioni opposte a quello considerato potrebbero suggerire l'appartenenza di tali elementi di territorio a versanti opposti, orograficamente e funzionalmente estranei al contesto locale di valutazione del grado di infrastrutturazione. Tale modifica dell'algoritmo è di facile implementazione, ma ne va valutata attentamente l'influenza nella considerazione degli sviluppi stradali di fondovalle (che verrebbero incongruamente assegnati ad uno solo dei due versanti, e magari anche segmentati in tale assegnazione); anche nelle collocazioni di crinale poco accentuato o di altopiano con leggere ondulazioni possono facilmente emergere casi di elementi territoriali di esposizione opposta la cui netta esclusione porterebbe a valutazioni incongruenti di IDV.

**dott. Gianfranco Scrinzi**

**dott. Maria Picci**

**dott. Antonio Floris**

Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale  
e per l'Alpicoltura  
Piazza Nicolini 6, 38050 Villazzano (TN)  
e-mail: isafa.asfor@tqs.it

## BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA

CALVANI G., MARCHI E., PIEGAI F., TESI E., 1999 - *Funzioni, classificazione, caratteristiche e pianificazione della viabilità forestale per l'attività di antincendio boschivo*. L'Italia Forestale e Montana, 3: 109-125.

CARRIERO A., SCRINZI G., TABACCHI G., TOSI V., WEGER W., 1998 - *GARDEN: procedura di integrazione tra GIS e sistema esperto per la stima del valore turistico-ricreativo degli ambienti naturali*. Comunicazioni di Ricerca ISAF 97/2, Trento.

FABIANO F., MARCHI E., 1991 - *Pianificazione della viabilità forestale*. In: Atti del seminario UNIF: "Il bosco e i suoi valori: esperienze e prospettive per la pianificazione forestale" 14-15 novembre 1991, Brasimone (BO): 196-201.

HIPPOLITI G., 1976 - *Sulla determinazione delle caratteristiche della rete viabile forestale*. L'Italia Forestale e Montana, 6: 241-254.

HIPPOLITI G., 1998 - *Selvicoltura e viabilità forestale*. Convegno internazionale "Viabilità forestale: aspetti ambientali, legislativi e tecnico-economici". UNIF - Università degli Studi della Tuscia Di.S.A.F.Ri. - CNR IRL - Regione Campania. Lago Laceno (AV). Atti in corso di Stampa.

POZZANI A., 1986 - *Criteri di pianificazione delle strade forestali*. Convegno "Problematiche forestali. L'esperienza della Provincia di Trento". Accademia Italiana di Scienze Forestali - Provincia Autonoma di Trento - Trento.

## Riassunto

I parametri ideati da Hippoliti per il dimensionamento quantitativo dello sviluppo ideale della viabilità di servizio al bosco hanno sempre dimostrato, al pari di una sostanziale validità teorica, evidenti difficoltà nel trasferimento operativo laddove vanno tradotti nella realizzazione di carte tematiche dello stato di infrastrutturazione delle aree forestali su scenari concreti.

L'introduzione dei GIS ha reso possibile automatizzare tale fase e scopo dello studio è stato quello di sviluppare la metodologia di elaborazione specifica che viene illustrata.

I dati in input necessari sono costituiti da un modello digitale del terreno e da un layer della viabilità presente sul territorio esaminato. Entrambi sono stati forniti dal Servizio Foreste della Provincia Autonoma di Trento per lo scenario dell'Altopiano di Pinè, rispetto al quale viene presentato un esempio di applicazione del metodo.

## Summary

This paper describes a procedure aimed at calculating an index of forest road dotation for each territorial unit of a given scenery, in this way producing a thematic map of the road network. It has been carried out with the aid of a GIS package (ArcView) and using digital information both in vector and raster format.

The index calculation algorithm has been determined starting from the criteria enounced by Hippoliti, which are still widely adopted by Italian foresters but have been so far scantily transferred in thematic maps, because of the lack of suitable informatic tools.

The necessary input data are the DTM and the layer of all the roads (both ordinary and forest) of the territory considered. In our case study, which refers to Altopiano di Pinè (Trentino), such data was supplied from the Forest Service of the Provincia Autonoma di Trento.