



Università di Udine
Dipartimento di
Scienze Agrarie e
Ambientali



Regione Friuli Venezia Giulia
Direzione Centrale Risorse Agricole,
Naturali e Forestali
Servizio Gestione Forestale e
Antincendio Boschivo



**Studio per lo sviluppo di nuovi criteri tecnici e
normativi per il riordino del vincolo idrogeologico**

Terzo Stralcio Funzionale

Relazione Conclusiva

Federico Cazorzi, Alessandro Mercì

Ottobre 2008

Sommario

PARTE I.....	5
1 INTRODUZIONE.....	5
2 FATTORI DI STABILITÀ ED INSTABILITÀ DEL TERRITORIO	7
2.1 Il vincolo idrogeologico	8
2.2 Descrizione dell'area di studio	9
3 STRUMENTI E PROCEDURE DI BASE	10
3.1 Programmi di calcolo	10
3.2 Le informazioni di base per la montagna friulana.....	11
3.2.1 Il modello digitale del terreno – DTM	11
3.2.2 Pericolosità climatica (LSPP)	12
3.2.3 Ortofoto	14
3.2.4 Carta Geolitologica	14
3.2.5 Tematismi riferiti all'uso del suolo	17
4 INDICATORI DI DERIVAZIONE MORFOMETRICA.....	19
4.1 Pendenza.....	19
4.2 Direzioni di deflusso e Area Drenata	20
4.3 Suddivisione in Zone o Sottobacini.....	21
4.4 Pendenza lungo le direzioni di deflusso	23
5 ANALISI E MAPPATURA DELLA FRAGILITÀ TERRITORIALE.....	24
5.1 Ruolo idrologico della copertura vegetale.....	24
5.2 la vegetazione come fattore regimante	26
5.2.1 Indicatori complessi: FRV - fattore regimante della vegetazione.....	26
5.2.1.1 Indicatori di derivazione tematica: CN – Curve Number	26
5.2.1.2 IPE - incremento di pioggia efficace.....	26
5.2.1.3 Calcolo del fattore regimante della vegetazione	31
5.3 la vegetazione come fattore stabilizzante	33
5.3.1 Indicatori complessi: FSV - fattore stabilizzante della vegetazione	33
5.3.1.1 SPI - indice di potenza della corrente	33
5.3.1.2 FID - fattore intrinseco di propensione al dissesto	35
5.3.1.3 FPD - fattore di propensione al dissesto	37
5.3.1.4 calcolo del fattore stabilizzante della vegetazione	38
5.4 Indicatori complessi: FPV - fattore protettivo della vegetazione.....	39
PARTE II	43
6 CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL RIO PONTAIBA	44
6.1 Carta geolitologica	44
6.2 Carta dell'uso del suolo	45
6.3 Suddivisione in zone	45
6.4 Curve Number ed Incremento di Pioggia Efficace	46
6.5 Il Fattore Regimante della Vegetazione	47
6.6 Il Fattore Stabilizzante della Vegetazione.....	48
6.7 Il Fattore Protettivo della Vegetazione.....	49
7 CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL TORRENTE PONTEBBANA	50
7.1 Inquadramento del bacino	50
7.2 strati informativi di base.....	50
7.3 mappatura della fragilità territoriale.....	53

7.4	il fattore protettivo della vegetazione	58
8	CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL BUT	59
8.1	inquadramento del bacino	59
8.2	strati informativi di base.....	60
8.3	mappatura della fragilità territoriale.....	65
8.3.1	il fattore regimante della vegetazione	68
8.3.2	il fattore stabilizzante della vegetazione	70
8.3.3	il fattore protettivo della vegetazione.....	72
9	MODELLAZIONE DELLA STABILITÀ DEI PENDII PER IL BACINO DEL BUT	75
9.1.1	il modello di stabilità sinmap	75
10	CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL FIUME FELLA	78
10.1	Introduzione	78
10.2	strati informativi di base	79
10.2.1	il modello digitale del terreno – DTM –	79
10.2.2	Carta geolitologica	80
10.2.3	uso del suolo.....	80
10.2.3.1	carta dei tipi forestali - bacino del fiume fella -	80
10.2.3.2	Carta Natura - APAT	82
10.2.4	dati di precipitazione	82
10.2.5	carta del cn	84
10.2.6	indicatore di incremento di pioggia efficace.....	84
10.3	Il fattore regimante della vegetazione.....	85
10.4	Il fattore stabilizzante della vegetazione.....	87
10.5	Il fattore protettivo della vegetazione	87
11	OSSERVAZIONI CONCLUSIVE	91
12	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	97
	APPENDICE.....	101

PARTE I

Mappatura della fragilità territoriale per la Montagna Friulana

1 INTRODUZIONE

Lo “*Studio per lo sviluppo di nuovi criteri tecnici e normativi per il riordino del vincolo idrogeologico*” affidato nel 2005 dalla Regione Friuli Venezia Giulia al Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali dell’Università di Udine giunge con questa relazione tecnica al terzo stralcio funzionale.

Il primo stralcio funzionale, concluso nel 2006, riguardava la “definizione dei criteri scientifico-tecnici per la perimetrazione delle aree meritevoli di essere sottoposte a vincolo idrogeologico”. La metodologia che è emersa dallo studio è orientata ad evidenziare in modo più esplicito il ruolo della vegetazione e appare più in sintonia con il significato più essenziale del vincolo idrogeologico il cui scopo è quello di impedire o disciplinare trasformazioni di uso del suolo che, facendo mancare o comunque riducendo il ruolo della vegetazione, consentano alle componenti morfologiche, geologiche e climatiche di prevalere generando fenomeni di dissesto. Si è trattato quindi di mettere a fuoco mediante una valutazione quantitativa il ruolo e l’importanza della copertura vegetale che è diverso in funzione sia della propria intrinseca capacità di esercitare protezione, sia del diverso peso che le altre componenti realizzano localmente. La metodologia è stata testata sul bacino del Pontaiba a Paluzza.

Il secondo stralcio funzionale, concluso nel 2007, ha visto l’applicazione della metodologia su due ampie porzioni di territorio montano del Friuli Venezia-Giulia, una a ridosso del passo Pramollo (Torrente Pontebbana) e l’altra collocata nella parte alta del bacino del But, fino a Zuglio a monte della confluenza col T. Chiarsò. L’applicazione, con carattere operativo, ha consentito di affinare alcune delle parametrizzazioni sperimentate Pontaiba. E’ stato inoltre sperimentato con successo l’uso del DEM 40x40 disponibile per l’intera regione. Sul bacino del But si è inoltre sperimentato l’incrocio della metodologia proposta per il vincolo con una modellazione della propensione al dissesto superficiale utilizzando il modello SinMap.

Il terzo stralcio avrebbe dovuto avere per oggetto l’estensione del metodo al bacino del fiume Fella utilizzando la carta dei “tipi forestali” opportunamente completata mediante fotointerpretazione speditiva. Il reperimento di una carta dell’uso del suolo prodotta dall’Agenzia Per l’Ambiente e il Territorio ha consentito di estendere lo studio a tutta l’area montana della Regione, pur con i limiti dati dall’uso di una cartografia orientata ad altre finalità.

L’intero lavoro di revisione dei criteri di definizione del vincolo prende le origini da un progressivo mutamento della prospettiva con cui si sono analizzate le aree meritevoli di vincolo. L’attenzione, specie negli ultimi anni, si è andata progressivamente spostando dai soli dissesti esistenti verso quelli potenziali, ovvero quelli che si potrebbero verificare se fossero modificate le condizioni al contorno in una determinata porzione di territorio.

Lo studio fornisce, oltre al dato puntuale sulla fragilità territoriale diffuso a livello dell’intero territorio montano della Regione, anche una serie di dati di sintesi per i sottobacini in cui viene suddiviso, dati che costituiscono un valido strumento per identificare le zone a cui porre maggior attenzione nella revisione dei criteri di vincolo.

Il risultato atteso è costituito quindi una carta della fragilità territoriale per l'area di studio, ottenuta dando particolare rilievo alla vegetazione ed al suo ruolo regimante e protettivo. Essa potrà essere messa a confronto con la cartografia tematica riferita al vincolo (R.D. n. 3267 del 1923) e con le informazioni reperibili nei Piani di Assetto Idrogeologico (Leggi n. 267/98 e n. 365/00).

2 FATTORI DI STABILITÀ ED INSTABILITÀ DEL TERRITORIO

Il problema della stabilità fisica del territorio va correttamente affrontato a scala di bacino idrografico. Nel bacino idrografico infatti, il ciclo dell'acqua e l'annesso ciclo erosivo si compiono in modo completo dando luogo ai deflussi che transitano lungo i collettori per convergere alla sezione di chiusura.

Il territorio alpino è caratterizzato da una instabilità naturale che deriva da fattori morfologici e geologici generalmente sfavorevoli. La tendenza evolutiva del territorio montano in fase giovanile, è infatti quella di una progressiva, lenta, ma inesorabile disgregazione che dovrebbe condurre a forme di rilievo meno aspre di quelle attuali. Particolarmente delicata risulta la situazione geologica; alla variabilità diffusa dei litotipi e della conformazione tettonica si associa una generale diffusione della coltre detritica del quaternario alla cui presenza sono spesso associati i maggiori fenomeni di dissesto.

Un altro fattore naturale di instabilità è costituito dal verificarsi sul bacino o su parte di esso di eventi meteorici di elevata intensità. Non va infatti dimenticata la primaria importanza che, nei processi idrologici ed erosivi, assume l'entità, l'intensità e la distribuzione degli afflussi meteorici. E' stato infatti osservato come si possono verificare situazioni nelle quali la natura dell'evento pluviometrico diviene predominante sulle caratteristiche del bacino nel determinare la risposta idrologica dello stesso. Esistono quindi dei valori soglia di precipitazione non prefissabili con precisione a priori, superati i quali si generano situazioni catastrofiche per le quali si può solo pensare a contenere i danni.

Nell'ambito di un bacino idrografico la morfologia, la geologia ed il clima risultano scarsamente modificabili da agenti esterni mentre la copertura forestale, e più in generale gli usi del suolo, costituiscono il risultato di un intenso e continuo modellamento ad opera dell'uomo. Ciò conferisce all'uso del suolo un interesse particolare; si tratta infatti di un fattore importante sul quale l'uomo può agire in tempi brevi provocando mutamenti anche drastici.

Gli usi del suolo nei riguardi della loro azione stabilizzatrice possono essere schematicamente suddivisi in “conservativi” e “non conservativi”. Gli usi del suolo “conservativi” (es. foresta, vegetazione arbustiva, vegetazione erbacea) consentono la formazione e il mantenimento di suoli dalle buone caratteristiche idrologiche e garantiscono un'adeguata protezione al terreno. Essi implicano, in genere, la presenza di una copertura vegetale permanente il cui livello di efficienza può essere valutato in termini di biomassa, densità e complessità strutturale. Gli usi “non conservativi” (es. coltivi, aree in dissesto, aree urbane) comportano in genere la denudazione dei suoli o l'impermeabilizzazione delle superfici. La copertura vegetale è del tutto assente o è presente in maniera saltuaria. Il grado di stabilità di queste forme d'uso del suolo è in genere legato alla messa in atto di interventi artificiali di ripristino e manutenzione. Tra i mutamenti d'uso del suolo non conservativi, assumono particolare interesse, quelli direttamente riconducibili all'attività antropica (dissodamenti, incendi, infrastrutture viarie, piste da sci, infrastrutture turistico-ricreative, ecc.). Essi si configurano, infatti, come interventi potenzialmente in grado di aumentare la vulnerabilità del territorio nei riguardi di piene e inondazioni, erosione, frane, veicolazione di sedimenti e di inquinanti. Il cambio, da un punto di vista dell'assetto idrogeologico del territorio è sempre negativo, tuttavia esso può risultare tollerabile, soprattutto se la trasformazione è programmata e regolata in modo da contrastare, almeno in parte, i processi degenerativi associati alla distruzione del complesso suolo-soprasuolo forestale.

La valutazione degli effetti dei mutamenti d'uso del suolo trova diretta applicazione nelle procedure di gestione del vincolo idrogeologico che fanno riferimento al R.D. n. 3267 del 1923.

2.1 Il vincolo idrogeologico

Il vincolo idrogeologico riguarda la quasi totalità del territorio a destinazione silvopastorale. La delimitazione delle aree vincolate non risponde ad una precisa valutazione dei livelli di pericolosità, bensì all'obiettivo più generale di "preservare il bosco come presidio di difesa idrogeologica". In tal senso si può affermare che il vincolo idrogeologico rappresenta tuttora l'unica forma generalizzata di difesa del suolo contemplata dal nostro ordinamento giuridico. Il vincolo idrogeologico stabilisce quindi una "*cornice conservativa*" entro la quale gestire i procedimenti di autorizzazione al cambio di coltura previsti dalla stessa legge forestale (Dalla Fontana, 1993).

Pur con i limiti e le rigidità che caratterizzano una normativa definita a livello nazionale nel lontano 1923 in una società rurale, è da rilevare come questa legge abbia costituito, in una situazione di oggettiva carenza normativa, un prezioso strumento per la tutela idrogeologica del territorio.

Le principali difficoltà nell'applicazione della legge sul vincolo derivano dal mutato contesto sociale e territoriale rispetto alla situazione nella quale la legge è stata emanata; negli intendimenti originari del legislatore, infatti, l'obiettivo era essenzialmente quello di preservare le aree a bosco da trasformazioni di coltura a scopo agrario. Da alcuni decenni è invece l'espansione urbana, e più in generale l'utilizzo a scopo turistico e ricreativo del territorio montano ad entrare in conflitto con le esigenze di conservazione del bosco imposte dal vincolo.

Dopo un primo periodo, in cui è prevalsa un'interpretazione letterale della norma tesa a circoscrivere l'obbligo del procedimento di autorizzazione al solo cambio di coltura a scopo agrario, a partire dagli anni settanta l'orientamento della giurisprudenza ha stabilito il principio che ogni mutamento di destinazione in terreni vincolati debba essere sottoposto alla procedura prevista dalla legge forestale.

L'estensione dell'applicazione del vincolo anche al caso di trasformazioni a scopo edificatorio appare quanto mai opportuna; non si può, infatti, dubitare del fatto che la trasformazione *bosco* → *area urbana* sia da considerarsi, sotto il profilo idrogeologico, anche più rischiosa di quella *bosco* → *superficie agraria*. Facendo anzi riferimento al concetto di rischio: si può ben dire che la trasformazione *bosco* → *area urbana* configura la situazione a più alto rischio, infatti, a fronte di un certo grado di "pericolosità" del territorio diviene massima la seconda componente del rischio, ovvero il danno che può conseguire in seguito al manifestarsi di un evento calamitoso.

Tuttavia, in questo nuovo contesto emerge con maggiore chiarezza il limite di un'impostazione del tutto passiva del procedimento autorizzativo. La richiesta del superamento del vincolo si configura spesso come l'ultimo ostacolo nell'ambito di un processo decisionale al quale l'amministrazione forestale non ha partecipato. Si creano quindi quelle situazioni contingenti nelle quali l'attenzione si concentra sul singolo intervento, mentre rimane poco spazio per una valutazione serena che tenga conto della situazione complessiva di uso del territorio.

Una moderna applicazione della normativa sul vincolo richiede uno sforzo innovativo di impostazione e di metodo i cui cardini sono riconducibili a due punti essenziali:

- le singole richieste di rimozione del vincolo vanno valutate con riferimento al contesto territoriale in cui sono collocate;
- per le aree più fragili è opportuno procedere ad una individuazione preventiva delle modalità di gestione del processo autorizzativo delimitando zone con diversi livelli di salvaguardia.

Anche con riferimento agli orientamenti tecnici acquisiti dalla normativa sopra citata non possono che essere valutate positivamente le esperienze volte ad individuare, *a priori*, le zone fragili nelle quali il vincolo non può essere superato. In tale contesto si colloca il presente contributo che intende fornire, a diverso livello di complessità, indicazioni concrete sulle tecniche e sulle procedure che possono essere utilizzate nelle varie fasi del processo decisionale. Preliminare a qualsiasi analisi è la costruzione di una banca dati georeferenziati completa e omogenea.

2.2 Descrizione dell'area di studio

Il lavoro fornisce l'analisi della fragilità territoriale per l'intera area montana della Regione Friuli Venezia Giulia. Il limite dell'area in esame è stato definito idrograficamente a partire dal Modello Numerico del Terreno (DTM) affiancato, per confronto, ai confini comunali.

3 STRUMENTI E PROCEDURE DI BASE

Nella pratica estimatoria è frequente il ricorso alla stima del valore complementare di un bene per differenza. Capita, infatti, che la presenza di un bene produca nel contesto in cui è inserito un aumento di valore che va ben oltre al valore intrinseco del bene stesso. Si può anche affermare, con ragionevole certezza, che il medesimo bene inserito in un diverso contesto produrrebbe un diverso aumento di valore. In questi casi al bene in oggetto viene assegnato un valore pari alla differenza tra il valore dello specifico contesto comprensivo del bene e il valore del contesto privo del bene. Per restare in un ambito forestale è noto che la stima analitica del valore di un bosco può essere complessa quando entrino in gioco fattori diversi dal mero valore del legname, in particolare legati alle caratteristiche protettive, ricreative, paesaggistiche, ecc. In questi casi il valore dei benefici del bosco, non esprimibile in termini analitici perché non legato ad un mercato, può essere derivato per complementarità, ovvero per differenza tra il valore del fondo con il bosco e quello del fondo ipoteticamente privato del soprassuolo. Il concetto, esteso a tutte le formazioni vegetali, viene qui ripreso considerando il valore dei soli effetti della vegetazione sulla regimazione dei deflussi e sulla stabilizzazione dei pendii rispetto ai franamenti superficiali di suolo. Tale valore non sarà espresso in termini monetari bensì tramite alcuni indicatori sintetici adimensionali.

3.1 Programmi di calcolo

L'uso dei software GIS (Geographic Information System) è ormai prassi consolidata nell'affrontare lo studio di ambienti geografici e sistemi naturali e ciò è dovuto alla possibilità di creare, organizzare e gestire gli strati informativi che interessano tali ambienti (CTRN, ortofoto, carte geologiche, carte tematiche ecc.).

In una metodologia che mira all'effettuare un'analisi della Fragilità territoriale tali strumenti arrivano ad assumere un'importanza cruciale data la quantità e la qualità dei dati necessari alla modellazione.

La trattazione analitica dell'informazione territoriale esige un software GIS in grado di gestire i dati sia in formato vettoriale che in formato raster (GRID) che consiste in griglie di celle quadrate omogenee di dimensioni finite.

Nello sviluppo della ricerca si è utilizzato il noto pacchetto Esri-Arc/Info ma in realtà qualsiasi software commerciale che manipoli anche dati raster può essere utilizzato per la gestione dell'archivio di informazioni spaziali, per la visualizzazione delle mappe e per il trattamento dell'informazione di base.

Le elaborazioni di grid dal contenuto più spiccatamente idrologico sono state effettuate con il pacchetto "HydroGrid" (Cazorzi, 2002), liberamente scaricabile in rete, che consente un facile scambio di dati raster con Arc/Info.

Tutte le elaborazioni relative alla produzione degli indicatori di fragilità territoriale sono state eseguite utilizzando il pacchetto "Fragile!" (Cazorzi, Dalla Fontana, 2006), messo a punto specificamente per il presente lavoro, ma che può trovare impiego anche in modo generalizzato.

L'approfondimento relativo alla modellazione della stabilità dei versanti effettuata per il bacino dell'Alto But è stato sviluppato servendosi del software SINMAP, sviluppato presso la Utah State University (Pack, Tarboton et al., 1998); tale programma è implementabile direttamente come estensione di Arc/Info ed opera come un modulo all'interno di esso.

3.2 Le informazioni di base per la montagna friulana

Negli ultimi anni si è avuto uno sviluppo notevole delle basi di dati, della cartografia e di tutti gli strati informativi che possono rivelarsi utili ad un'analisi del dissesto su scala di bacino. La coerenza, l'affidabilità e la precisione di questa base informativa costituiscono un aspetto fondamentale per ottenere risultati corretti dallo studio; per questo motivo è indispensabile effettuare verifiche "sul campo" di quanto ipotizzato con gli strumenti della modellazione numerica. La base di dati di partenza, costituita da vari livelli informativi, è costituita sia da documentazione ufficiale della Regione Friuli Venezia Giulia sia da risultati di altri studi. Ciascun livello informativo è riconducibile ad una struttura di tipo raster o vettoriale.

Informazioni reperite in formato *raster o grid*

- Modello digitale del terreno (DTM) 40x40 m
- Mappe dei parametri della probabilità pluviometrica (LSPP)
- Ortofoto IT2003
- Carta Tecnica Regionale 1: 5000 e 1:10.000

Informazioni reperite in formato *vettoriale*.

- Carta dei tipi forestali (FVG)
- Carta Tecnica Regionale Numerica 1:5000
- Cartografia dei dissesti I.F.F.I. – APAT (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia)
- Cartografia delle perimetrazioni P.A.I. - ADB (Piano Assetto Idrogeologico del Tagliamento)
- S.I.T.I. - FVG (Sistema Informativo Territoriale dell'Idraulica)
- Geodatabase della mappatura del vincolo idrogeologico
- Carta Natura APAT
- Carta Geolitologica 1:150.000

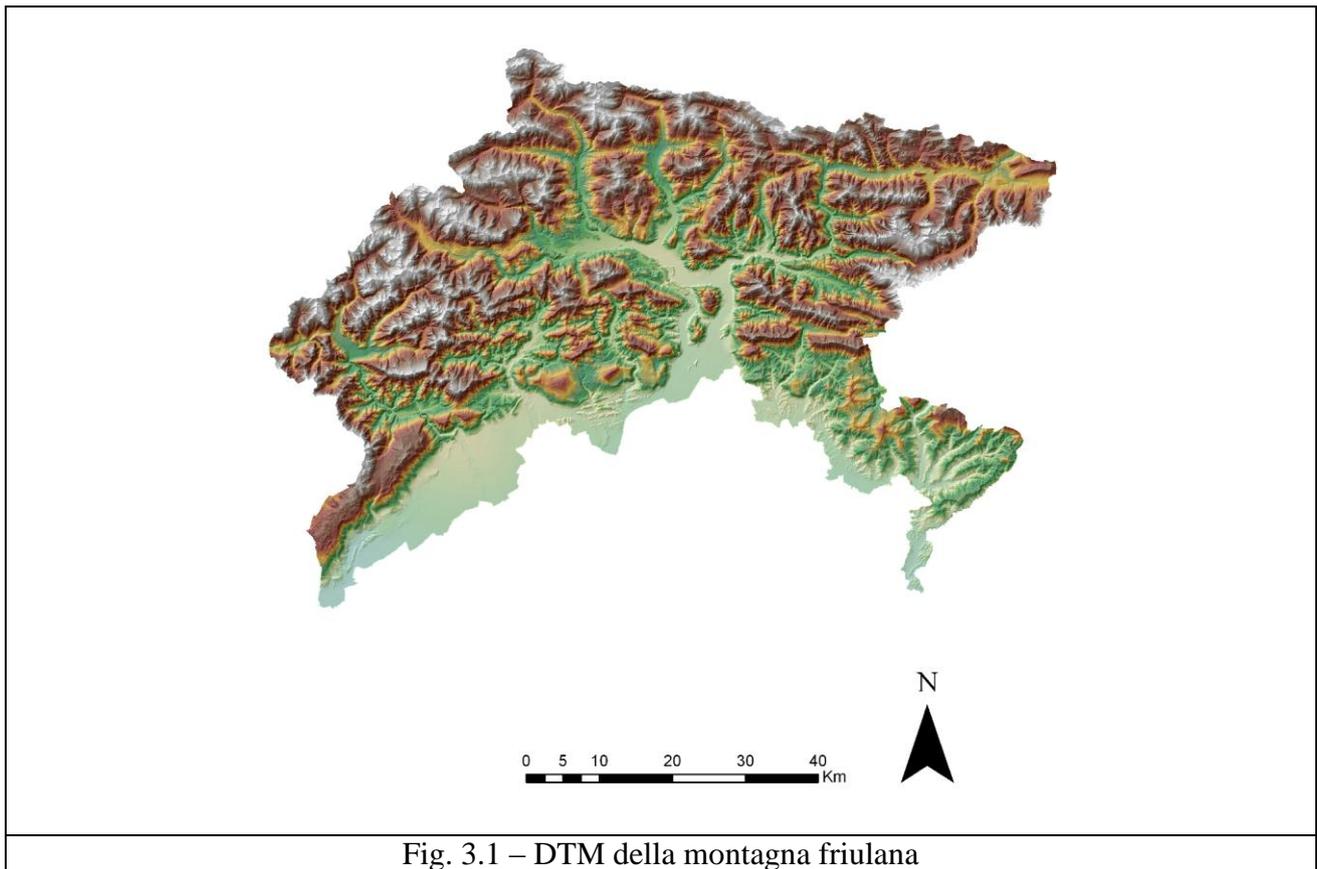
A partire dalle informazioni disponibili sono stati generati altri livelli informativi che comunque rientrano nella categoria delle informazioni di base:

- Carte di uso del suolo
- Gruppi idrologici del suolo
- Suddivisione in sottobacini

A questo proposito si precisa che è stata adottata la suddivisione in sottobacini fornita dagli uffici regionali (SITI) che tuttavia, allo stato attuale, risulta essere in corso di revisione. La delimitazione dei sottobacini è stata, in alcuni casi, modificata per necessità di congruenza con il quadro generale del lavoro.

3.2.1 Il modello digitale del terreno – DTM

La base per qualsiasi studio sul dissesto è la morfologia del territorio dell'area in esame; il dato fondamentale è quindi quello del modello digitale delle elevazioni (*Digital Terrain Model*) che costituisce anche il punto di partenza per tutte le analisi idrologiche successive. Per l'intera regione Friuli Venezia Giulia è disponibile un DTM in formato grid con risoluzione 40 x 40 metri. Il DTM è stato ritagliato per comprendere la sola area montana, come mostrato in fig.3.1.



Nella fase di generazione di un DTM possono essere prodotte alcune depressioni locali, ovvero pixel, o gruppi di pixel, con quota inferiore a tutti quelli circostanti. L'origine di tali depressioni è a volte naturale (es. laghi e doline) più spesso artificiosa, dovuta alle approssimazioni statistiche degli algoritmi di calcolo. In ogni caso le depressioni, correntemente definite "pit", impediscono agli algoritmi che calcolano la propagazione del deflusso di identificare un percorso univoco fino alla sezione di chiusura. Per ovviare a quest'inconveniente si è effettuata, come di norma, un'operazione di filtratura del DTM per eliminare le depressioni (depittaggio).

L'area di studio, ritagliata sui confini dei comuni con territorio montuoso, presenta una superficie di circa 4200 km² (oltre la metà dell'intero territorio regionale) ed assume quote altimetriche che vanno dai 20 m s.l.m. della parte pianeggiante ai 2746 delle vette più alte (come rappresentate sul DTM 40x40m).

I valori di pendenza riscontrati (per quanto poco significativi a livello generale) vanno da un minimo di 0% ad un massimo del 456 %; la pendenza media si attesta sul 53%.

L'analisi qui effettuata interessa il territorio di 109 comuni, da Erto e Casso a Dolegna del Collio, da Forni Avoltri ad Osoppo.

3.2.2 Pericolosità climatica (LSPP)

La carta della pericolosità climatica è rappresentata dalla regionalizzazione delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica. Tale elaborazione è stata condotta applicando la regionalizzazione della legge del valore estremo di tipo generalizzato - GEV - nell'ipotesi di invarianza di scala. (Borga et al., 2005). Secondo tale approccio la variabilità spaziale delle LSPP è condensata in tre mappe che descrivono la variabilità spaziale dei parametri a_1 , n , e CV in base ai quali per ciascun punto del territorio regionale è ricavabile la LSPP per assegnato tempo di ritorno. Al fine di esemplificare in

modo più immediato la variabilità del regime delle piogge sul territorio regionale sono proposte nella banca dati le *grid* relative alle precipitazioni con tempo di ritorno di 100 anni per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Le stesse sono riportate nelle figure 3.2 (a, b, c, d, e).

Come si nota dalle immagini la regione montuosa presenta una fascia centrale, un arco che va dai Musi alla Val Cellina, con un livello di pericolosità climatica più accentuato. E' del resto ben noto che l'alta valle del Torre è l'area più piovosa d'Italia con una precipitazione media annua, per le stazioni di Musi e Ucea, superiore a 3000 mm, e massimi annui registrati superiori a 6000 mm. Ad essa è seconda in regione la val Cellina, con le stazioni di Barcis e del Prescudin in cui non è insolita una precipitazione annua superiore a 3000 mm. E' evidente, dalle elaborazioni effettuate, che il clima sull'area è decisamente aggressivo anche con riferimento agli eventi di massima intensità.

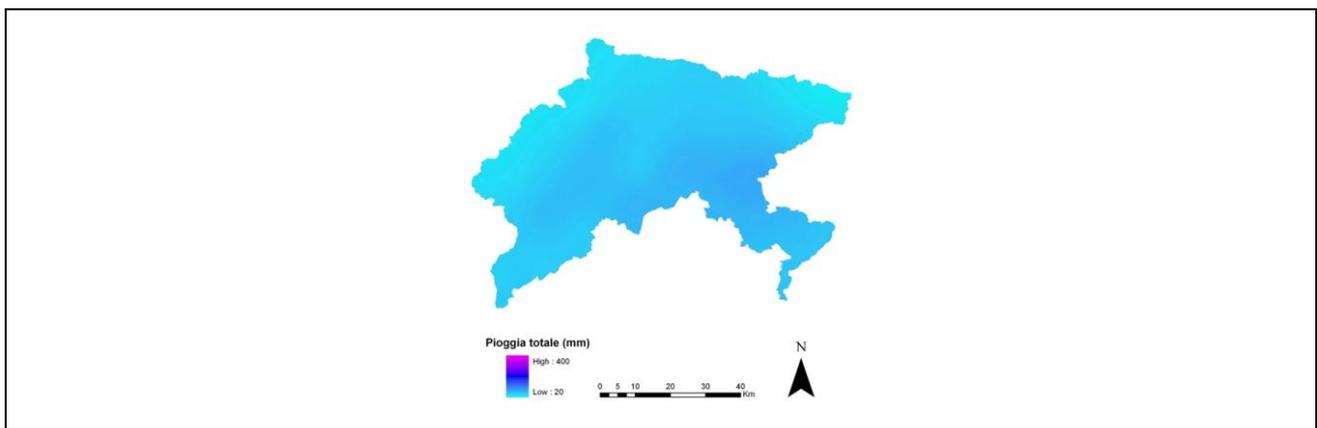


Fig. 3.2 a – Precipitazione totale TR100, durata 1 ora

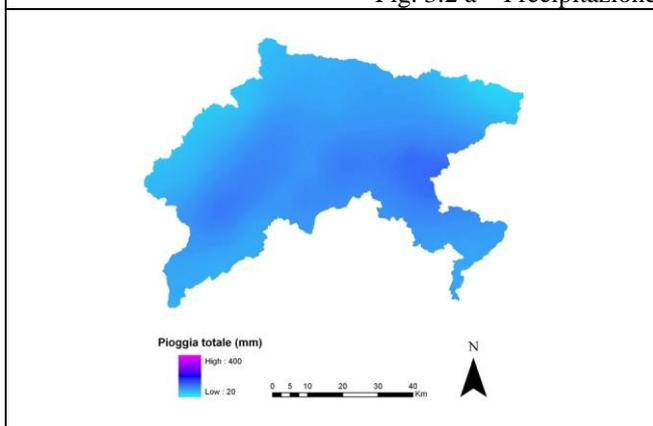


Fig. 3.2 b – Precipitazione totale TR100, durata 3 ore

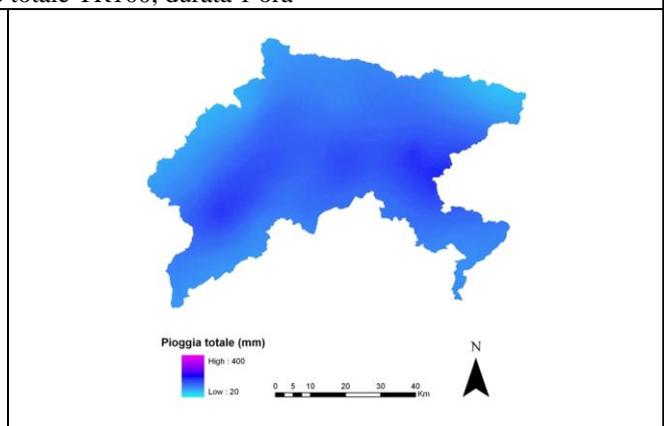


Fig. 3.2 c – Precipitazione totale TR100, durata 6 ore

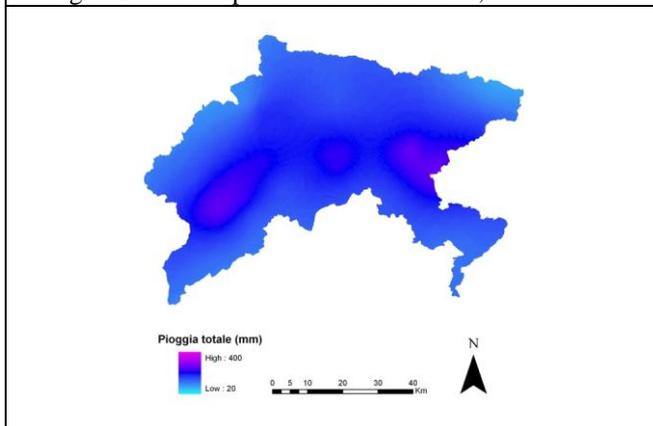


Fig. 3.2 d – Precipitazione totale TR100, durata 12 ore

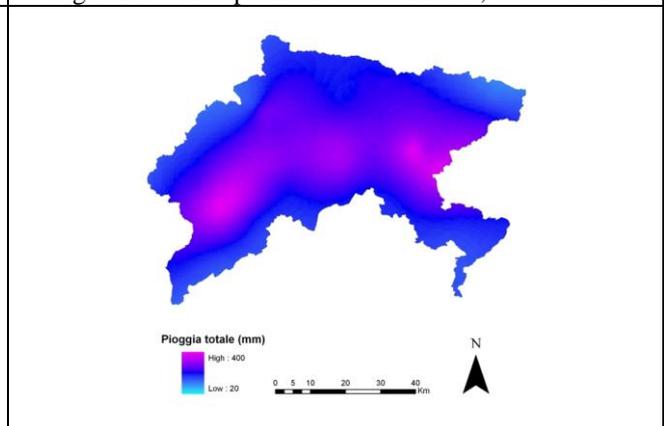


Fig. 3.2 e – Precipitazione totale TR100, durata 24 ore

3.2.3 Ortofoto

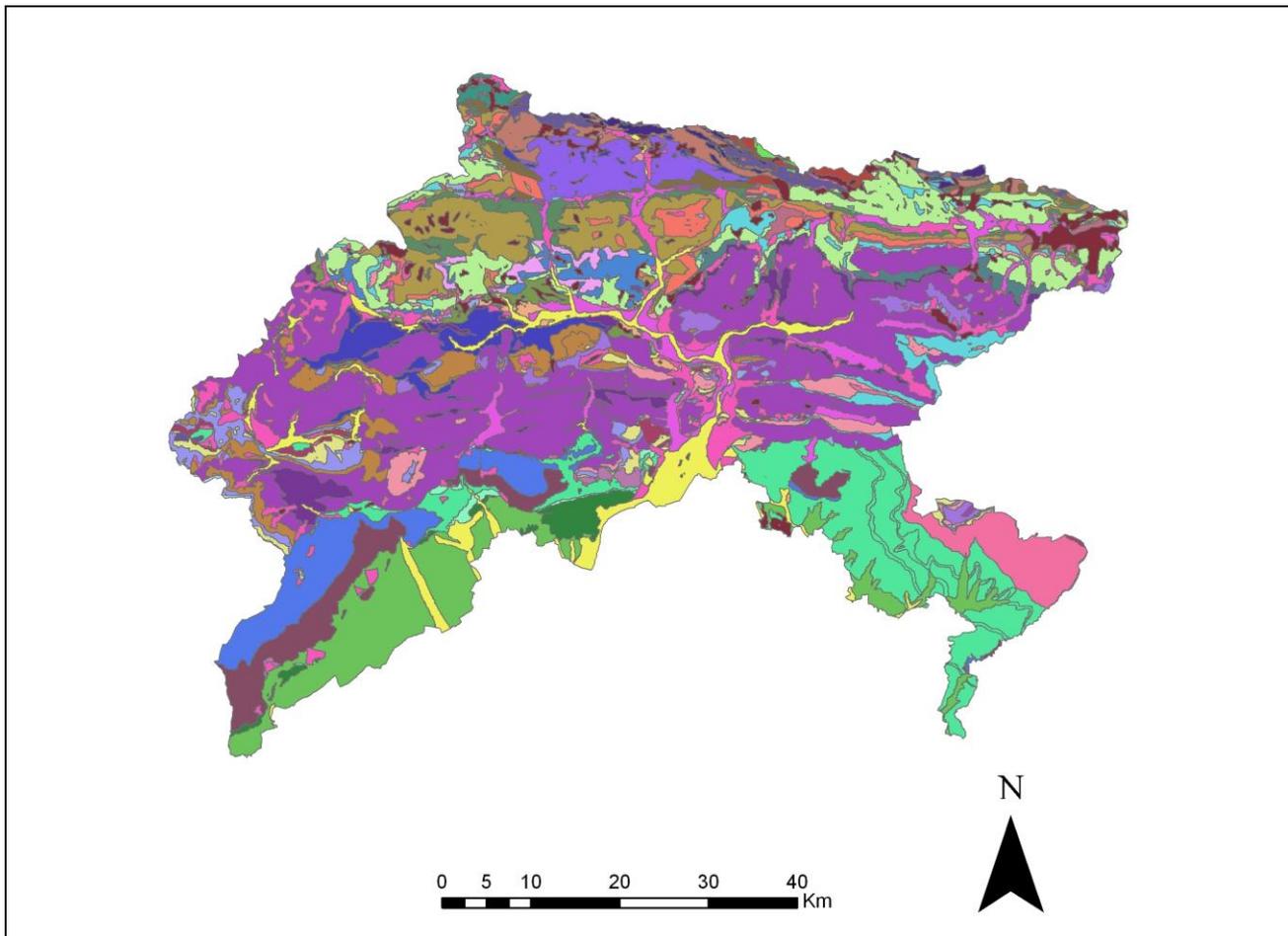
Uno degli strati informativi di base più utilizzati nelle indagini a livello territoriale è quello delle ortofoto; esse consistono in riprese aeree (edizione di riferimento 2003) geometricamente corrette, e georiferite in modo da conferire alle immagini scala uniforme.

Il supporto delle ortofoto è stato utilizzato soprattutto per la fase di completamento della carta dei Tipi Forestali, in cui si è operato tramite fotointerpretazione e verifica in campo della vegetazione. Va precisato che, al di là delle aggiunte nelle aree non coperte, non sono state apportate modifiche alla carta

3.2.4 Carta Geolitologica

Per la definizione della stabilità dei litotipi e per la derivazione dei gruppi idrologici di permeabilità del suolo, secondo il metodo del *Soil Conservation Service* è stata utilizzata la “Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia” redatta da G.B. Carulli (2006) in scala 1:150.000, rilasciata dalla Regione nel marzo 2007 (fig. 3.3).

L'interpretazione in chiave di permeabilità del litotipo della carta geolitologica ha consentito di individuare quattro gruppi idrologici: A (permeabilità alta), B (permeabilità medio-alta), C (permeabilità medio-bassa) e D (permeabilità bassa). Nella conversione è stata utilizzata la tabella 3.I, ottenuta combinando informazioni reperite in letteratura, integrate sulla base di considerazioni sulla natura dei tipi geolitologici locali che hanno permesso di redigere la carta mostrata in figura 3.4.



Tipi litologici

- <all other values>
- Alternanze pelitico-arenacee ben stratificate con calciruditi e calcareniti,altern. di areniti e/o siltiti con marme calcareo-silicee a clasti di quarzo e selce
- Aree di bonifica e di riporto artificiale
- Arenarie violette e argille siltose,dolomie e calc. dolomitici ben stratificati
- Areniti feldspatiche,alternate a peliti grigie e verdi,argilliti rosse e verdi anchimetamorfiche inglobanti le vulcaniti
- Areniti quarzose e peliti torbiditiche,brecce e conglomerati con keratofori
- Argilliti e graptoliti e rare radiolariti,marme calcaree,calc. micritici nodulari e ferruginosi ad Orthoceratidi,rare biospatti con fossili
- Biocalcareni e biomicriti algali a forameriferi altern. a peliti marmose,peliti grigie e rosse altern. ad areniti quarzose micacee,calc. e calc. dolomitici grigio-chiaro e rosati
- Breccie calcaree,megabreccie e conglomerati,calcareniti,siltiti e arenarie,locali liv. conglomeratici a ciottoli,areniti glauconitiche,altern. di areniti glauc. e siltiti arenacee,peliti con coralli e areniti glauc.
- Calcarei bioclastici massicciosi con intercal. di calc. micritici,breccie calcaree massicce
- Calcarei massicciosi di scogliera, con tasche bauxitiche
- Calcarei massicciosi grigio chiari,calc. algali con crinoidi,stromatopori,tetracoralli e tabulati
- Calcarei micritici alternati a calcari stromatolitici spesso dolomitizzati,organizzati in cicli peritidali,calc. oolitici e calc. a oncoidi
- Calcarei micritici alternati a calcari stromatolitici,organizzati in cicli peritidali
- Calcarei micritici e calcareniti, con selce,calc. nodulari con selce,calc. micritici a frattura conoidale con selce,calciruditi bioclastiche,calcareniti grossolane,calc. micritici con selce
- Calcarei micritici, livelli mamosi,frequenti slump,calc. e dolomie,con selce e marme,breccie dolom. alla base,calc. micritici e mamosi nodulari con selce ed interstrati di peliti
- Calcarei molto fossiliferi,brecciole carbonatiche e marme debolmente arenacee
- Calcarei oolitici,calc. grigi intercal. a marme,dolomie e calc. dolomitici giallo-ocra,micriti grigie e nocciola intercal. a peliti rosse,calc. micritici fini, peliti e peliti marmose,areniti e peliti,calc. mic. con pe
- Calcarei oolitico-bioclastici,altern. a calc. micritici con rari noduli di selce
- Calcarei rossi ad Ammoniti,calc. mamosi,argilliti e tuftiti,calc. nodulari selciferi,arenarie e siltiti tufacee,dep. terrigeno-tuftitici e piroclastici,calcareniti e calciruditi,con peliti marmose
- Calcarei scuri altern. a marme,con rare areniti tuftitiche,alla base rare lenti di carbone
- Calcarei scuri con bioclasti da forameriferi ed altri,intercalati da marme
- Calcarei stratificati di aspetto porcellanoso,con strutture di emersione,breccie e argille residuali
- Calcisiltiti con banchi di breccia ed areniti,calc. con breccia e calcilutiti,altern. arenaceo-pelitiche,con spessi orizzonti di breccia,peliti con intercal. di arenarie,arenarie con orizzonti calciclastici
- Calcisiltiti,calcareniti e micriti,biomicriti nodulari con interstrati mamosi,calcareniti e calcisiltiti,calc. micritici grigi,rose,nocciola
- Conglomerati alluvionali poligenici ed eterometrici ad abbondante matrice e cemento carbonatico
- Conglomerati polimictici,altern. ad areniti litiche e peliti grigio-giallastre,areniti quarzoso-micacee e peliti altern. a biocalc. ad alghe e fusuline,congl. quarzosi
- Depositi morenici del settore montano e dell'anfiteatro morenico del Tagliamento
- Detriti di falda antichi
- Detriti di falda recenti ed attuali
- Dolomia e calc. dolomitici mal stratificati,dolomia e calc. dolom. ben stratificati,calc. dolom. e dolomitici laminari brecciati
- Dolomitici e doloreneniti fittamente stratificate,selciferi alla base,con livelli pelitici bituminosi
- Dolomie cristalline e dolomie stromatolitiche,localmente intercal. di dolomie laminare ricche in sostanza organica
- Dolomie e calc. ricchi di fossili,calc. e marme,calc. dolomitici,dolomie grigie
- Dolomie e calcari dolomitici
- Dolomie grigie, da massicce a stratificate,con intercalazioni marmose
- Dolomie marmose,dolomie vacuolari,breccie dolomitiche,gessi saccaroidi con impurità argillose
- Gessi saccaroidi biancastri altern. a dolomie nere brecciate
- Marme e calc. mamosi a frattura scagliosa,locale presenza di breccie e olistoliti carbonatici,alla base breccie calcaree con clasti di calc.
- Marme siltose,altern. di areniti e siltiti,conglomerati,siltiti ed arenarie
- Metareniti e metapeliti grigio-verdi,con intercal. di metaruditi,calc. massicciosi e metacalc. dolom.,marmi,metacalc. nodulari,metavulcaniti
- Ruditi rossastre con clasti carbonatici o quarzoso-litici,areniti fini altern. a peliti rosse con calciche
- Ruditi terrigeni,calc. nodulari alternati a marme,biomicriti,marme,siltiti,calc. mamosi nodulari,marme,siltiti,calc. micritici con intercal. tuftitiche,altern. marme,calc. arenacee,peliti,areniti torbiditiche
- Sedimenti alluvionali del settore montano
- Sedimenti alluvionali del settore montano, della pianura e litoranei
- Sedimenti fluvio-glaciali ed alluvionali dell'alta pianura friulana
- Sedimenti palustri e lacustri, talora torbosi
- Siltiti ed arenarie quarzose,intercalaz. di conglom. e calcareniti,calc. micritici nodulari

Fig. 3.3 – Carta dei litotipi e legenda

Tab. 3.I – Associazione tra litotipi e Gruppi Idrologici

GRUPPO “A”	Tufi incoerenti, pozzolane, ceneri, scorie, lapilli (si presentano in strati e banchi, dune, depositi sabbiosi di origine eolica a ridosso di spiagge);
	Rocce calcaree (calcari dolomitici, c. marnosi, travertini, calcareniti, breccie calcaree, calcari organogeni) fossilifere, organogene, molto fratturate, gessi salgemma;
	Limi, sabbie, ghiaie, ciottoli, (formano depositi alluvionali di origine fluviale o lacustre, tali materiali formano le pianure alluvionali, i coni di deiezione, i terrazzi fluviali);
	Falde e coni di detrito, macerati, composti da cumuli di frammenti rocciosi, di solito angolosi, talora più o meno cementati (breccie di pendio), si trovano ai piedi dei versanti montuosi ripidi e presentano tracce più o meno evidenti di stratificazione.
GRUPPO “B”	Morene ed in generale depositi glaciali;
	Coltri eluviali e colluviali – costituite prevalentemente da sabbie e limi con minori quantità di ghiaie, variamente mescolati fra loro;
	Conglomerati, breccie, sabbioni e sabbie cementate (ciottoli, ghiaie, sabbie e limo a vari gradi di cementazione);
	Rocce tipo molto fratturate
GRUPPO “C”	Rocce sedimentarie compatte – dolomie, marne, arenarie, tufi cementati, pomici, alternanza di argille e arenarie, di argille e calcari;
	Rocce dolomitiche compatte;
	Rocce calcaree compatte;
	Rocce tipo fratturate;
GRUPPO “D”	Rocce eruttive (o magmatiche) intrusive – graniti, sieniti dioriti, gabbri;
	Rocce eruttive (o magmatiche) effusive – porfidi trachiti, lipariti, fonoliti, porfiriti, andesiti, basalti, tefriti, leucititi;
	Rocce argillose – argillocisti, argille varie, depositi argillosi di origine lacustre, banchi argillosi di origine fluviale intercalati spesso nei sedimenti alluvionali, depositi eluviali (ferretto, terra rossa) e colluviali argillosi che possono coprire sottostanti rocce permeabili rendendo così impermeabile il terreno;
	Rocce metamorfiche – gneiss, micascisti, quarziti, filladi, scisti anfibolici, talcscisti, e scisti di natura silicea;

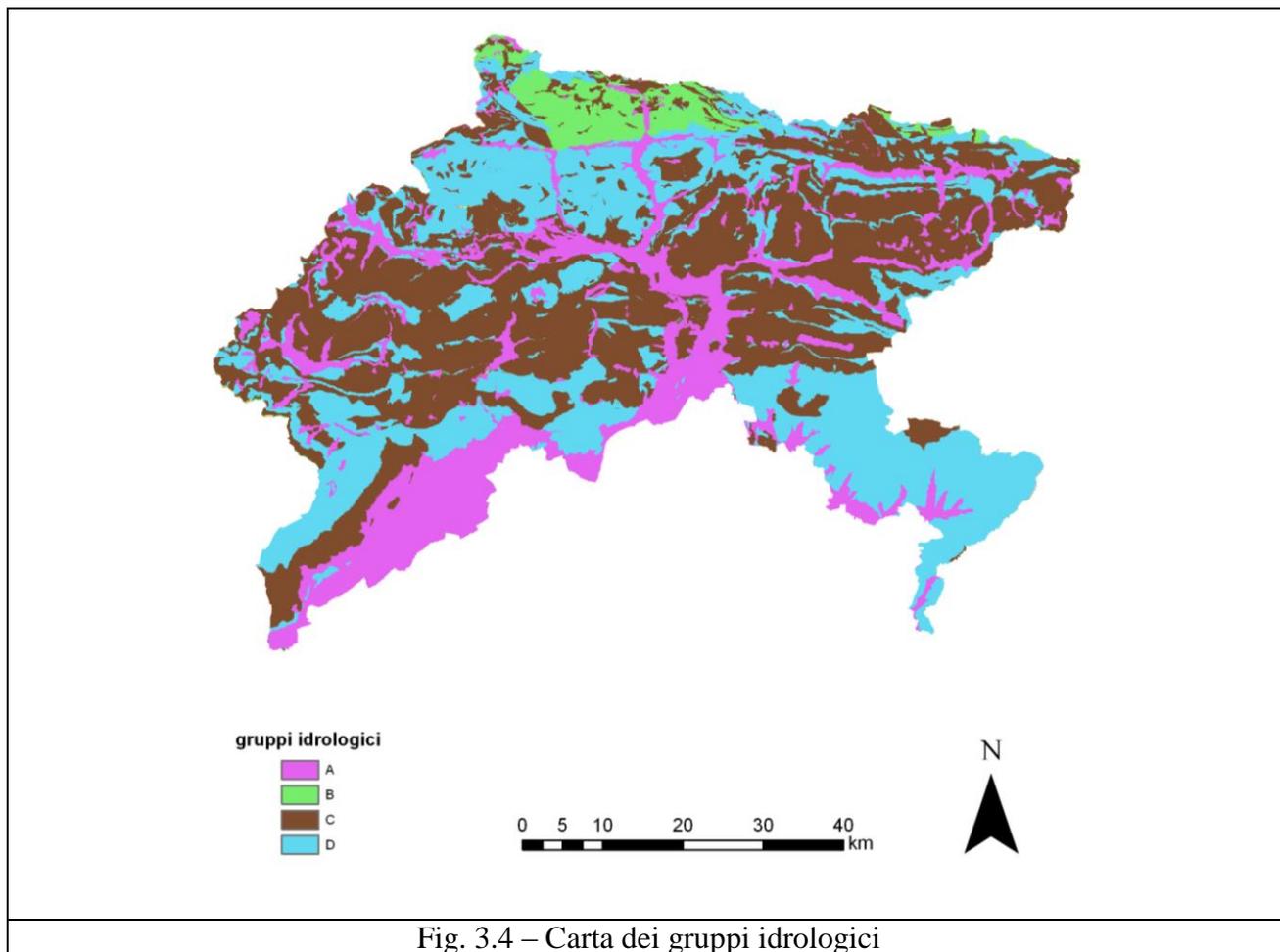


Fig. 3.4 – Carta dei gruppi idrologici

3.2.5 Tematismi riferiti all'uso del suolo

Al fine di estendere la procedura per l'analisi della fragilità territoriale all'intera area montana della Regione si è reso necessario il reperimento di uno strato informativo riferito all'uso del suolo che fosse completo ed il più possibile aggiornato.

Il DISA ha quindi acquisito la Carta della Natura (1:50000) prodotta dall'APAT nel 2004 come tematismo adatto a fornire le categorie di uso del suolo su vasta scala.

Tale strumento cartografico è stato tuttavia sviluppato con finalità prettamente ecologiche, suddividendo la copertura in base agli habitat che essa crea ed alle associazioni vegetali principali che caratterizzano una determinata zona.

Per questi motivi si è ritenuto opportuno operare una riclassificazione delle categorie al fine di renderle confrontabili con l'uso del suolo ottenuto dalla rielaborazione della carta dei Tipi Forestali.

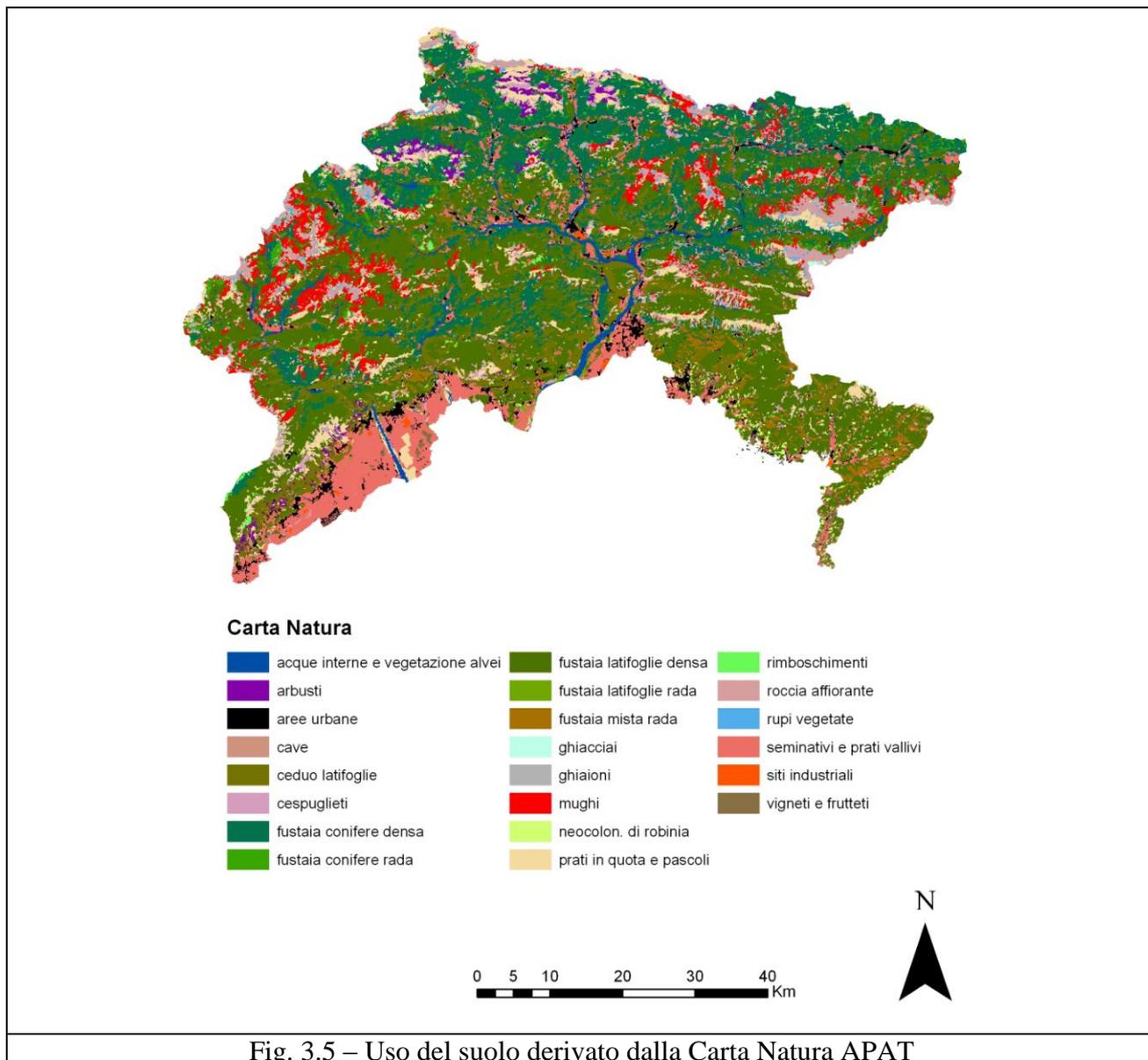


Fig. 3.5 – Uso del suolo derivato dalla Carta Natura APAT

4 INDICATORI DI DERIVAZIONE MORFOMETRICA

4.1 Pendenza

Lo studio della fragilità territoriale non può prescindere da un'analisi delle pendenze dell'area in esame; è infatti noto come la pendenza sia un parametro critico nell'innescare fenomeni franosi.

Il calcolo della pendenza effettuato a partire dal DTM non è univoco, infatti la letteratura propone numerose alternative che possono condurre a risultati anche significativamente diversi. Nel caso in questione è stato utilizzato l'algoritmo di Horn (1981). Il valore della pendenza assegnato a ciascun pixel dipende anche dalle dimensioni del pixel. Infatti se il pixel è piccolo riesce a rappresentare, con poche mediazioni, porzioni di territorio ad elevata pendenza. Al contrario pixel più grandi conducono inevitabilmente ad una mediazione tra valori elevati e valori più bassi.

I valori di pendenza per il Friuli montano, ricavati dal DTM 40x40, sono compresi tra valori nulli che indicano aree pianeggianti e valori che superano il 450% in corrispondenza delle pareti rocciose. Il valore medio della pendenza si attesta sul 53 %.

Una maggiore risoluzione (ossia una minore dimensione delle celle) permetterebbe di identificare un numero più elevato di "salti" di pendenza, con un conseguente aumento del valore massimo della stessa. La differenza, peraltro prevedibile anche dal punto di vista teorico, tra i due risultati rende l'informazione non utilizzabile in termini assoluti. Essa conserva tuttavia, nell'ambito di una stessa mappa, un forte valore relativo. Va da sé che una pendenza media del 53% alla risoluzione di 40 m rappresenta un valore piuttosto elevato, che rende il territorio assolutamente meritevole di attenzione dal punto di vista della stabilità, o meglio dell'instabilità, dei pendii.

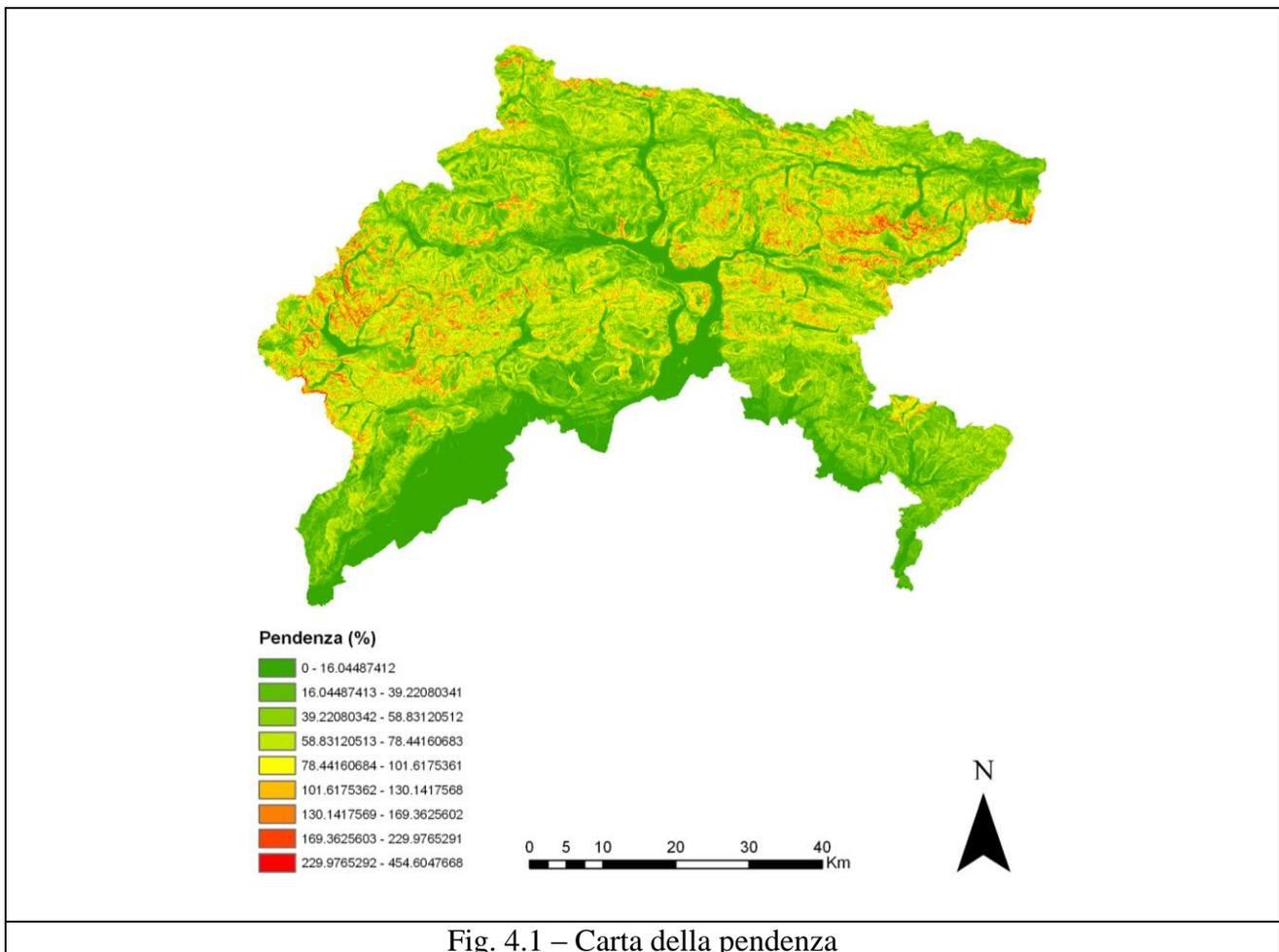


Fig. 4.1 – Carta della pendenza

4.2 Direzioni di deflusso e Area Drenata

Le direzioni di deflusso sono calcolate ipotizzando che ciascuna cella contribuisca in direzione delle celle contermini che presentano un gradiente topografico negativo. Le alternative proposte dalla letteratura tecnica (Cazorzi, 2002; Dalla Fontana, 2005) possono condurre a risultati significativamente diversi. Le procedure utilizzate nel presente lavoro fanno riferimento al classico metodo “*single flow*” (D8) e al metodo noto come “*multiple flow*” (MF).

Come per altri strati derivati la generazione dei file può essere effettuata da ciascuno dei programmi selezionati per il presente lavoro; anche in questo caso si è deciso di mantenere l’uso di HyGrid2k6 e Fragile! tralasciando la generazione delle mappe di deflusso e area drenata di ArcGis. Tra di essi solo l’algoritmo D8, pur non offrendo la rappresentazione più realistica, garantisce una univocità dei percorsi fino alla sezione di chiusura e quindi la possibilità di delimitare i sottobacini. Nel modello D8 la direzione di deflusso (angolo azimutale rispetto al Nord) è attribuita alla direzione di massimo gradiente topografico negativo, scelta tra le otto possibili a partire dal centro della cella in direzione dei vertici e ortogonalmente ai lati. L’algoritmo ha il pregio di individuare in modo univoco la connessione tra le celle che compongono la grid. L’individuazione della direzione di deflusso consente di assegnare l’area della cella in esame alla cella collegata a valle generando

grid dell’area drenata. Una volta fissata un’area di soglia rimane univocamente identificato il reticolo idrografico. L’algoritmo MF viene utilizzato al solo fine del calcolo degli indicatori di potenza locale della corrente (SPI, A-SPI). Il modello MF considera tutte le direzioni con gradiente topografico negativo tra le otto possibili a partire dal centro della cella in direzione dei vertici e ortogonalmente ai lati e assegna a ciascuna direzione un contributo proporzionale all’entità del gradiente. Il risultato è una migliore rappresentazione dei processi “dispersivi” sul versante; l’inconveniente è quello di non consentire una univoca identificazione della connessione tra le celle e quindi l’impossibilità di individuare in modo univoco le celle di reticolo. Le grid di area drenata che

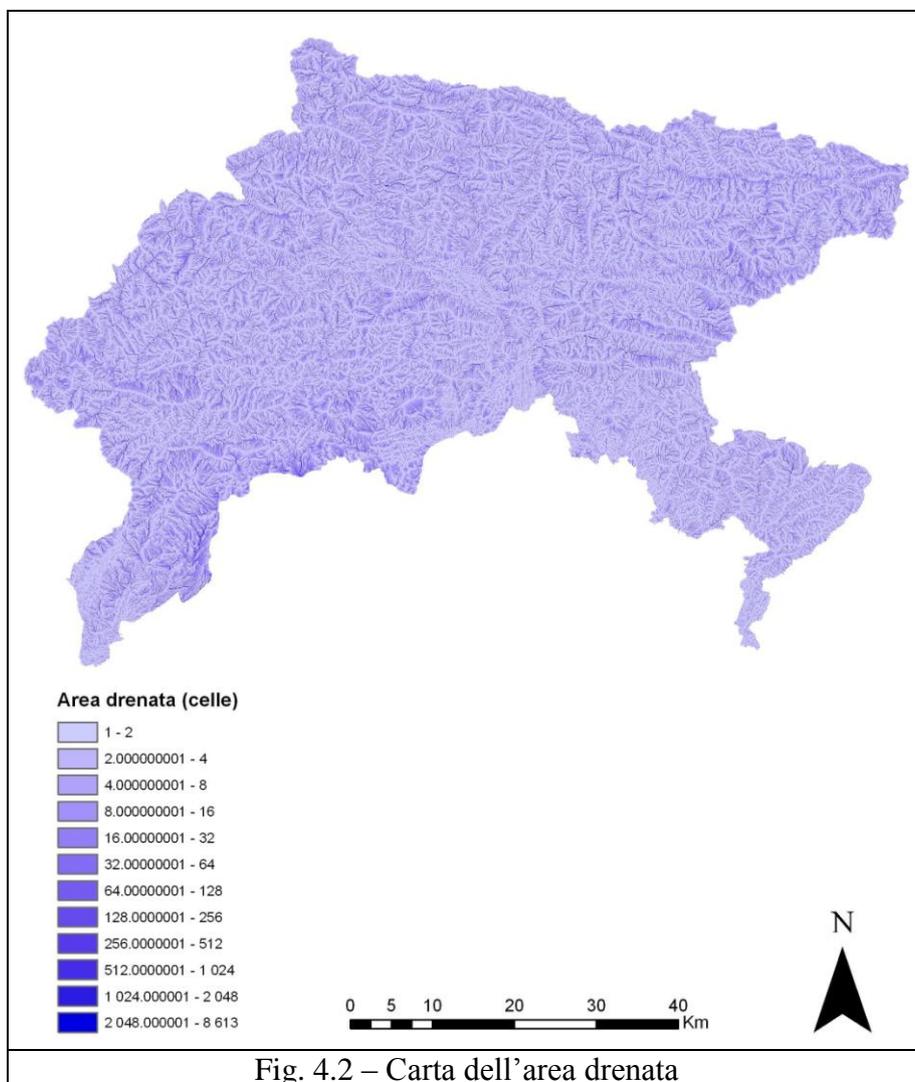


Fig. 4.2 – Carta dell’area drenata

vengono create hanno valori che variano da uno per le celle sorgente al numero totale delle celle del bacino per la sezione di chiusura. È da notare che scegliendo come algoritmo “Multiple Flow” si possono ottenere anche valori razionali. Il programma genera, inoltre, una grid della distanza

idrografica che rappresenta la lunghezza del percorso (in numero di pixel) che il deflusso superficiale deve compiere per passare da ciascun pixel alla sezione di chiusura.

In figura 4.2 si può osservare una mappatura delle direzioni di deflusso calcolate con l'algoritmo D8 per l'intera area montana della Regione Friuli Venezia Giulia.

4.3 Suddivisione in Zone o Sottobacini

I vari indicatori proposti nel presente lavoro possono essere mediati su zone definite a piacere sulla base di limiti amministrativi o di altra natura. La suddivisione più appropriata in relazione agli scopi dell'analisi è senz'altro quella in unità idrografiche. I sottobacini ai quali riferire le varie analisi possono essere ricavati in modo automatico dal DTM. L'operazione è del tutto arbitraria e non vi sono limiti tecnici al numero di sottobacini che si possono considerare. E' in ogni caso possibile fare riferimento a suddivisioni di tipo ufficiale come quella in uso presso gli Uffici Regionali. Per il presente lavoro si è scelta questa seconda opzione, adattando alle esigenze della modellazione il tematismo S.I.T.I. dei bacini idrografici della Regione.

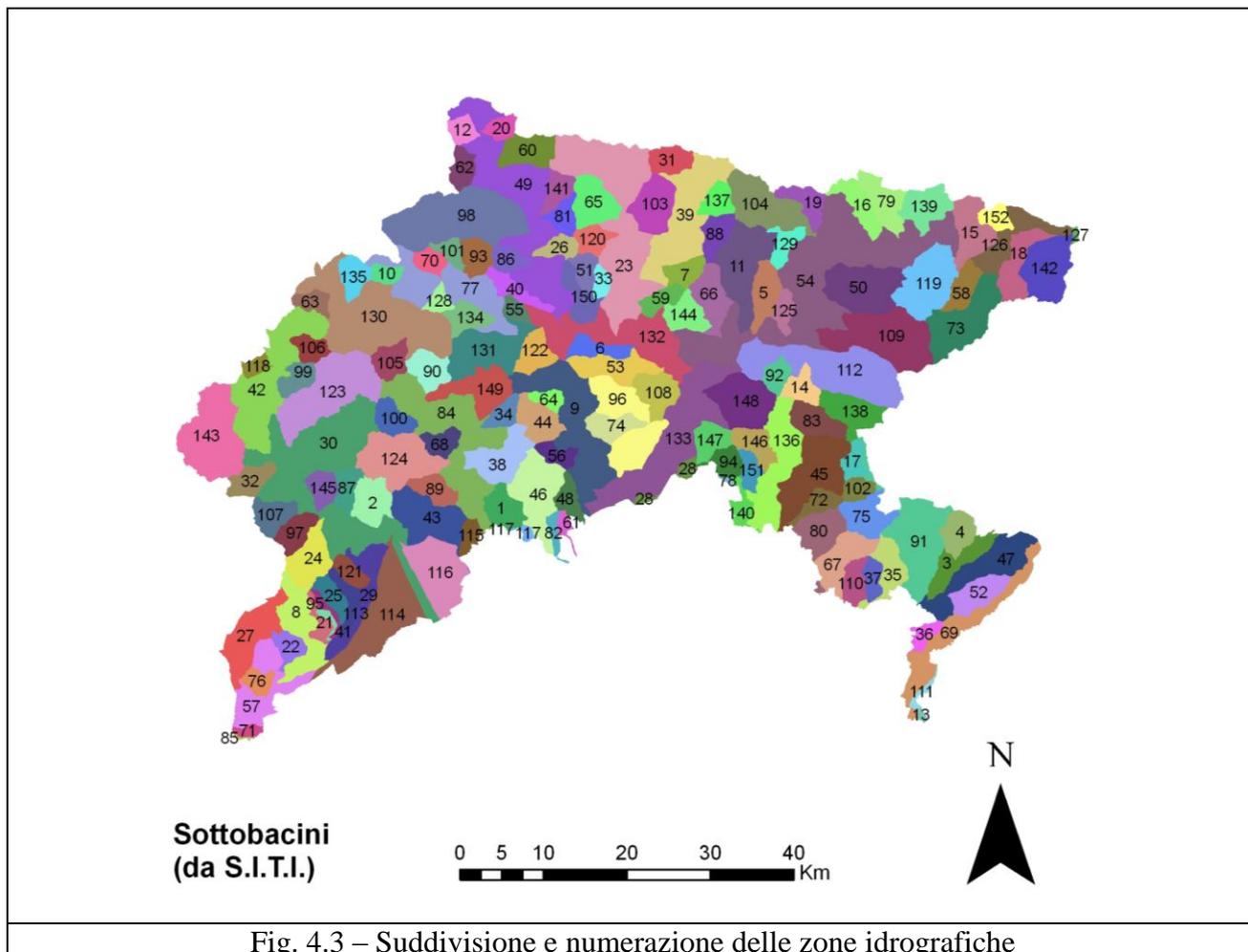


Fig. 4.3 – Suddivisione e numerazione delle zone idrografiche

Ad ognuno dei sottobacini è stato assegnato un codice numerico ed una denominazione riferita all'asta fluviale principale al suo interno. In tabella 4.I viene mostrata la corrispondenza tra il codice la denominazione delle zone idrografiche per consentirne l'identificazione sulla cartografia.

Tab. 4. I – Zone idrografiche

RAMO PRINCIPALE	COD.	RAMO PRINCIPALE	COD.	RAMO PRINCIPALE	COD.
agar	1	dongieaga	51	piellinis	101
alba	2	erbezzo	52	podiamo	102
alberone	3	faeit	53	pontaiba	103
alberone - zaverian	4	fella	54	pontebbana	104
alpa	5	fluvigna	55	poschiedea	105
ambiesta	6	foce	56	postegae	106
ambruseit	7	fontanagal	57	prescudin	107
artugna	8	freddo	58	pusala	108
arzino	9	frondizzon	59	raccolana	109
auempoch	10	fulin	60	raschiacco	110
aupa	11	gerchia	61	recca	111
avanza	12	geu	62	resia	112
barbana	13	giaf	63	riduan	113
barman	14	giaveada	64	roggia brentella	114
bartolo	15	gladegna	65	roggia di colle ognese	115
bianco	16	glagn_	66	roggia di vivaro	116
bianco - natisone	17	griv_	67	ruogo	117
bianco - slizza	18	inglagna	68	s. Maria	118
bombaso	19	judrio	69	saisera	119
bordaglia	20	kortol	70	saustri	120
bornass	21	la rosta	71	scodellin	121
brosa	22	lagna	72	seazza	122
but	23	lago - slizza	73	settimana	123
caltea	24	leale	74	silisia	124
canale framoso	25	legrada	75	simon	125
canonica	26	livenzetta	76	slizza	126
cansiglio	27	lumiei	77	slizza due	127
carri	152	magnalina	78	storto	128
cartiera	28	malborghetto	79	studena	129
cavrezza	29	malina	80	tagliamento tronco A	130
cellina	30	marg_	81	tagliamento tronco B	131
cercevesa	31	marsiglia	82	tagliamento tronco C	132
chialeadina	32	mea	83	tagliamento tronco D	133
chiantone	33	meduna	84	teria	134
chiar_	35	meschio	85	tolina	135
chiar_ - quercig	36	miozza	86	torre	136
chiar_ di prestanto	37	molassa	87	turria	137
chiarchia	34	mueia	88	uccea	138
chiars_	38	muie	89	uque	139
chiars_ - bandit	40	negro	90	urana	140
chiars_ - cercevesa	39	nero	91	vaglina	141
cialata	41	nero	92	vaisonz	142
cimoliana	42	novarza	93	vajont	143
colvera	43	orvenco	94	variola	144
comugna	44	ossena	95	varma	145
cornappo	45	palar	96	vedronza	146
cosa	46	pentina	97	vegliato	147
cosizza	47	pesarina	98	venzonassa	148
coz	48	pezzeda	99	viella	149
degano	49	piccolo di meduna	100	vinadia	150
dogna	50			zimor	151

4.4 Pendenza lungo le direzioni di deflusso

La *grid* della pendenza lungo le direzioni di deflusso esprime il gradiente topografico dato dalla differenza di quota diviso la lunghezza del percorso. A ciascuna cella è associato un valore di pendenza che può differenziarsi anche in modo significativo dal valore di pendenza assegnato alla cella mediante i classici metodi di interpolazione del DTM. Il valore di pendenza lungo le direzioni di deflusso è più adatto quale indicatore dell'intensità dell'azione erosiva

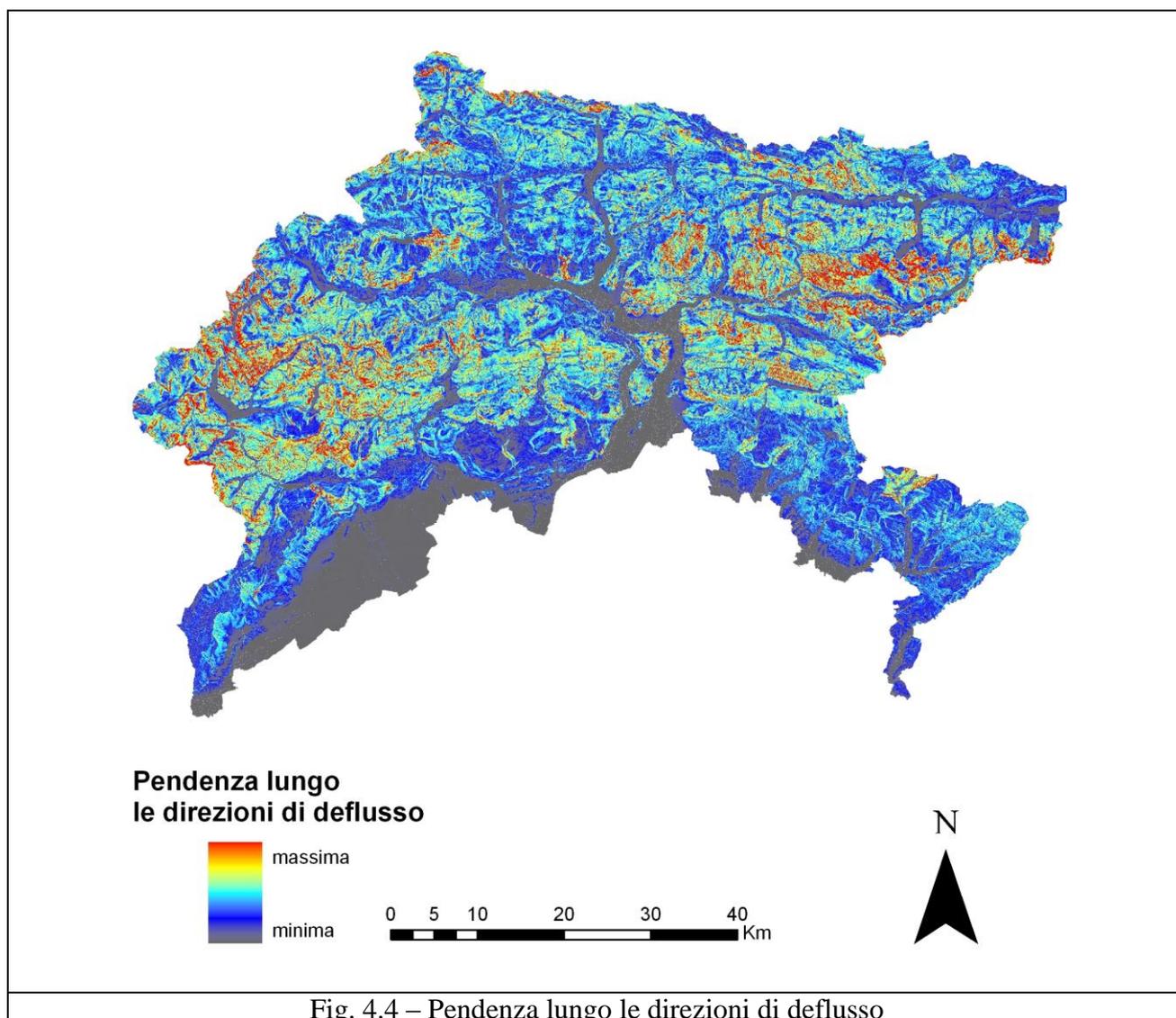


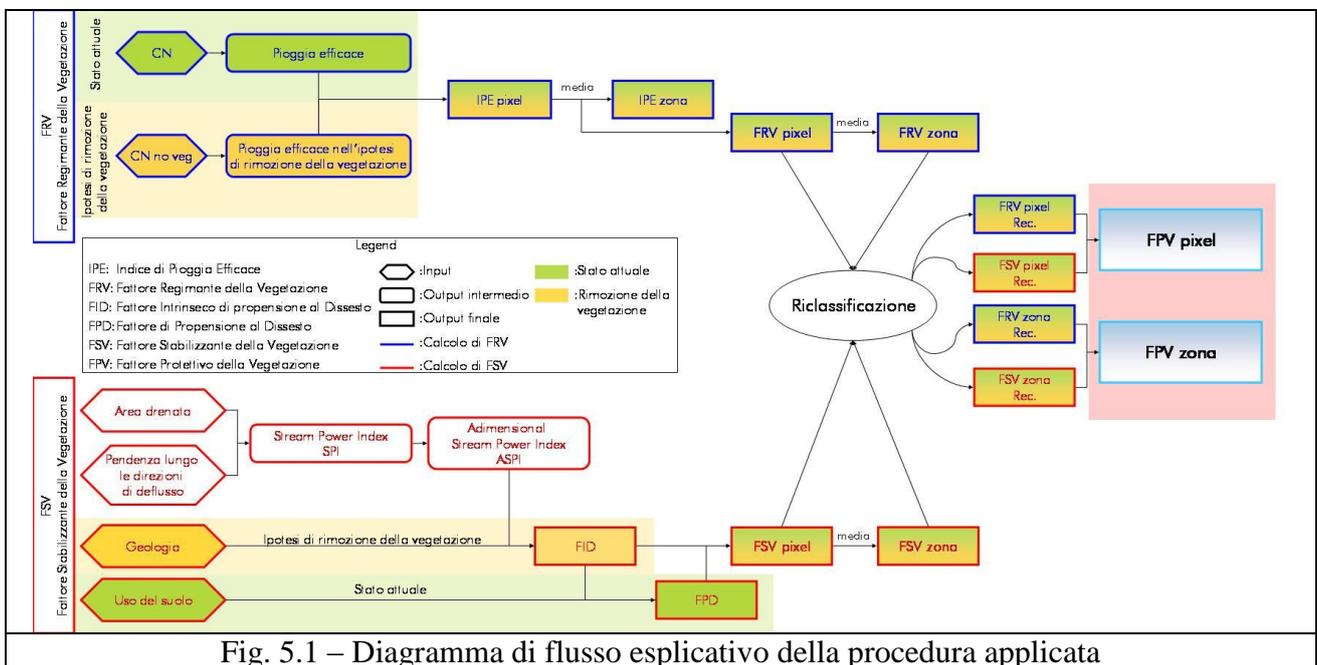
Fig. 4.4 – Pendenza lungo le direzioni di deflusso

5 ANALISI E MAPPATURA DELLA FRAGILITÀ TERRITORIALE

Una metodologia di analisi orientata ad evidenziare in modo più esplicito il ruolo della vegetazione appare più in sintonia con il significato più essenziale del vincolo idrogeologico il cui scopo, come già illustrato nel capitolo introduttivo, è quello di impedire o disciplinare trasformazioni di uso del suolo che, facendo mancare o comunque riducendo il ruolo della vegetazione, consentano alle componenti morfologiche, geologiche e climatiche di prevalere generando fenomeni di dissesto. Si tratta quindi di mettere a fuoco mediante una valutazione quantitativa il ruolo e l'importanza della copertura vegetale che è diverso in funzione sia della propria intrinseca capacità di esercitare protezione, sia del diverso peso che le altre componenti realizzano localmente.

Nel valutare l'efficacia protettiva della vegetazione può essere utile ricondurre l'analisi a due componenti distinte: un'*azione stabilizzante* che trova la massima espressione nella capacità di contrastare l'erosione superficiale e di consolidare i versanti e un'*azione regimante* principalmente riconducibile ai positivi effetti della vegetazione sul regime dei deflussi di piena.

La metodologia adottata per evidenziare l'effetto della vegetazione consiste nel delineare due scenari: uno che considera lo stato di fatto con la presenza della vegetazione, l'altro che ipotizza l'assenza completa della copertura vegetale. Nell'uno e nell'altro caso vengono calcolati indicatori relativi alla stabilità e alla produzione di deflusso il cui valore riflette le due diverse situazioni (assenza e presenza di vegetazione). Il "valore" *stabilizzante* e quello *regimante* della vegetazione è assegnato in base alla differenza tra gli indicatori. La valutazione è condotta sia con riferimento agli effetti a scala locale sia con riferimento alla scala di sottobacino o più genericamente di una porzione di territorio (zona). Il software "Fragile!" (Cazorzi e Dalla Fontana, 2006) consente di effettuare rapidamente in modo semi-automatizzato un'ampia sequenza di operazioni che, qualora sviluppate in un contesto GIS standard, richiederebbero molto più tempo ed attenzione.



5.1 Ruolo idrologico della copertura vegetale

La relazione tra vegetazione e ciclo dell'acqua è complessa ed è oggetto da decenni di approfondite ricerche e di appassionati dibattiti (Dalla Fontana, 1996, Roberts, 2001). Particolare attenzione ha ricevuto l'analisi dell'interazione tra acqua e foresta. In sintesi tale interazione è riconducibile a due aspetti fondamentali:

- gli effetti sui flussi di evaporazione;
- il controllo esercitato sulle caratteristiche idrologiche dei suoli.

Relativamente al primo aspetto è da sottolineare come tra le diverse forme d'uso del suolo la foresta sia quella che consuma maggior quantità d'acqua sia per traspirazione, sia in considerazione dell'alta efficienza che assume per i popolamenti forestali l'evaporazione dell'acqua intercettata. Quest'ultimo aspetto, ormai sufficientemente suffragato da dati sperimentali, fa sì che alla presenza di estese coperture forestali, specie se di conifere sia generalmente associata, a parità di altri fattori, una significativa riduzione dei deflussi. Da un punto di vista della disponibilità della risorsa idrica tale effetto può risultare indesiderabile solo in particolari condizioni di aridità climatica, mentre nei climi temperati umidi il consumo d'acqua da parte della foresta è ampiamente compensato dall'azione regolatrice sul regime dei deflussi che si traduce in maggiori possibilità di gestire la risorsa stessa.

Alle caratteristiche idrologiche dei suoli sono in buona parte legate le modalità di generazione dei deflussi; pur considerando che esistono significative eccezioni, si può affermare che i suoli forestali evoluti sono in genere profondi, con una struttura equilibrata e una porosità equamente distribuita. Ne conseguono un'infiltrabilità e una conducibilità idrica elevate che delineano caratteristiche favorevoli alla trattenuta di elevate quantità d'acqua e alla circolazione sottosuperficiale. In altre parole sono suoli dalle buone caratteristiche idrologiche.

Di particolare interesse ai fini della gestione del vincolo idrogeologico può risultare una ulteriore riflessione sull'efficacia della foresta nel contenere i deflussi di piena. Alle piene sono infatti spesso associati danni ingenti alle cose e perdite di vite umane, si comprende quindi perché tanta attenzione sia stata e sia tuttora dedicata a questi eventi idrologici con l'intento di mitigarne la pericolosità. Anche l'azione della foresta sul ciclo dell'acqua è stata frequentemente identificata con l'*azione regimante* sui fenomeni di piena. A queste prerogative della foresta sono state affidate speranze risolutive, non di rado smentite dai fatti. Anche in questo caso l'azione della copertura vegetale va inquadrata nell'ambito del bacino idrografico tenendo conto di tutti gli altri fattori che condizionano la risposta del bacino ad eventi meteorici di elevata intensità.

L'evento di piena si sviluppa su un periodo di tempo ridotto. In tale situazione l'azione regimante della foresta si manifesta non tanto con la sottrazione d'acqua attraverso i flussi di evaporazione, quanto piuttosto con le favorevoli caratteristiche idrologiche che in genere caratterizzano i suoli forestali. L'azione mitigatrice sugli eventi di piena può esplicarsi sia attraverso una riduzione dei volumi di deflusso superficiale sia attraverso un allungamento dei tempi di risposta del bacino. Ambedue le azioni concorrono a una riduzione dei valori al colmo.

Una classificazione della copertura vegetale ed in particolare forestale, in termini di efficienza regimante, lascia ampi margini di incertezza e di soggettività. Tuttavia, con riferimento ai classici parametri selvicolturali di composizione, densità e struttura il massimo grado di efficienza idrologica e capacità protettiva potrebbe essere attribuito a popolamenti misti, disetanei, di densità elevata, dotati di una certa complessità biologica e quindi in grado di assicurare lo sviluppo di un buon suolo forestale. Con riferimento a questo "ottimo" possono essere individuate situazioni meno favorevoli in relazione al decadimento di uno o più dei citati parametri selvicolturali (popolamenti coetanei monospecifici di resinose, soprassuoli a densità rada, cedui, ecc.). Continuando su questa linea si possono individuare usi del suolo via via meno conservativi fino a giungere ai suoli nudi o alle superfici completamente impermeabili per cause naturali o antropiche che configurano la situazione peggiore rispettivamente per quanto concerne la suscettività all'erosione e la produzione di deflusso superficiale.

5.2 la vegetazione come fattore regimante

5.2.1 Indicatori complessi: FRV - fattore regimante della vegetazione

5.2.1.1 Indicatori di derivazione tematica: CN – Curve Number

Numerosi indici in letteratura fanno riferimento alla classificazione della copertura vegetale in termini di efficienza regimante, tra essi il più noto è il CN o Curve Number. Il parametro CN è per definizione un indicatore idrologico; esso esprime, con un numero che va da 0 a 100, l'attitudine di una certa combinazione suolo-soprassuolo nel produrre deflussi superficiali. Ne consegue che detto parametro può essere interpretato su scala locale come un indicatore di criticità. Le aree con CN elevato sono quelle nelle quali è maggiore la propensione alla produzione di deflusso superficiale con tutte le temute conseguenze, oltre che sulla quantità e sui tempi del deflusso, anche sull'insacco dei fenomeni erosivi e sulla circolazione degli inquinanti. Con riferimento ai mutamenti d'uso del suolo quelli più temuti sono quelli che comportano il maggior incremento nel valore di CN e quindi di attitudine a produrre deflusso superficiale.

5.2.1.2 IPE - incremento di pioggia efficace

L'interpretazione che il CN come tale fornisce dell'efficienza idrologica della copertura vegetale è tuttavia insoddisfacente per almeno due motivi: il primo è che tale valore incorpora anche l'effetto riconducibile più propriamente alla natura del substrato pedologico e litologico, il secondo è che si tratta di un indice che non considera l'effetto del regime delle precipitazioni. Per superare le limitazioni del CN si propone lo sviluppo di un indicatore derivato denominato Incremento di Pioggia Efficace (IPE). Ad esso si perviene attraverso una valutazione diretta dell'incremento di pioggia efficace ascrivibile ad una ipotetica rimozione della copertura vegetale. Si ricorda che con il termine di pioggia efficace si intende quella frazione di precipitazione cui è associata la formazione dei deflussi superficiali, principali responsabili della formazione delle portate di piena.

Si procede approntando una carta del CN fittizia dove l'effetto della vegetazione è "neutralizzato" allineando il valore del CN di ciascuna categoria di uso del suolo, quando vegetato, al valore del CN assegnato alla categoria improduttivo nudo. Indicheremo questo CN come CN_SV ovvero CN Senza Vegetazione. Esso si ottiene alterando la tabella del CN innalzando i valori di tutte le categorie di uso del suolo con copertura vegetale a quelli dell'improduttivo nudo e lasciando gli altri inalterati. Meglio di ogni commento vale l'esempio riportato in Tabella 5.I e Tabella 5.II rispettivamente per il CN effettivo e il CN con vegetazione "neutralizzata" denominato CN_SV. In tabella 5.II sono evidenziati i valori di CN modificati. Le relative grid dei CN sono rispettivamente illustrate nelle figure 5.2 a, b.

CATEGORIE	classe di permeabilità			
	A	B	C	D
01 - Fustaia conifere dens	22	25	35	39
02 - Fustaia conifere rada	36	40	47	52
03 - Fustaia mista densa	26	29	37	42
04 - Fustaia mista rada	36	40	47	52
05 - Fustaia latifoglie de	30	34	40	45
06 - Fustaia latifoglie ra	45	48	54	59
07 - Ceduo di latifoglie	48	51	57	62
08 - Ontani	52	55	61	66

09 - Mughì	52	55	61	66
10 - Arbusti	52	55	61	66
11 - Rimboschimenti	52	55	61	66
12 - Rupi vegetate	70	72	80	83
13 - Prati e colture	68	70	78	81
14 - Prato d'alta quota	70	72	80	83
15 - Improduttivo	75	77	84	86
16 - Area in dissesto	78	82	88	91
17 - Roccia affiorante	80	87	93	96
18 - Aree urbane	92	94	96	98
19 - Corsi d'acqua	99	99	99	99
20 - Vigneti e frutteti	48	51	57	62
21 - Neocolon. Di robinia	45	48	54	59
22 - Ghiaioni	78	82	88	91
23 - Ghiacciai	85	89	92	94
24 - Cave	80	87	93	96
25 - Cespuglieti	60	64	68	73
26 - Siti industriali	92	94	96	98

Tab. 5. II – Valori di CN con vegetazione neutralizzata

CATEGORIE	classe di permeabilità			
	A	B	C	D
01 - Fustaia conifere dens	75	77	84	86
02 - Fustaia conifere rada	75	77	84	86
03 - Fustaia mista densa	75	77	84	86
04 - Fustaia mista rada	75	77	84	86
05 - Fustaia latifoglie de	75	77	84	86
06 - Fustaia latifoglie ra	75	77	84	86
07 - Ceduo di latifoglie	75	77	84	86
08 - Ontani	75	77	84	86
09 - Mughì	75	77	84	86
10 - Arbusti	75	77	84	86
11 - Rimboschimenti	75	77	84	86
12 - Rupi vegetate	75	77	84	86
13 - Prati e colture	75	77	84	86
14 - Prato d'alta quota	75	77	84	86
15 - Improduttivo	75	77	84	86
16 - Area in dissesto	78	82	88	91
17 - Roccia affiorante	80	87	93	96
18 - Aree urbane	92	94	96	98
19 - Corsi d'acqua	99	99	99	99
20 - Vigneti e frutteti	75	77	84	86
21 - Neocolon. Di robinia	45	48	54	59
22 - Ghiaioni	78	82	88	91
23 - Ghiacciai	85	89	92	94
24 - Cave	80	87	93	96
25 - Cespuglieti	75	77	84	86
26 - Siti industriali	92	94	96	98

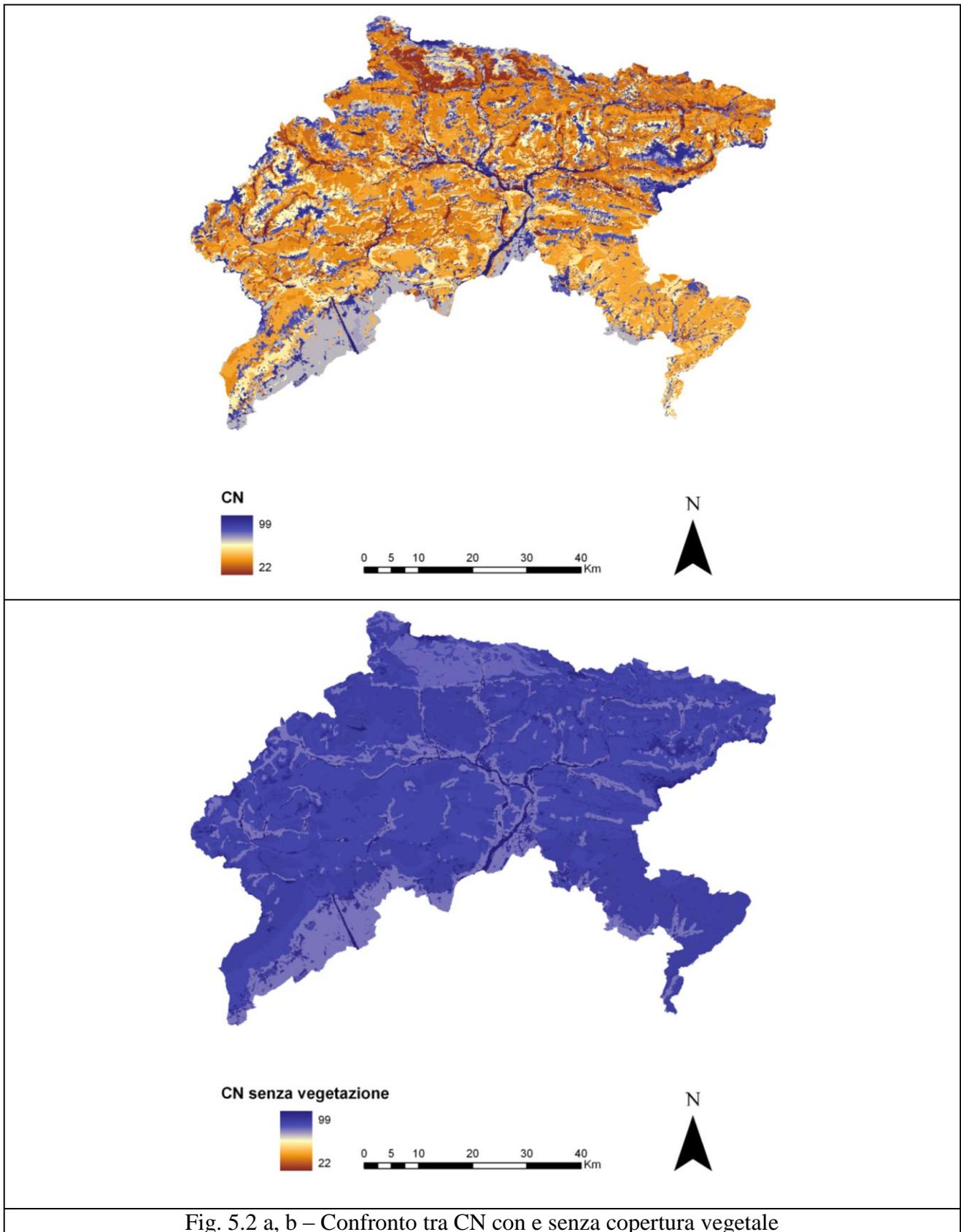


Fig. 5.2 a, b – Confronto tra CN con e senza copertura vegetale

Si procede quindi al calcolo della pioggia efficace per ciascuna delle due carte del CN utilizzando precipitazioni con durata crescente compresa tra 1 e 24 ore, ricavate dalle Linee Segnalatrici della Possibilità Pluviometrica (LSPP). Ai fini del presente lavoro è stato adottato un Tempo di Ritorno

pari a 100 anni che coincide con quello più comunemente usato nella valutazione delle portate di progetto. Tuttavia la scelta del tempo di ritorno non è del tutto indifferente nel definire gli effetti dei potenziali mutamenti d'uso del suolo. Infatti l'efficacia regimante della vegetazione risulta più marcata per gli eventi con ridotto tempo di ritorno, suffragando l'idea che a fronte di piogge eccezionali viene sempre a ridursi il ruolo delle caratteristiche del bacino nel condizionare la risposta dello stesso agli eventi meteorici (Cazorzi e Dalla Fontana, 1994). Il valore dell'incremento di pioggia efficace (IPE) calcolato in termini assoluti (mm) viene trasformato in valori percentuali:

$$\text{IPE}\% = (\text{Pe}(\text{CN}_{\text{SV}}) - \text{Pe}(\text{CN})) / \text{Pe}(\text{CN}_{\text{SV}})$$

In cui $\text{Pe}(\text{CN})$ e $\text{Pe}(\text{CN}_{\text{SV}})$ rappresentano la pioggia efficace riferita rispettivamente alle condizioni normali e a quelle con vegetazione neutralizzata. Nelle figure (comprese tra la 5.3a e la 5.3e), sono riportate le mappe dell'incremento di pioggia efficace calcolate per tutta l'area montana della Regione.

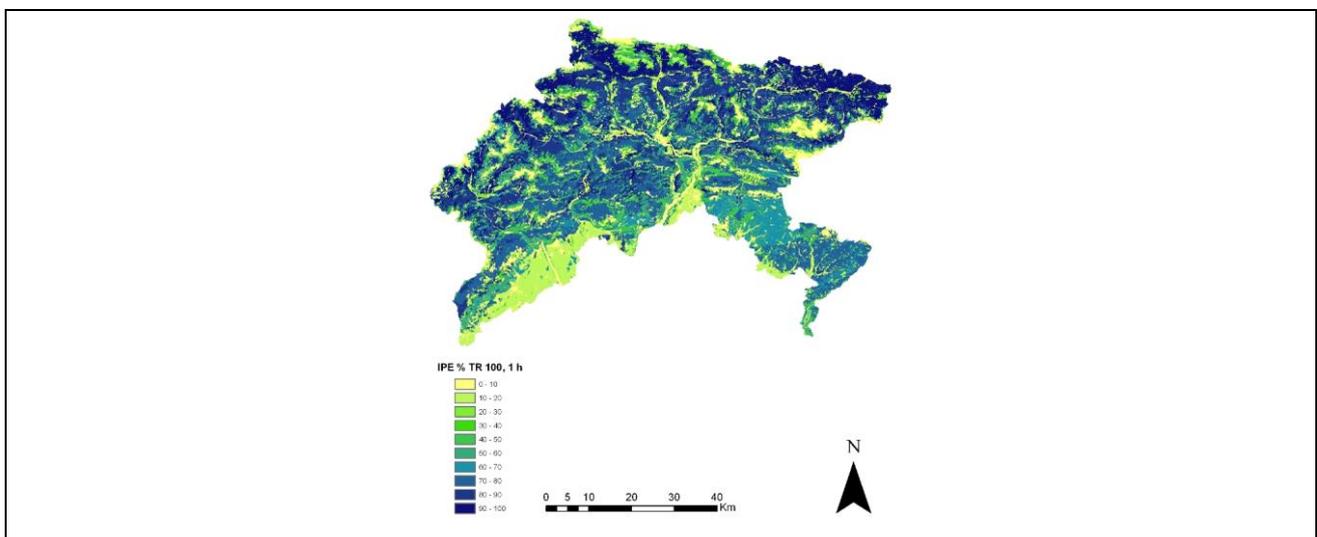


Fig. 5.3 a – Incremento di pioggia efficace %, TR 100, 1 ore

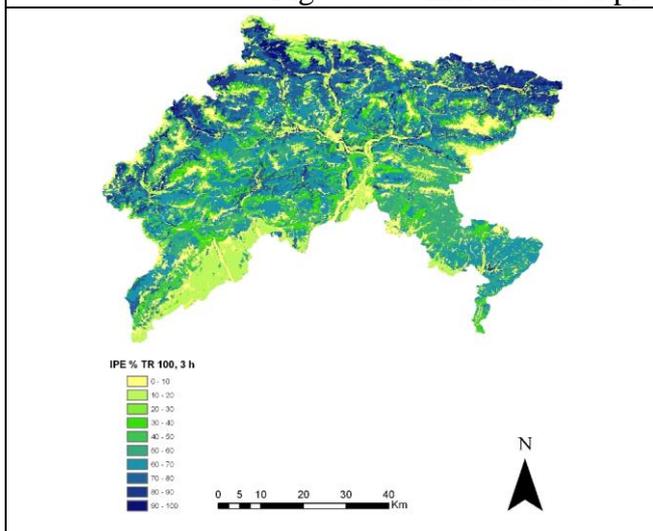


Fig. 5.3 b – Incremento di pioggia efficace %, TR 100, 3 ore

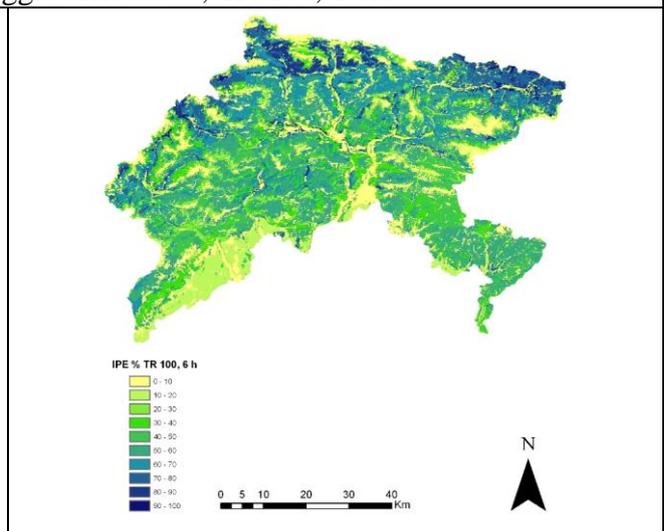


Fig. 5.3 c – Incremento di pioggia efficace %, TR 100, 6 ore

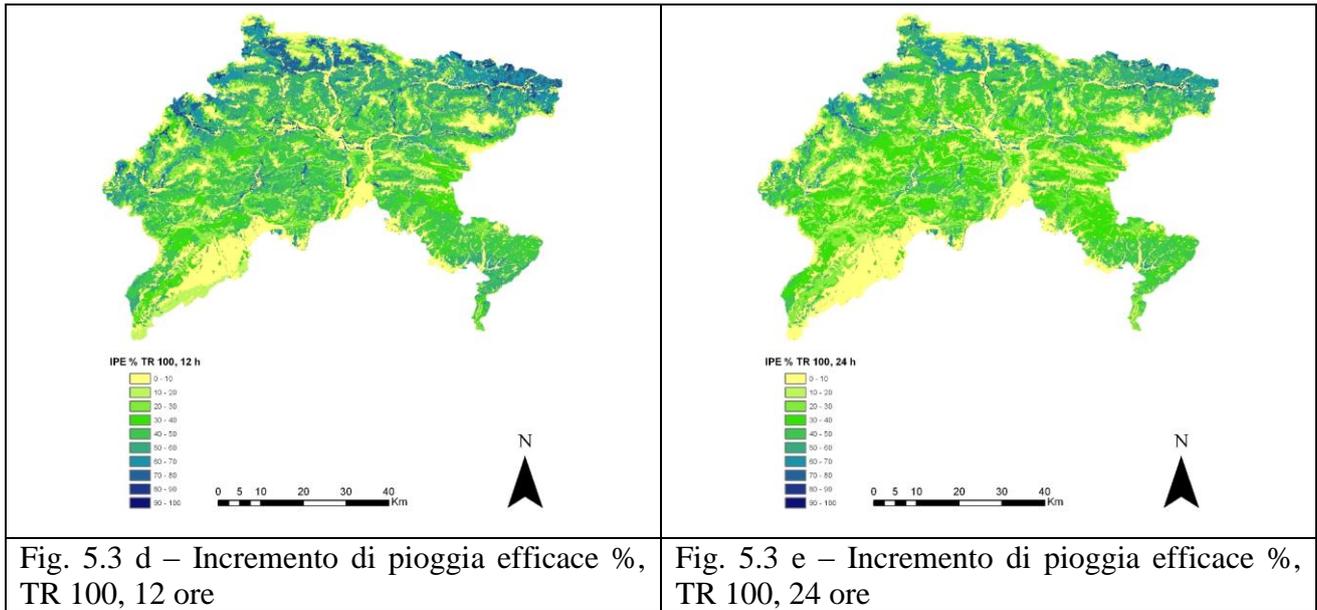


Fig. 5.3 d – Incremento di pioggia efficace %, TR 100, 12 ore

Fig. 5.3 e – Incremento di pioggia efficace %, TR 100, 24 ore

Al fine di esemplificare la procedura proposta si ponga attenzione su un'area omogenea per caratteristiche vegetazionali (es. bosco ceduo) e avente le dimensioni di un *pixel*: su tale area è nota la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica per un assegnato tempo di ritorno (es. TR=100 anni; $P=42t^{0.29}$), il valore di CN sia pari a 45 e il valore di CN_SV sia pari 80. Si ricorda che tale valore rappresenta il valore di CN assegnato all'improduttivo nudo per il gruppo idrologico che compete al *pixel* in esame. Per la cella possono essere calcolati i seguenti valori di pioggia efficace:

$$P_e = P = 42 \cdot t^{0.29} \quad (1)$$

$$P_e = \frac{(42t^{0.29} - 0.1S(CN))^2}{(42t^{0.29} + 0.9S(CN))} \quad (2)$$

$$P_e = \frac{(42t^{0.29} - 0.1S(CN_{SV}))^2}{(42t^{0.29} + 0.9S(CN_{SV}))} \quad (3)$$

Le tre relazioni poste in grafico descrivono le tre curve rappresentate in 5.4. L'andamento della curva superiore è quello della Linea Segnalatrice di Probabilità Pluviometrica (LSSP), esso riflette l'andamento della pioggia efficace nell'ipotesi di substrato completamente impermeabile (CN=100), la curva inferiore esprime l'andamento della pioggia efficace in relazione al valore di CN che caratterizza il pixel in esame in relazione alla presenza del bosco ceduo mentre la curva intermedia è ottenuta utilizzando il valore di CN_SV pari al valore che compete all'improduttivo nudo in quella data situazione lito-pedologica.

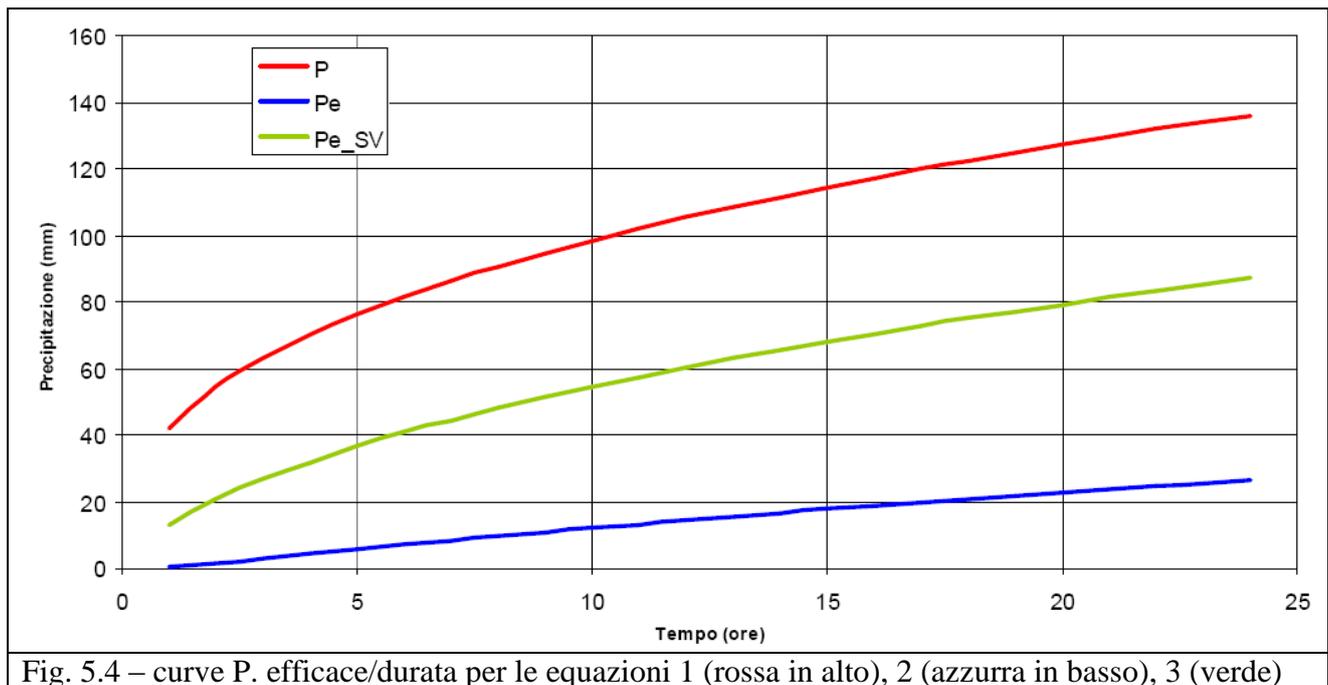


Fig. 5.4 – curve P. efficace/durata per le equazioni 1 (rossa in alto), 2 (azzurra in basso), 3 (verde)

Il valore medio della differenza tra le curve $Pe(CN_SV)$ e $Pe(CN)$ espresso in % su $Pe(CN_SV)$ esprime l'incremento medio di pioggia efficace (IPE medio) e può essere interpretato come una prima approssimazione del Fattore Regimante della Vegetazione (FRV) per la cella in esame. Nell'esempio in figura 5.5 tale valore risulta pari all' 80%. I vantaggi derivanti dall'utilizzo di IPE in luogo del CN sono molteplici, innanzitutto IPE incorpora la componente di pericolosità climatica compresa la variabilità spaziale della stessa attraverso la variabilità dei parametri della LSPP. IPE isola inoltre l'effetto regimante della vegetazione nello specifico contesto geolitologico. E' tuttavia da osservare un limite nel fatto che il valore di IPE a scala locale (sul singolo pixel) non è in alcun modo condizionato dal contesto territoriale nel quale si colloca.

5.2.1.3 Calcolo del fattore regimante della vegetazione

Come si è dimostrato sia l'uso del CN che quello di IPE presentano dei limiti nell'identificare l'intervento della vegetazione nella regimazione dei deflussi.

Nel proporre l'indicatore FRV si considera che un effetto regimante locale (IPE sul pixel) molto alto risulta tanto più prezioso quanto meno efficiente è il sottobacino nel suo insieme (basso IPE_{zona}). Al contrario un pixel caratterizzato da un basso valore di IPE è probabilmente poco critico dal punto di vista delle trasformazioni d'uso del suolo, e tanto meno critico quanto più elevato è l'effetto regimante medio del bacino (alto IPE_{zona}) che lo comprende. Al valore di IPE sul pixel, corretto in base al valore di IPE per la zona è assegnata la denominazione di Fattore Regimante della Vegetazione (FRV)

La determinazione del valore di FRV sul pixel è ottenuta mediante un algoritmo rappresentato dalla tabella 5.III.

Tab. 5.III – Algoritmo di calcolo per FRV

	IPE%	zona									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pixel	10	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
	20	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15
	30	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
	40	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25
	50	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30
	60	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
	70	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40
	80	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45
	90	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
	100	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55

Il tematismo relativo al Fattore Regimante della Vegetazione per l'intera area della montagna Friulana è mostrato in figura 5.5.

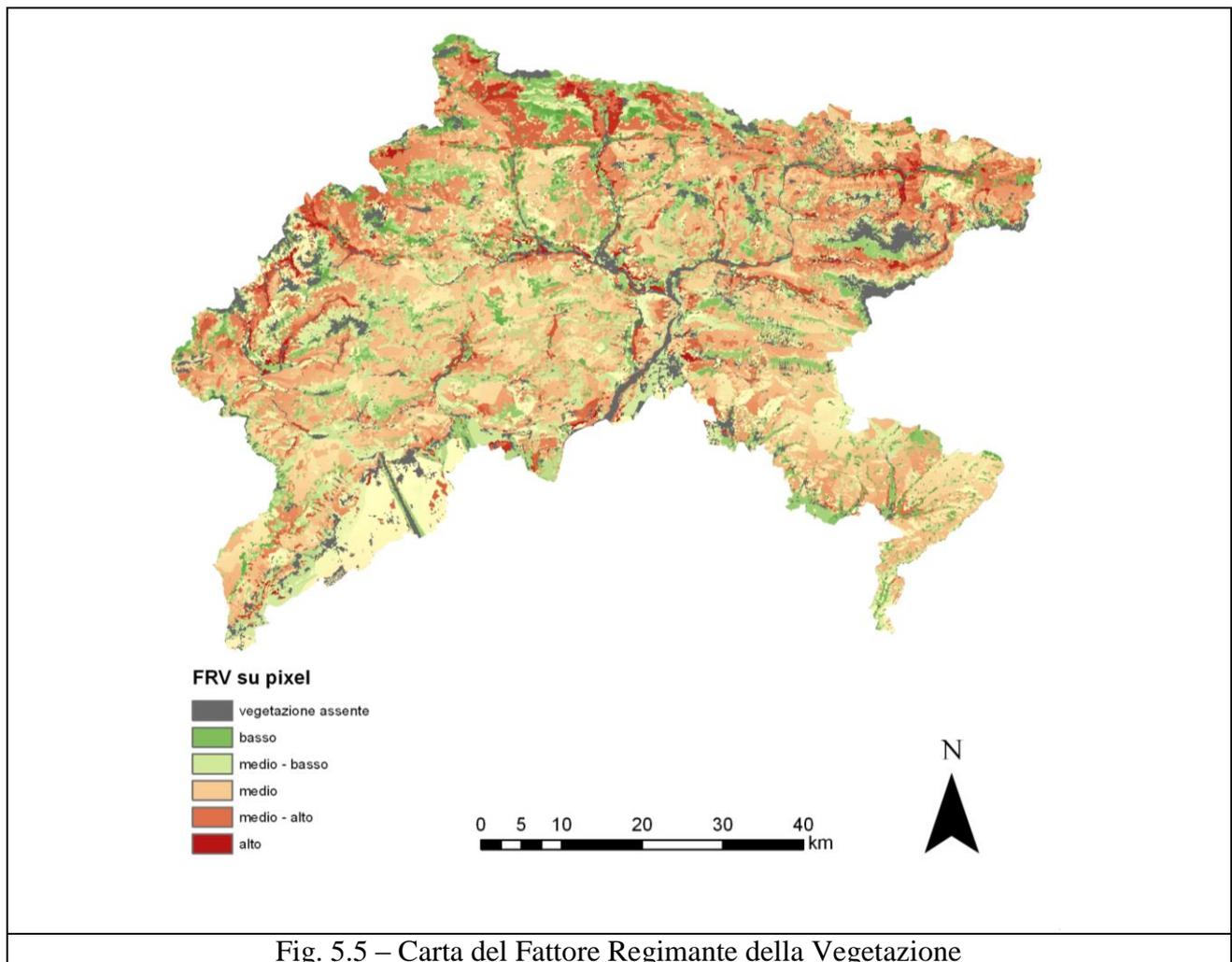


Fig. 5.5 – Carta del Fattore Regimante della Vegetazione

5.3 la vegetazione come fattore stabilizzante

L'azione stabilizzante della vegetazione si manifesta sia nei confronti dei fenomeni di erosione che di quelli di franamento superficiale. L'azione della copertura vegetale è riconducibile, oltre che ad un'efficace azione di intercettazione della pioggia anche al contenimento dei deflussi superficiali con conseguente drastica limitazione della perdita di suolo diffusa sui versanti. Risultati sperimentali ottenuti su parcelle in ambiente alpino confermano che la perdita di suolo dai versanti boscati, specie se confrontata con quella di altre forme d'uso del suolo, a parità di altri fattori è del tutto trascurabile. Al fine del contenimento dell'erosione anche la copertura erbacea risulta altamente efficiente, mentre il consolidamento dei pendii instabili è strettamente legato all'apporto di resistenza addizionale offerto dagli apparati radicali. Tale apporto è ovviamente limitato allo strato esplorato dalle radici il che rende nulla l'azione stabilizzante della vegetazione per movimenti franosi che si sviluppano in profondità.

L'effetto della coesione radicale può essere incorporato in modo abbastanza agevole in uno schema di modellazione dei movimenti gravitativi superficiali di versante (Borga et al. 2002). Significative realizzazioni sono state proposte negli ultimi anni dalla letteratura scientifica con ampio ricorso alle tecniche di elaborazione basate sui sistemi informativi geografici (SHALSTAB, SINMAP). Pur trattandosi di schemi modellistici alquanto semplificati essi richiedono tuttavia la determinazione di parametri di natura idrologica e geomeccanica di non semplice determinazione a scala territoriale. Si è quindi preferito ricorrere ad indicatori più semplici di derivazione morfometrica anche in relazione alla disponibilità generalizzata di modelli digitali del terreno di buona qualità.

5.3.1 Indicatori complessi: FSV - fattore stabilizzante della vegetazione

L'efficienza stabilizzante esercitata da una copertura vegetale si esemplifica principalmente nel contenimento dell'erosione superficiale, per questo nel presente modello si è scelto l'utilizzo di indici di natura morfometrica che vengono modificati con stime della componente geologica e vegetazionale.

L'indice finale è il Fattore Stabilizzante della Vegetazione che, attraverso la sottrazione tra i due scenari in ipotesi, isola l'effetto stabilizzante della sola componente vegetazionale.

L'input all'applicativo Fragile!_FSV è il modello digitale delle quote (DTM), sul quale viene avviata un'analisi idrologica che calcola le direzioni di deflusso e l'accumulo dell'area drenata secondo due diversi algoritmi di calcolo *Single flow* (D8) e *Multiple Flow*. Da quest'analisi si ottiene il primo dei cinque output del programma, la grid della pendenza lungo le direzioni di deflusso. La carta della pendenza lungo le direzioni di deflusso si ottiene dividendo la differenza di quota per la lunghezza del percorso. Questa tipologia di calcolo del gradiente topografico è consigliata come indicatore dell'intensità erosiva infatti da essa si può procedere definendo le zone privilegiate di dissesto utilizzando la modellazione che fa riferimento al concetto di potenza della corrente (*Stream Power*), cioè la definizione dell'energia potenziale per unità di lunghezza del canale.

Semplificando il calcolo di *Stream Power* viene definito SPI (*Stream Power Index*) come combinazione tra pendenza lungo le direzioni di deflusso e calcolo dell'area drenata per ogni pixel del DEM.

5.3.1.1 SPI - indice di potenza della corrente

Tra i numerosi indicatori morfometrici proposti in letteratura hanno dato prova positiva quelli che combinano il valore di area drenata (A) con la pendenza locale (S). La combinazione area drenata

(A) e pendenza locale (S), è stata inoltre ampiamente utilizzata in letteratura per l'individuazione dei punti di inizio del reticolo idrografico. Tale relazione è utilmente interpretabile con riferimento al concetto di potenza della corrente, meglio nota con il termine di "stream power", simbolo Ω , unità di misura $W m^{-1}$. Lo *stream power* definisce la dissipazione di energia potenziale per unità di lunghezza del canale (ramo del reticolo idrografico di sintesi); essa viene correntemente utilizzata nello studio dei processi di modellamento delle forme morfologiche.

Usualmente è espressa dalla classica formulazione:

$$\Omega = \rho \cdot g \cdot Q \cdot S$$

dove ρg rappresenta il peso specifico dell'acqua, Q la portata ed S la pendenza locale nel tratto di canale. Se si assume l'area drenata come surrogato della portata è possibile formulare un indice di stream power (SPI) su base topografica che può assumere la forma della nota combinazione area drenata-pendenza locale. Da sottolineare come il calcolo dell'indicatore di stream power in questa accezione è facilmente stendibile a qualsiasi pixel del bacino per il quale sia nota l'area sottesa e la pendenza locale. Ambedue questi ultimi indicatori sono stati calcolati per il bacino del Pontebbana come già dettagliato nel paragrafo riferito al DTM. Il calcolo di SPI è stato effettuato utilizzando il valore dell'area drenata MF e il valore di pendenza locale D8.

$$SPI = A^{0.5} S$$

Di particolare utilità pratica è la versione adimensionale dell'indice (A-SPI) ottenuta dividendo il valore di SPI di ogni cella per un valore soglia che caratterizza i punti di inizio della rete idrografica (*channel heads*). Alle celle che presentano un valore superiore a quello soglia è assegnato valore

pari a 1. L'indicatore A-SPI risulta quindi variabile da 0 a 1 e pone in evidenza come sede privilegiata dell'attività erosiva il reticolo idrografico. Tale indicatore ha dato in più occasioni prova di poter essere utilizzato per caratterizzare le aree sorgenti di sedimento nei bacini alpini. In particolare si è visto che il valore dell'indicatore SPI o della sua versione adimensionale (A-SPI) assume, in corrispondenza delle aree in dissesto attivo, valori superiori a quelli che caratterizzano in media le porzioni di bacino non interessate da detti fenomeni. L'andamento di A-SPI è illustrato nella figura 5.6

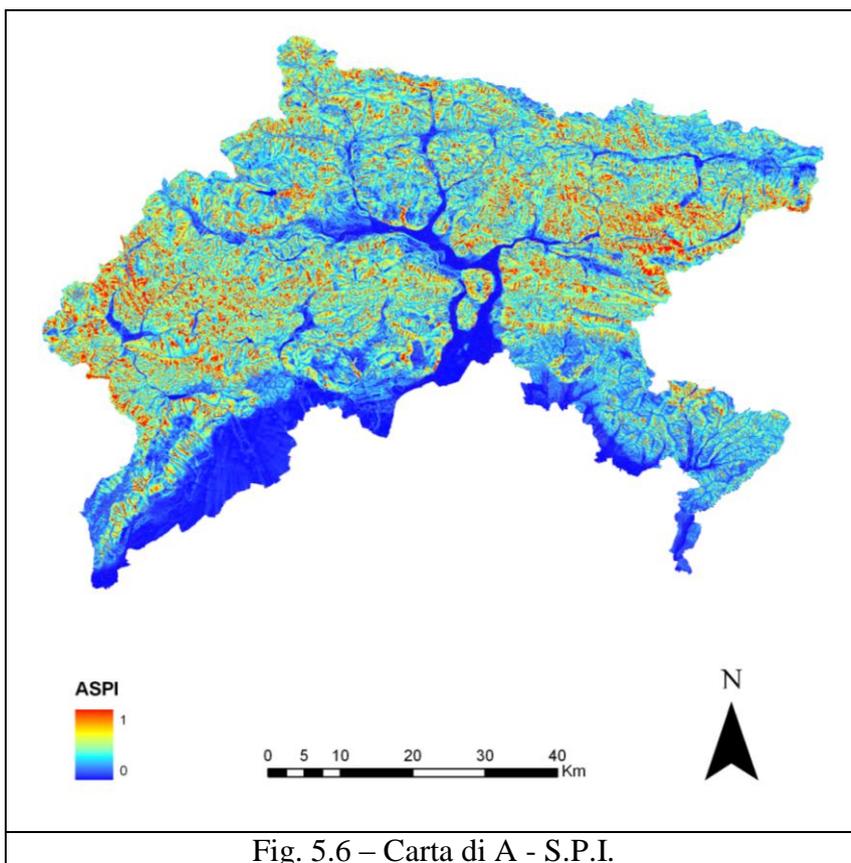


Fig. 5.6 – Carta di A - S.P.I.

Gli indicatori SPI e A-SPI vengono formulati unicamente in base ad aspetti di natura morfologica, mentre la propensione al dissesto di una determinata area non può prescindere dal considerare la natura del litotipo presente. Nella definizione tecnica dell'indicatore si deve inoltre tener conto che il calcolo di A-SPI viene effettuato ponendo uguale ad uno il valore di SPI in corrispondenza di valori di area drenata al di sopra di una certa Soglia di innesco del reticolo e distribuendo in modo

proporzionale i valori di SPI degli altri pixel. La scelta della soglia è quindi determinante per lo sviluppo dei risultati. Dopo vari tentativi e per confronto con la letteratura esistente si è infine scelta una soglia pari a 4 ha (40.000 m²).

5.3.1.2 FID - fattore intrinseco di propensione al dissesto

Dopo aver definito l'influenza della componente morfologica si aggiungono ad essa informazioni riguardanti le proprietà del substrato geologico. A-SPI è stato quindi modificato in relazione ad una classificazione dei litotipi basata sulla intrinseca propensione al dissesto dei medesimi. Alle varie categorie di litotipo è stato assegnato un valore di potenziale instabilità secondo la gradazione riportata in tabella 5.IV. L'attribuzione del punteggio alle varie categorie è stata introdotta con riferimento ad indicazioni reperibili in letteratura, tuttavia si sottolinea come si tratti di un'operazione che andrebbe più opportunamente calata nella realtà territoriale friulana attraverso il contributo e il confronto con i tecnici del Servizio Geologico.

Tab. 5. IV – Pesì di propensione al dissesto dei litotipi

CODICE	DESCRIZIONE	PESO
1	Detriti di falda recenti ed attuali	80
2	Metareniti e metapeliti grigio-verdi, con intercal. Di metaruditi, calc. Massicci e metacalc. Dolom., marmi, metacalc. Nodulari, metavulcaniti	20
3	Depositi morenici del settore montano e dell'anfiteatro morenico del Tagliamento	50
4	Areniti quarzose e peliti torbiditiche, breccie e conglomerati con keratofiri	20
5	Dolomia e calc. Dolomitici mal stratificati, dolomia e calc. Dolom. Ben stratificati, calc. Dolom. E dolomicriti laminari brecciati	10
6	Ruditi rossastre con clasti carbonatici o quarzoso-litici, areniti fini altern. A peliti rosse con caliche	20
7	Calcari oolitici, calc. Grigi intercal. A marne, dolomie e calc. Dolomitici giallo-ocra, micriti grigie e nocciola intercal. A peliti rosse, calc. Micritici fini, peliti e peliti marnose, areniti e peliti, calc. Mic. Con peliti, ooliti con lauconiti c e peliti	20
8	Calcari scuri con bioclasti da foramiferi ed altri, intercalati da marne	20
9	Gessi saccarodi biancastri altern. A dolomie nere brecciate	50
10	Calcari massicci grigio chiari, calc. Algali con crinoidi, stromatoporidi, lauconiti ch e tabulati	20
11	Ruditi terrigene, calc. Nodulari alternati a marne, biomicriti, marne, siltiti, calc. Marnosi nodulari, marne, siltiti, calc. Micritici con intercal. Tufitiche, altern. Marne, calc. Arenacei, peliti, areniti torbiditiche	20
12	Argilliti e graptoliti e rare radiolariti, marne calcaree, calc. Micritici nodulari e ferruginosi ad Orthoceratidi, rare biospatiti con fossili	40
13	Calcari rossi ad Ammoniti, calc. Marnosi, argilliti e tuffiti, calc. Nodulari selciferi, arenarie e siltiti tufacee, dep. Terrigeno-tufitici e piroclastici, calcareniti e calciruditi, con peliti marnose	20
14	Siltiti ed arenarie quarzose, intercalaz. Di laucon. E calcareniti, calc. Micritici nodulari	20
15	Dolomie e calcari dolomitici	10
16	Calcisiltiti, calcareniti e micriti, biomicriti nodulari con interstrati marnosi, calcareniti e lauconiti ch, calc. Micritici grigi, rose, nocciola	25
17	Conglomerati polimictici, altern. Ad areniti litiche e peliti grigio-giallastre, areniti quarzoso-micacee e peliti altern. A biocalc. Ad alghe e fusuline, congl. Quarzosi	30
18	Dolomicriti e lauconiti c fittamente stratificate, selcifere alla base, con livelli pelitici bituminosi	30
19	Areniti feldspatiche, alternate a peliti grigie e verdi, argilliti rosse e verdi anchimetamorfiche inglobanti le vulcaniti	25

20	Calcari micritici alternati a calcari stromatolitici spesso lauconiti che,organizzati in cicli peritidali,calc. Oolitici e calc. A oncoidi	20
21	Sedimenti alluvionali del settore montano, della pianura e litoranei	60
22	Sedimenti alluvionali del settore montano	60
23	Biocalcareniti e biomicriti algali a foramiferi altern. A peliti marnose,peliti grigie e rosse altern. Ad areniti quarzoso micacee,calc. E calc. Dolomitici grigio-chiari e rosati	30
24	Sedimenti palustri e lacustri, talora torbosi	50
25	Dolomie cristalline e dolomie stromatolitiche,localmente intercal. Di dolomie laminate ricche in sostanza organica	20
26	Detriti di falda antichi	50
27	Dolomie e calc. Ricchi di fossili,calc. E marne,calc. Dolomitici,dolomie grigie	30
28	Dolomie marnose,dolomie vacuolari,brecce dolomitiche,gessi saccaroidi con impuritÓ argillose	20
29	Arenarie violette e argille siltose,dolomie e calc. Dolomitici ben stratificati	30
30	Calcari scuri altern. A marne,con rare areniti tufitiche,alla base rare lenti di carbone	20
31	Dolomie grigie, da massicce a stratificate,con intercalazioni marnose	20
32	Calcari micritici, livelli marnosi,frequenti slumps,calc. E dolomie,con selce e marne,brecce dolom. Alla base,calc. Micritici e marnosi nodulari con selce ed interstrati di peliti	20
33	Calcari micritici alternati a calcari stromatolitici,organizzati in cicli peritidali	20
34	Conglomerati alluvionali poligenici ed lauconiti ch ad abbondante matrice e cemento carbonatico	60
35	Calcari molto fossiliferi,brecce lauconiti ch e marne debolmente arenacee	25
36	Marne e calc. Marnosi a frattura scagliosa,locale presenza di brecce e olistoliti carbonatici,alla base brecce calcaree con clasti di calc.	30
37	Calcari micritici e calcareniti, con selce,calc. Nodulari con selce,calc. Micritici a frattura conoide con selce,calciruditi bioclastiche,calcareniti grossolane,calc. Micritici,con selce	20
38	Calcari oolitico-bioclastici,altern. A calc. Micritici con rari noduli di selce	25
39	Alternanze pelitico-arenacee ben stratificate con calciruditi e calcareniti,altern. Di areniti e/o siltiti con marne calcareo-silicee a clasti di quarzo e selce	25
40	Sedimenti fluvioglaciali ed alluvionali dell'alta pianura friulana	80
41	Calcari stratificati di aspetto porcellaneo,con strutture di emersione,brecce e argille residuali	20
42	Calcisiltiti con banchi di breccia ed areniti,calc. Con breccia e calcilutiti,altern. Arenaceo-pelitiche,con spessi orizzonti di breccia,peliti con intercal. Di arenarie,arenarie con orizzonti calciclastici	30
43	Brecce calcaree,megabrecce e conglomerati,calcareniti,siltiti e arenarie,locali liv. Conglomeratici a ciottoli,areniti lauconiti che,altern. Di areniti glauc. E siltiti arenacee,peliti con coralli e areniti glauc.	30
44	Calcari bioclastici massicci,con intercal. Di calc. Micritici,brecce calcaree massicce	20
45	Marne siltose,altern. Di areniti e siltiti,conglomerati,siltiti ed arenarie	30
46	Calcari massicci di scogliera, con tasche bauxitiche	20
47	Brecce con clasti dolomitici,dolomie compatte con laminazioni nerastre,dolomie saccaroidi,lenti di brecce e calc.,calc. A rudiste	30
48	Aree di bonifica e di riporto artificiale	70

Associando al valore locale di A-SPI il relativo valore di instabilità del litotipo è stato ottenuto il Fattore Intrinseco di propensione al Dissesto (FID) il cui valore crescente compreso tra 0 e 100 delinea la variabilità delle situazioni presenti sul bacino prescindendo ancora da ogni considerazione sulla presenza o meno di vegetazione.

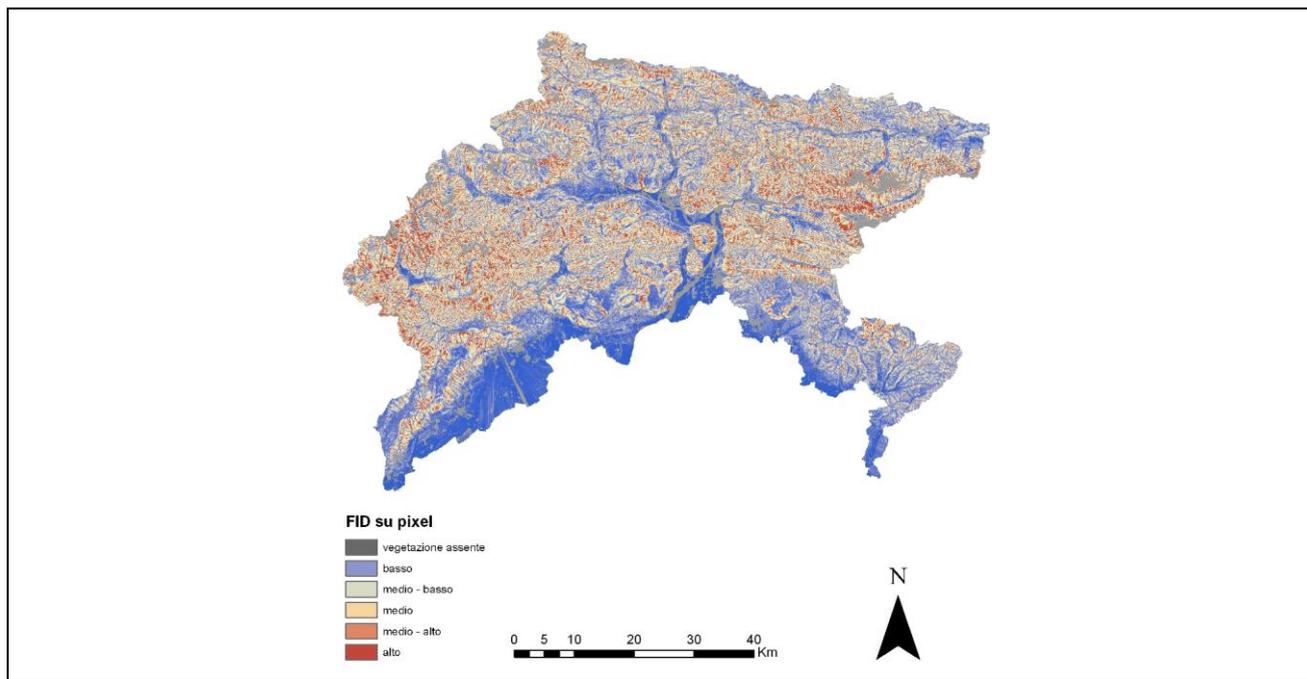


Fig. 5.7 – Carta del Fattore Intrinseco di Propensione al dissesto

5.3.1.3 FPD - *fattore di propensione al dissesto*

L'azione stabilizzante della vegetazione, la cui natura è stata illustrata nel paragrafo 5.2, è assegnata sulla base di una tabella che indica per ciascuna categoria, su una teorica scala compresa tra 0 e 100, il valore stabilizzante. La scala della tabella 5.V facilmente difendibile sul piano qualitativo è alquanto arbitraria per quanto attiene ai valori assoluti assegnati alle varie categorie. La tabella è stata utilizzata per modificare il valore del Fattore di propensione Intrinseca al Dissesto, l'esito è un altro indicatore denominato Fattore di Propensione al Dissesto (FPD) il cui valore incorpora l'effetto stabilizzante della vegetazione. L'indicatore è riportato in figura 5.8, il cromatismo, se paragonato a quello della figura 5.7, evidenzia la riduzione della propensione al dissesto dovuta alla presenza di vegetazione.

Tab. 5. V – Pesì dell'effetto stabilizzante della vegetazione			
DESCRIZIONE	PESO	DESCRIZIONE	PESO
01-Fustaia conifere densa	40	14-Prato d'alta quota	10
02-Fustaia conifere rada	35	15-Improduttivo	0
03-Fustaia mista densa	40	17-Roccia affiorante	0
04-Fustaia mista rada	35	18-Aree urbane	0
05-Fustaia latifoglie densa	40	19-Corsi d'acqua	0
06-Fustaia latifoglie rada	35	20-Vigneti e frutteti	20
07-Ceduo di latifoglie	25	21-Neocolon. di robinia	25
08-Ontani	20	22-Ghiaioni	0
09-Mughi	20	23-Ghiacciai	0
10-Arbusti	20	24-Cave	0
11-Rimboschimenti	25	25-Cespugleti	15
12-Rupi vegetate	20	26-Siti industriali	0
13-Prati e colture	10		

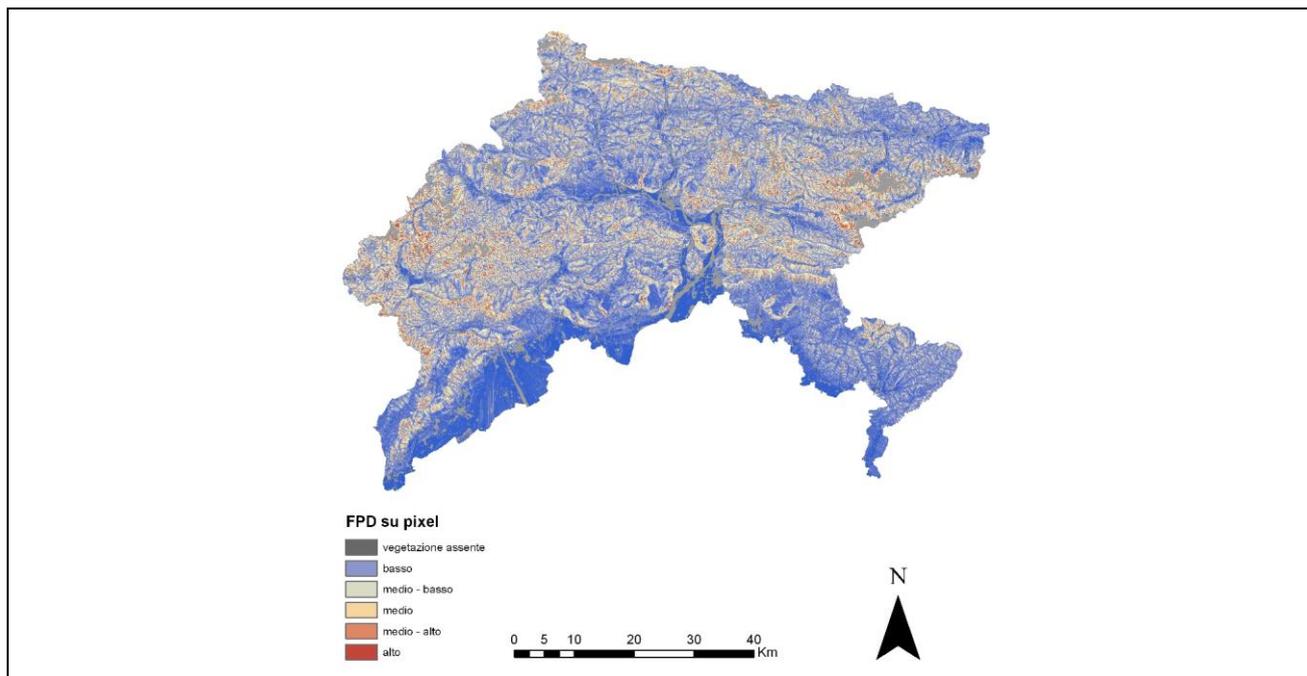


Fig. 5.8 – Carta del Fattore di Propensione al Dissesto

5.3.1.4 calcolo del fattore stabilizzante della vegetazione

In analogia a quanto messo in atto per il calcolo del Fattore Regimante della Vegetazione anche il Fattore Stabilizzante della Vegetazione è calcolato per differenza tra lo scenario che ipotizza l'assenza di vegetazione rappresentato da FID e la situazione di fatto che mette in campo l'azione stabilizzante delle varie formazioni vegetali (FPD). Tale differenza vale 0 nelle porzioni di bacino prive di vegetazione ed è, a parità di FID, tanto più marcata quanto maggiore è il peso assegnato alla vegetazione. Il Fattore Stabilizzante della Vegetazione per il bacino del Pontebbana è riportato in figura 5.9.

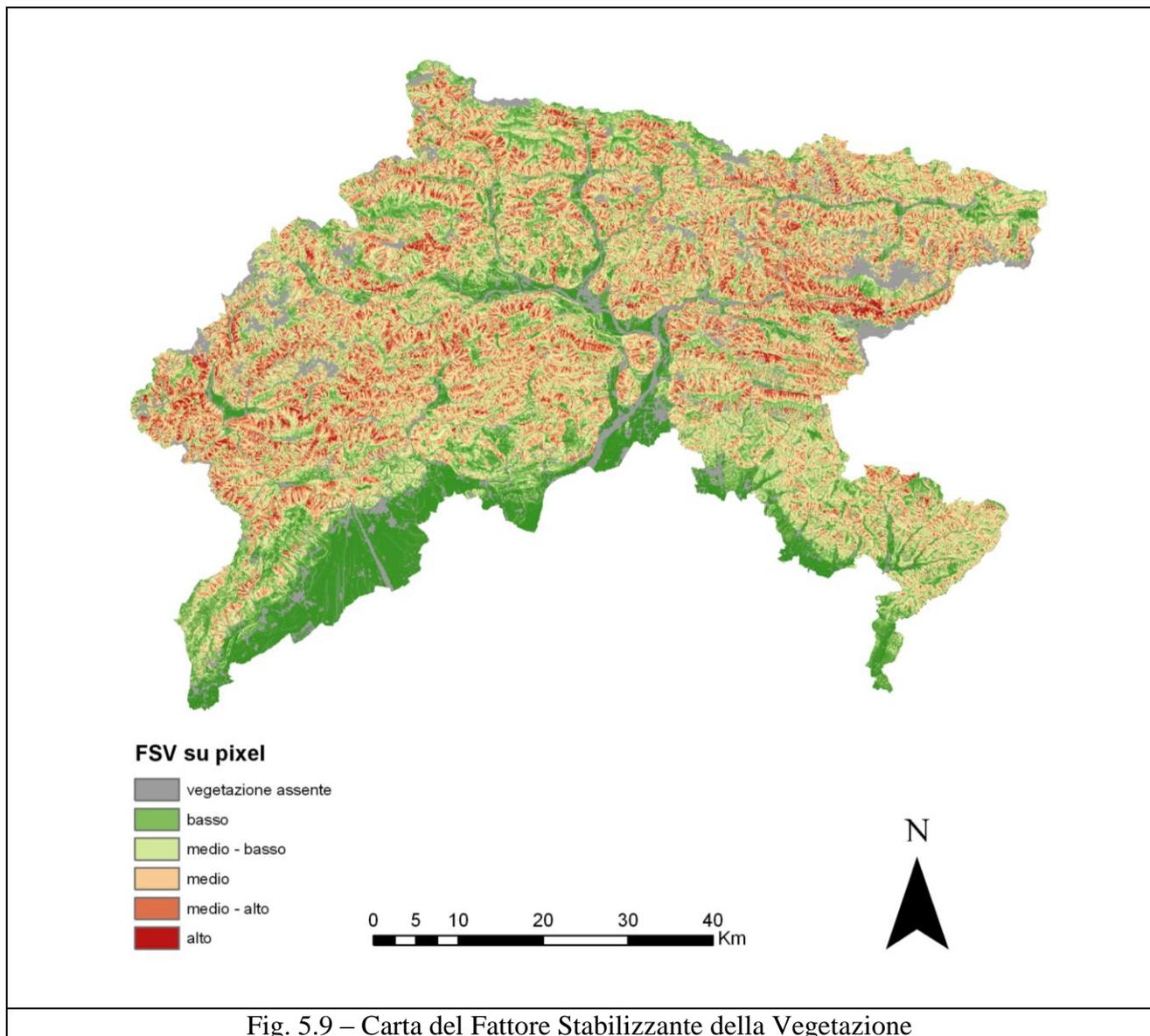


Fig. 5.9 – Carta del Fattore Stabilizzante della Vegetazione

5.4 Indicatori complessi: FPV - fattore protettivo della vegetazione

L'azione protettiva della vegetazione è complessivamente riconducibile alla combinazione dell'azione di regimazione sui deflussi di piena con quella di stabilizzazione dei versanti.

Gli indici FRV ed FSV, tuttavia, derivano da procedure informatiche diverse e presentano unità di misura difformi, per questo motivo essi devono essere opportunamente adimensionalizzati prima di effettuarne la combinazione. Si tratta di un'operazione che contiene inevitabilmente elementi di arbitrarietà, essa può essere condotta sia con riferimento ad una scala compresa tra 0 e 100 o, più opportunamente, fissando il valore 0 con riferimento ad un valore medio e facendo variare tra 0 e 100 i valori sopra la media e tra 0 e -100 i valori che si collocano sotto la media. Se il valore medio utilizzato per l'adimensionalizzazione coincide con quello medio del bacino il risultato finale esprime la stessa variabilità della normalizzazione effettuata nell'intervallo 0-100, se invece il valore medio preso a riferimento è diverso da quello medio del bacino, ma riferito ad esempio ad un territorio più vasto (es. l'intera regione), allora la variabilità dell'indicatore adimensionalizzato viene ricollocata in modo asimmetrico nel campo dei valori negativi-positivi.

I due fattori (FRV) e (FSV) adimensionalizzati sul valore medio nell'intervallo -100 +100 sono riportati rispettivamente nelle figure 5.5 e 5.9.

Per l'analisi dell'intera area montana della regione si è scelta una scala di normalizzazione con valore minimo 0 e valore massimo 100 e parallelamente è stata generata una grid "centrata" in cui lo zero coincide con il valore medio.

Tabella 5. VI – Algoritmo di calcolo del Fattore Protettivo della Vegetazione

FRV	100	50	58	65	73	79	85	90	95	98	99	100
	80	42	50	58	65	73	79	85	90	95	98	99
	60	35	42	50	58	65	73	79	85	90	95	98
	40	27	35	42	50	58	65	73	79	85	90	95
	20	21	27	35	42	50	58	65	73	79	85	90
	0	15	21	27	35	42	50	58	65	73	79	85
	-20	10	15	21	27	35	42	50	58	65	73	79
	-40	5	10	15	21	27	35	42	50	58	65	73
	-60	2	5	10	15	21	27	35	42	50	58	65
	-80	1	2	5	10	15	21	27	35	42	50	58
	-100	0	1	2	5	10	15	21	27	35	42	50
		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
		FSV										

La tabella 5. IV esprime i valori massimi in corrispondenza della combinazione dei valori massimi dei fattori (FRV ed FSV) adimensionalizzati, assegnando un valore di FPV pari a 100; alla combinazione dei valori minimi dei due indicatori viene invece assegnato un valore protettivo nullo (FPV = 0). La graduazione del FPV della vegetazione tra questi estremi è guidata dall'andamento evidenziato in tabella che assegna un valore protettivo intermedio (FPV=50) alle posizioni che si raccolgono lungo la diagonale della tabella. Dal calcolo dell'indicatore vengono escluse per definizione tutte le porzioni di territorio prive di copertura vegetale ed indicate in grigio sulla figura. Le celle che sono contrassegnate dal colore rosso (FPV compreso tra 85 e 100) rappresentano le porzioni di territorio dove l'azione protettiva della vegetazione raggiunge i massimi livelli; esattamente opposta la situazione per le zone contrassegnate dal colore verde (FPV basso) che identificano le porzioni di territorio dove l'apporto della vegetazione, pure di grande utilità, non è fondamentale.

Il fattore protettivo della vegetazione (FPV) rappresenta la sintesi dell'intera metodologia. La distribuzione di tale fattore sul territorio montano è riportata in figura 5.10.

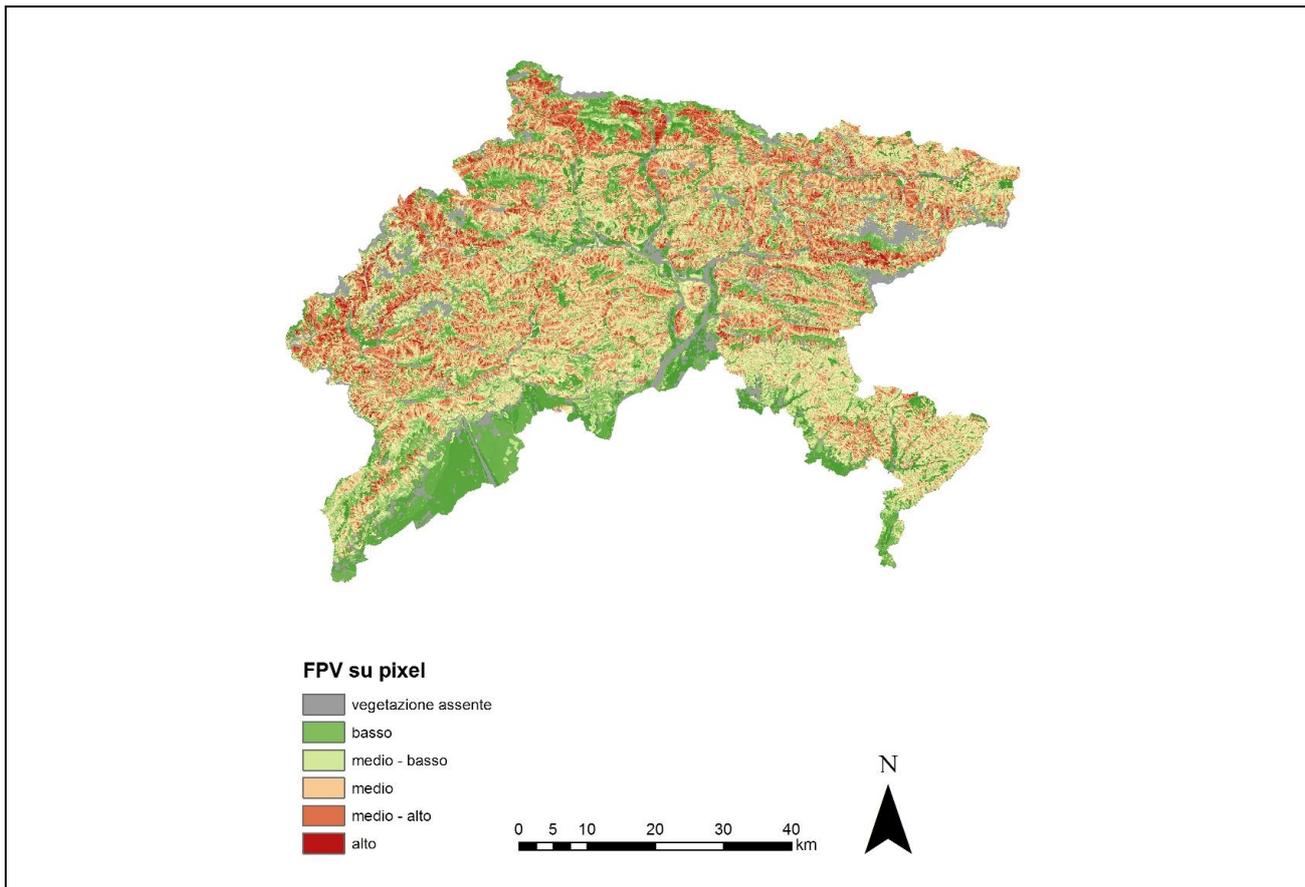


Fig. 5.10 – Carta del Fattore Protettivo della Vegetazione

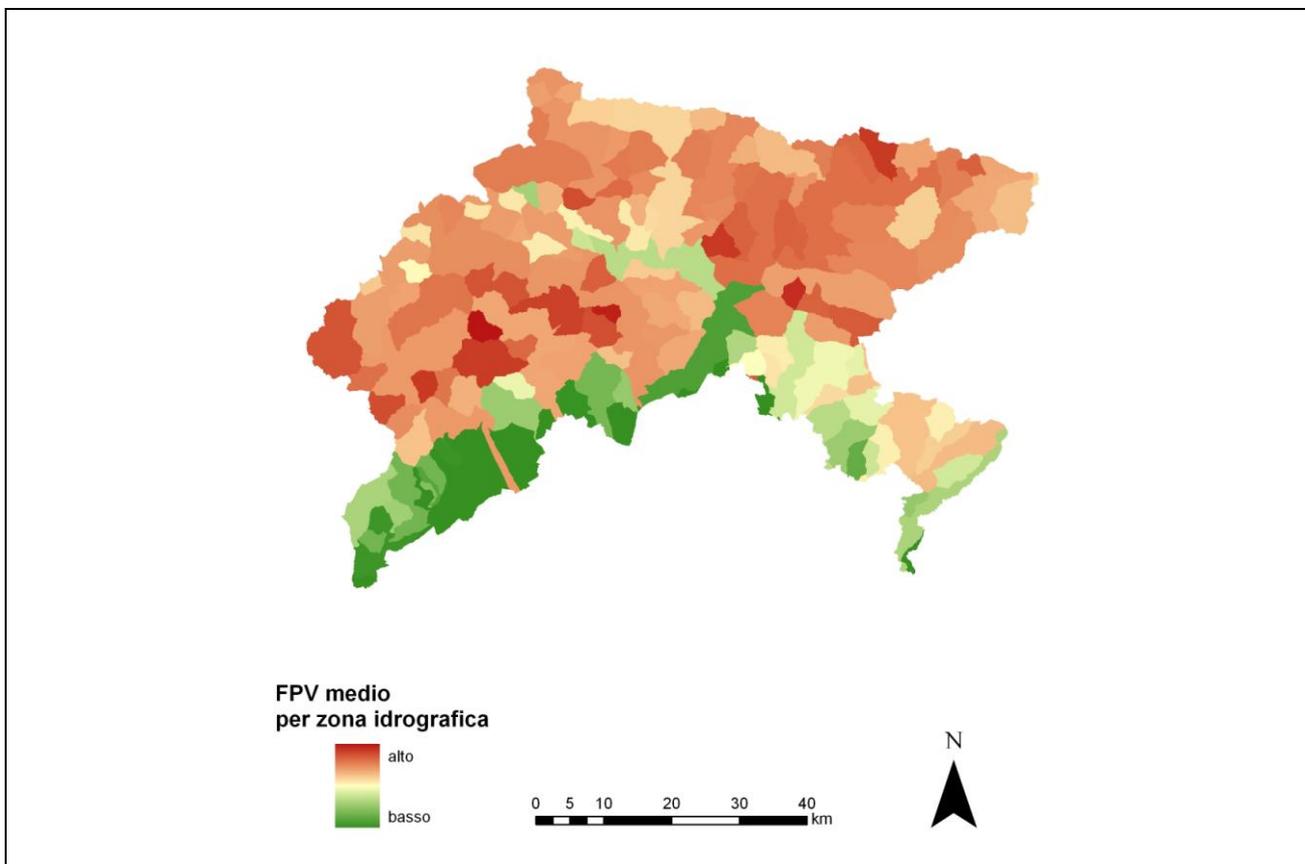


Fig. 5.11 – Carta del Fattore Protettivo della Vegetazione medio sulle Zone Idrografiche

PARTE II

Studio di Casi

Nel corso dell'intera ricerca, a partire da un primo lavoro sul Pontaiiba nel 1999, sono stati sperimentate varie tecniche di analisi del territorio, sempre ponendo la massima attenzione alla disponibilità di informazioni. E' infatti noto che qualsiasi strumento di studio può trovare facile applicazione solo se risulta "economico", ovvero, nel caso in esame, se risulta ragionevole il lavoro propedeutico necessario per il reperimento o la produzione delle informazioni necessarie. Fin dall'inizio del lavoro la regione Friuli è risultata carente dal punto di vista della cartografia tematica. Una carta geomorfologica completa è stata pubblicata solo nel 2006. Una carta dell'uso del suolo completa e dettagliata è tutt'ora mancante. Nel tempo sono state realizzate alcune cartografie, parziali o complete, con specifiche finalità e quindi di carattere non generale. Parte del territorio montano è descritto da una carta dei "tipi forestali" che, realizzata con finalità selvocolturali, copre sostanzialmente il territorio boschivo. Altre carte sono state derivate da una interpretazione automatizzata delle riprese da remoto, soprattutto da riprese multispettrali satellitari (Moland, Corine, Carta Natura). Tali cartografie, pur complete, denunciano l'approssimazione e l'imprecisione, a volte clamorosa, dovuta alla modesta affidabilità degli algoritmi di image processing sul territorio montano, fortemente affetto da ombreggiature dovute all'orografia. Nelle varie fasi della ricerca si è voluto sperimentare l'utilizzo delle varie fonti, come pure la produzione ex novo di una specifica cartografia tematica. Ciascuno dei casi illustrati rappresenta dunque un approccio sperimentale diverso, pur nella sostanziale identità della procedura. Vengono qui omessi i lavori precedenti al 2005 perché ritenuti del tutto propedeutici, anche dal punto di vista della sperimentazione, alla messa a punto della procedura di analisi della fragilità territoriale.

6 CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL RIO PONTAIBA

Gli studi preliminari per l'analisi della fragilità territoriale hanno avuto come teatro sperimentale il bacino del torrente Pontaiba, nelle Alpi Carniche.

L'estensione del bacino è pari a 29.2 km², la variazione altimetrica è compresa tra 574 e i 2040 m s.m e l'altezza media pari a 1176 m s.m. Le elaborazioni sono state condotte a partire dal DTM 10x10 ricavato dai dati della CTRN 1:5000.

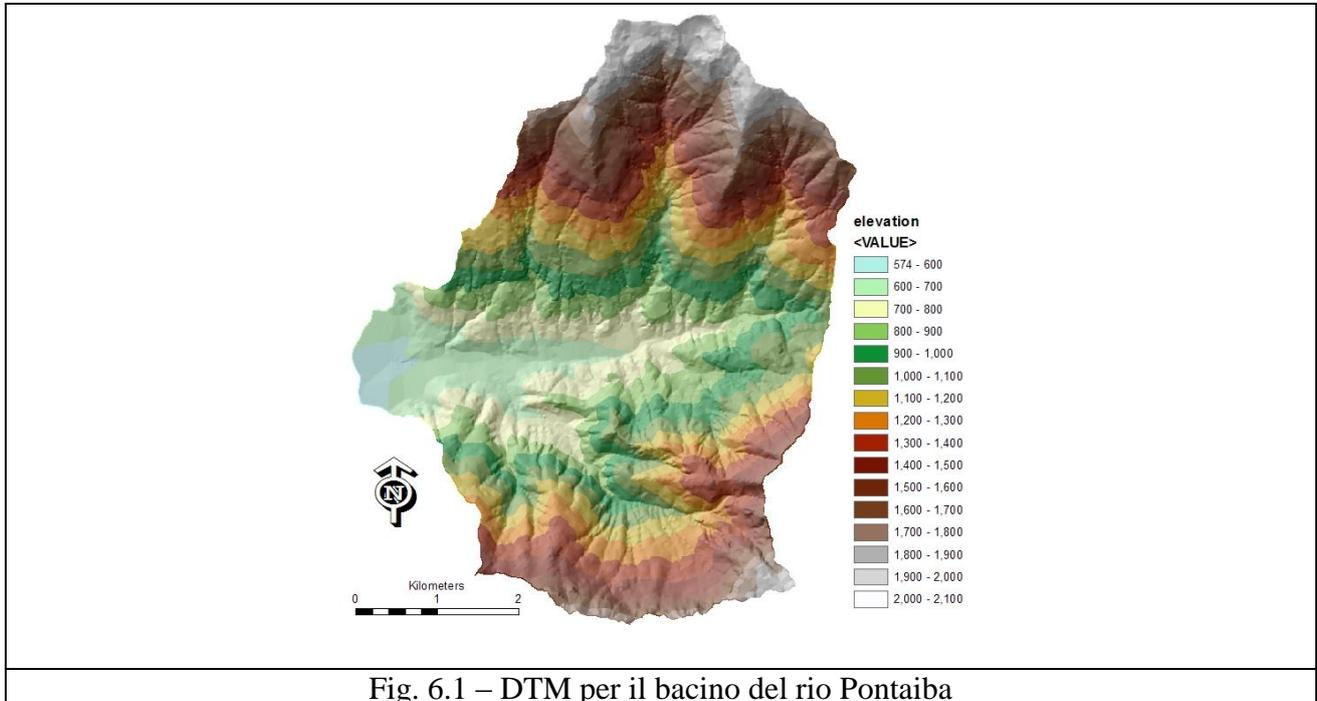


Fig. 6.1 – DTM per il bacino del rio Pontaiba

6.1 Carta geolitologica

La Carta geolitologica è quella realizzata dal servizio Geologico della Regione e utilizzata nel primo studio del bacino. La carta consente un'interpretazione dei litotipi in termini di permeabilità secondo canoni consolidati in ambito geologico. Ad essa è stato fatto riferimento per produrre la carta dei gruppi idrologici di permeabilità secondo lo schema originariamente proposto dal SCS.

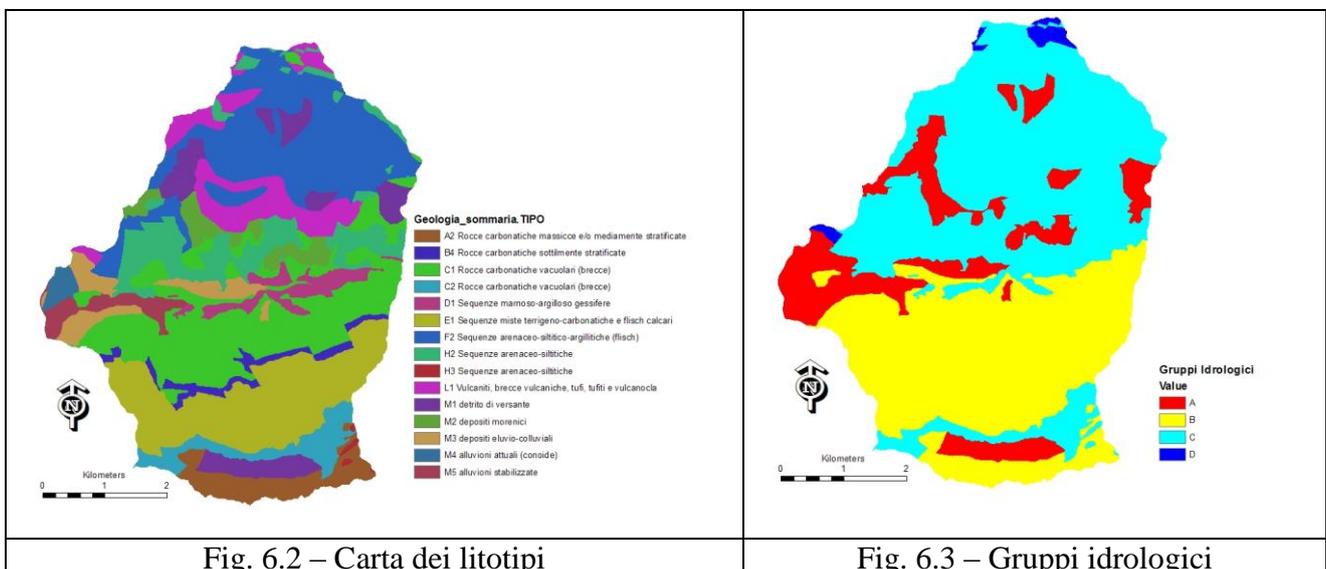


Fig. 6.2 – Carta dei litotipi

Fig. 6.3 – Gruppi idrologici

6.2 Carta dell'uso del suolo

Anche per il bacino del Pontaiba la carta di uso del suolo è stata prodotta integrando la carta dei tipi forestali con informazioni specifiche desunte dalle ortofoto e da numerosi rilievi a terra. L'ordine della legenda elenca le diverse categorie in ordine di efficienza idrologica decrescente. Ai vertici della scala si trova la vegetazione forestale a fustaia di buona densità, mentre tra le categorie più suscettibili di produrre deflussi superficiali troviamo le aree urbane e le superfici d'acqua.

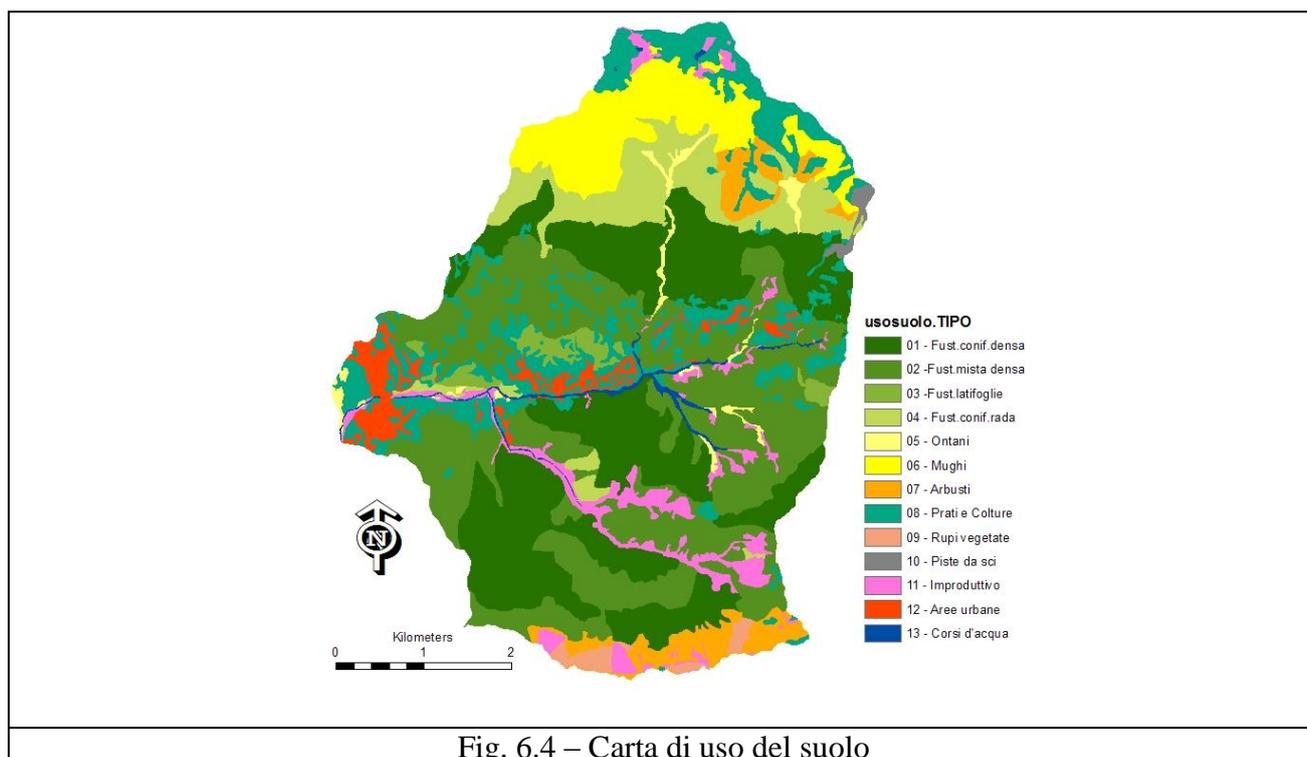


Fig. 6.4 – Carta di uso del suolo

6.3 Suddivisione in zone

I vari indicatori proposti nel presente lavoro possono essere mediati su zone definite a piacere sulla base di limiti amministrativi o di altra natura. La suddivisione più appropriata in relazione agli scopi dell'analisi è senz'altro quella in unità idrografiche. I sottobacini ai quali riferire le varie analisi possono essere ricavati in modo automatico dal DEM (Figura 6.5). L'operazione è del tutto arbitraria e non vi sono limiti tecnici al numero di sottobacini che si possono considerare.

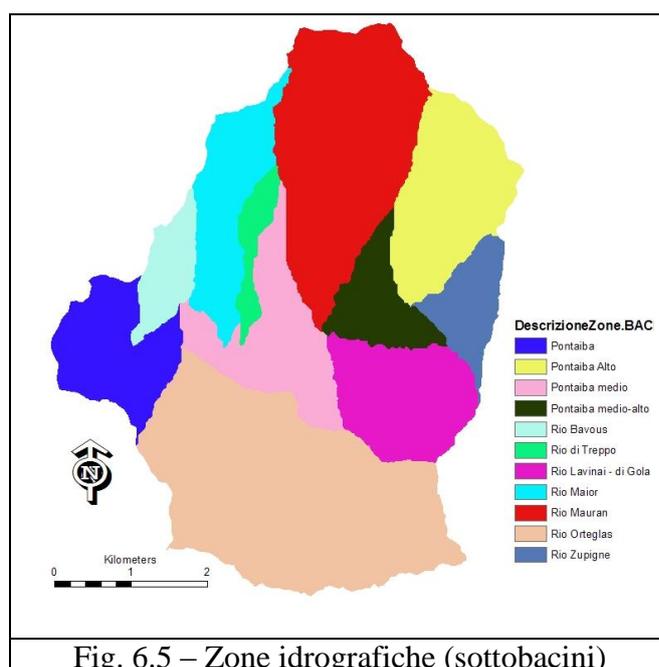
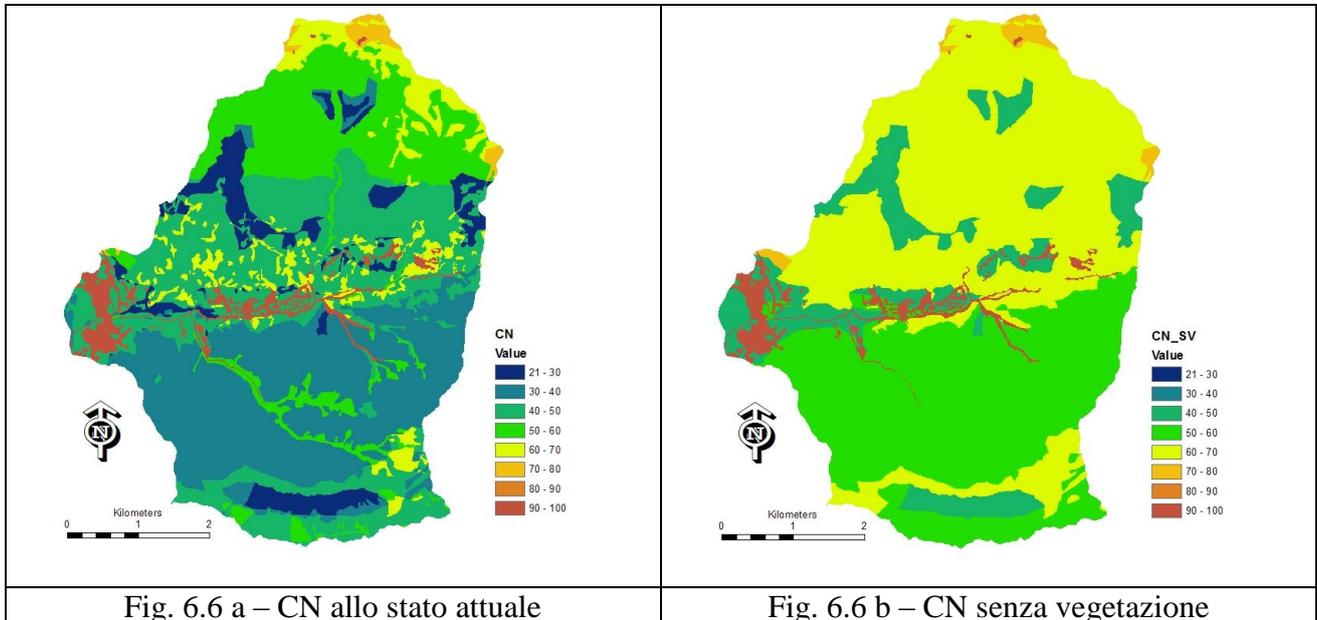


Fig. 6.5 – Zone idrografiche (sottobacini)

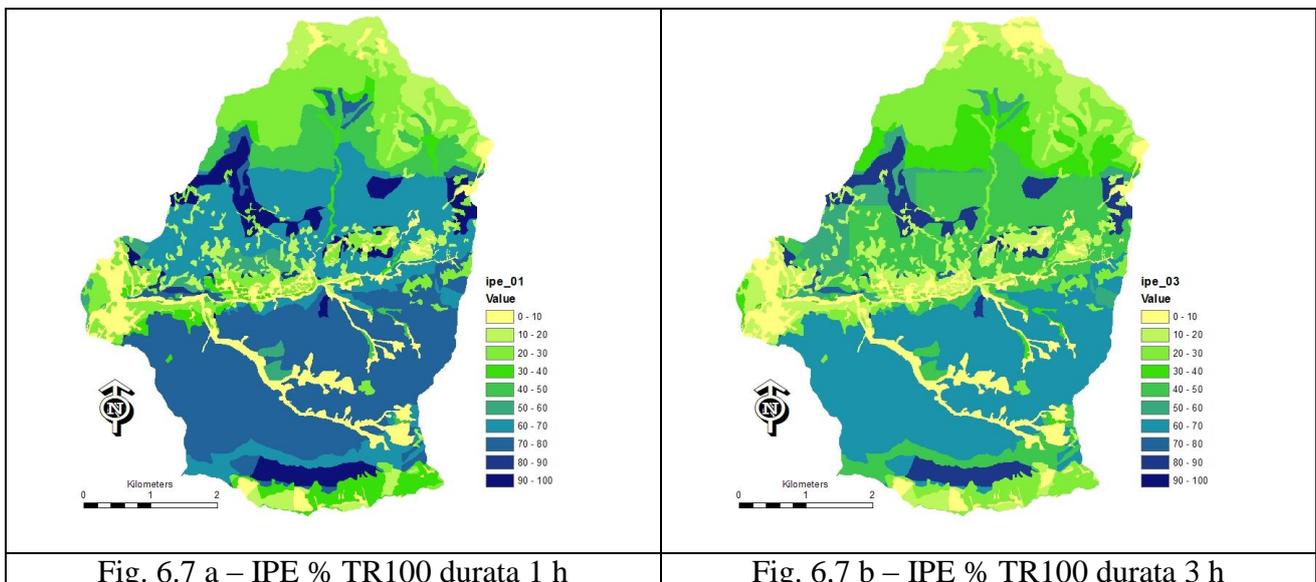
6.4 Curve Number ed Incremento di Pioggia Efficace

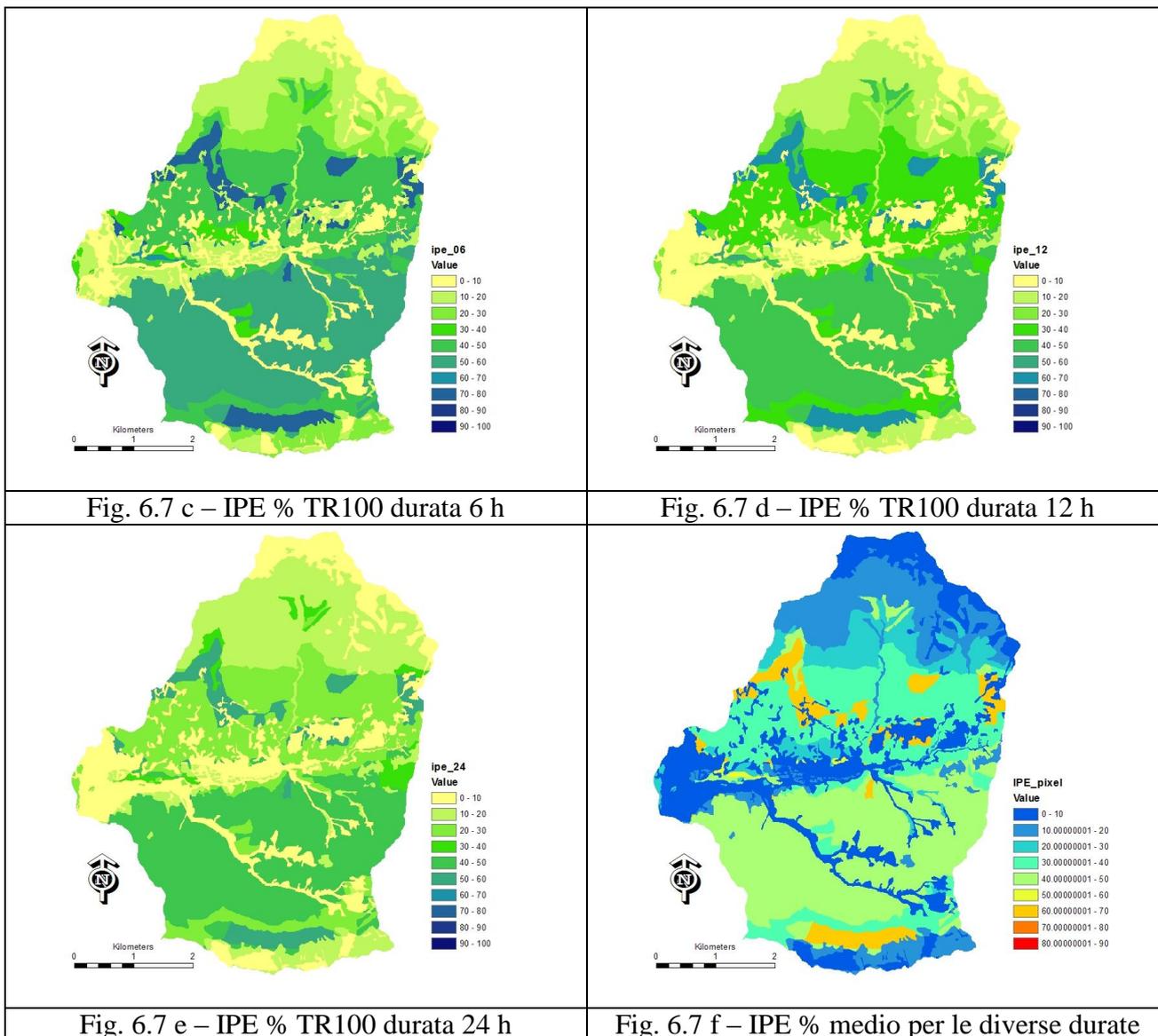
In seguito alla suddivisione in sottobacini la metodologia qui proposta procede con il calcolo degli indicatori che permettono di identificare il Fattore Regimante della Vegetazione.

Tali indicatori sono innanzitutto il CN, nella sua versione “attuale” e nell’ipotesi di rimozione della vegetazione (figura 6.6 a, b).



Successivamente, correlando tale dato con i valori di precipitazione, si ottiene l’Indicatore di Incremento di Pioggia Efficace – IPE – che in figura 6.7 viene mostrato nella classica suddivisione in durate di pioggia di 1, 3, 6, 12, e 24 ore.





6.5 Il Fattore Regimante della Vegetazione

Nel proporre l'indicatore FRV si considera che un effetto regimante locale (IPE sul pixel) molto alto risulta tanto più prezioso quanto meno efficiente è il bacino nel suo insieme (basso IPE_{zona}). Al contrario un pixel caratterizzato da un basso valore di IPE è probabilmente poco critico dal punto di vista delle trasformazioni d'uso del suolo, e tanto meno critico quanto più elevato è l'effetto regimante medio del bacino (alto IPE_{zona}) che lo comprende. Al valore di IPE sul pixel, corretto in base al valore di IPE per la zona è assegnata la denominazione di Fattore Regimante della Vegetazione (FRV).

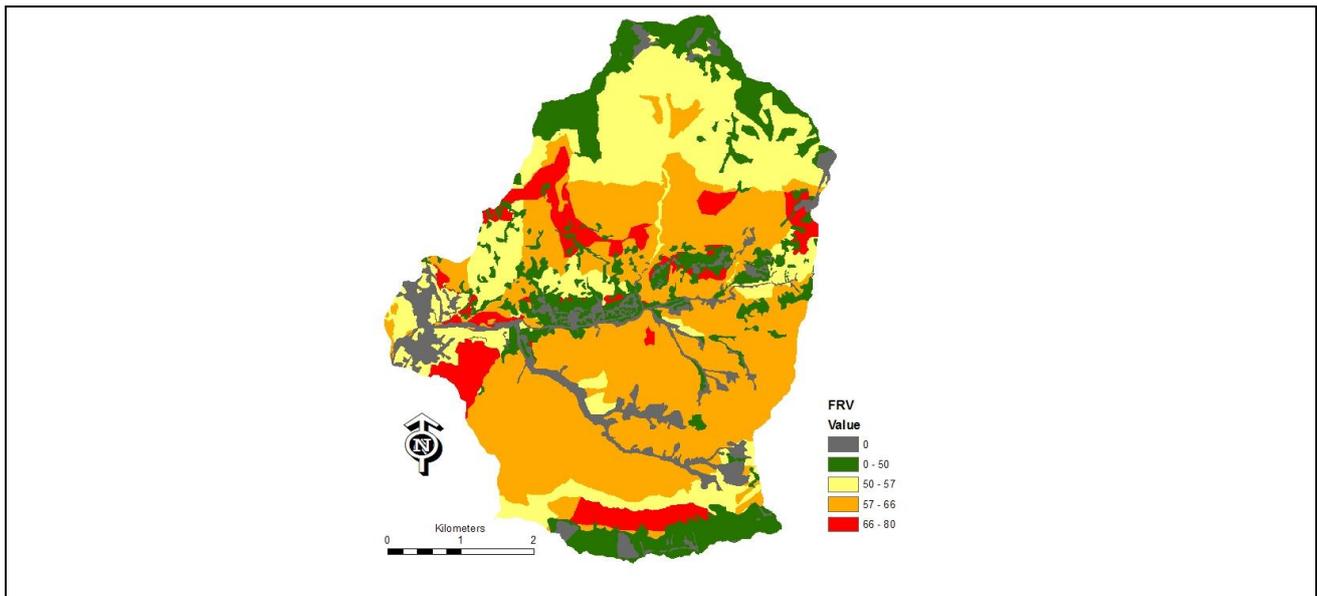


Fig. 6.8 – Fattore Regimante della Vegetazione

6.6 Il Fattore Stabilizzante della Vegetazione

In analogia a quanto messo in atto per il calcolo del Fattore Regimante della Vegetazione anche il Fattore Stabilizzante della Vegetazione è calcolato per differenza tra lo scenario che ipotizza l'assenza di vegetazione rappresentato da FID e la situazione di fatto che mette in campo l'azione stabilizzante delle varie formazioni vegetali (FPD). Tale differenza vale 0 nelle porzioni di bacino prive di vegetazione ed è, a parità di FID, tanto più marcata quanto maggiore è il peso assegnato alla vegetazione. Il Fattore Stabilizzante della Vegetazione per il bacino del Pontalba è riportato in figura 6.9.

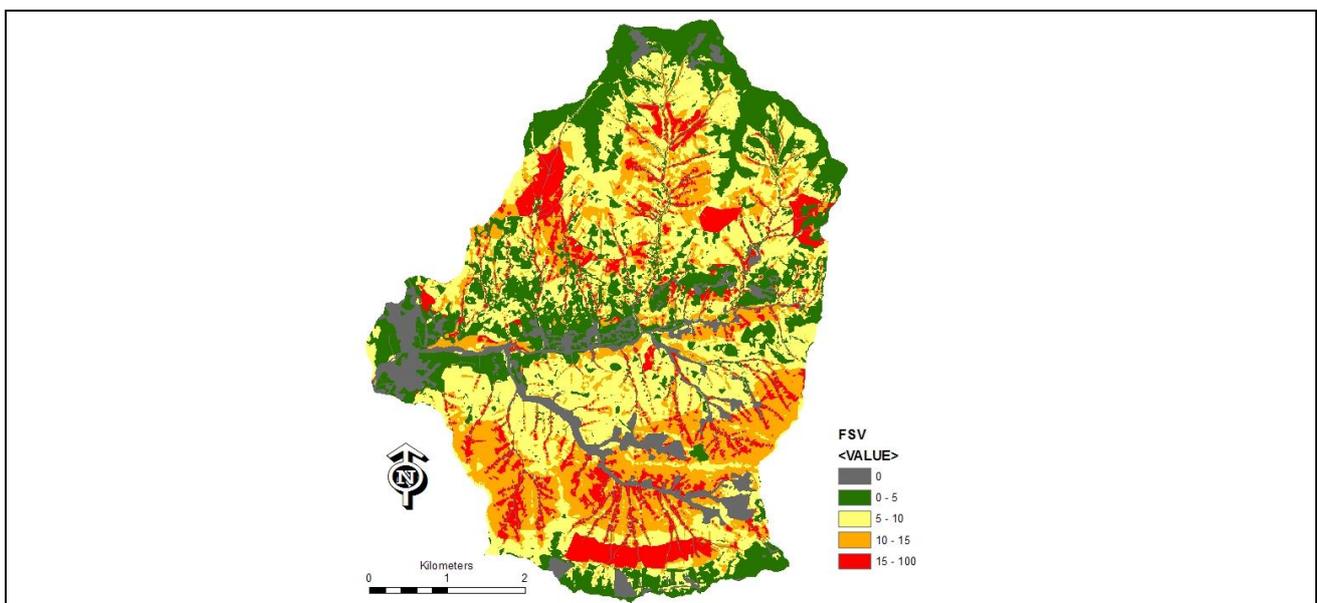


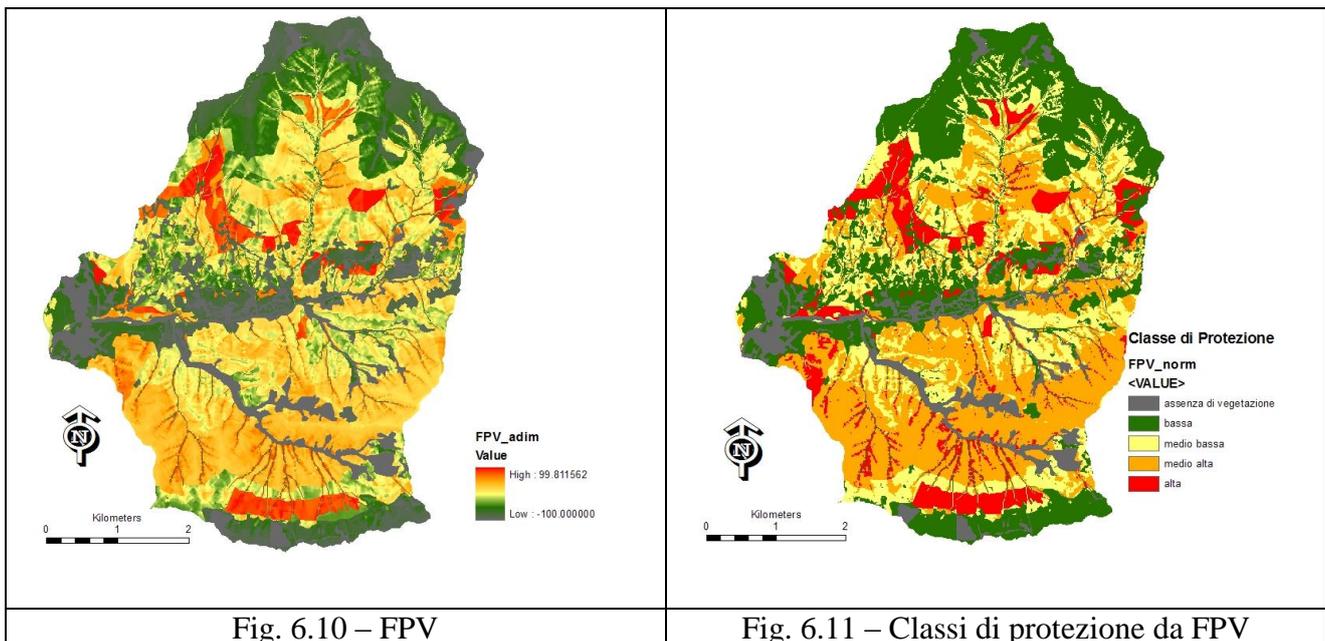
Fig. 6.9 – Fattore Stabilizzante della Vegetazione

6.7 Il Fattore Protettivo della Vegetazione

L'azione protettiva della vegetazione è complessivamente riconducibile alla combinazione dell'azione di regimazione sui deflussi di piena con quella di stabilizzazione dei versanti. Per agevolare la combinazione tra i due fattori questi devono essere opportunamente adimensionalizzati. Si tratta di un'operazione che contiene inevitabilmente elementi di arbitrarietà, essa può essere condotta sia con riferimento ad una scala compresa tra 0 e 100 o, più opportunamente, fissando il valore 0 con riferimento ad un valore medio e facendo variare tra 0 e 100 i valori sopra la media e tra 0 e -100 i valori che si collocano sotto la media. Se il valore medio utilizzato per l'adimensionalizzazione coincide con quello medio del bacino il risultato finale esprime la stessa variabilità della normalizzazione effettuata nell'intervallo 0-100, se invece il valore medio preso a riferimento è diverso da quello medio del bacino, ma riferito ad esempio ad un territorio più vasto (es. l'intera regione), allora la variabilità dell'indicatore adimensionalizzato viene ricollocata in modo asimmetrico nel campo dei valori negativi-positivi.

Il fattore protettivo della vegetazione (FPV) rappresenta la sintesi dell'intera metodologia. La distribuzione di tale fattore sul bacino del Potaiba è riportata in figura 6.10.

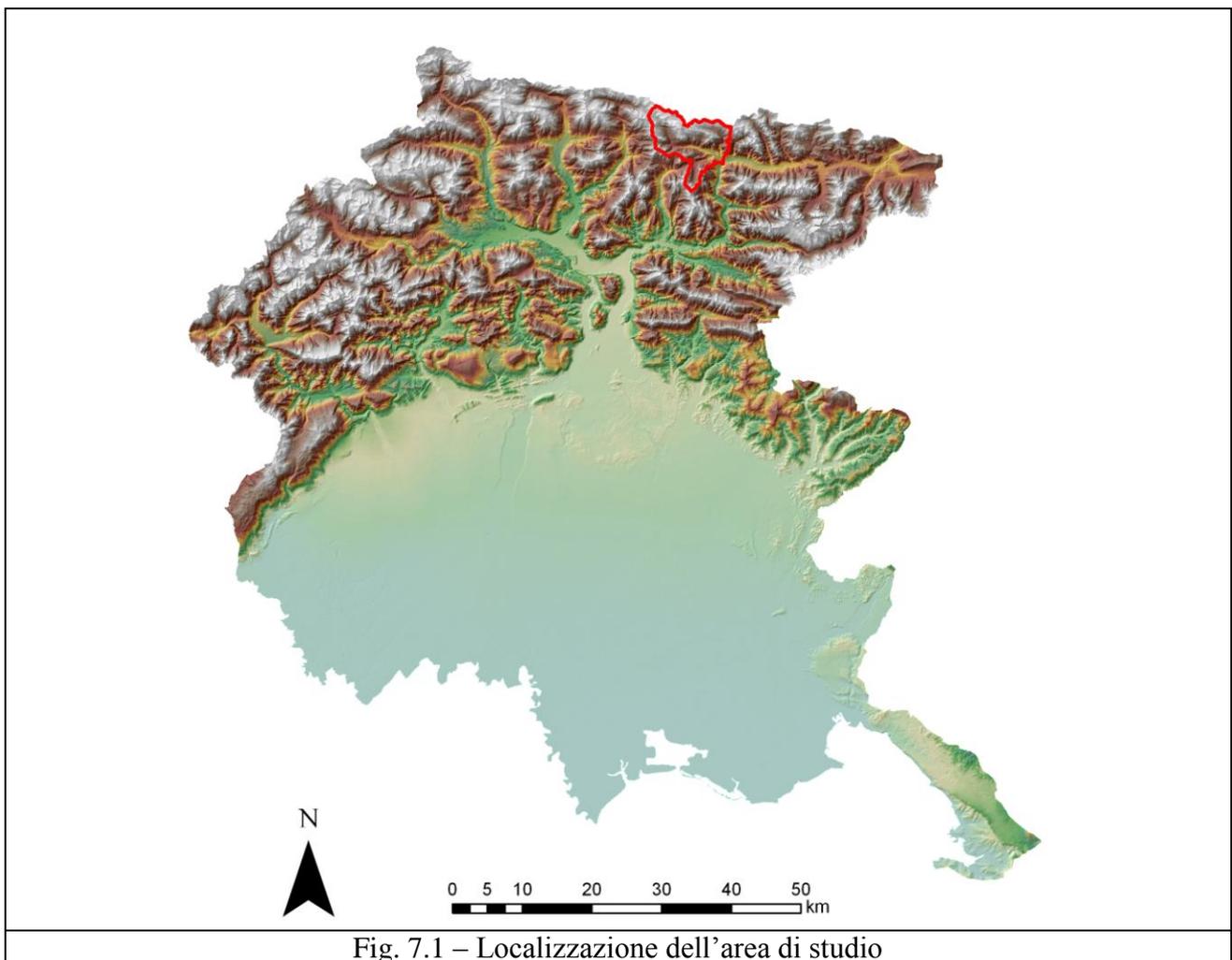
I valori prossimi a 100 (colore rosso) indicano le porzioni di territorio dove l'azione protettiva della vegetazione è molto elevata al contrario i valori bassi prossimi a zero (colore verde) evidenziano quelle situazioni in cui l'apporto della vegetazione non è particolarmente significativo. Dal calcolo di FPV sono escluse per definizione le porzioni di territorio prive di vegetazione. La figura 38 può opportunamente essere rappresentata per classi di protezione (figura 6.11)



7 CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL TORRENTE PONTEBBANA

7.1 Inquadramento del bacino

Gli obiettivi dello studio sul Pontebbana sono da ricercarsi fundamentalmente nel confronto tra i risultati perseguibili utilizzando un DTM ad elevata risoluzione (10x10 m) rispetto al DTM standard disponibile 40x40 m. Inoltre per il Pontebbana si è realizzata una carta dell'uso del suolo specifica per il lavoro. La base informativa realizzata per il caso di studio del Pontebbana si basa dunque in larga parte sulle ortofoto del volo IT2003 e su dati derivati dalla Carta Tecnica Numerica alla scala 1:5000. Alcuni piani informativi derivano dalla banca dati del progetto Interreg III-B Spazioalpino - Catchrisk: Mitigation of hydro-geological risk in alpine catchments – di cui la Regione Friuli Venezia Giulia è stata partner (Cazorzi e Bincoletto, 2005).

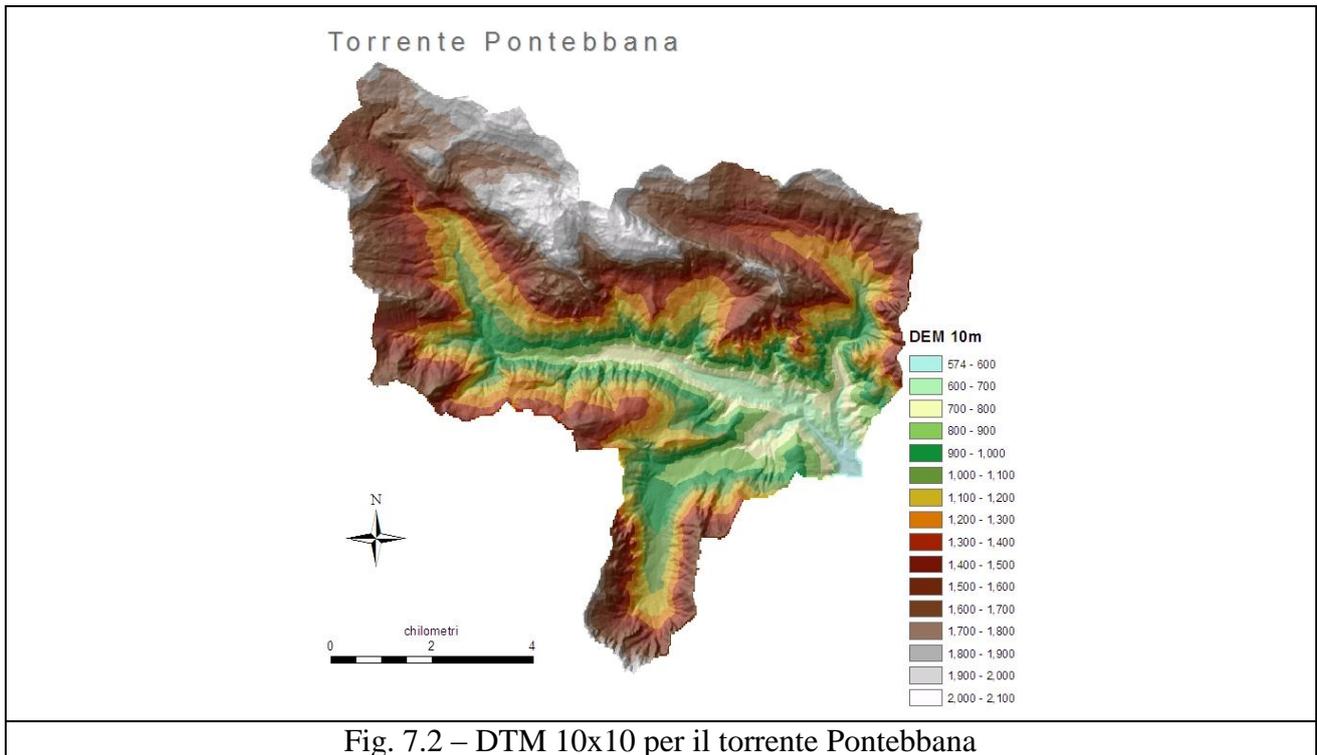


7.2 strati informativi di base

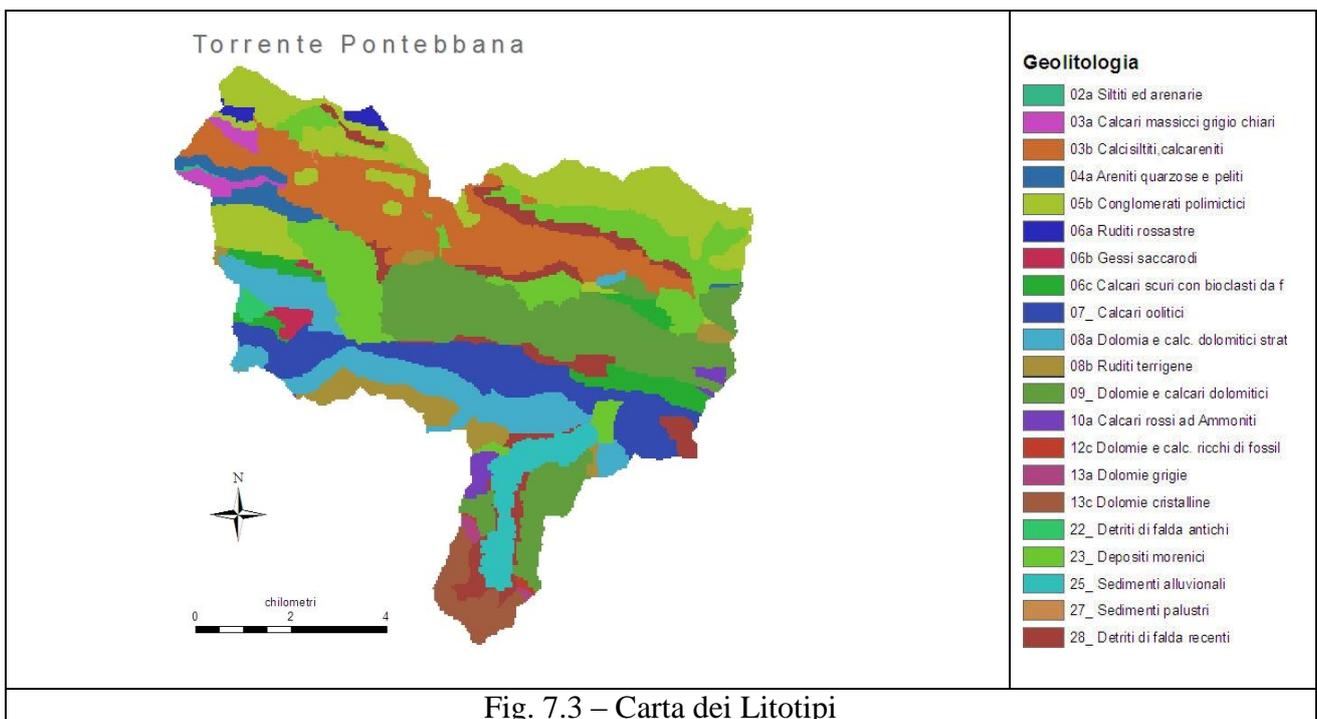
L'estensione del bacino ricavata sul DTM 40x40m è pari a 71.4 km², la variazione altimetrica è compresa tra 556 e i 2240 m s.m e l'altezza media pari a 1348 m s.m.

Per il Pontebbana è stato realizzato un DTM con risoluzione 10 m (fig. 7.2) a partire dai layer orografici della CTRN5000. I valori ricavati da tale DTM sono: area 71.0 km², estensione da 555 a 2240 m s.m., quota media 1352 m s.m. Come si vede i valori sono del tutto confrontabili anche se il

grado di dettaglio della rappresentazione gioca tutto a grande favore del DEM 10x10, come si evince anche graficamente dalla figura 7.2.



La Carta geolitologica è quella realizzata dal servizio Geologico della Regione e utilizzata nel primo studio del bacino. La carta consente un'interpretazione dei litotipi in termini di permeabilità secondo canoni consolidati in ambito geologico. Ad essa è stato fatto riferimento per produrre la carta dei gruppi idrologici di permeabilità secondo lo schema originariamente proposto dal SCS.



L'interpretazione in chiave di permeabilità del litotipo della carta geolitologica ha consentito di individuare quattro gruppi idrologici: A (permeabilità alta), B (permeabilità medio-alta), C (permeabilità medio-bassa) e D (permeabilità bassa). Nella conversione è stata utilizzata la tabella 5.I, ottenuta combinando informazioni reperite in letteratura, integrate sulla base di considerazioni sulla natura dei tipi geolitologici locali.

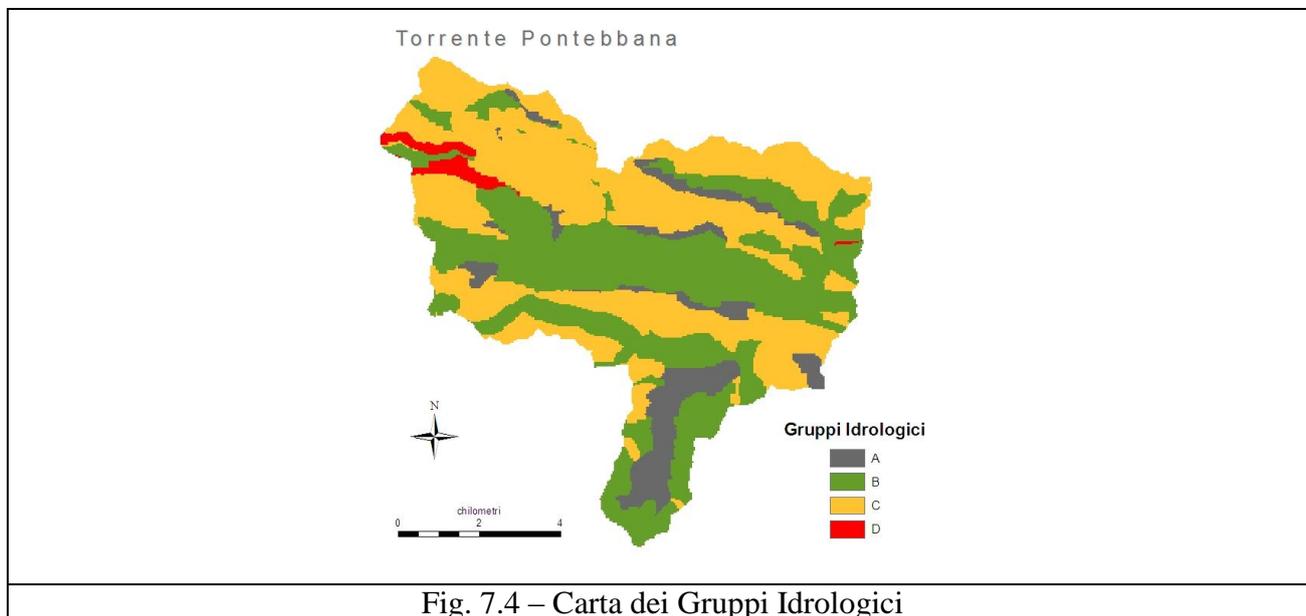


Fig. 7.4 – Carta dei Gruppi Idrologici

La carta di uso del suolo è stata redatta sulla base di una interpretazione speditiva dell'ortofoto con verifiche a terra, una metodologia già collaudata in numerosi precedenti lavori. La legenda adottata è ritenuta valida per l'intero territorio montano della Regione e comprende 19 categorie in ordine di efficienza idrologica decrescente. Ai vertici della scala si trova la vegetazione forestale a fustaia di buona densità, mentre tra le categorie più suscettibili di produrre deflussi superficiali troviamo le aree urbane e le superfici d'acqua. Nel bacino in esame non sono state individuate superfici in rimboscimento di dimensione significativa.

La carta di uso del suolo scelta per il presente lavoro è mostrata in figura 7.5.

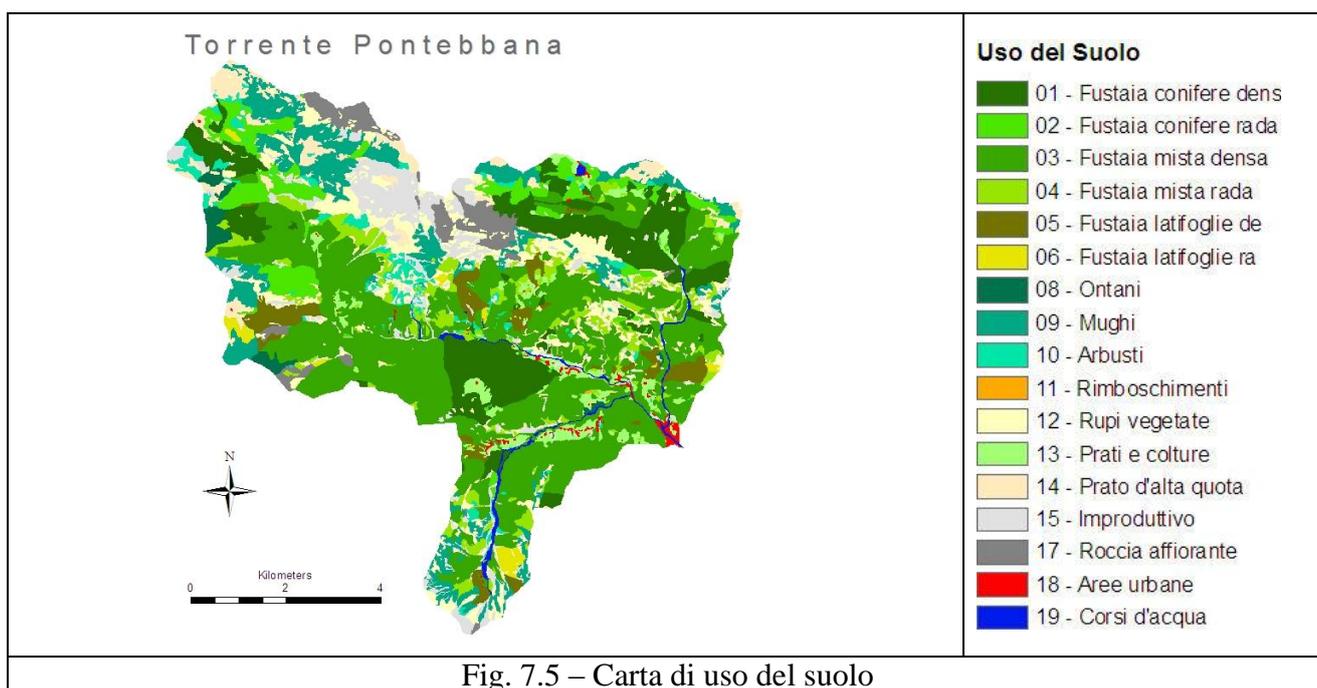


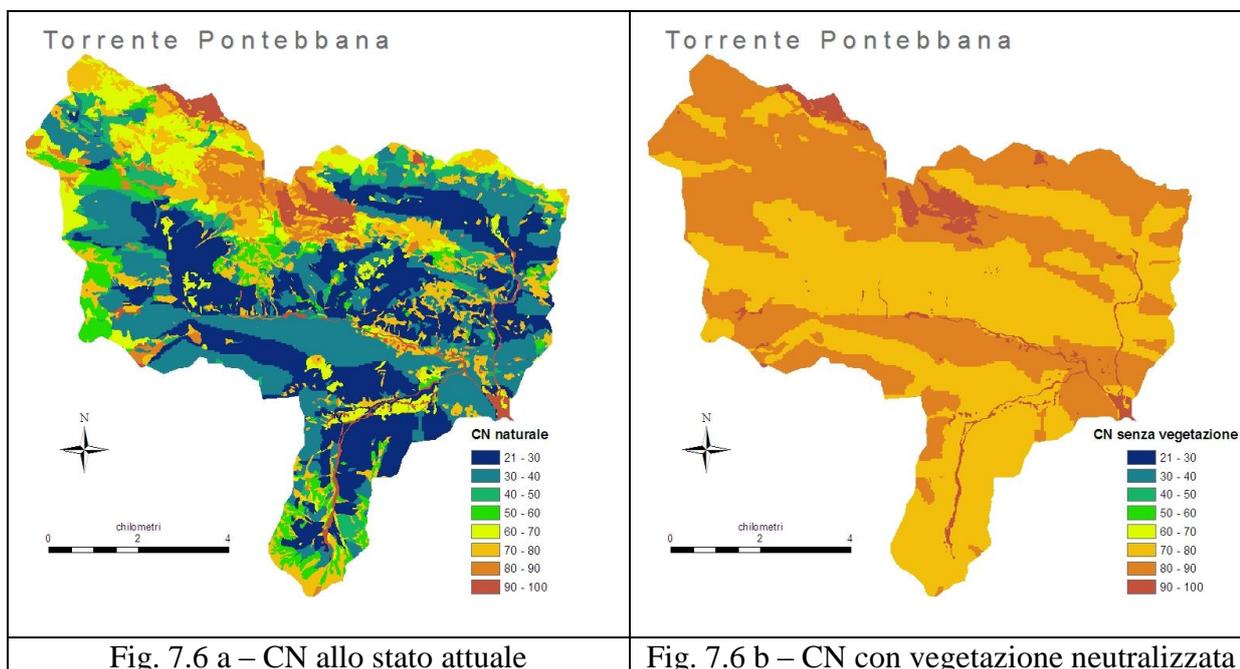
Fig. 7.5 – Carta di uso del suolo

I dati di pericolosità climatica (LSP) sono i medesimi utilizzati per l'analisi della fragilità per l'intera montagna friulana.

7.3 mappatura della fragilità territoriale

I calcoli preliminari alla mappatura della fragilità territoriale sono riferiti al metodo del Soil Conservation Service ed al ruolo ricoperto dall'indicatore "Curve Number". Le tabelle con le combinazioni suolo/soprassuolo sono quelle illustrate sia per i valori reali che per quelli neutralizzati nel capitolo 5 (tab. 5.I e 5.II).

Di seguito (fig. 7.6 a, b) vengono invece mostrate le mappe relative alle due diverse condizioni.



Si procede quindi al calcolo della pioggia efficace per ciascuna delle due carte del CN utilizzando le precipitazioni con tempo di ritorno 100 anni e di durata crescente compresa tra 1 e 24 ore, ricavate dalla linea segnalatrice di probabilità pluviometrica. Le relative mappe di pioggia efficace sono riportate per tutte le durate nella banca dati GIS.

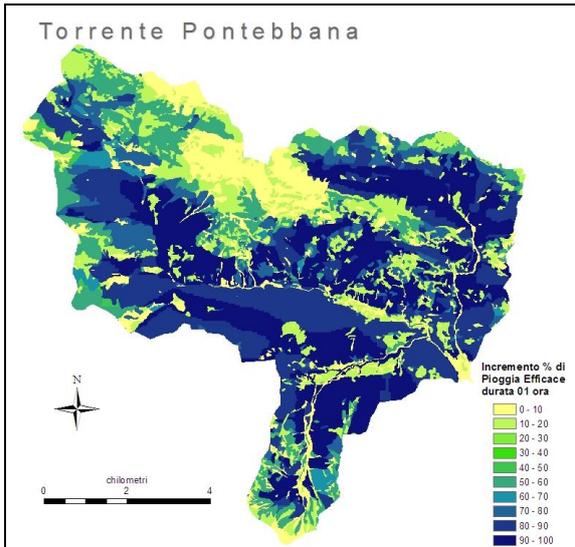


Fig. 7.7 a – IPE % TR 100 durata 1 h

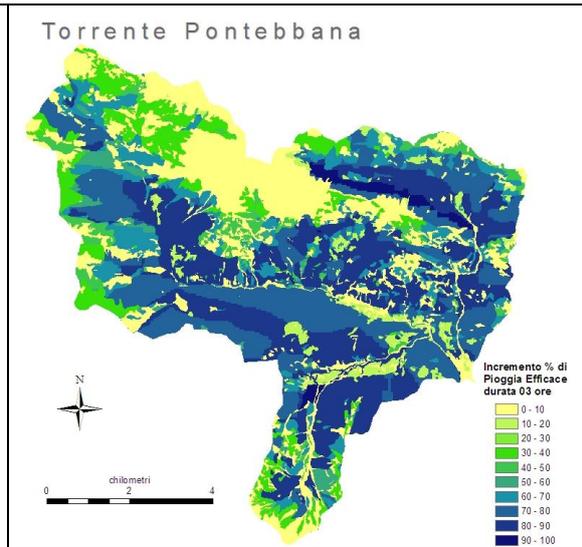


Fig. 7.7 b – IPE % TR 100 durata 3 h

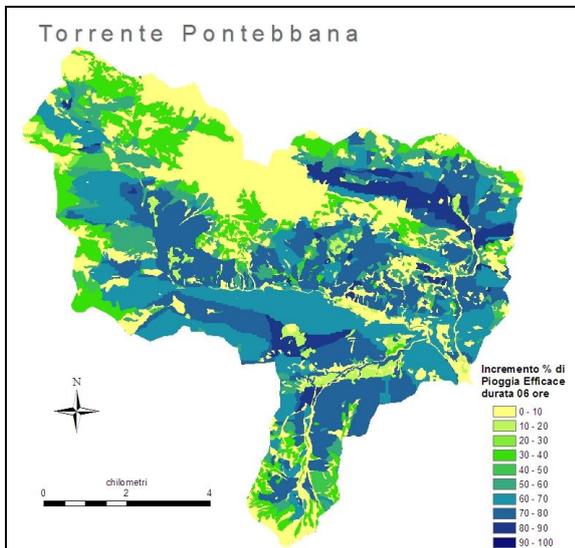


Fig. 7.7 c – IPE % TR 100 durata 6 h

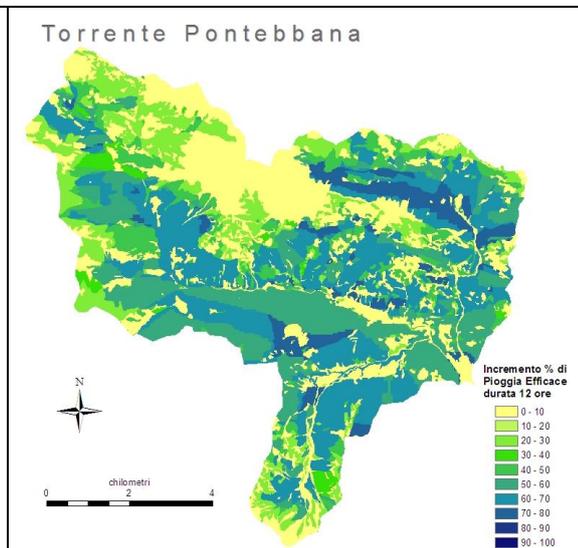


Fig. 7.7 d – IPE % TR 100 durata 12 h

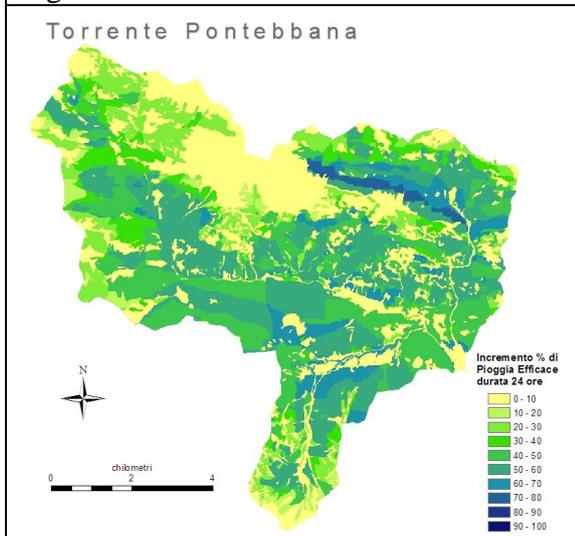


Fig. 7.7 e – IPE % TR 100 durata 24 h

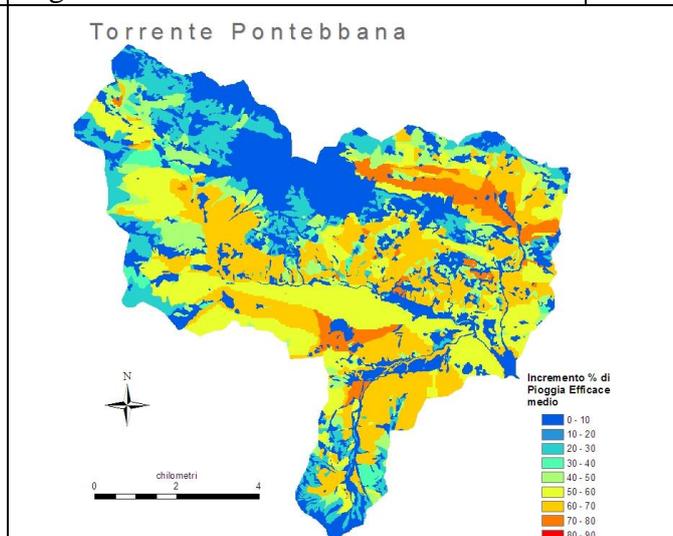
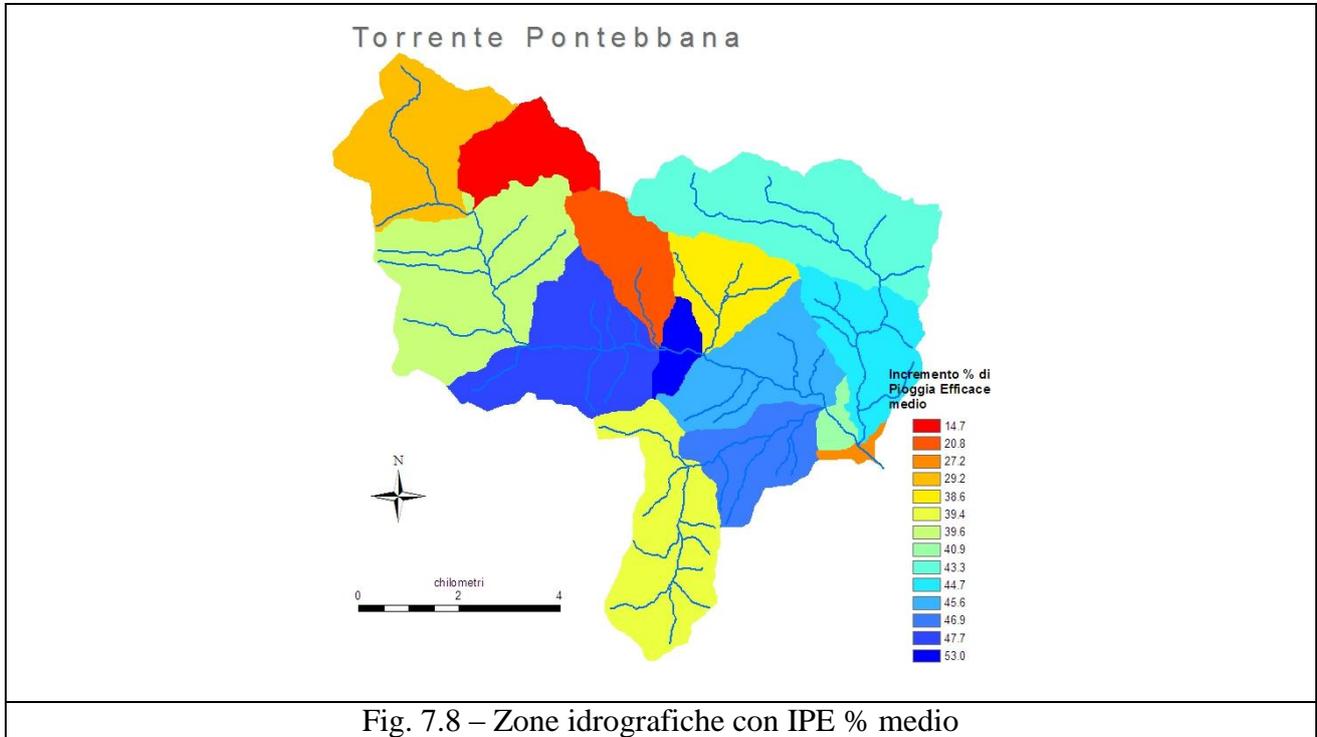


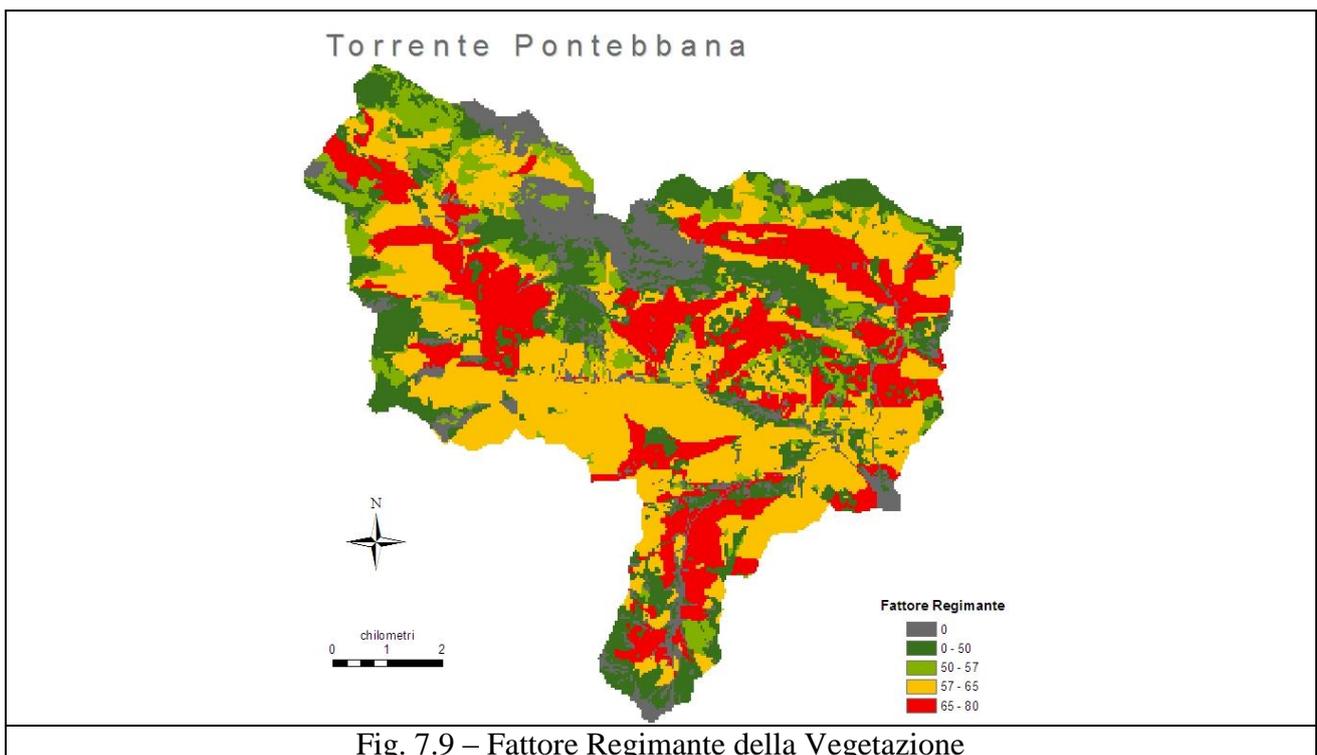
Fig. 7.7 f – IPE % medio per le diverse durate

Come noto in letteratura l'uso del solo IPE presenta alcuni limiti nel delineare l'effetto regimante della vegetazione; si passa così al calcolo di FRV che deve essere sempre preceduto dalla suddivisione in sottobacini (o zone idrografiche) dell'area in esame.

Le zone idrografiche per il bacino del torrente Pontebbana sono illustrate in figura 7.8 correlate anche dal rispettivo valore di IPE % medio.



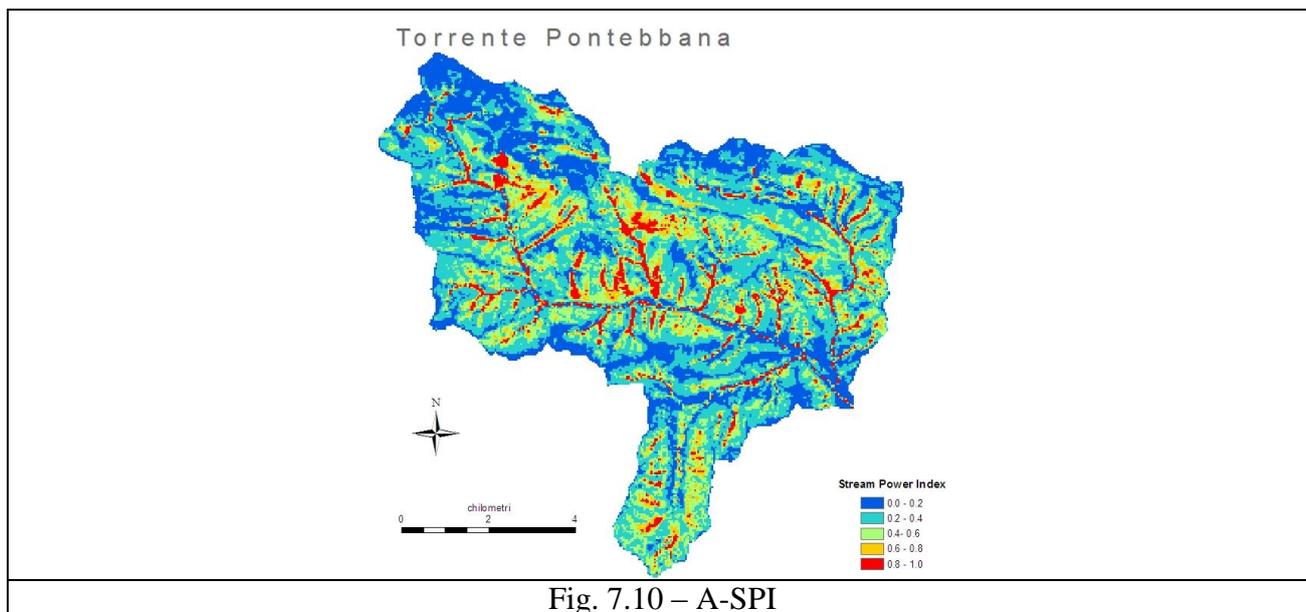
Il valore del Fattore Regimante della Vegetazione assume invece la distribuzione spaziale mostrata in figura 7.9.



L'analisi del ruolo stabilizzante della vegetazione nei confronti dello strato di terreno esplorato dalle radici viene condotta mediante l'iniziale generazione degli indicatori di "stream power" che combinano il valore di area drenata con la pendenza locale per ciascuna cella del bacino.

Il calcolo degli indicatori di *stream power* ha come output fondamentale la carta di A-SPI (*Adimensionale - Stream Power Index*) la quale pone in evidenza le zone privilegiate dall'attività erosiva, identificandole principalmente all'interno del reticolo idrografico.

Per il bacino del torrente Pontebbana l'andamento di A-SPI è illustrato in figura 7.10.

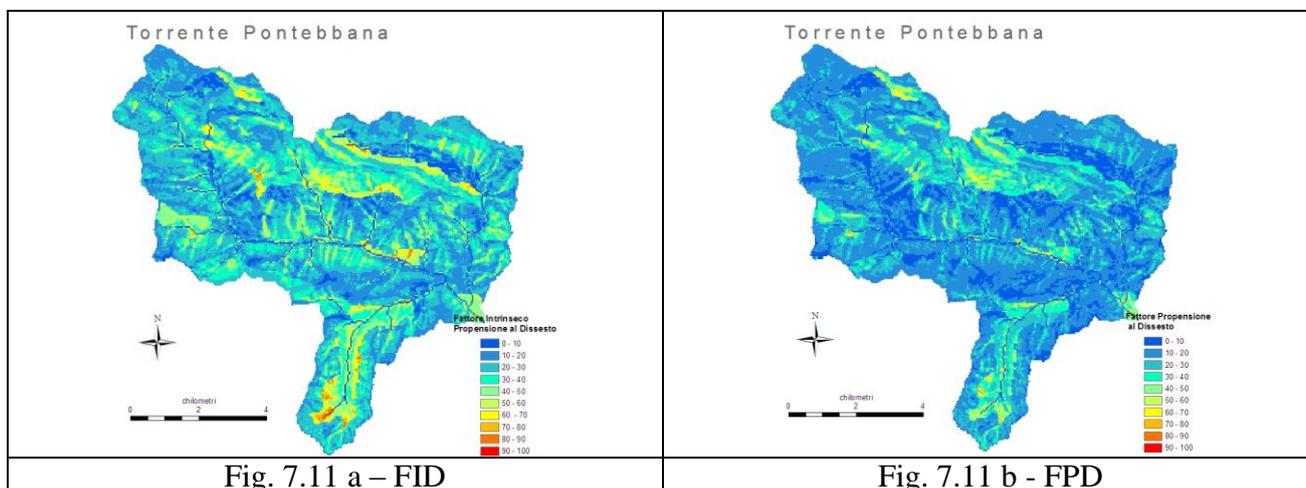


ASPI, tuttavia, considera solo gli aspetti morfometrici del territorio e non è sufficiente all'analisi del ruolo stabilizzante della vegetazione.

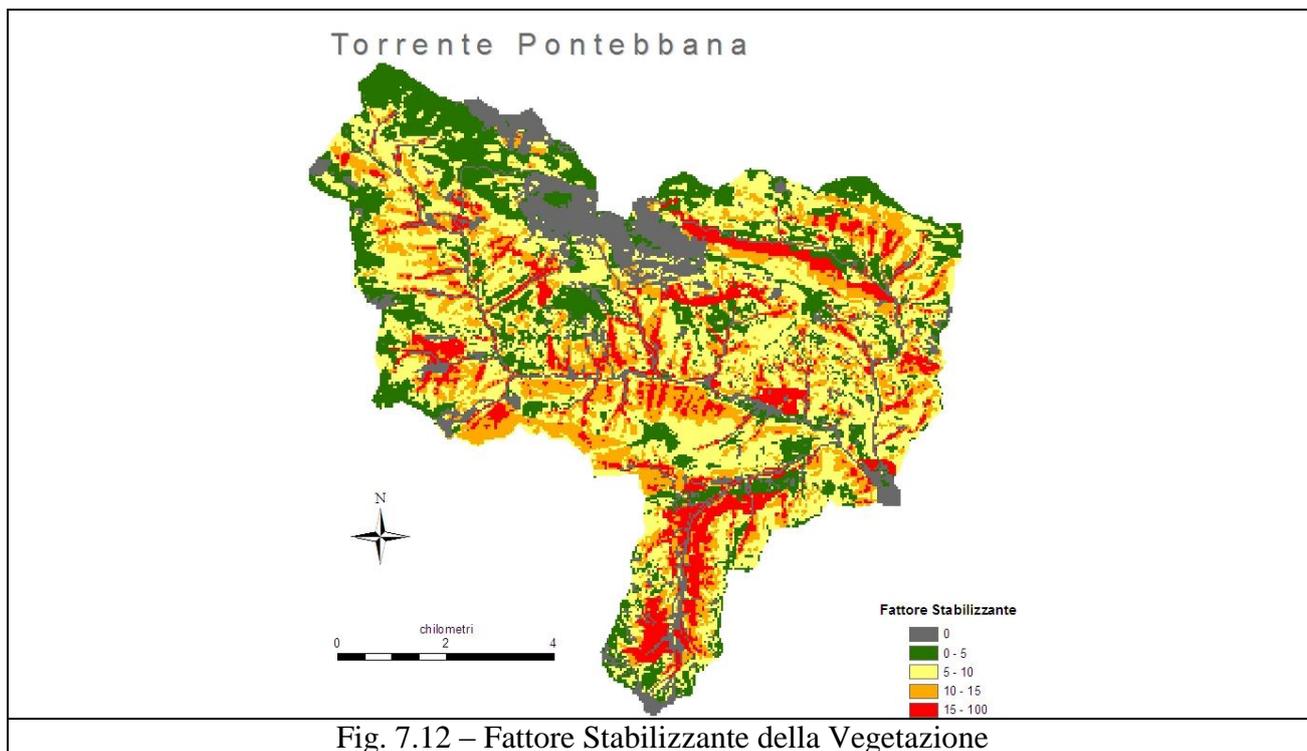
Per questo motivo anche nel bacino in esame si è presa in considerazione la stabilità del litotipo (FID) e le modifiche ad essa apportate dalla presenza di una copertura vegetale (FPD).

Il Fattore Intrinseco di Propensione al Dissesto è stato quindi calcolato assegnando dei pesi a ciascun tipo litologico riferiti alla sua fragilità intrinseca; il Fattore di Propensione al Dissesto, invece, è stato successivamente calcolato assegnando dei pesi "stabilizzanti" a ciascuna categoria di uso del suolo presente nel bacino di studio.

Le differenze tra FID ed FPD sono evidenti in figura 7.11 (a, b) dove appare chiaro come la vegetazione riesca a mitigare la tendenza alla franosità che avrebbe il terreno nudo.



In analogia a quanto messo in atto per il calcolo del Fattore Regimante della Vegetazione anche il Fattore Stabilizzante della Vegetazione è calcolato per differenza tra lo scenario che ipotizza l'assenza di vegetazione rappresentato da FID e la situazione di fatto che mette in campo l'azione stabilizzante delle varie formazioni vegetali (FPD). Tale differenza vale zero nelle porzioni di bacino prive di vegetazione ed è, a parità di FID, tanto più marcata quanto maggiore è il peso assegnato alla vegetazione. Il Fattore Stabilizzante della Vegetazione per il bacino del Pontebbana è riportato in figura 7.12.



7.4 il fattore protettivo della vegetazione

Il fattore protettivo della vegetazione (FPV) rappresenta la sintesi dell'intera metodologia. La distribuzione di tale fattore sul bacino del Pontebbana è riportata in figura 7.13.

Il bacino viene suddiviso in "classi di protezione" in analogia con quanto svolto per la montagna friulana; la rappresentazione cartografica è riferita al DTM con risoluzione 10 metri.

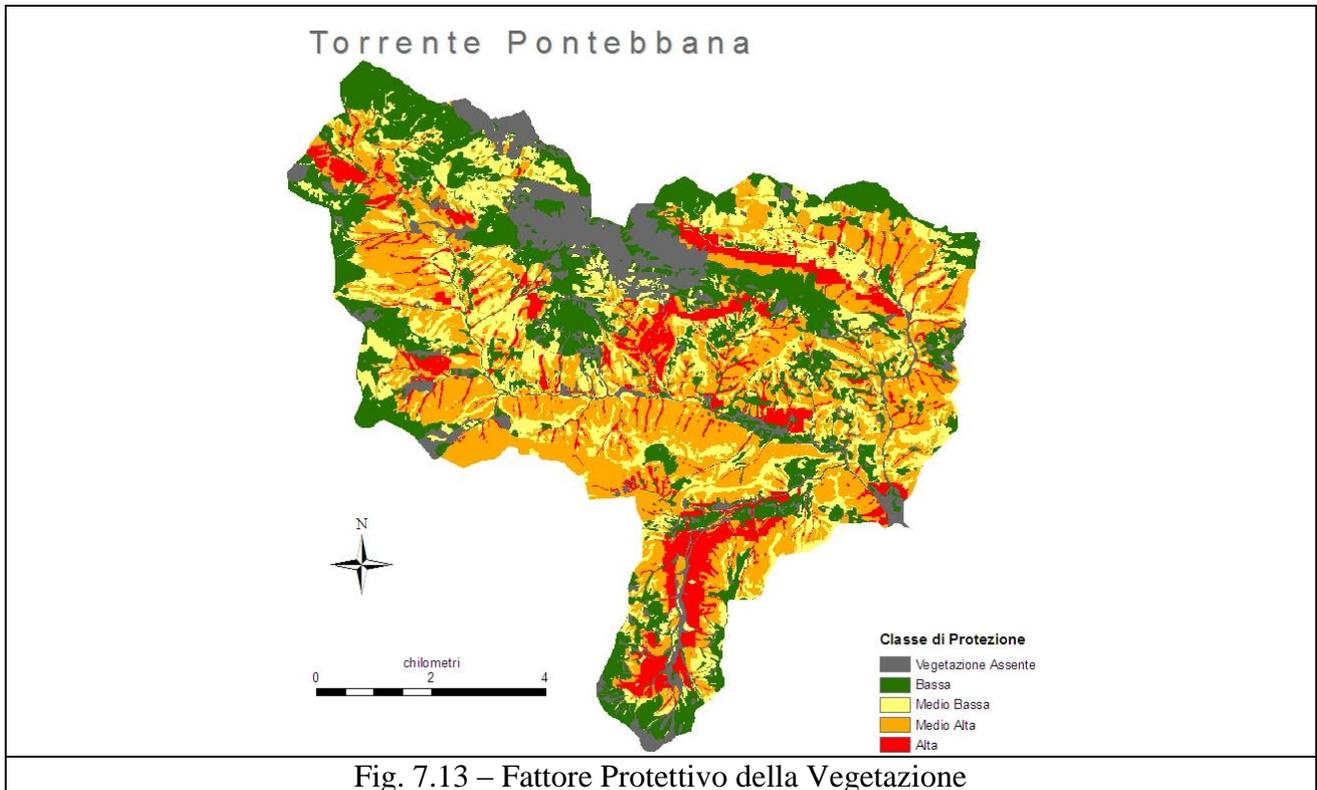


Fig. 7.13 – Fattore Protettivo della Vegetazione

8 CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL BUT

Per il bacino del But è stata realizzata una specifica carta dell'uso del suolo a partire dalla fotointerpretazione speditiva con numerose verifiche a terra. Tale carta è stata confrontata con quella ricavata dal completamento della carta dei "tipi forestali". Inoltre la procedura di definizione della fragilità territoriale è stata integrata con un'analisi modellistica della stabilità superficiale.

8.1 inquadramento del bacino

La sezione di chiusura dell'area in esame (fig. 8.1) è stata posta a monte della confluenza con il torrente Chiarsò (coordinate UTM: 2 368 924, 5 146 676) ed il bacino così isolato presenta un'estensione di 163 km² è localizzato nelle Alpi Carniche, parte settentrionale della regione Friuli Venezia Giulia. La quota massima raggiunta dalle cime dello spartiacque è di 2721 m, le zone più basse sono situate a 395 m e l'altitudine media risulta pari a 1217 m s.l.m. Dalla sorgente (Forcella Plumbs, rio Chiaula, 1970 m s.l.m.) alla confluenza con il Chiarsò, il But percorre un'ampia valle glaciale dove trovano spazio diversi abitati (Timau, Paluzza, Rivo, Cercivento, Sutrio e Arta Terme) che rendono particolarmente critici i fenomeni idrologici estremi che generano nel bacino.

Al But afferiscono quattro affluenti principali: rio Galdegna e rio Saustri in destra idrografica e torrenti Moscardo e Pontaiba in sinistra idrografica. Sia il ramo principale del reticolo idrografico sia i suoi affluenti presentano rilievi con elevate pendenze e una struttura geomorfologia adatta alla formazione di notevoli quantità di trasporto solido.

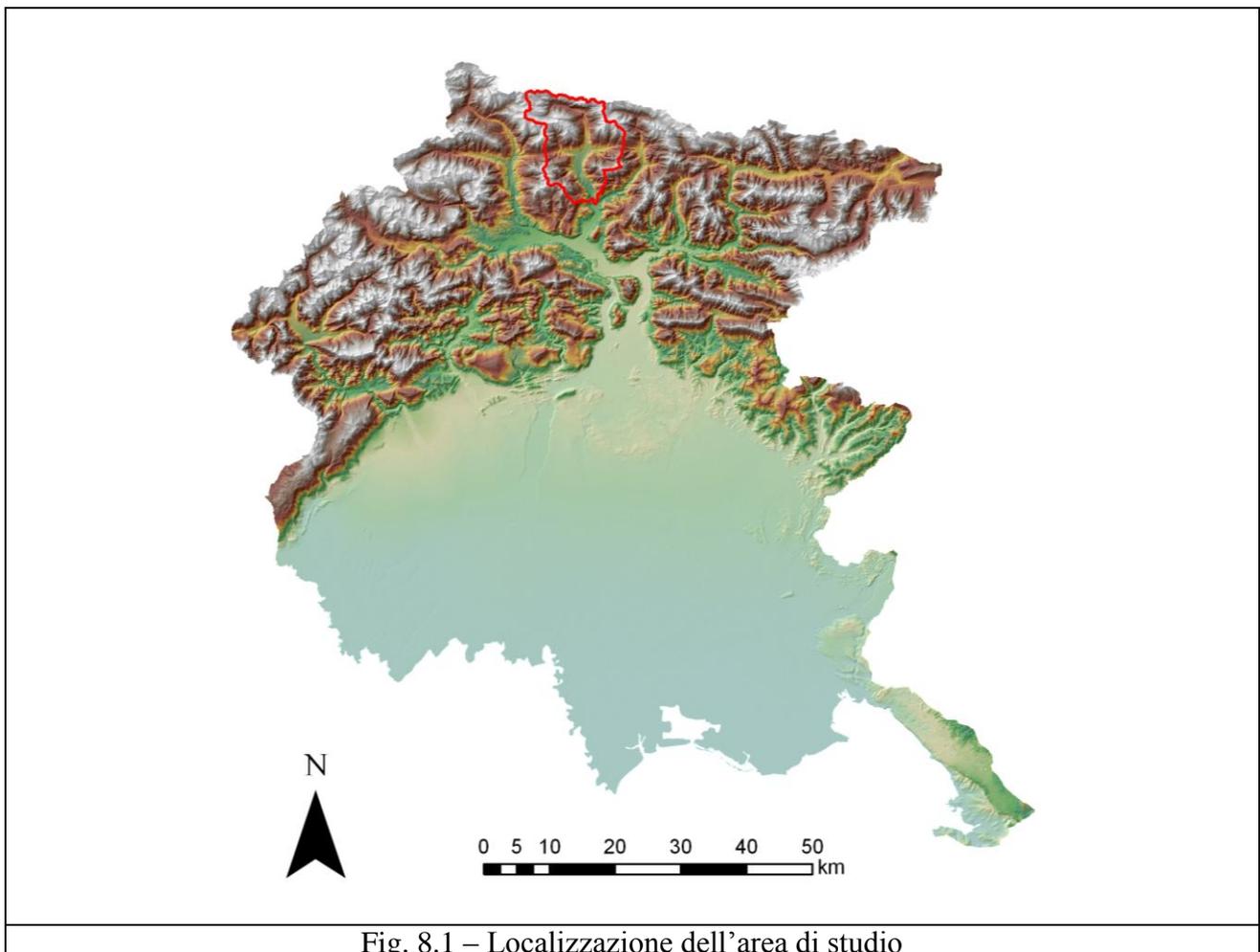
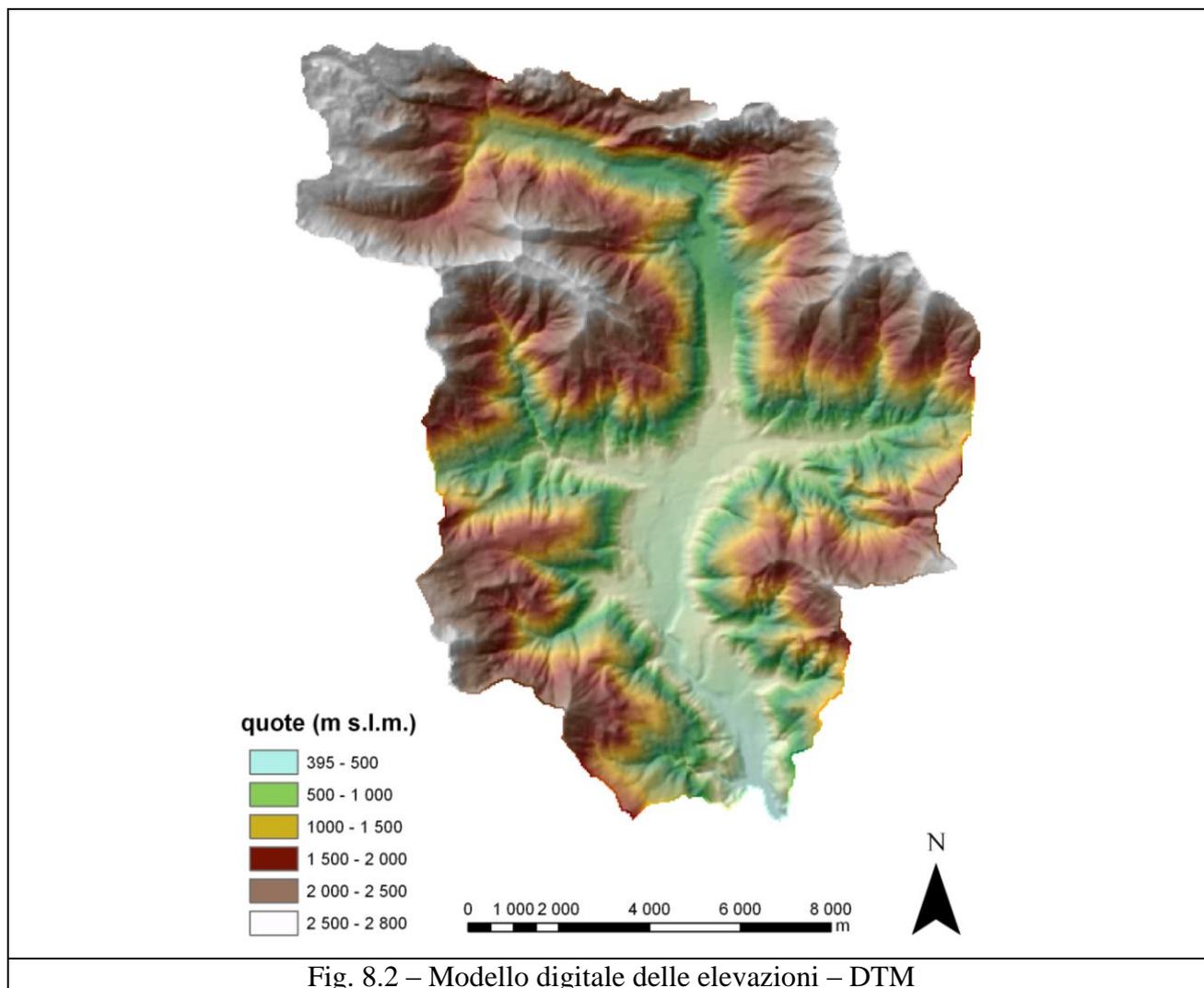


Fig. 8.1 – Localizzazione dell'area di studio

8.2 strati informativi di base

Il modello delle quote per il bacino dell'Alto But è stato ricavato ritagliando il DTM regionale con risoluzione di 40 x 40 metri (figura 8.2).



La carta geolitologica è oggetto di uno stralcio della “Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia” redatta da G.B. Carulli (2006) in scala 1:150.000 già descritta nella prima parte del lavoro. Dalla carta dei tipi litologici si deriva anche la carta delle classi di permeabilità o Gruppi Idrologici. Entrambe le carte sono illustrate figura 8.3.

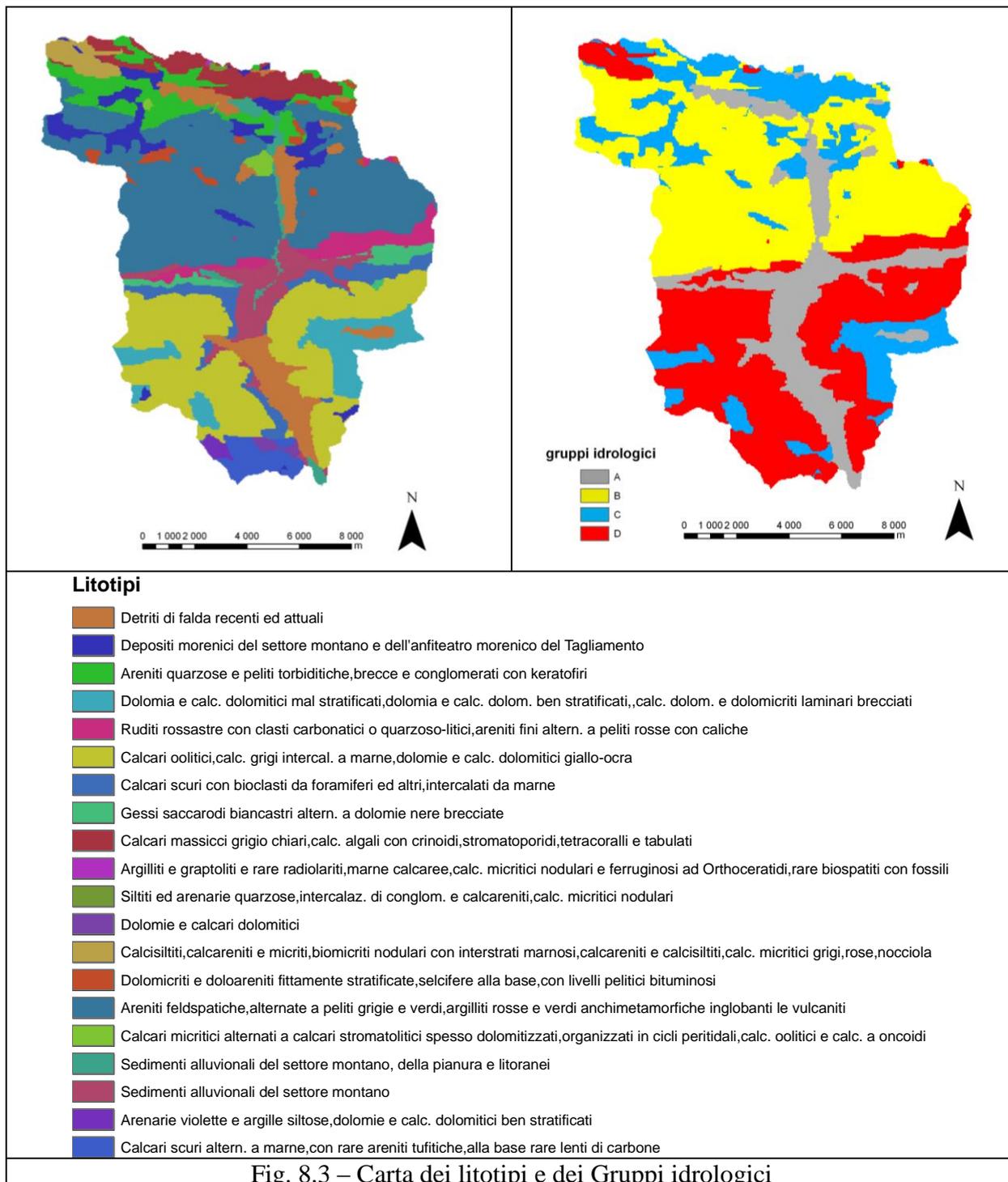


Fig. 8.3 – Carta dei litotipi e dei Gruppi idrologici

Uno degli strati informativi di partenza più importanti è indubbiamente la carta dei Tipi Forestali, messa a punto nel 1999 dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Servizio Gestione Forestale ed Antincendio Boschivo.

Anche in questo caso in fase preliminare si è resa necessaria una operazione di “ritaglio” della carta tematica sui limiti del bacino. In una fase successiva si è quindi provveduto a completare la carta che, essendo finalizzata alla gestione selvicolturale, non copre le aree non boscate. Mediante riclassificazione è stata quindi derivata la mappa degli usi del suolo all’interno dell’area di studio.

La mappa fornisce anche molte informazioni ridondanti per gli scopi del presente lavoro. La carta dei tipi forestali, data la sua origine selvicolturale, classifica con precisione decine di tipologie

vegetali diverse. Al contrario ai fini di una quantificazione del ruolo idrologico della vegetazione è sufficiente una classificazione semplificata, ottenuta raggruppando i tipi forestali in categorie, cui si sono aggiunte alcune categorie tipiche delle aree di fondovalle originariamente non mappate, per un totale di 19 classi.

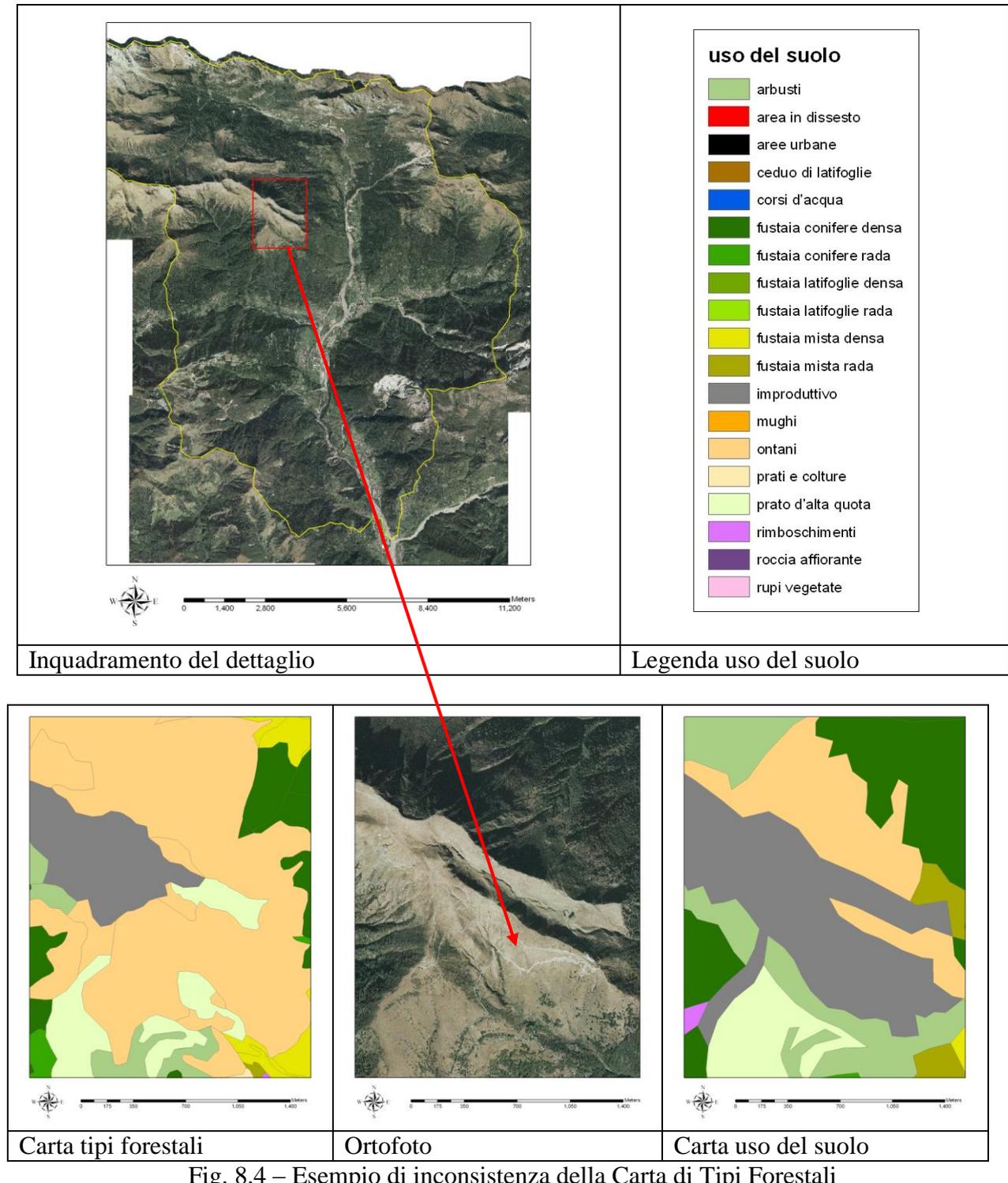
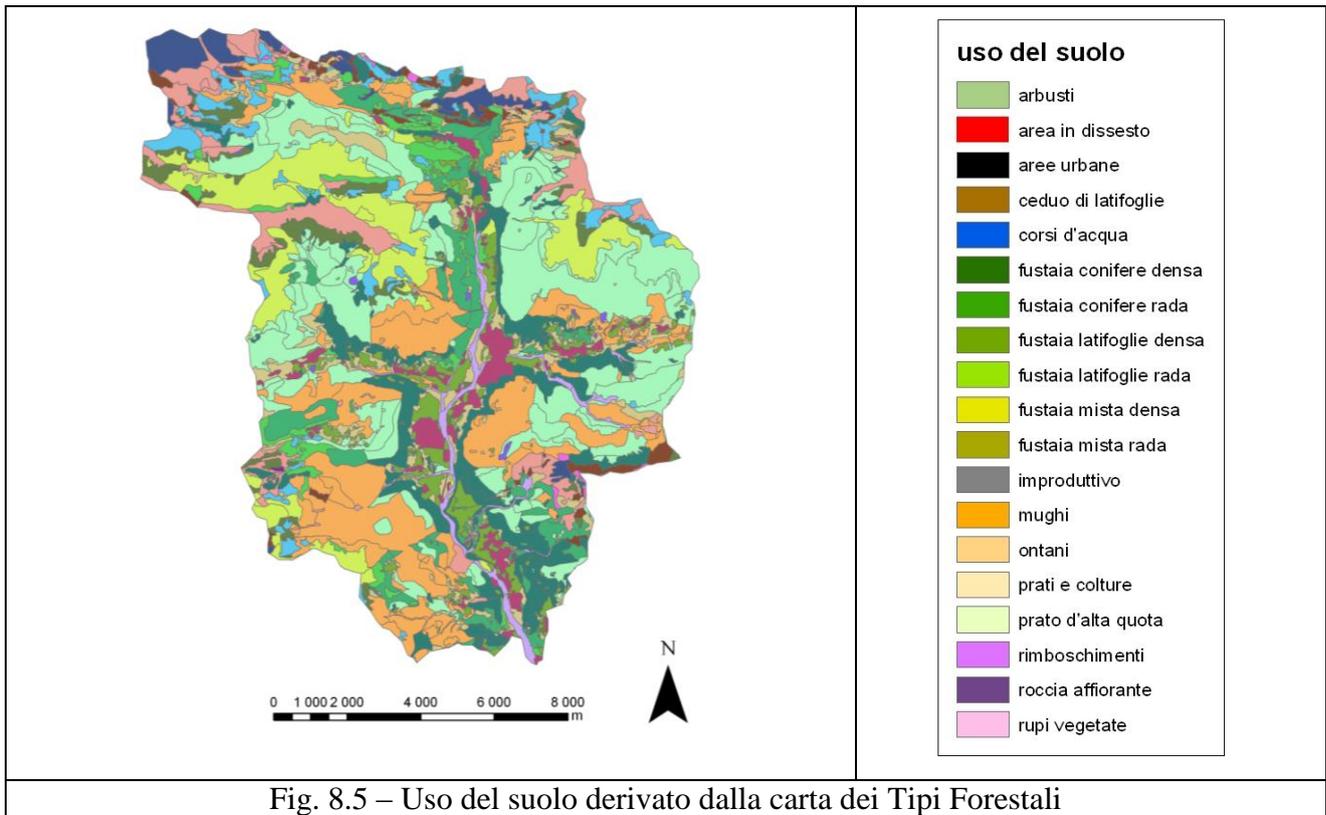


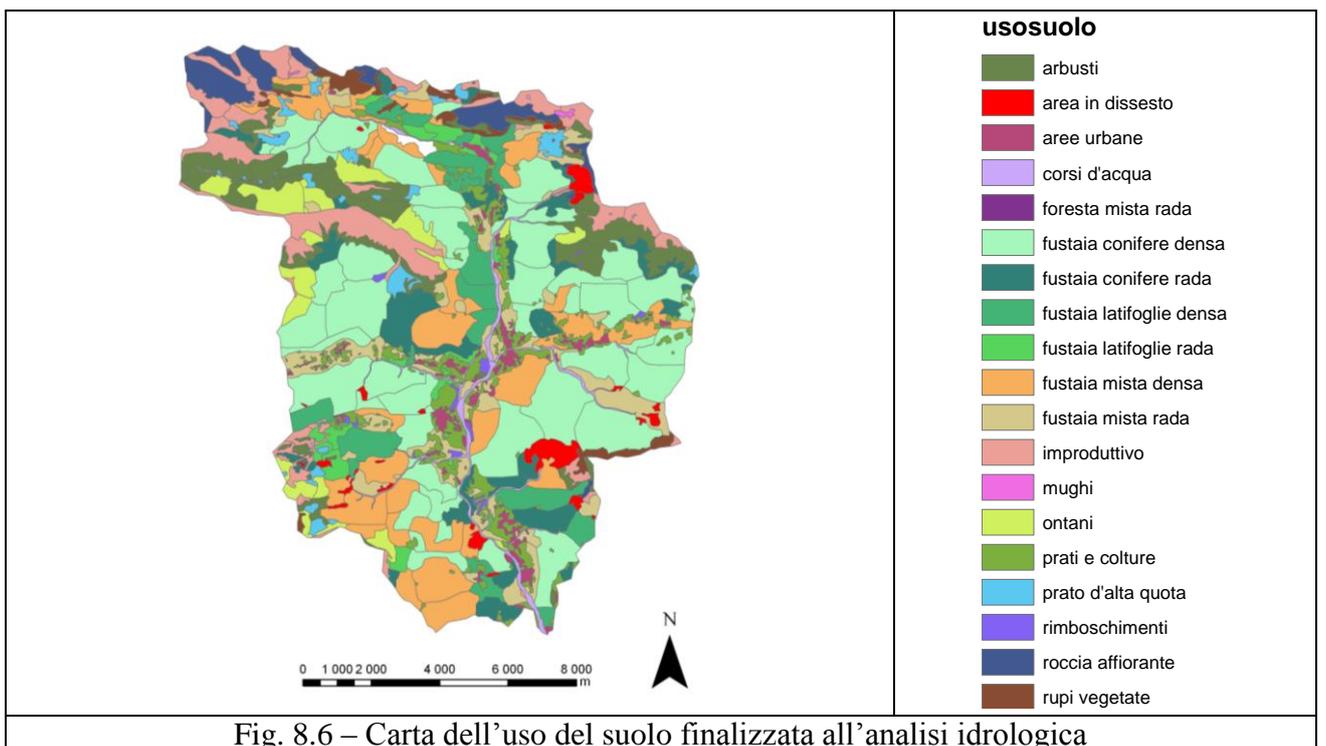
Fig. 8.4 – Esempio di inconsistenza della Carta di Tipi Forestali

È comunque importante far notare che la carta dei Tipi Forestali ha mostrato che spesso l'identificazione della categoria di uso del suolo, giustamente effettuata con logica forestale, risulta inadeguata alle finalità legate alla definizione della fragilità del territorio (fig. 8.4). Per valutare il

ruolo e l'importanza che avrebbero avuto tali differenze nelle simulazioni idrogeologiche si è deciso di redarre una seconda carta di uso del suolo.

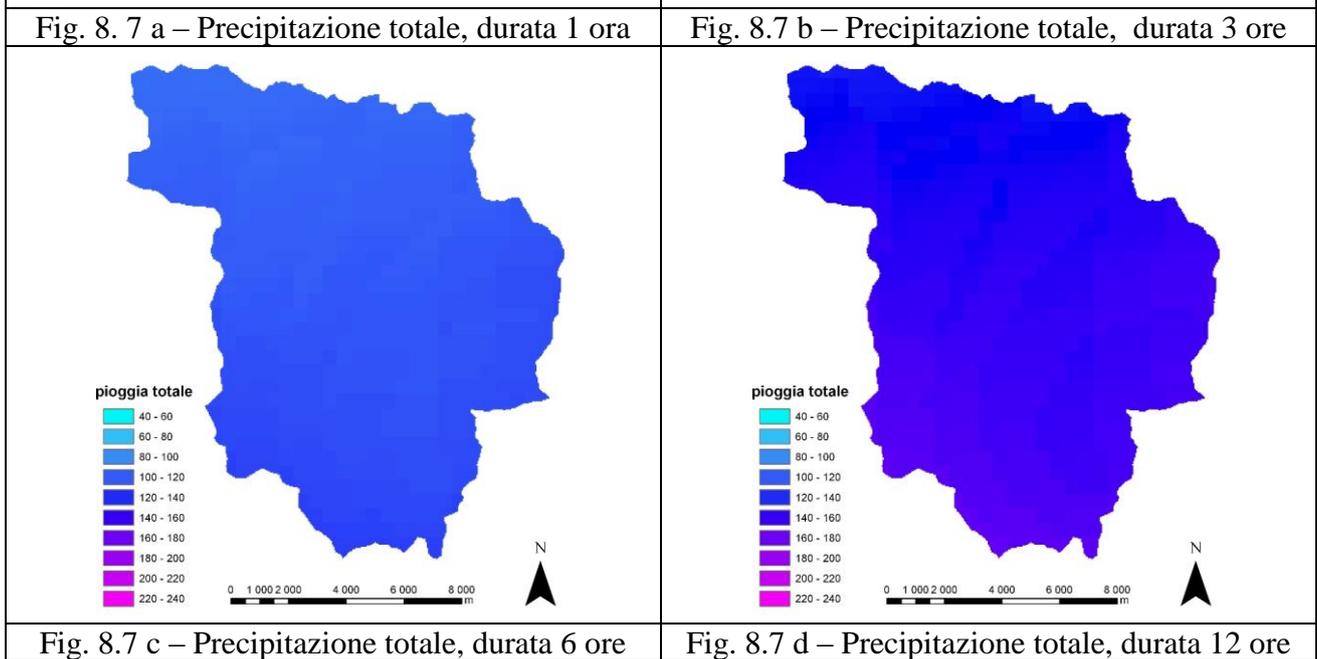
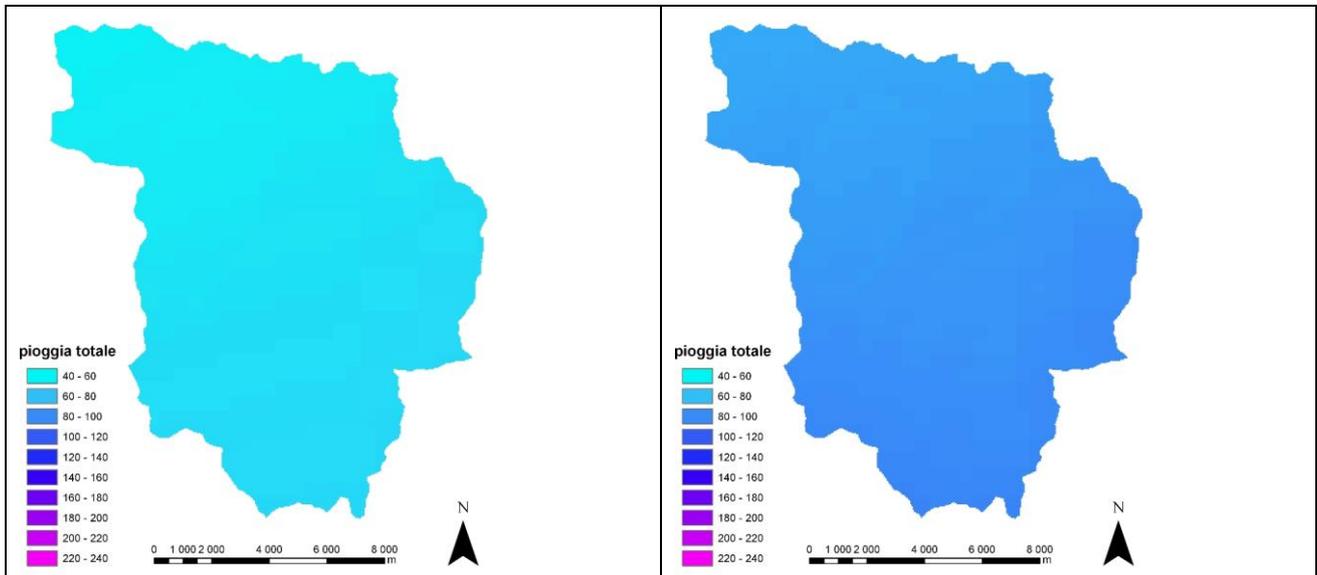


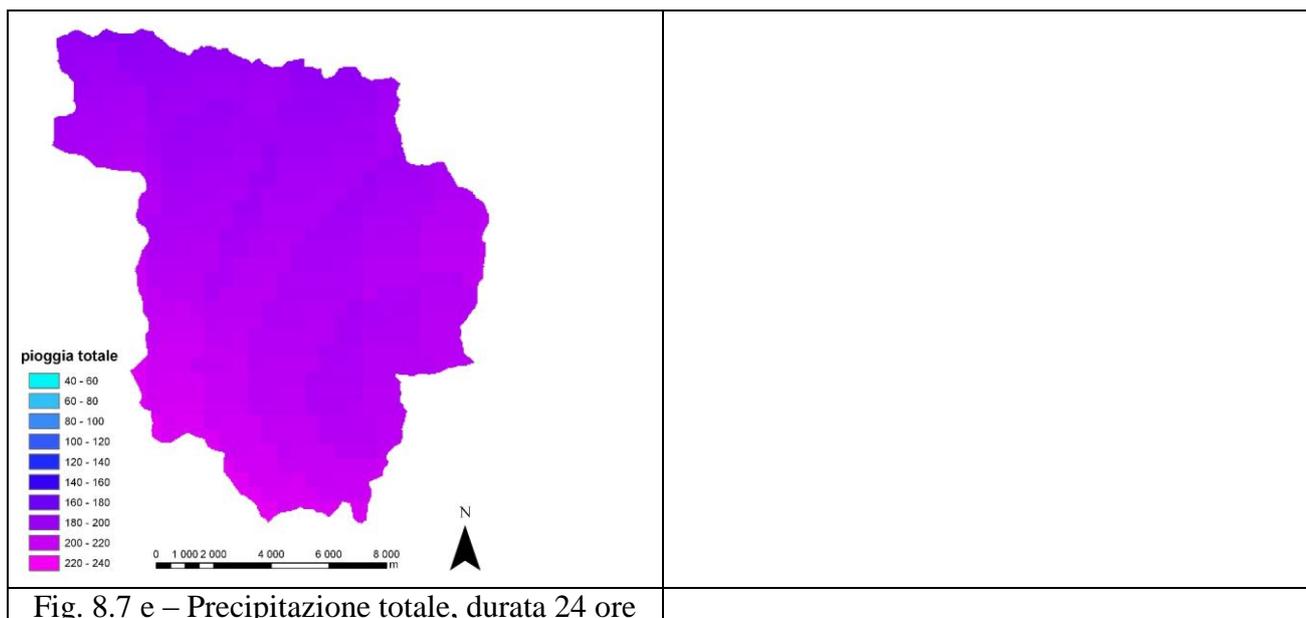
Quindi, dopo una serie di rilievi in campo ed in base a considerazioni di efficienza di calcolo idrologico, si è prodotta la carta di uso del suolo “dedicata” che viene mostrata in fig.8.6 .



La differenza principale riscontrabile, rispetto alla carta dei Tipi Forestali, è la presenza della categoria “area in dissesto”, tra l’altro necessaria alla modellazione della stabilità dei versanti.

Per i dati di pericolosità climatica si è utilizzata la già citata regionalizzazione delle piogge intense (Borga et al., 2005). Le mappe di precipitazione centenaria per le diverse durate sono illustrate in fig. 8.7.





8.3 mappatura della fragilità territoriale

Anche nel secondo stralcio funzionale del presente lavoro il metodo di riferimento nel calcolo della produzione di deflusso è stato quello del Curve Number elaborato dal Soil Conservation Service negli USA.

La cartografia riferita al CN si ottiene da una combinazione univoca tra copertura vegetale del terreno e permeabilità del litotipo. I valori di CN assegnati alle combinazioni vengono illustrati nella tabella 8.I.

Tab. 8. I – Valori di CN per l'Alto But				
CATEGORIE	Classe di permeabilità			
	A	B	C	D
01 – Fustaia conifere dens	22	25	35	39
02 – Fustaia conifere rada	36	40	47	52
03 – Fustaia mista densa	26	29	37	42
04 – Fustaia mista rada	36	40	47	52
05 – Fustaia latifoglie de	30	34	40	45
06 – Fustaia latifoglie ra	45	48	54	59
07 – Ceduo di latifoglie	48	51	57	62
08 – Ontani	52	55	61	66
09 – Mughì	52	55	61	66
10 – Arbusti	52	55	61	66
11 – Rimboschimenti	52	55	61	66
12 – Rupi vegetate	70	72	80	83
13 – Prati e colture	68	70	78	81
14 – Prato d'alta quota	70	72	80	83
15 – Improduttivo	75	77	84	86
16 – Area in dissesto	78	82	88	91
17 – Roccia affiorante	80	87	93	96
18 – Aree urbane	92	94	96	98
19 – Corsi d'acqua	99	99	99	99

La visualizzazione cartografica di queste combinazioni sull'area del But è mostrata in figura 8.8.

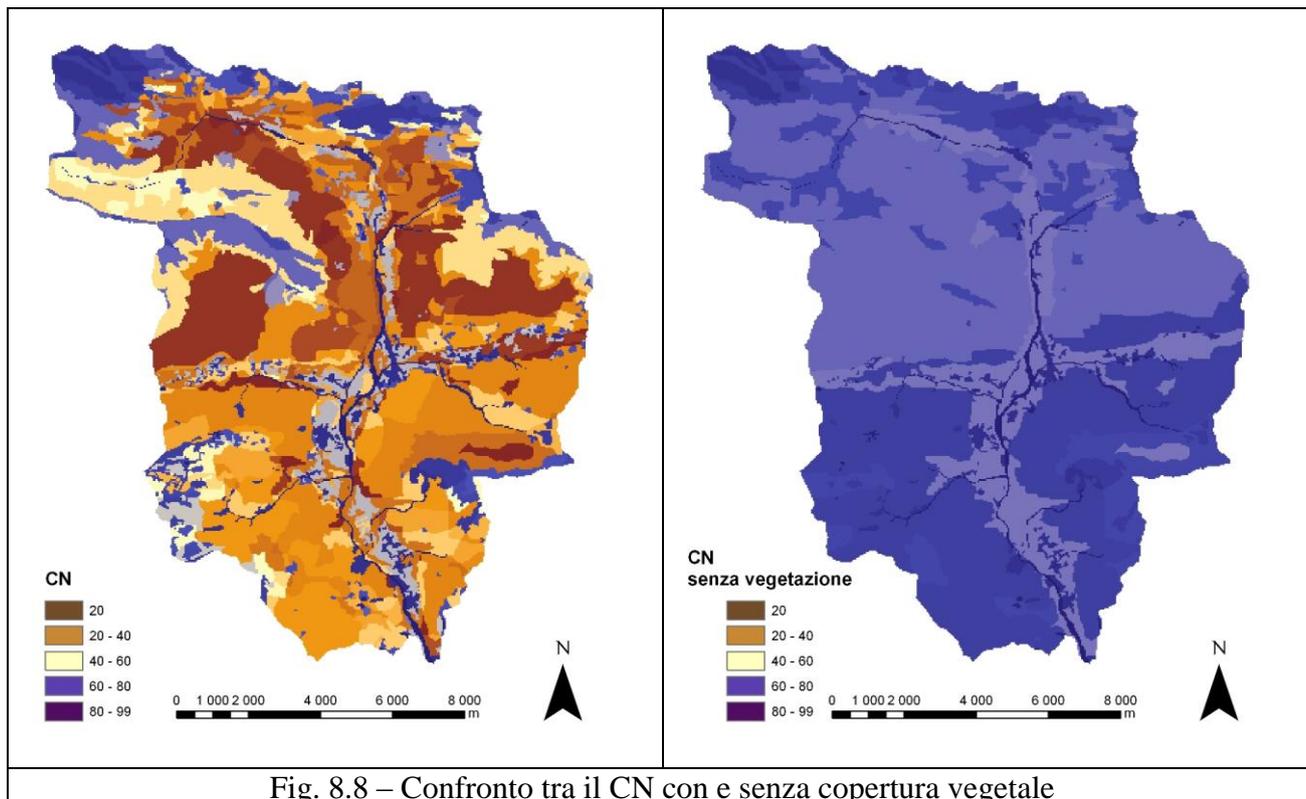


Fig. 8.8 – Confronto tra il CN con e senza copertura vegetale

I dati di precipitazione e la cartografia del Curve Number permettono di identificare anche per il bacino dell'Alto But l'indicatore di Incremento di Pioggia Efficace che, pur essendo un output parziale della metodologia in esame, fornisce anche una delle basi per il calcolo del Fattore Regimante della vegetazione.

Ricordando che con Pioggia Efficace si intende la frazione della precipitazione cui è associata la formazione di deflussi superficiali, l'incremento di P_e nell'ipotetica assenza di vegetazione è rappresentato in figura 8.9 (a-e).

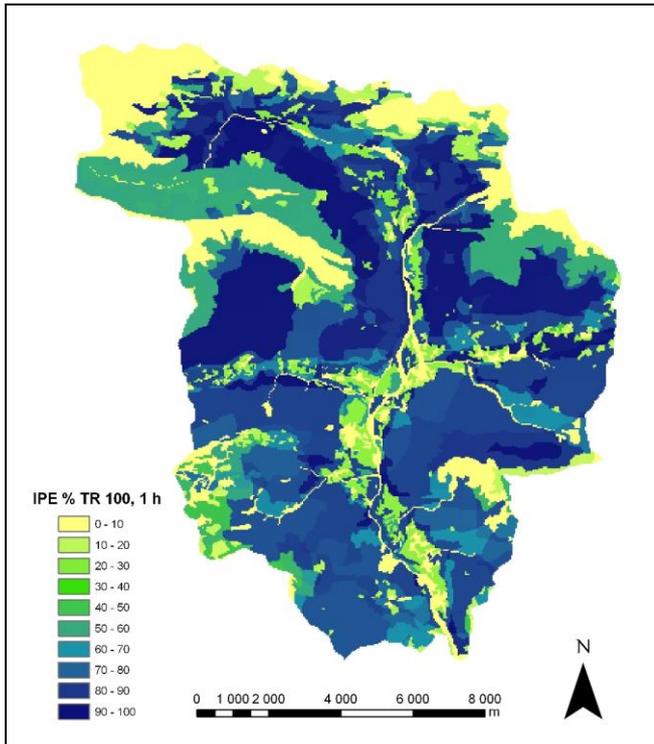


Fig. 8.9 a – IPE% TR100 durata 1h

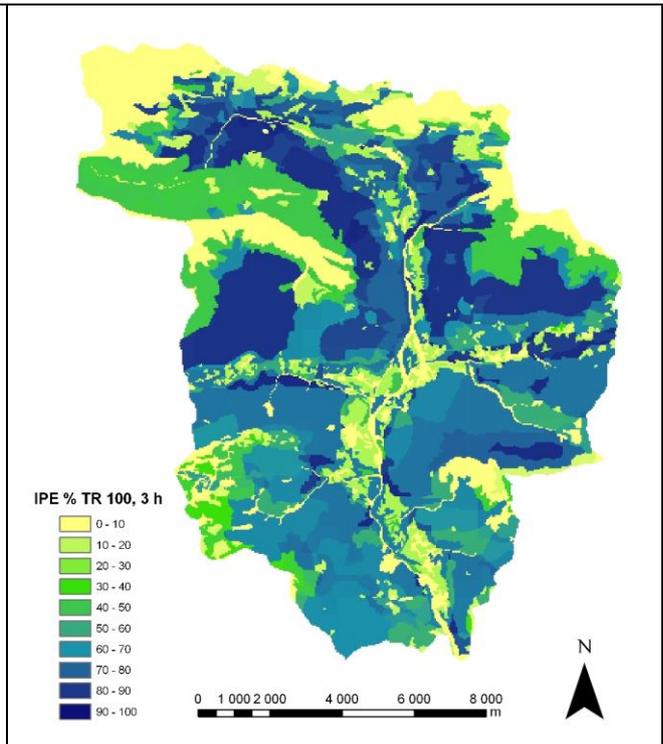


Fig. 8.9 b – IPE% TR100 durata 3h

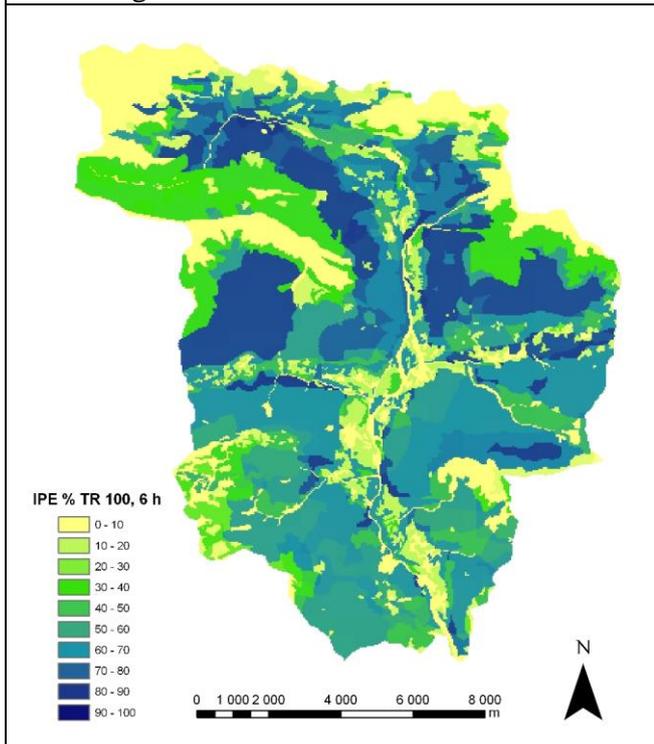


Fig. 8.9 c – IPE% TR100 durata 6h

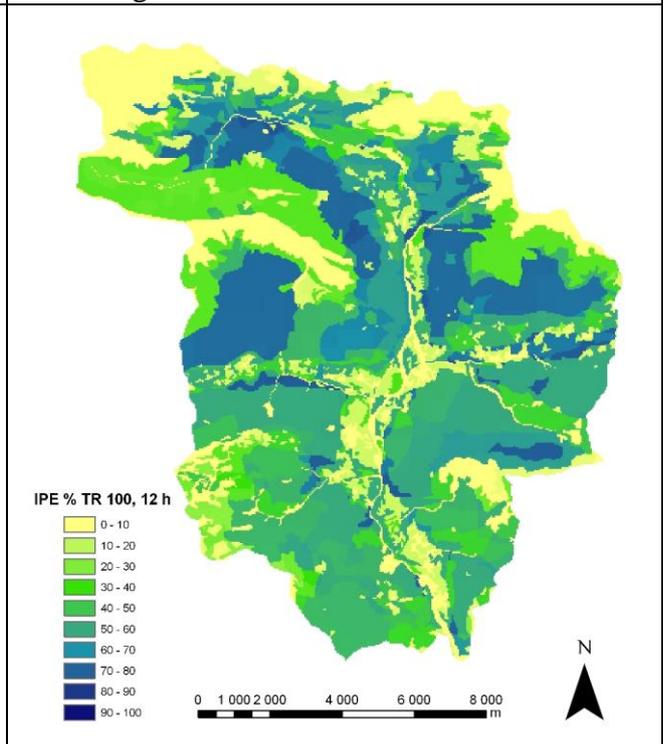


Fig. 8.9 d – IPE% TR100 durata 12h

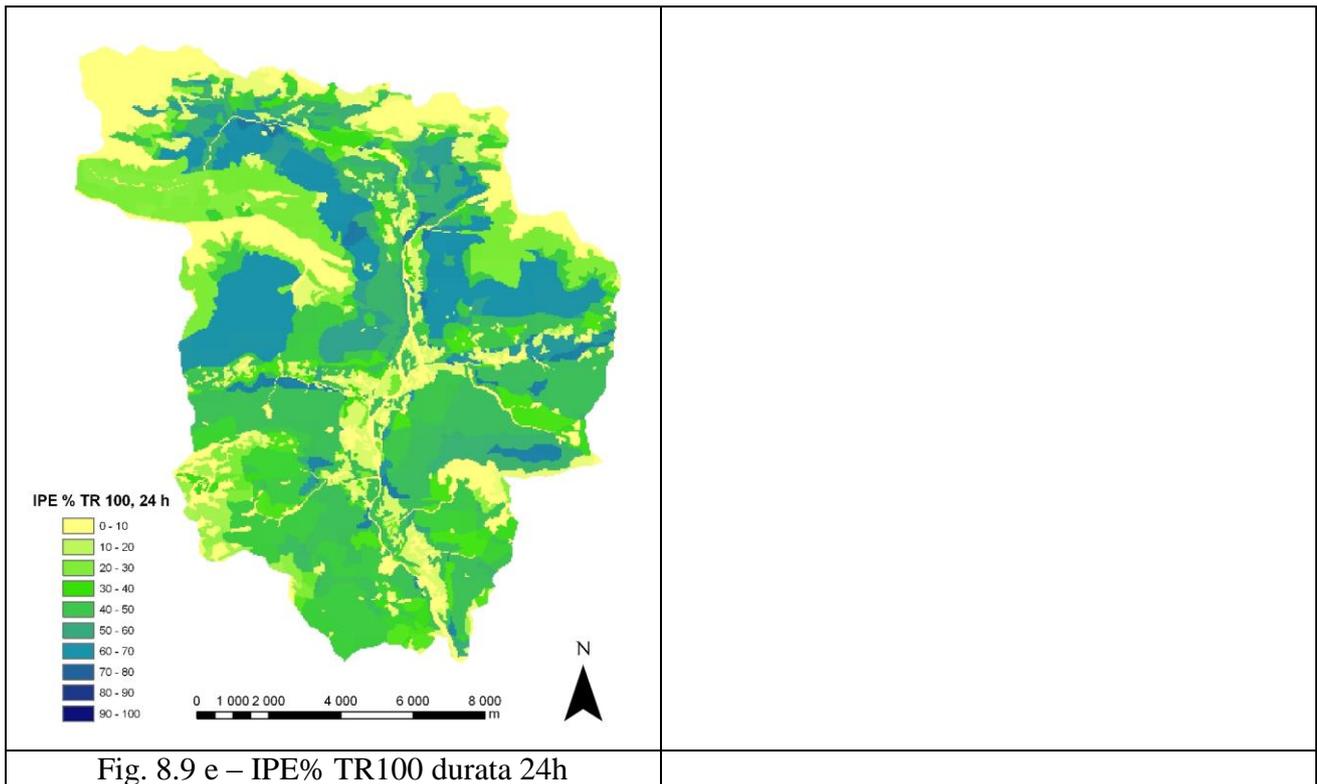


Fig. 8.9 e – IPE% TR100 durata 24h

8.3.1 il fattore regimante della vegetazione

Il calcolo del Fattore Regimante della Vegetazione (FRV) avviene anche per il bacino dell'Alto But successivamente alla suddivisione dell'area di studio in sottobacini (fig. 8.10) per poter eliminare le limitazioni correlate ad IPE.

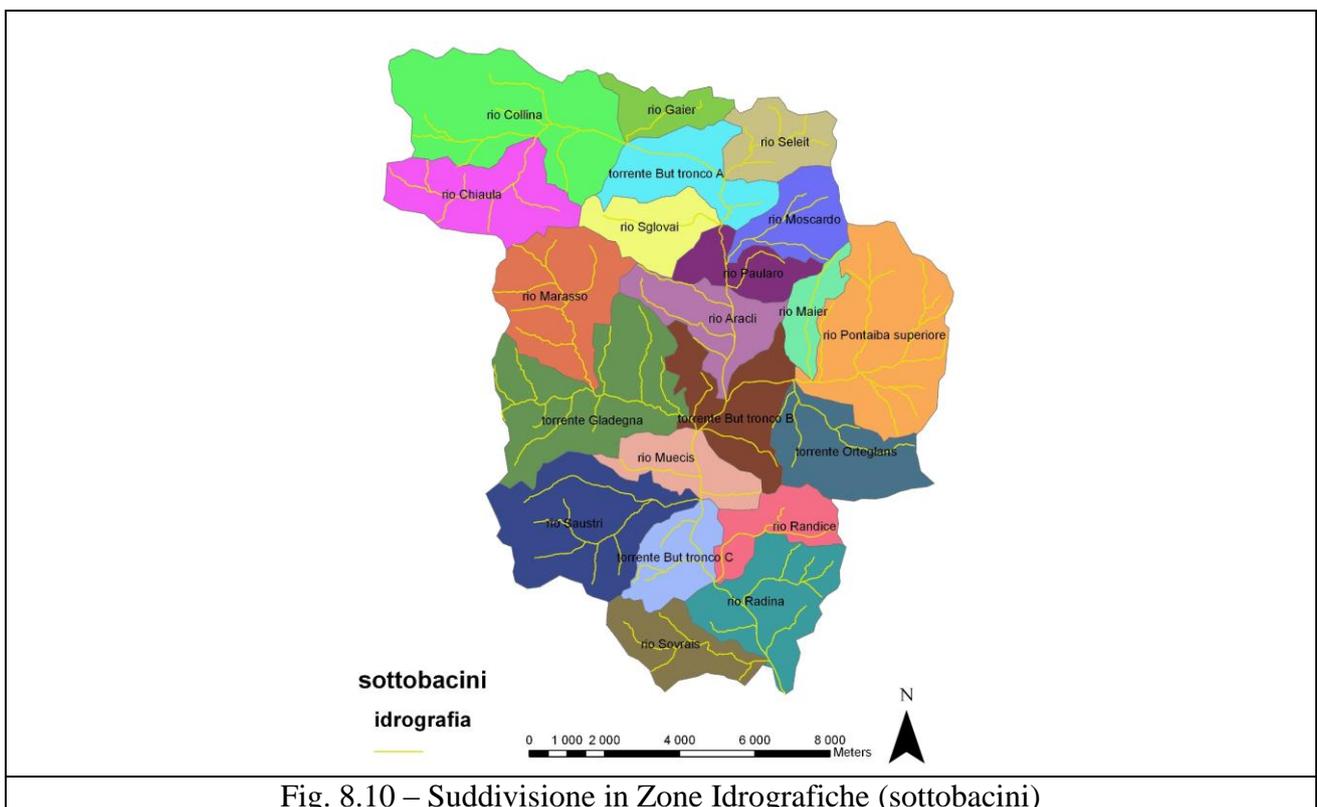
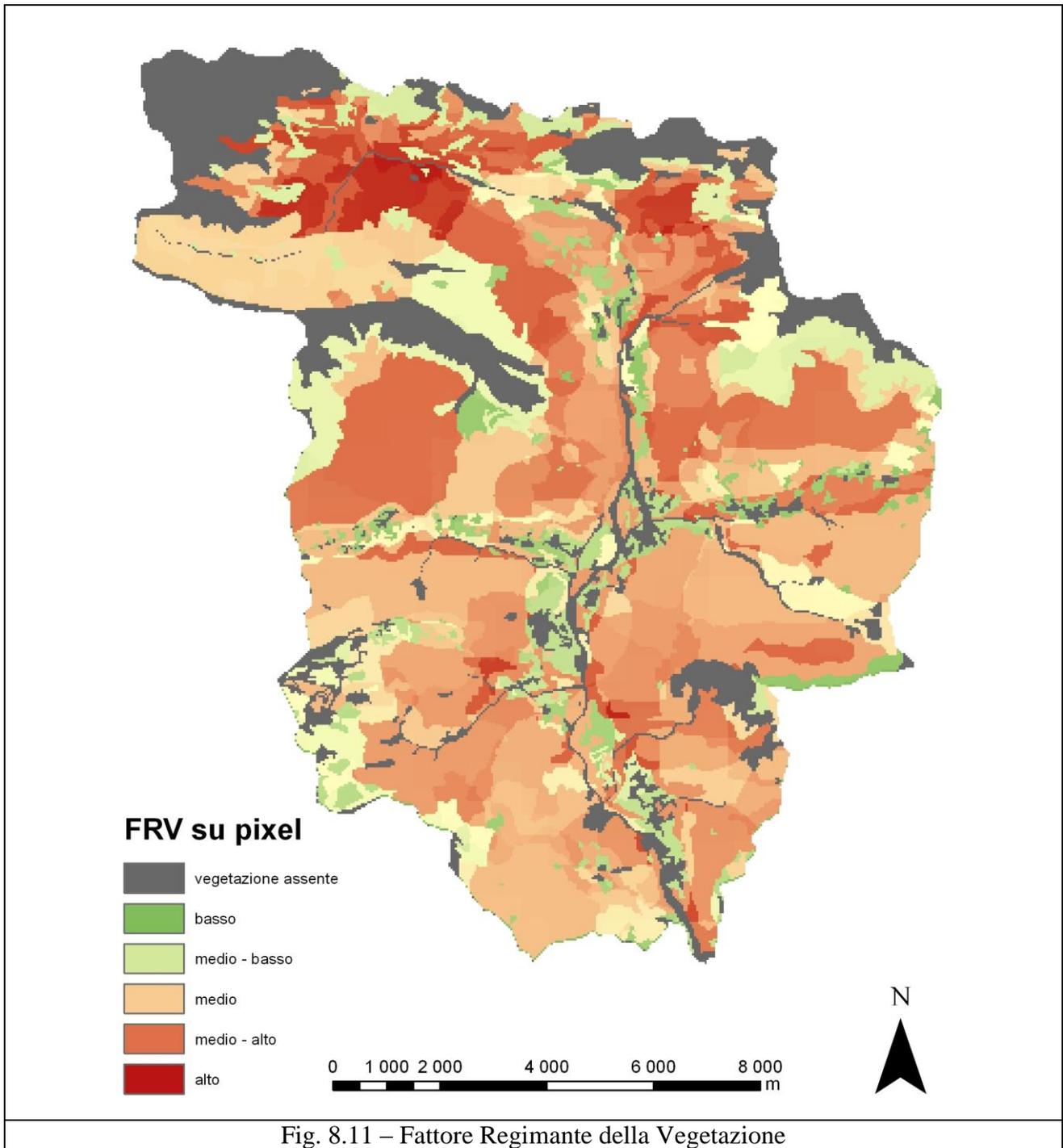


Fig. 8.10 – Suddivisione in Zone Idrografiche (sottobacini)

L'indicatore FRV, quindi, appare spazialmente distribuito come mostrato in figura 8.11.



8.3.2 il fattore stabilizzante della vegetazione

L'analisi della fragilità territoriale prevede lo studio del ruolo di consolidamento dei versanti da parte della vegetazione.

Gli indici intermedi più significativi di tale analisi son il Fattore Intrinseco di propensione al Dissesto (FID) e il Fattore di Propensione al Dissesto (FPD); mentre l'output di riferimento è il Fattore Stabilizzante della Vegetazione (FSV).

La descrizione dei passaggi che portano all'identificazione di questi tre strati informativi fondamentali è riportata nella prima parte del presente lavoro, di seguito vengono rappresentate le tre carte relative alla stabilità prodotte durante l'analisi del bacino dell'Alto But.

La figura 8.12 mette a confronto il fattore intrinseco di propensione al dissesto (quindi con il ruolo della vegetazione annullato) con il fattore di propensione al dissesto mediato dalla copertura vegetale.

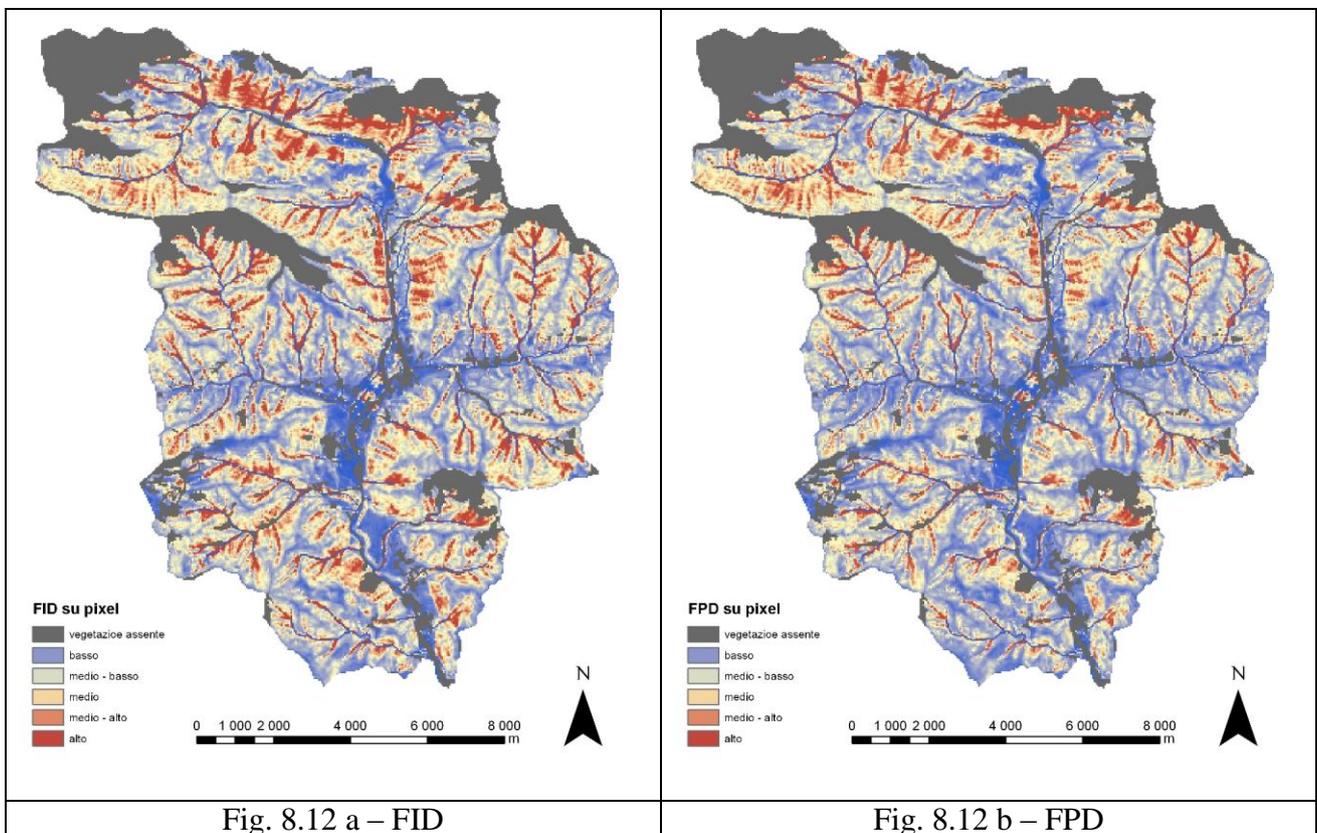


Fig. 8.12 a – FID

Fig. 8.12 b – FPD

La combinazione tra questi strati informativi permette quindi, per differenza, di assegnare un Fattore Stabilizzante alla vegetazione, che viene illustrato in fig. 8.13.

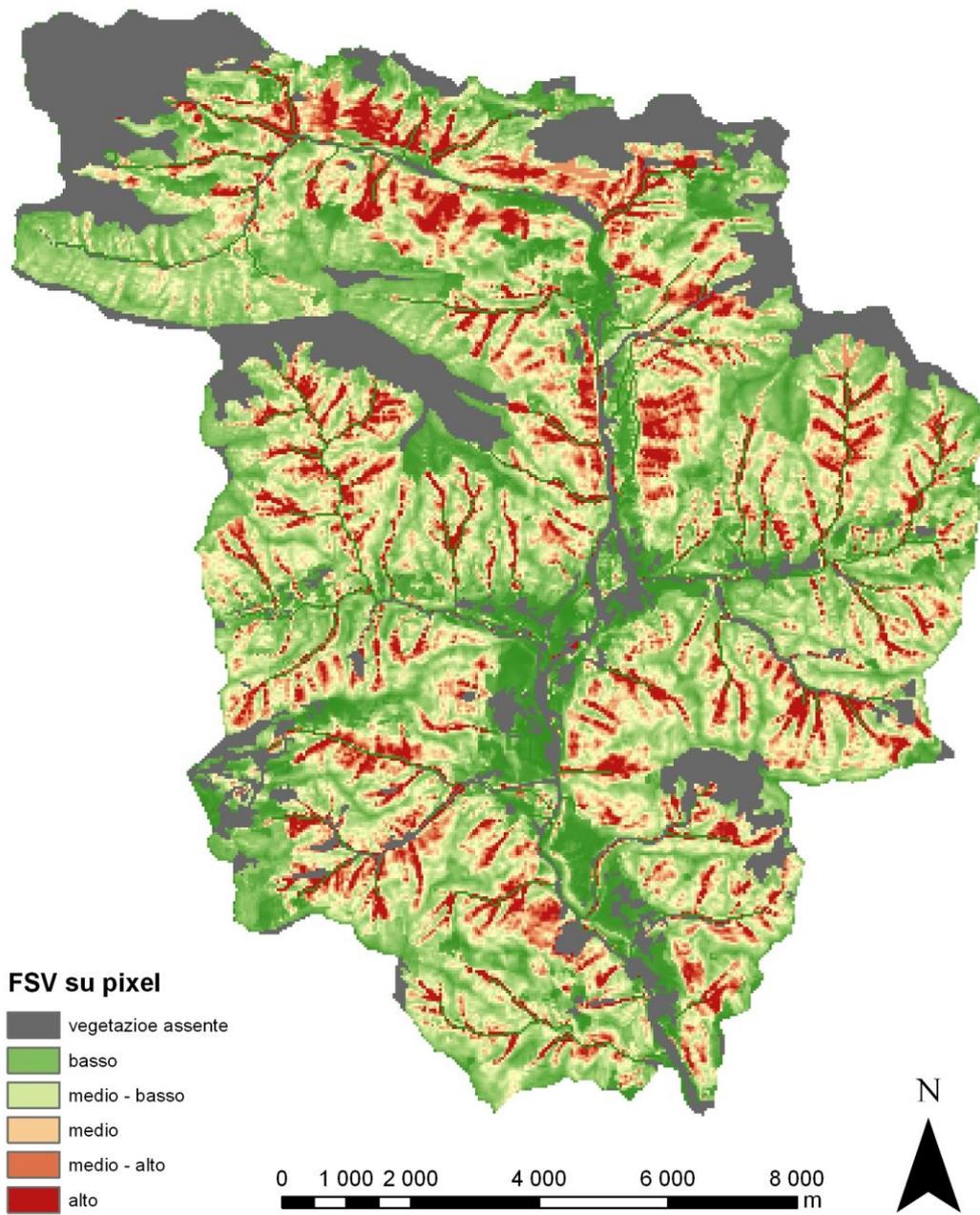


Fig. 8.13 – Fattore Stabilizzante della Vegetazione

8.3.3 il fattore protettivo della vegetazione

La figura 8.14 evidenzia l'andamento del Fattore Protettivo della Vegetazione su tutta l'area di studio ottenuto partendo dalla base di dati specifica per l'Alto But. E' interessante il confronto di tale risultato con quello ottenuto estraendo il bacino del But dalla carta dell'intera montagna friulana (fig. 8.15). Poiche la scala è la stessa (40x40 m) le due figure possono essere facilmente confrontate anche sul piano visivo.

La differenza fondamentale tra le due applicazioni è sostanzialmente dovuta al diverso livello informativo riferito all'uso del suolo. La mappa di FPV specificamente realizzata per il torrente But si basa su una carta dell'uso del suolo finalizzata e supportata da un gran numero di verifiche in campo. La seconda immagine è stata invece estratta dall'analisi regionale che si è basata sulla Carta Natura APAT.

La differenza più evidente tra le due carte è indubbiamente data dalla diversa estensione delle aree prive di vegetazione, in cui la vegetazione non può ovviamente esercitare alcun ruolo protettivo.

Tali zone appaiono molto più estese nella carta di FPV generata per il solo Alto But (fig 8.14) poiché l'uso del suolo a cui essa fa riferimento è stato redatto in maniera più precisa e a scala più dettagliata, con una migliore identificazione delle zone non vegetate.

La Carta Natura (base per la fig. 8.15 riferita all'analisi regionale) è stata redatta alla scala 1:50000, assolutamente più grossolana, che implica l'assenza di distinzioni raffinate tra le categorie.

Confortante ed attesa in termini assoluti è invece la concordanza tra le aree con Fattore Protettivo della Vegetazione elevato. Dal confronto tra le due mappe si nota chiaramente come le zone più fragili dal punto di vista della presenza della vegetazione rimangano sostanzialmente le stesse, pur variando leggermente in termini assoluti, lasciando intendere la validità generale anche dell'approccio "regionale".

La figura 8.16 illustra un dettaglio del bacino da cui meglio si possono cogliere le significative differenze tra le due carte di base, che tuttavia danno esito a due carte di FPV che, al di là delle aree non vegetate, non presentano grosse disparità.

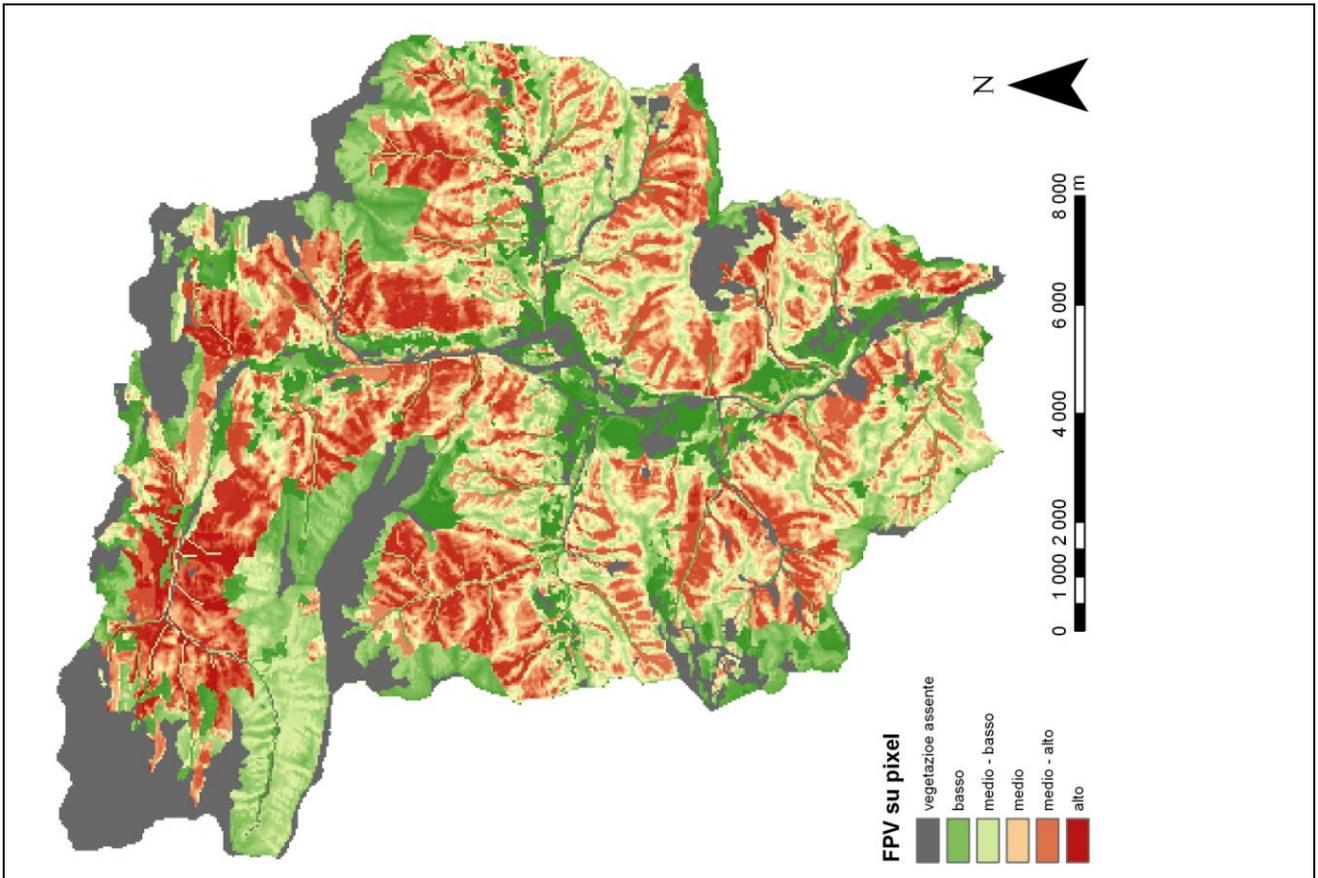


Fig. 8.14 – FPV derivante dall'uso del suolo "ex novo"

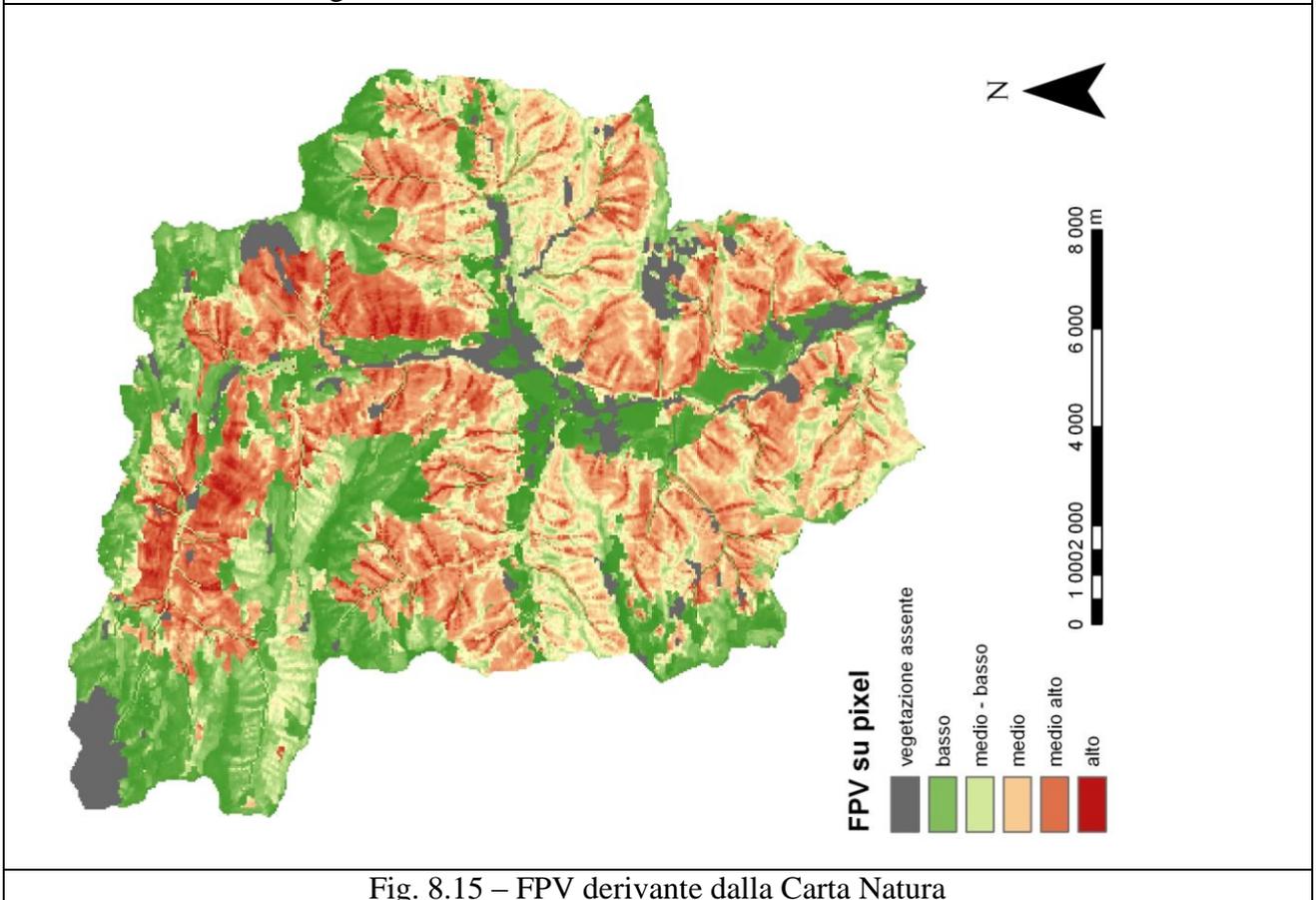
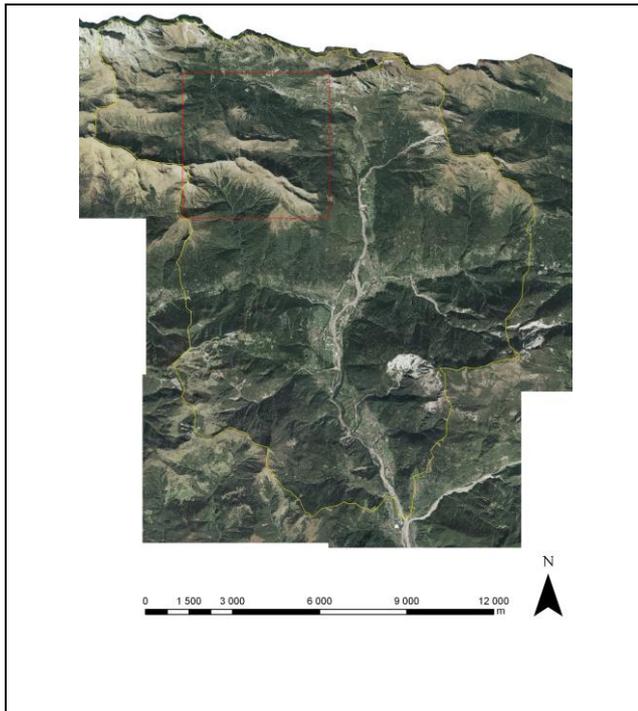
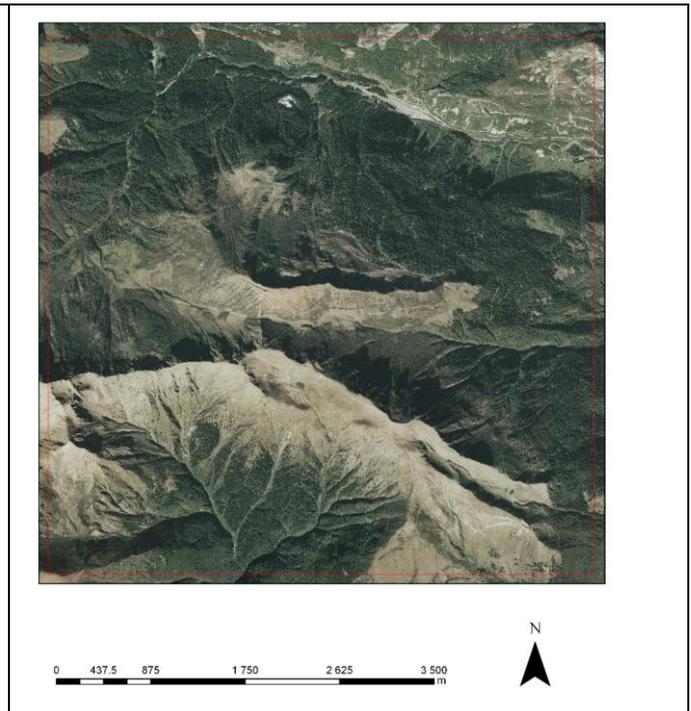


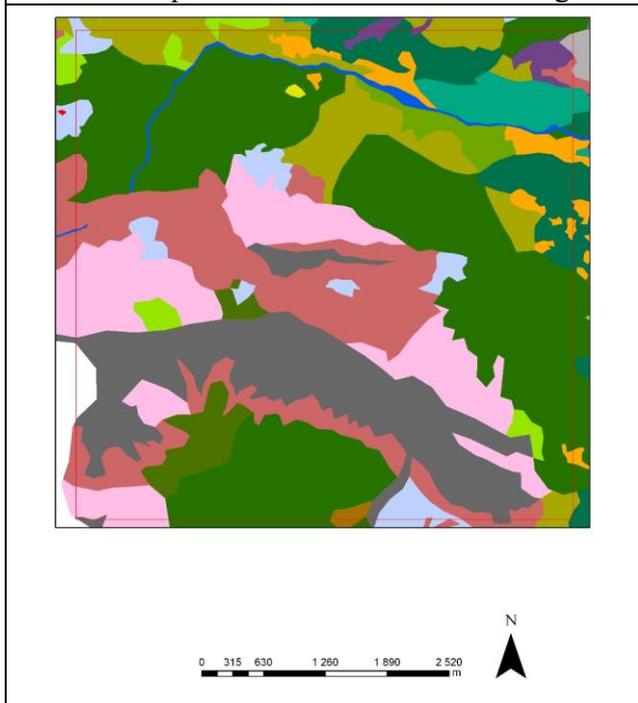
Fig. 8.15 – FPV derivante dalla Carta Natura



8.16 – Inquadramento dell'area di dettaglio



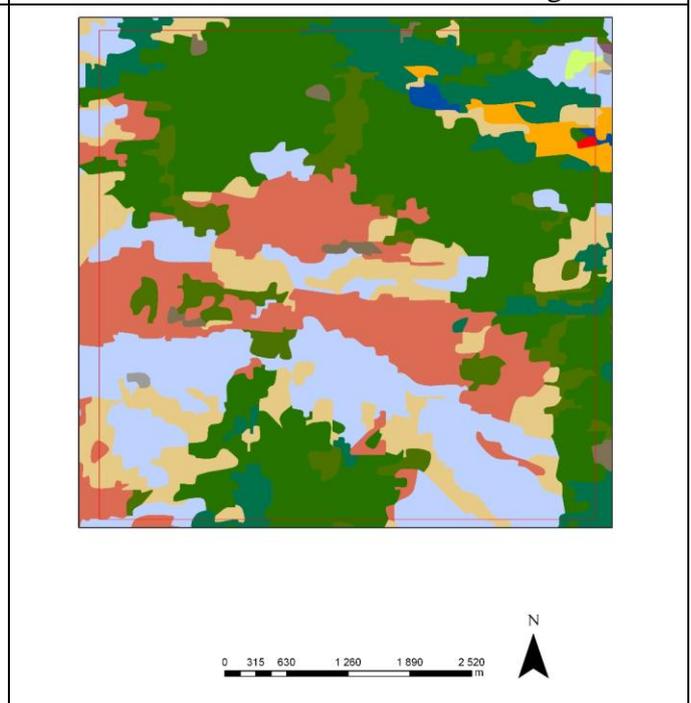
8.16 a – Ortofoto dell'area di dettaglio



uso del suolo "ex novo"

arbusti	fustaia conifera densa	fustaia mista rada	prato d'alta quota
area in dissesto	fustaia conifera rada	improduttivo	rimboschimenti
aree urbane	fustaia latifoglie densa	mughii	roccia affiorante
ceduo di latifoglie	fustaia latifoglie rada	ontani	rupi vegetate
corsi d'acqua	fustaia mista densa	prati e colture	

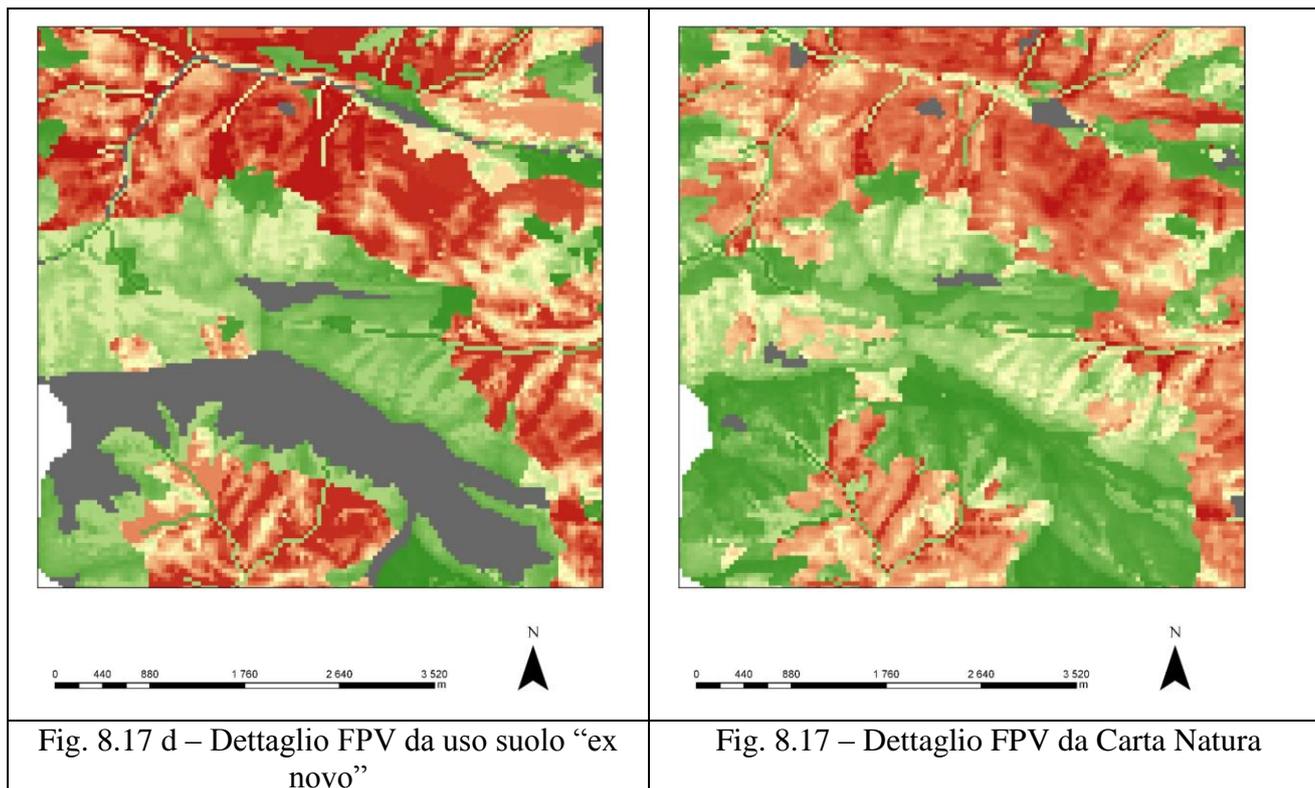
Fig. 8.16b – Dettaglio di uso del suolo



uso del suolo da carta APAT

acque interne e vegetazione alvei	cespuglieti	ghiacciai	roccia affiorante
arbusti	fustaia conifera densa	ghiaioni	rupi vegetate
aree urbane	fustaia conifera rada	mughii	seminativi e prati vallivi
ceduo latifoglie	fustaia latifoglie densa	prati in quota e pascoli	

Fig. 8.16 c – Dettaglio da Carta Natura



9 MODELLAZIONE DELLA STABILITÀ DEI PENDII PER IL BACINO DEL BUT

Il secondo stralcio funzionale dello *Studio per lo sviluppo di nuovi criteri tecnici e normativi per il riordino del vincolo idrogeologico* svolto nel 2007 ha previsto un ulteriore approfondimento nelle procedure di analisi della fragilità: la modellazione della stabilità dei versanti mediante SinMap, un software in ambiente Arc/Info reperibile in rete e ben documentato in letteratura.

Scopo dell'approfondimento è stato quello di affiancare e confrontare due diverse procedure di calcolo che operano all'interno del medesimo contesto tecnico - scientifico, ossia la difesa del territorio montano.

Per una trattazione teorica dei principi che stanno alla base della modellazione della stabilità dei versanti si rimanda alla letteratura scientifica ed eventualmente alla lettura della relazione conclusiva del secondo stralcio funzionale.

9.1.1 il modello di stabilità sinmap

Sinmap è un modello di simulazione della stabilità dei versanti operante come un'estensione del software Arc/Info. La modellazione si basa sul principio del pendio di lunghezza infinita e sul criterio di equilibrio di Mohr – Coulomb.

L'obiettivo è quello di identificare le zone di innesco dei possibili scivolamenti superficiali, fino ad una profondità di 1.5 m, all'interno di un bacino idrografico.

Le caratteristiche del terreno che devono essere note prima di applicare la modellazione sono:

- Peso specifico del materiale in condizioni di saturazione
- Porosità del materiale
- Conducibilità idraulica laterale satura
- Coesione
- Angolo di attrito interno

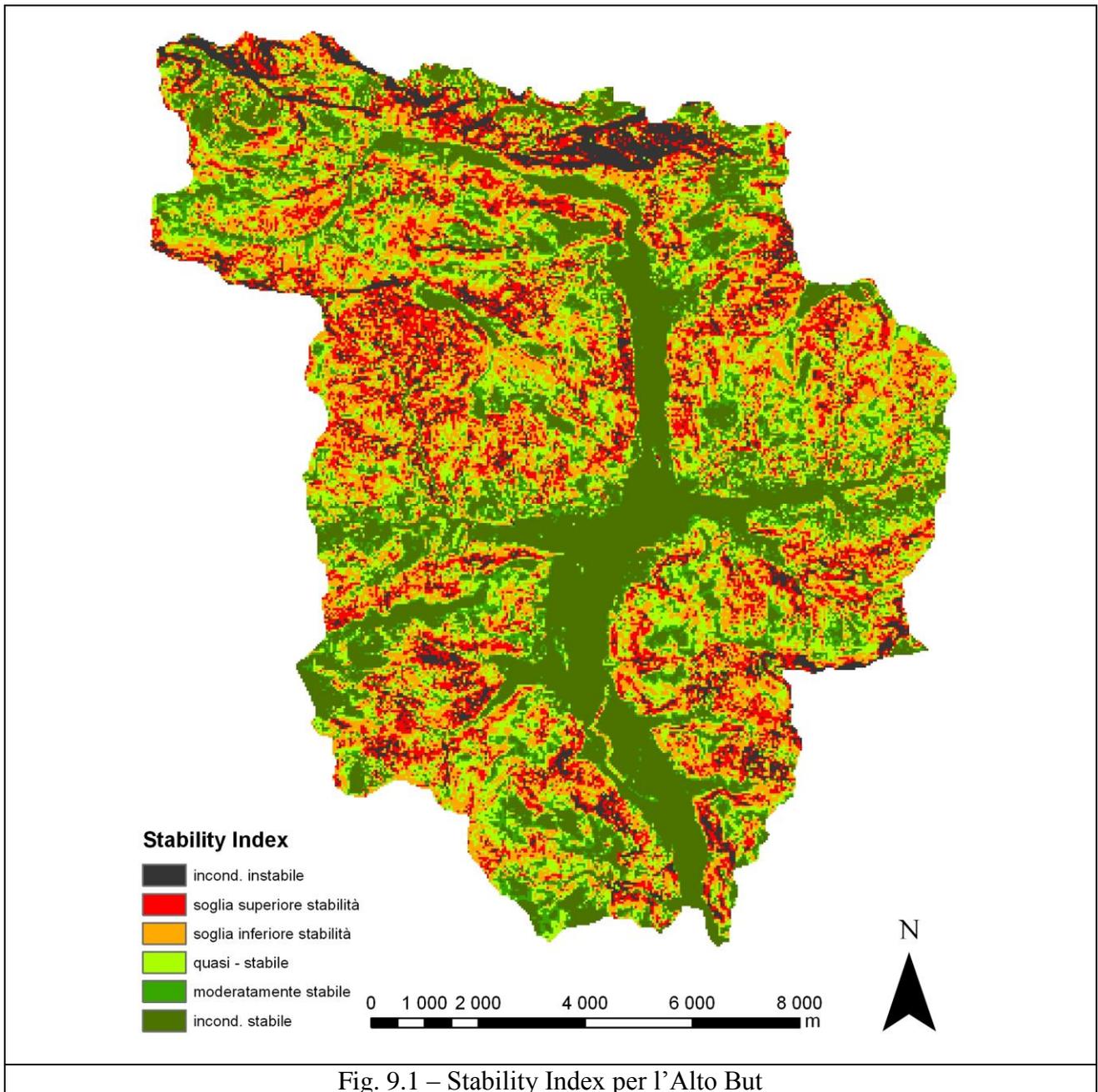
SINMAP identifica come indice di stabilità (S.I.) la probabilità che una cella sia stabile (*fattore di sicurezza* maggiore di uno) assumendo come uniformi entro delle classi di incertezza i parametri di input inseriti dall'utente.

Gli autori del programma propongono, per una maggior facilità di lettura del territorio, la classificazione per categorie mostrata in tabella 9.I; ad essa si farà riferimento nell'analisi delle soglie in tutto il presente lavoro.

Condizione	Classe	Predizione di stabilità	Possibili influenze di fattori non modellati
$SI > 1.5$	1	Incondizionatamente stabile	Per generare instabilità sono necessari eventi molto destabilizzanti
$1.5 > SI > 1.25$	2	Moderatamente stabile	Per generare instabilità sono necessari eventi mediamente destabilizzanti
$1.25 > SI > 1.0$	3	Quasi - stabile	Per generare instabilità sono necessari eventi leggermente destabilizzanti
$1.0 > SI > 0.5$	4	Soglia inferiore di stabilità	Per generare instabilità non sono necessari eventi destabilizzanti
$0.5 > SI > 0.0$	5	Soglia superiore di stabilità	Per garantire stabilità potrebbero essere necessari interventi stabilizzanti
$SI < 0.0$	6	Incondizionatamente instabile	Per garantire stabilità sono necessari interventi stabilizzanti

Il modello può essere inoltre calibrato inserendo nelle simulazioni una mappa con i punti di innesco delle frane rilevate nell'area di studio.

Tale operazione è stata effettuata per tutto il bacino dell'Alto But ed ha permesso la scelta del set di parametri ottimale il quale ha prodotto la mappa di stabilità mostrata in figura 9.1.



L’analisi della stabilità effettuata con SINMAP, tuttavia, si distingue concettualmente dall’analisi della fragilità, e in particolare del fattore stabilizzante FSV, proprio per il fatto che SINMAP non prende in alcun modo in considerazione il ruolo della vegetazione nella protezione del territorio.

10 CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL FIUME FELLA

10.1 Introduzione

L'ultimo dei bacini sperimentali su cui è stata approfondita l'analisi della fragilità è quello del fiume Fella. Su tale bacino in particolare si è effettuato lo studio sia a partire dalla carta dei Tipi Forestali che dalla Carta Natura.

La sezione di chiusura è stata individuata a monte di Chiusaforte (confluenza con il torrente Raccolana) con coordinate Gauss-Boaga 2 390 157, 5 140 387.

L'estensione è di circa 350 km² ed interessa sette amministrazioni comunali della provincia di Udine. Tuttavia i limiti amministrativi non sono stati interpretati in termini vincolanti. È infatti noto che affrontando analisi prettamente legate all'idrologia la scala di lavoro ideale, anche se non tassativamente obbligatoria, è quella di bacino; per questo motivo alcuni territori comunali sono stati "tagliati" dai limiti del bacino stesso.

Il territorio è situato al confine nord-orientale della regione Friuli Venezia Giulia ed è a ridosso dello spartiacque di Camporosso, al di là del quale il torrente Slizza, affluente della Drava, già appartiene al sistema Danubiano.

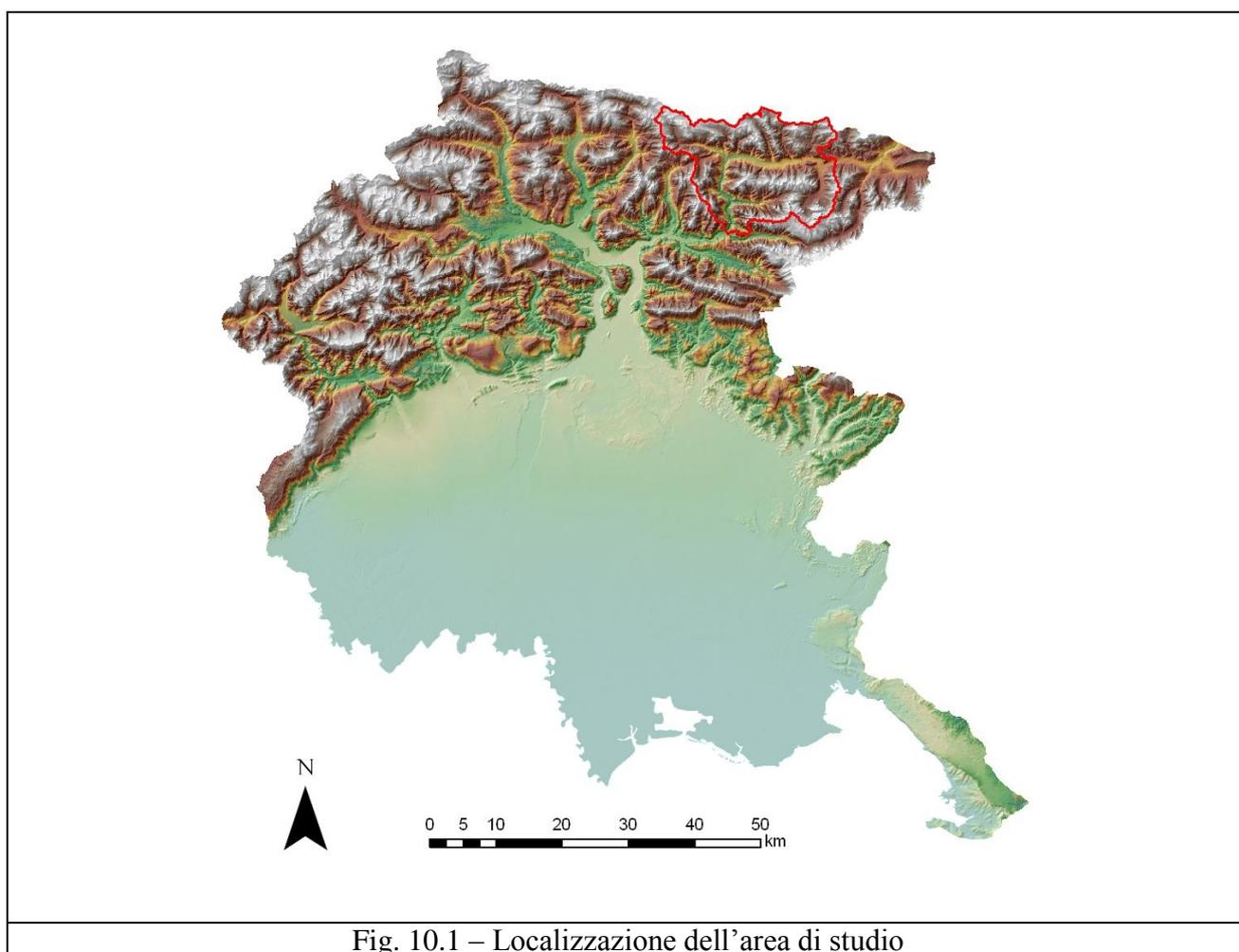


Fig. 10.1 – Localizzazione dell'area di studio

L'area in esame comprende anche le zone che sono state drammaticamente interessate il 29 agosto 2003 da un'alluvione che oltre ad ingenti danni economici e strutturali ha causato due vittime tra la popolazione.

Un evento di questo tipo ed altri simili reperibili con semplici ricerche storiche mostrano la fragilità intrinseca di questo territorio e giustificano l'importanza di uno studio approfondito dei fenomeni che generano l'instabilità.

Altro fattore di rilievo è la presenza nel bacino di studio di diversi centri abitati (Malborghetto – Valbruna, Dogna, Pontebba i principali) con popolazioni che variano dalle poche decine a più di un migliaio di residenti; una tale presenza antropica non può che aumentare i fattori di rischio in caso di eventi climatici eccezionali.

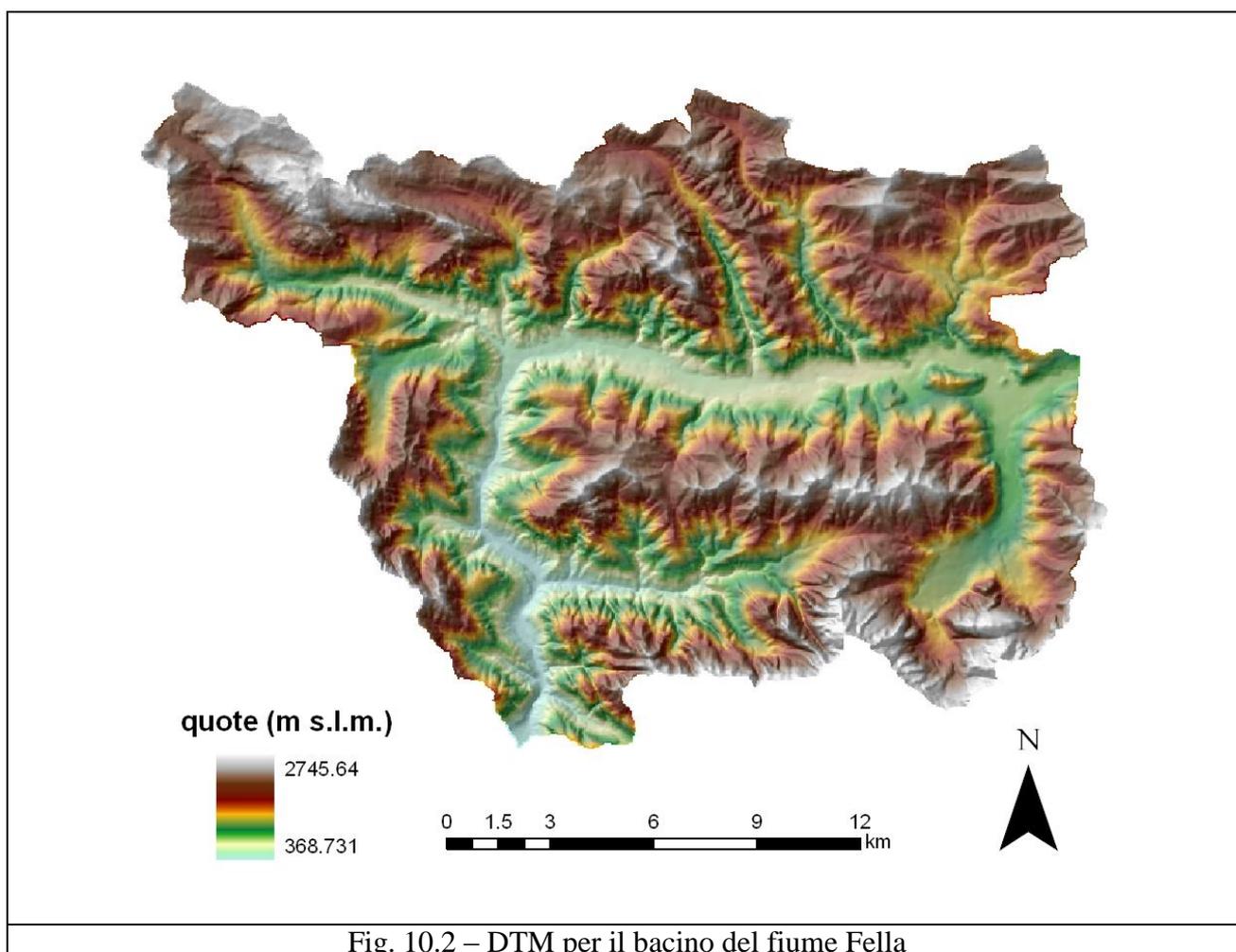
Ben lungi dal consentire una interpretazione esaustiva dei fenomeni legati alla pericolosità idrogeologica, la mappatura del Fattore Protettivo della Vegetazione può indubbiamente aiutare ad individuare rapidamente le aree più fragili e quindi meritevoli di maggiore attenzione.

A livello generale la quota massima raggiunta dalle cime dello spartiacque, sul DTM 40x40, è di 2745 m, le zone più basse sono situate a 368 m e l'altitudine media risulta pari a 1244 m s.l.m. conferendo al bacino in esame le tipiche caratteristiche di pendenza e morfologia dei bacini alpini.

10.2strati informativi di base

10.2.1 il modello digitale del terreno – DTM –

Il modello digitale del terreno di fig-10.2 è ricavato dal DTM regionale 40 x 40 metri.



10.2.2 Carta geolitologica

Per lo studio della stabilità del litotipo ci si è serviti della “Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia” redatta da G.B. Carulli (2006) in scala 1:150.000, dato ufficiale per la Regione dal marzo 2007.

Tale strato informativo contiene, oltre alla classificazione dei diversi tipi litologici, anche le informazioni sulla permeabilità degli stessi, raggruppandoli nei quattro gruppi idrologici standard finalizzati al calcolo del CN secondo il metodo del *Soil Conservation Service*.

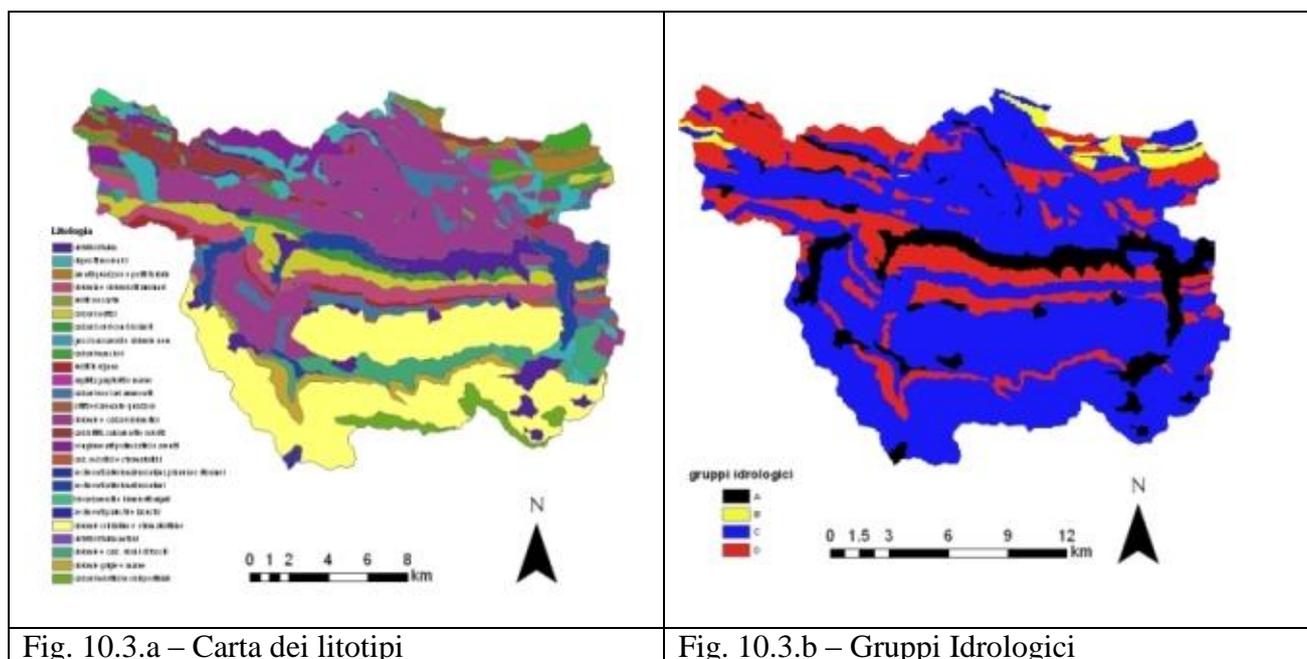


Fig. 10.3.a – Carta dei litotipi

Fig. 10.3.b – Gruppi Idrologici

10.2.3 uso del suolo

10.2.3.1 carta dei tipi forestali - bacino del fiume fella -

Nella stesura di una carta della fragilità, che presenta come obiettivo primario l'individuazione del ruolo della vegetazione nella mitigazione del dissesto, la cartografia tematica della copertura del suolo assume un'importanza cruciale. Per il Fella la base di partenza è stata la carta dei tipi forestali regionali (Del Favero et al. 1998) messa a punto per la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Servizio Gestione Forestale e Antincendio Boschivo. La carta è stata ritagliata sullo spartiacque del bacino e successivamente si sono accorpate le decine di tipologie indicate dal tematismo (creato con finalità botanico-forestali) in 17 categorie sintetiche di uso del suolo, più utili ai fini di un'analisi idrologica del territorio.

Per ottenere la carta di uso del suolo si è resa necessaria un'operazione di completamento della carta per le superfici non boscate che, ovviamente, non sono incluse nella carta dei Tipi Forestali. L'operazione è stata eseguita mediante fotointerpretazione delle ortofoto IT2003 identificando le seguenti categorie:

Aree urbane
Corsi d'acqua
Improduttivo
Mughi
Ontani

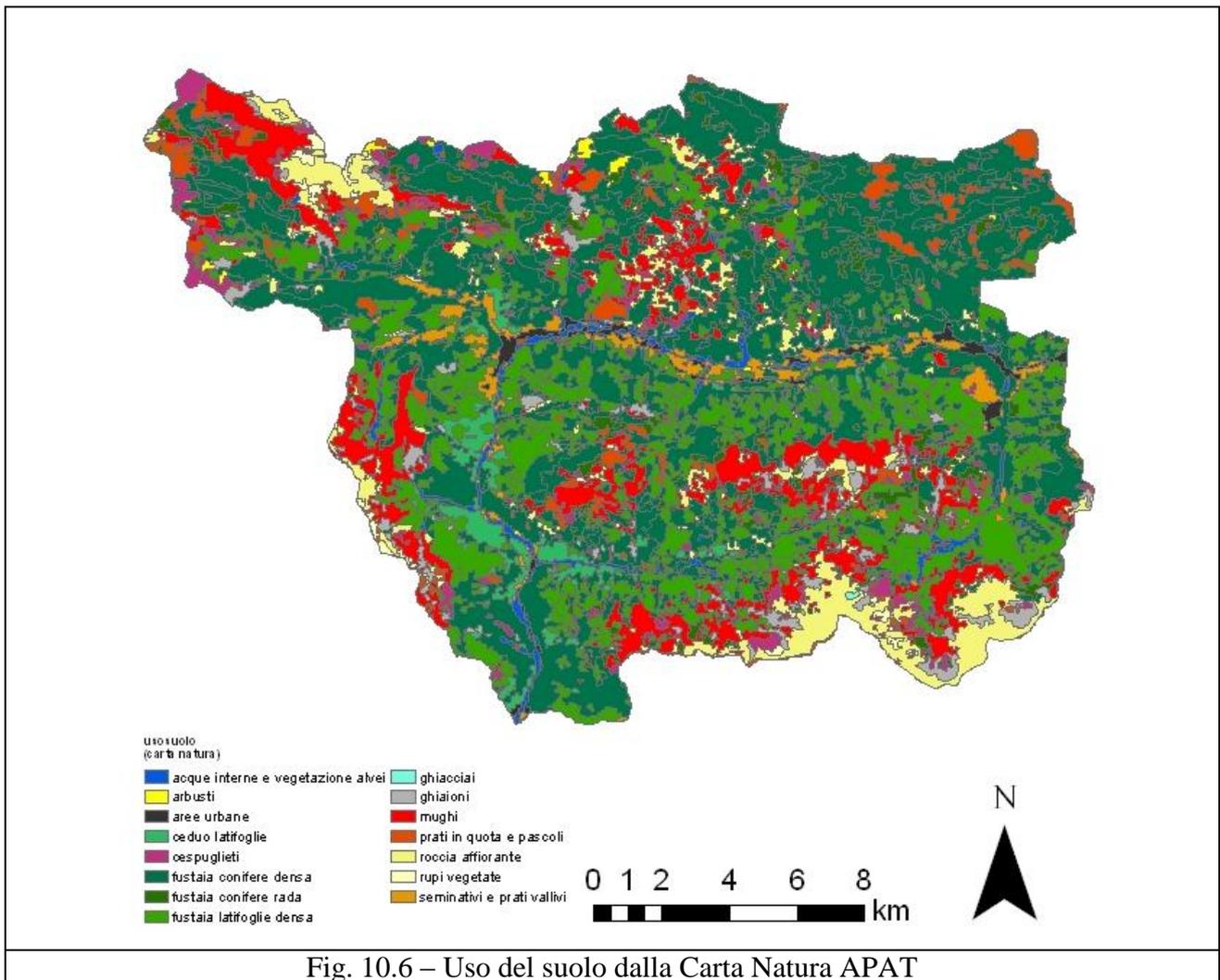
Prati e colture
Prato d'alta quota
Roccia affiorante
Rupi vegetate

10.2.3.2 Carta Natura - APAT

La carta dell'uso del suolo ottenuta a partire dai Tipi Forestali è stata comparata a quella estratta, per il Fella, dalla "Carta Natura" prodotta dall'APAT.

Confrontando le due carte di uso del suolo si notano differenze evidenti anche ad un livello di indagine superficiale, la prima della quali è l'assenza della categoria "Fustaia Mista" dal tematismo derivato dalla Carta Natura.

Infatti la carta redatta dall'APAT ha finalità preminentemente ecologiche ed ha quindi privilegiato la suddivisione in particelle, anche di dimensioni ridotte, ma tendenzialmente di popolamenti puri.



10.2.4 dati di precipitazione

La distribuzione della precipitazione probabile centenaria all'interno del bacino viene mostrata in figura 10.7 (a-e) per le durate classiche di 3, 6, 12 e 24 ore di precipitazione. I dati sono ricavati dalla regionalizzazione statistica degli eventi estremi disponibile per tutta la Regione.

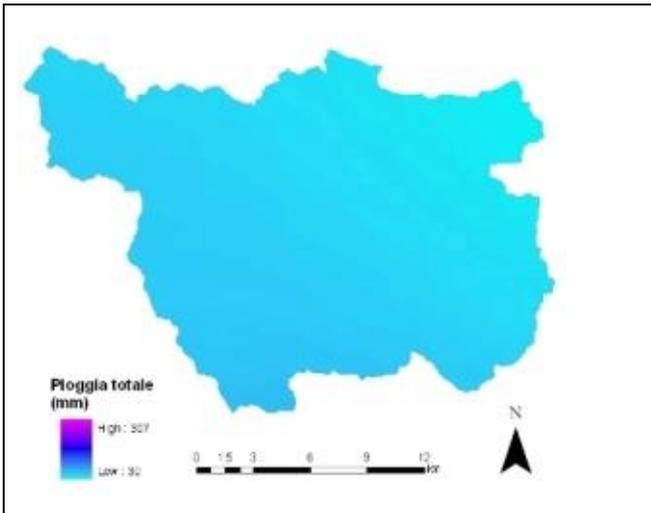


Fig. 10.7 a – Pioggia totale TR 100, 1 h

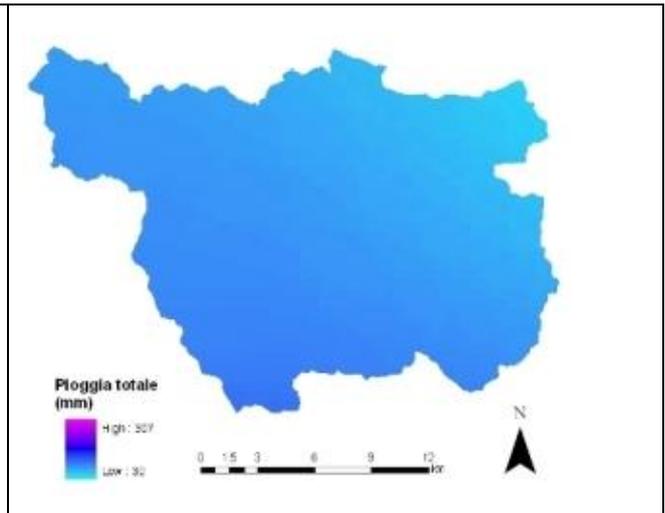


Fig. 10.7 b – Pioggia totale TR 100, 2 h

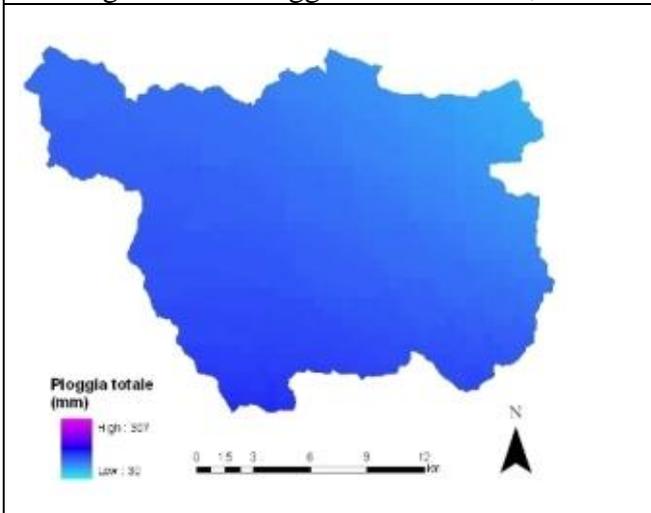


Fig. 10.7 c – Pioggia totale TR 100, 6h

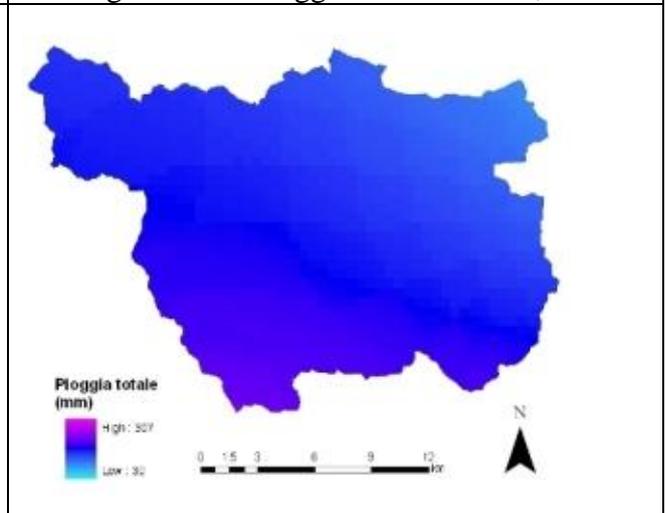


Fig. 10.7 d – Pioggia totale TR 100, 12 h

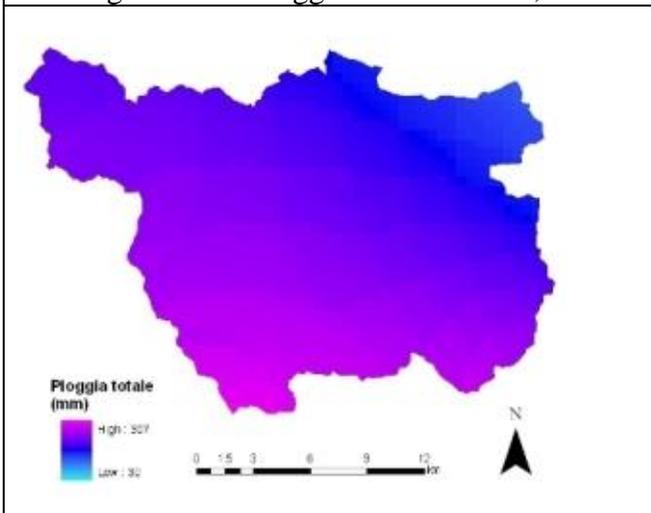
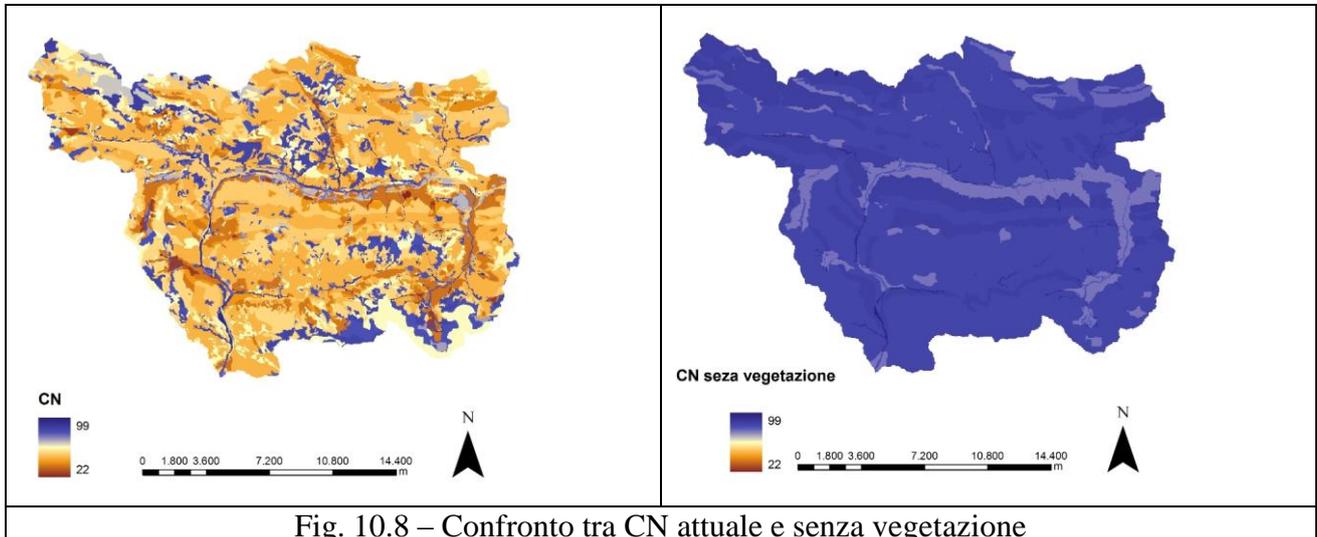


Fig. 10.7 e – Pioggia totale TR 100, 24 h

10.2.5 carta del cn

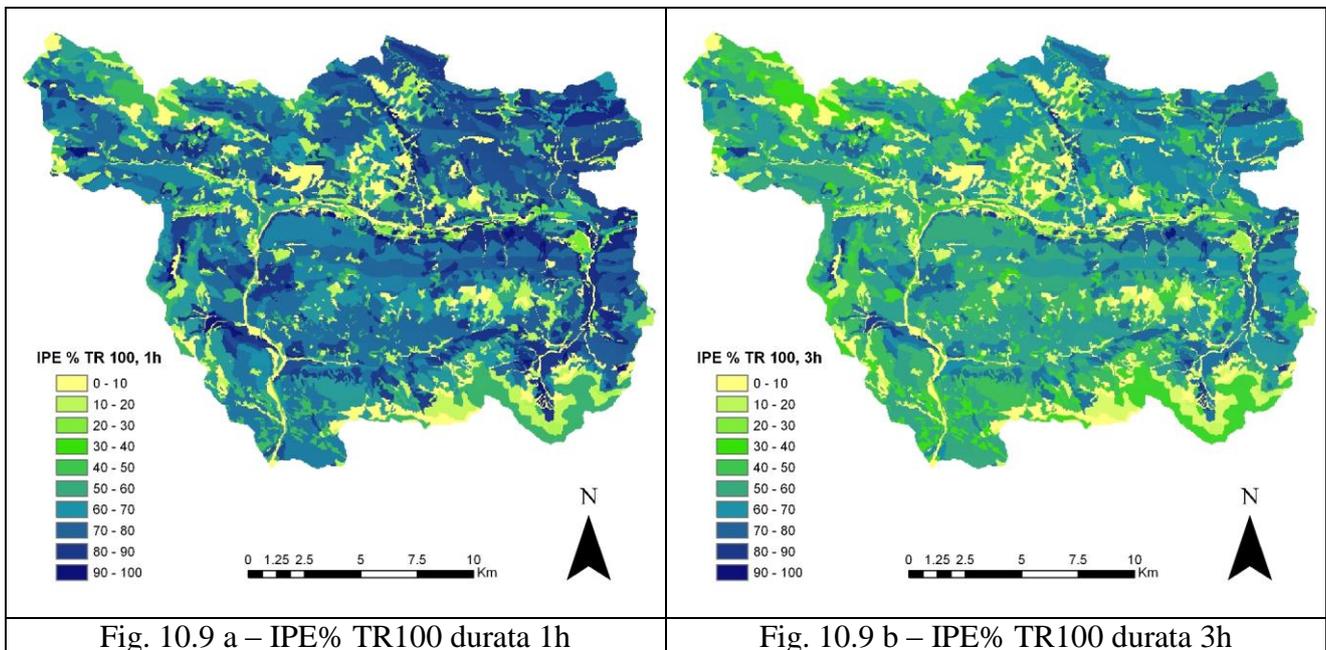
Combinando assieme il dato relativo all'uso del suolo con quello della litologia si ottiene la il tematismo del Curve Number anche per il bacino del fiume Fella.

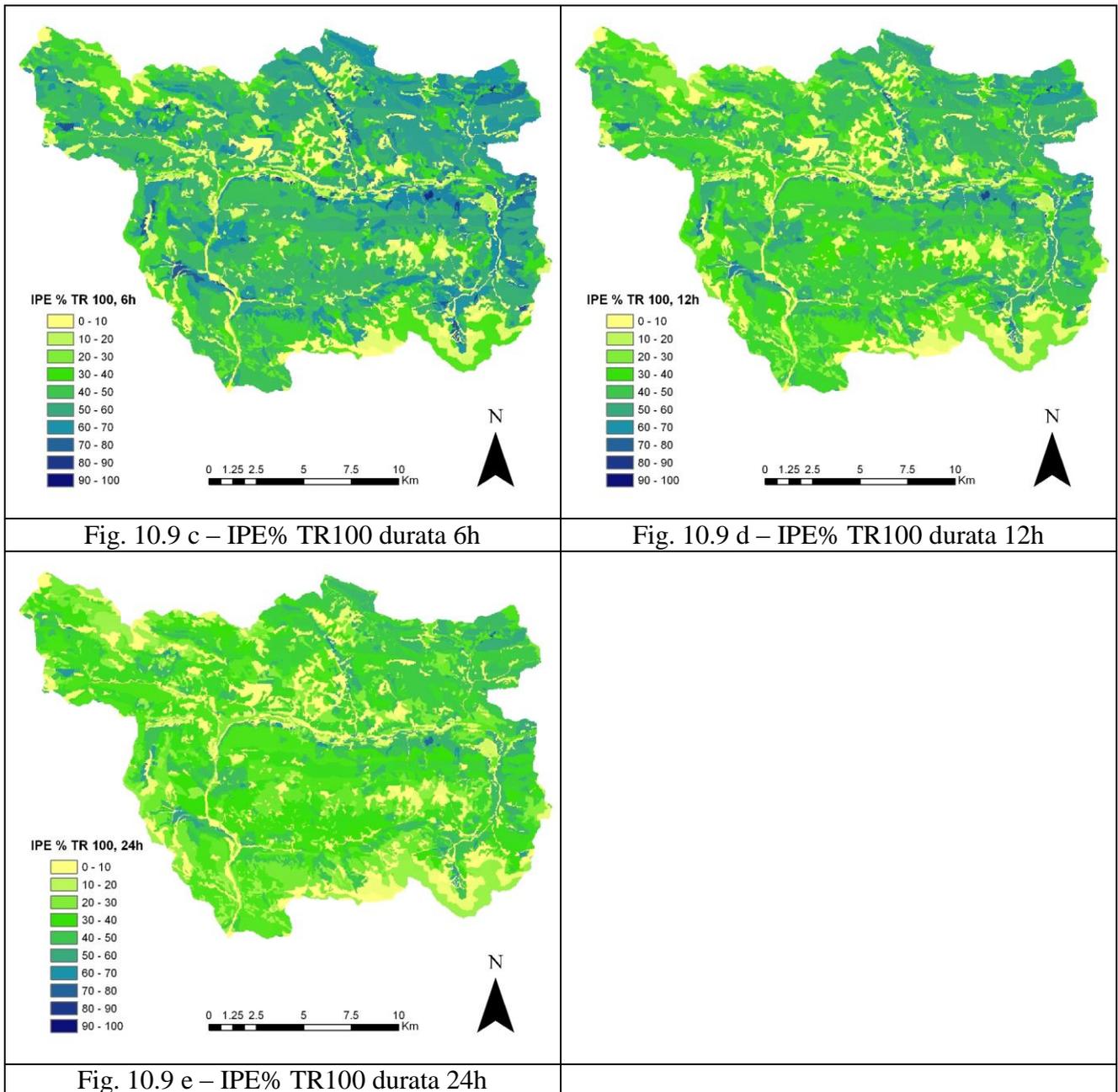
La successiva neutralizzazione della presenza della vegetazione porta alla produzione della carta del CN senza vegetazione (figura 10.8).



10.2.6 indicatore di incremento di pioggia efficace

In figura 10.9 (a-e) viene mostrato l' incremento di pioggia efficace simulato per il bacino del fiume Fella.





10.3 Il fattore regimante della vegetazione

Il fattore regimante della vegetazione supera le limitazioni di IPE servendosi della suddivisione dall'area di studio in sottobacini, come evidenziato in figura 10.10. FRV, fattore regimante della vegetazione, è mostrato in figura 10.11.

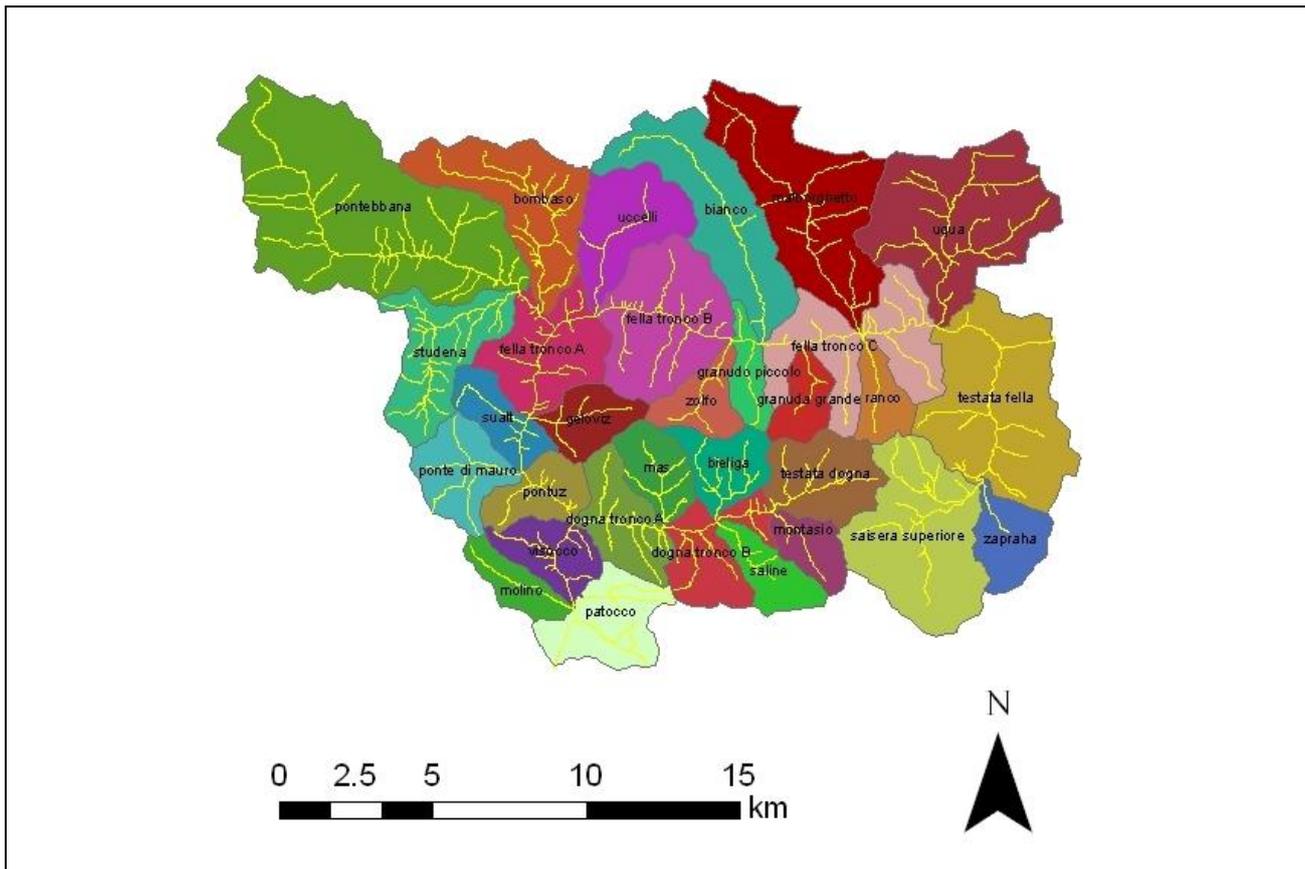


Fig. 10.10 – Zone Idrografiche (sottobacini)

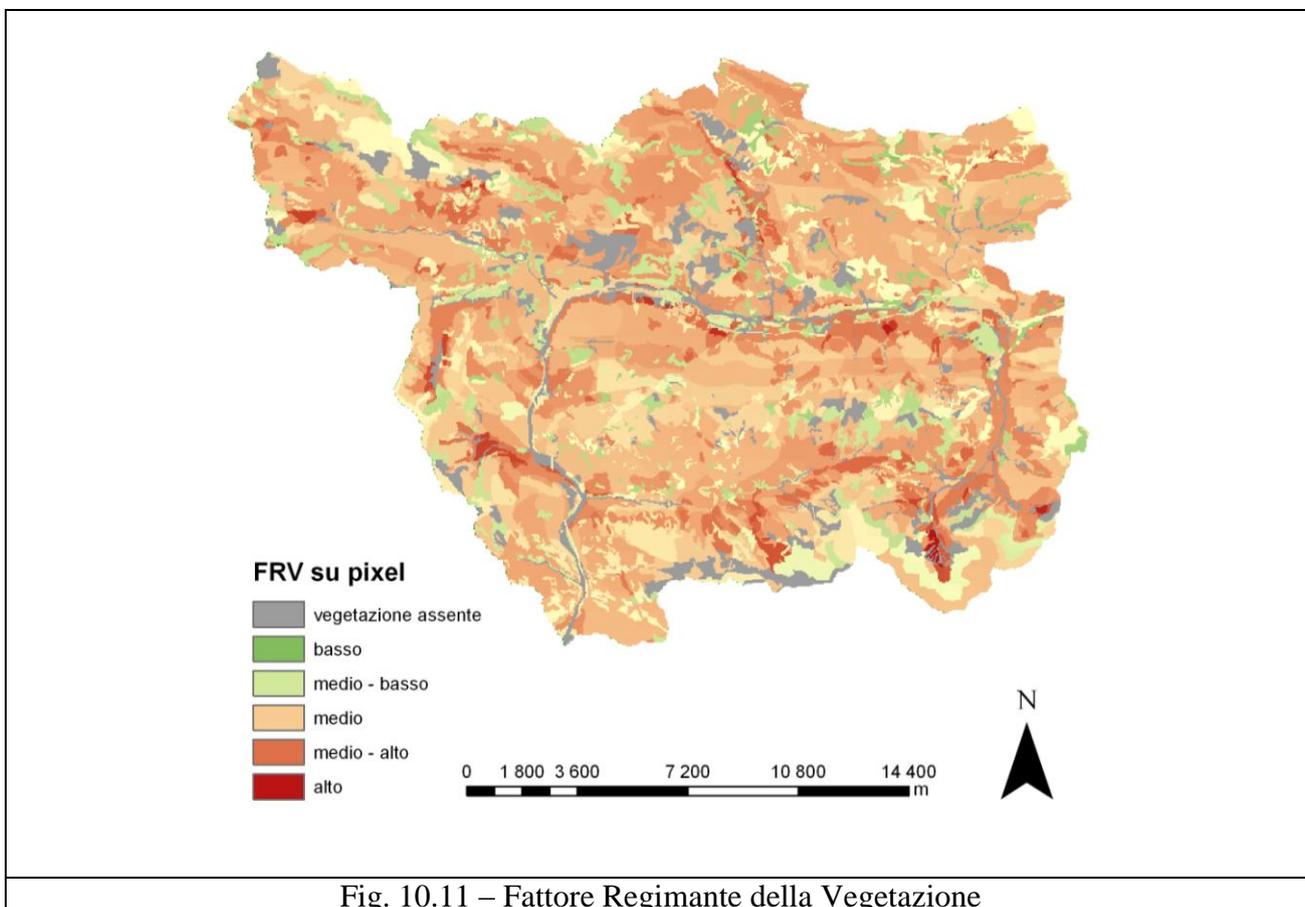
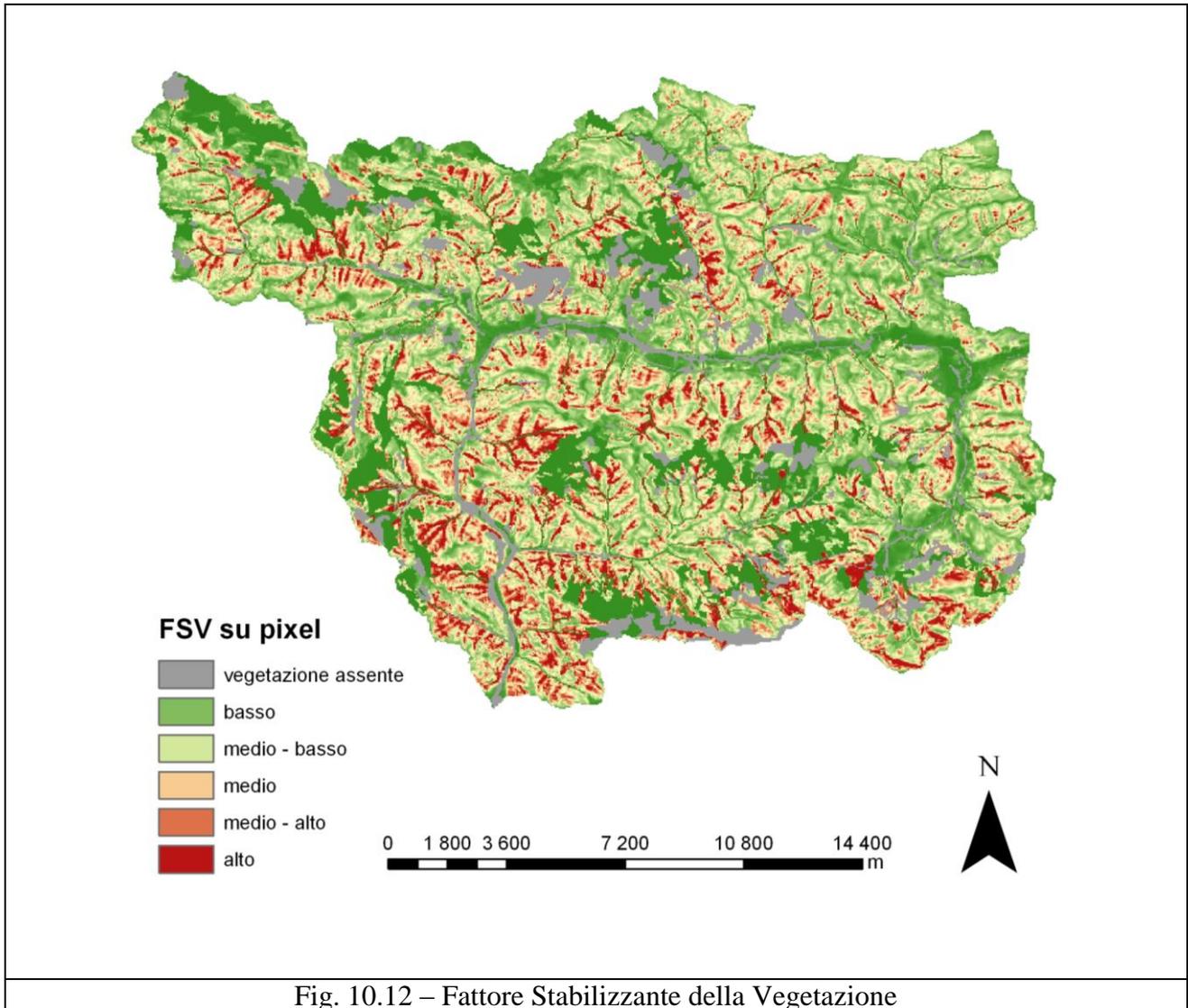


Fig. 10.11 – Fattore Regimante della Vegetazione

10.4 Il fattore stabilizzante della vegetazione

Si sono effettuate tutte le simulazioni che portano ad identificare il ruolo che la vegetazione svolge nel consolidare i versanti. Il tematismo finale, FSV, viene mostrato in figura 10.12. Mentre vengono omessi, per ragioni di sintesi, tutti i passaggi intermedi che sono tuttavia leggibili nell'analoga procedura effettuata per l'intera montagna friulana.



10.5 Il fattore protettivo della vegetazione

Lo strato informativo che sintetizza il ruolo regimante e quello stabilizzante della vegetazione è la carta di FPV.

In figura 10.13 vengono mostrate le carte per il bacino del fiume Fella riferite ad FPV; inizialmente calcolato per il bacino isolato (A) partendo dalla carta dei Tipi Forestali, successivamente (B) estratto dalla mappa creata per la montagna friulana basata sulla Carta Natura APAT.

Anche in questo caso è il caso di focalizzare l'attenzione sulle differenze tra le due carte del Fattore Protettivo.

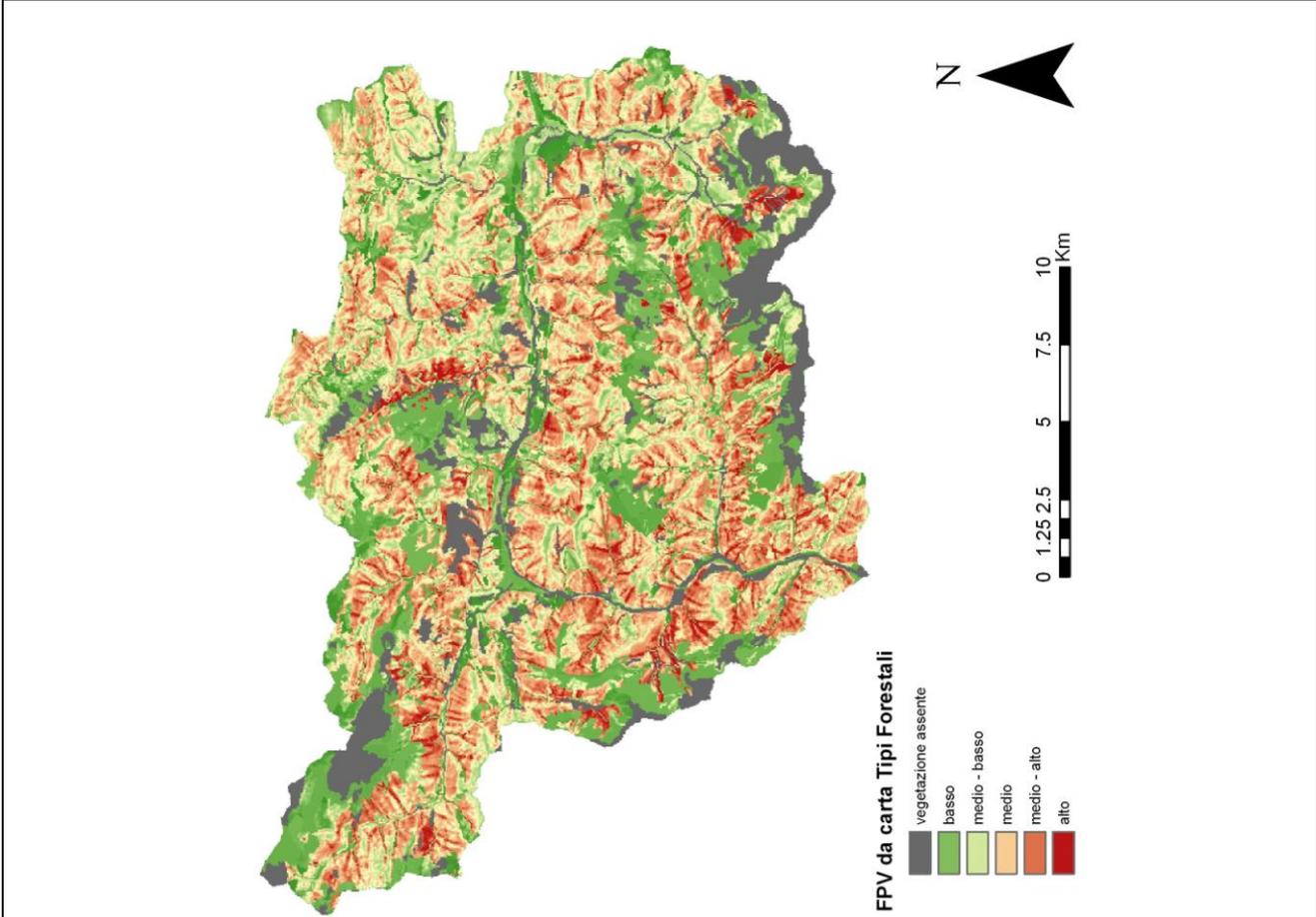


Fig. 10.13 a – FPV derivante dai Tipi Forestali

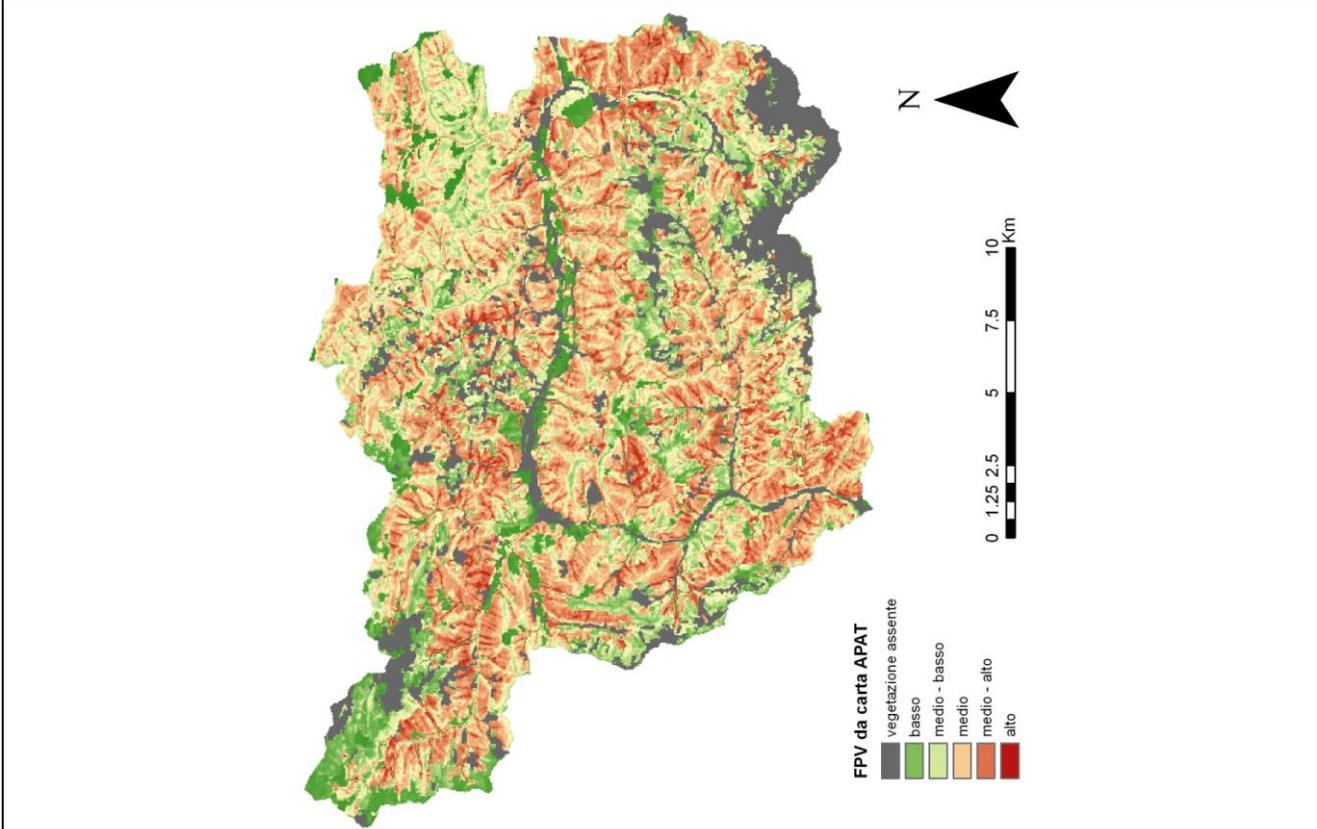
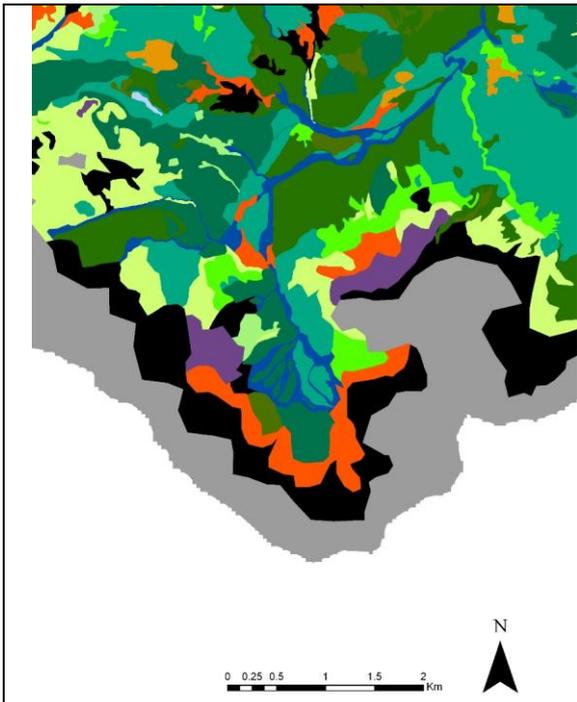


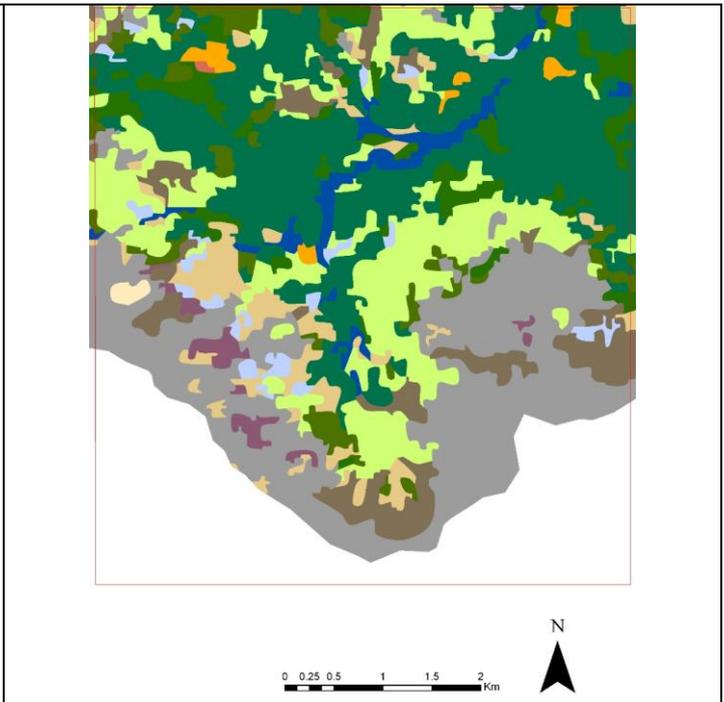
Fig. 10.13 b – FPV derivante da Carta Natura Apat



usosuolo da Tipi Forestali

- | | | | |
|------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| arbusti | fustaia latifoglie densa | mughii | roccia affiorante |
| aree urbane | fustaia latifoglie rada | ontani | rupi vegetate |
| corsi d'acqua | fustaia mista densa | prati e colture | |
| fustaia conifere densa | fustaia mista rada | prato d'alta quota | |
| fustaia conifere rada | improduttivo | rimboschimenti | |

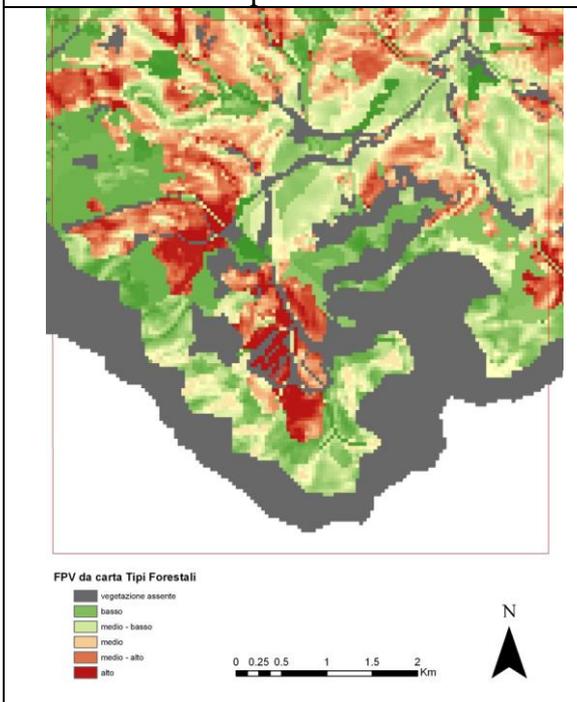
Fig. 10.14 a – Dettaglio uso del suolo da Tipi forestali



usosuolo da carta APAT

- | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| acque interne e vegetazione alvei | cespuglieti | ghiacciai | roccia affiorante |
| arbusti | fustaia conifere densa | ghiaioni | rupi vegetate |
| aree urbane | fustaia conifere rada | mughii | seminativi e prati vegetati |
| ceduo latifoglie | fustaia latifoglie densa | prati in quota e pascoli | |

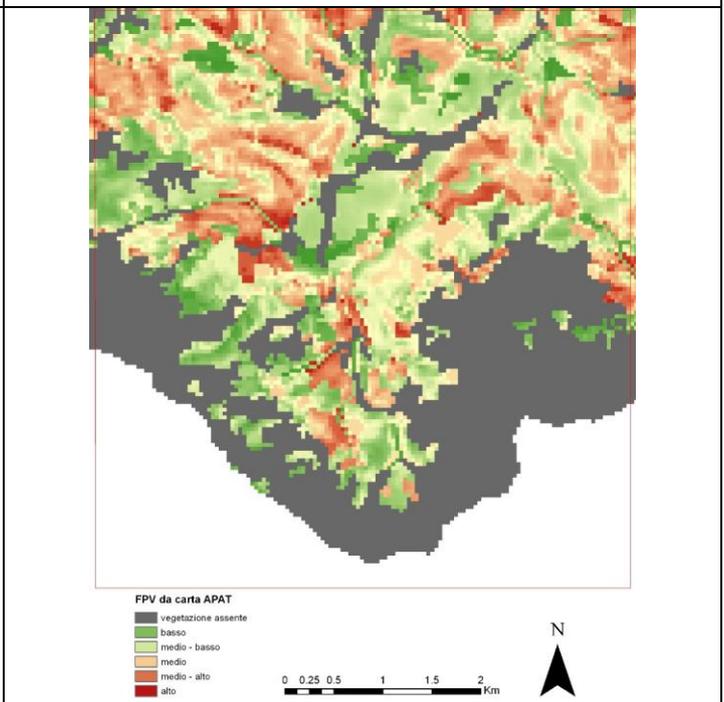
Fig. 10.14 b – Dettaglio uso del suolo da Carta Natura



FPV da carta Tipi Forestali

- | |
|---------------------|
| vegetazione assente |
| basso |
| medio - basso |
| medio |
| medio - alto |
| alto |

Fig. 10.14 c – Dettaglio FPV derivante da Tipi Forestali



FPV da carta APAT

- | |
|---------------------|
| vegetazione assente |
| basso |
| medio - basso |
| medio |
| medio - alto |
| alto |

Fig. 10.14 d – Dettaglio FPV derivante da Carta Natura

11 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Il terzo stralcio funzionale conclude di fatto la fase modellistica relativa allo “Studio per lo sviluppo di nuovi criteri tecnici e normativi per il riordino del vincolo idrogeologico” per il territorio Montano della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

Nei tre anni di lavoro l’analisi della fragilità è stata sperimentata su quattro bacini montani di dimensioni via via crescenti man mano che venivano calibrati i pesi e le variabili da utilizzare per le procedure, fino a giungere ad una mappatura della fragilità per tutta la montagna friulana.

La metodologia proposta si è dimostrata robusta e flessibile, generando risultati coerenti con le attese anche mediante l’utilizzo di strati informativi cruciali differenti tra loro nelle diverse fasi del lavoro (in particolare l’uso del suolo). Questa considerazione, tuttavia, non deve far supporre che l’accuratezza degli strati informativi di base non sia importante, anzi, le differenze negli output evidenziate nei paragrafi 8.3 e 10.5 suggeriscono che nelle analisi di dettaglio il dato di partenza rivesta un ruolo fondamentale.

Osservando le carte della fragilità a scala regionale si nota chiaramente come le zone che maggiormente usufruiscono della protezione della vegetazione siano situate in area montana mentre la fascia collinare tenda ad avere classi di protezione più basse.

Un passo successivo nell’approfondimento dell’analisi può essere effettuato osservando i valori medi degli indicatori proposti per le diverse zone idrografiche isolate all’interno dell’area montana.

La figura 5.11 mostra l’andamento del Fattore Protettivo della Vegetazione medio per ciascun sottobacino ed evidenzia ulteriormente come i bacini sottoposti ad un rischio più elevato nel caso di rimozione della vegetazione siano quelli tipicamente alpini.

In appendice (app. A) si trovano tabelle riassuntive dei valori medi per i principali indicatori proposti dalla metodologia utili all’identificazione delle zone più vulnerabili in termini di fragilità territoriale.

La serie di immagini proposta in figura 11.1 e 11.2 mostra la lettura del territorio che si può evincere dall’applicazione della metodologia qui proposta per due piccole zone di dettaglio.

Tali zone sono state scelte perché riferite al primo (fig. 11.2) ed al terzo (fig. 11.1) stralcio funzionale; attraverso la loro osservazione si può chiaramente notare come, nonostante la metodologia sia stata notevolmente affinata tra le diverse applicazioni, Fragile! proponga risultati sempre coerenti alla sua funzione di studio della fragilità territoriale in area montana.

La figura 11.1 (a – g) mostra un dettaglio dei principali indicatori prodotti per la zona ad est di Dogna (bacino del fiume Fella). Il livello di dettaglio è vincolato alla risoluzione del DTM che è di 40 x 40 metri; gli indicatori morfologici, tuttavia, seguono con buona precisione la conformazione del terreno che viene mostrata in figura 11.1 a.

L’indicatore adimensionale di Stream Power (A-SPI) evidenzia in colore rosso le aree più suscettibili di erosione e dissesto su base puramente morfometrica. Appare evidente come nelle zone di alimentazione del dissesto si rilevino valori elevati di A-SPI (colore rosso).

L’analisi della propensione al dissesto (FID ed FPD) mostra chiaramente il ruolo positivo svolto dalla copertura vegetale nello stabilizzare i versanti.

Per la loro setssa natura, legata al ruolo della vegetazione, gli indicatori di fragilità (FRV, FSV ed FPV) tendono ad assumere i valori massimi nelle zone più acclivi ove la vegetazione sia anche dotata di buona struttura mentre sono, ovviamente, nulli in corrispondenza delle aree non vegetate quali i corsi d’acqua, gli abitati e le aree rocciose in quota.

Le immagini seguenti sottolineano come l’utilizzo della carta di sintesi finale, come di molte di quelle intermedie, vada verificato su casi concreti per i quali siano noti gli eventuali problemi.

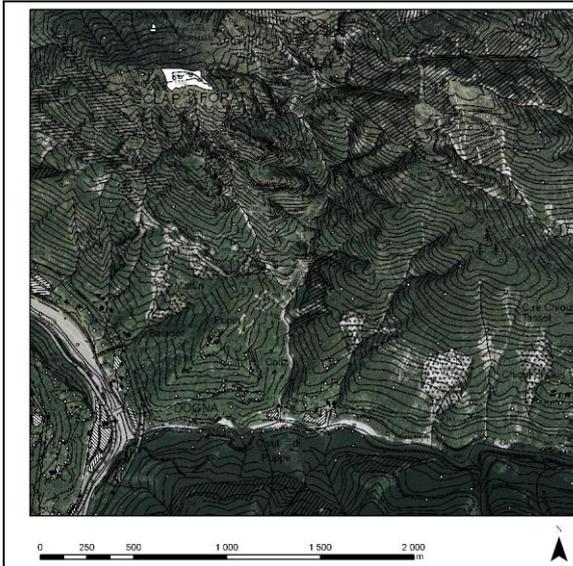


Fig. 11.1 a – Ortophoto del dettaglio

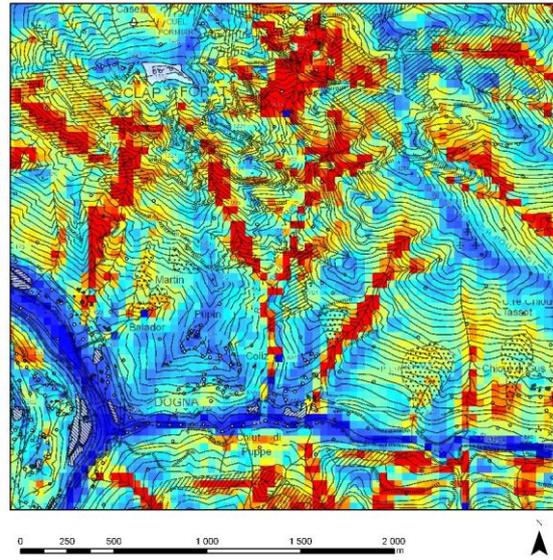


Fig. 11.1 b – A-SPI del dettaglio

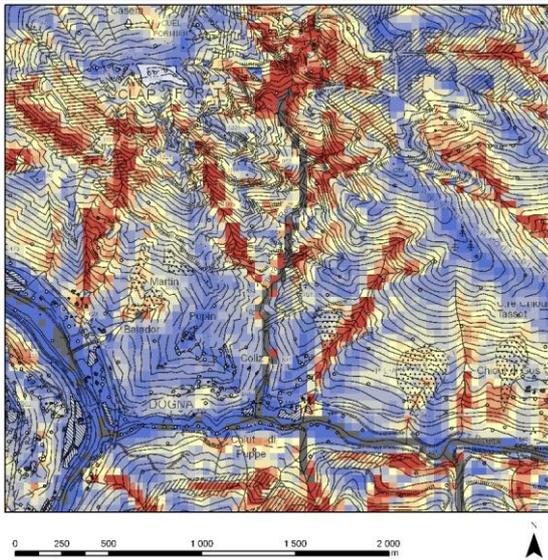


Fig. 11.1 c – FID del dettaglio

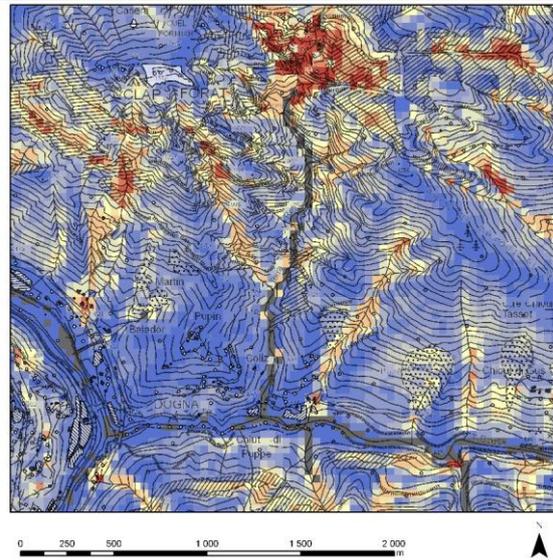


Fig. 11.1 d – FPD del dettaglio

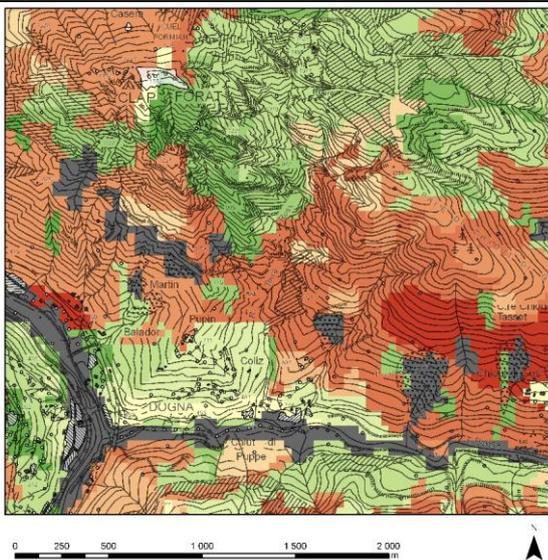


Fig. 11.1 e – FRV del dettaglio

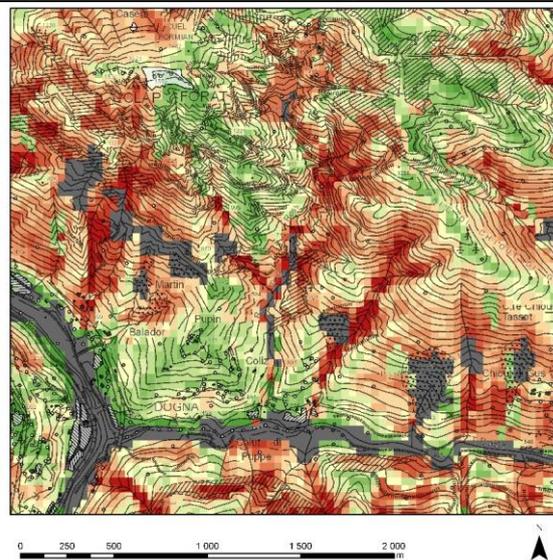


Fig. 11.1 f – FSV del dettaglio

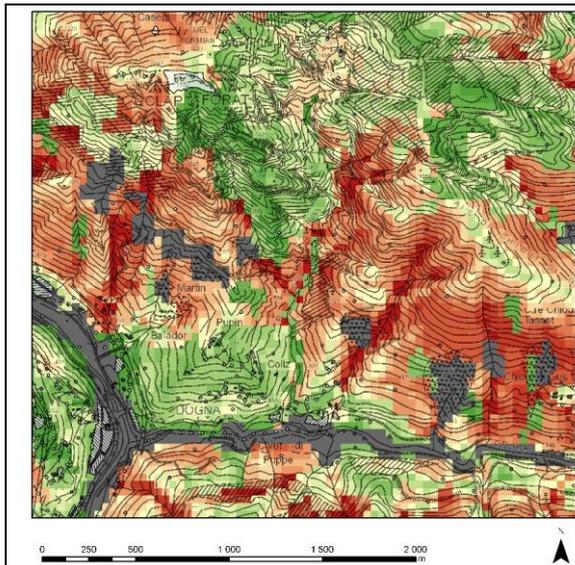


Fig.11.1 – Dettaglio degli indicatori in un'area immediatamente ad est di Dogna, all'imbocco dell'omonima valle.

Fig. 11.1 g – FPV del dettaglio

Ad esclusivo titolo di esempio è analizzata anche la situazione nella borgata Naunina (Paluzza). Anche in questo secondo caso gli indicatori riescono a descrivere in modo preciso la condizione di protezione del territorio in esame, anche in virtù del fatto di essere ricavati da un DTM di risoluzione di 10 metri.

Si noti infatti come A-SPI (fig. 11.2 b) assuma i valori massimi nelle zone di alimentazione del dissesto, come la copertura vegetale riduca la propensione al dissesto passando da FID ad FPD (fig.11.2 c, d) e come negli indicatori finali di fragilità si riesca ad identificare persino il campo da calcio parrocchiale come elemento a minore fragilità rispetto ai versanti coperti di conifere.

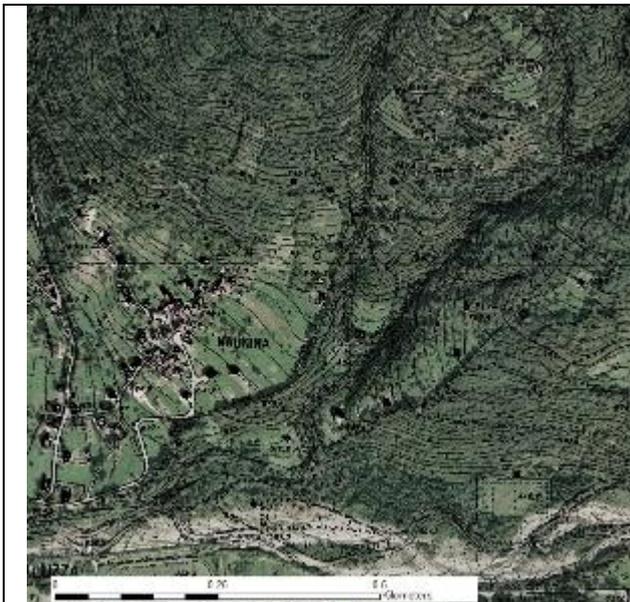


Fig. 11.2 a – Ortofoto del dettaglio

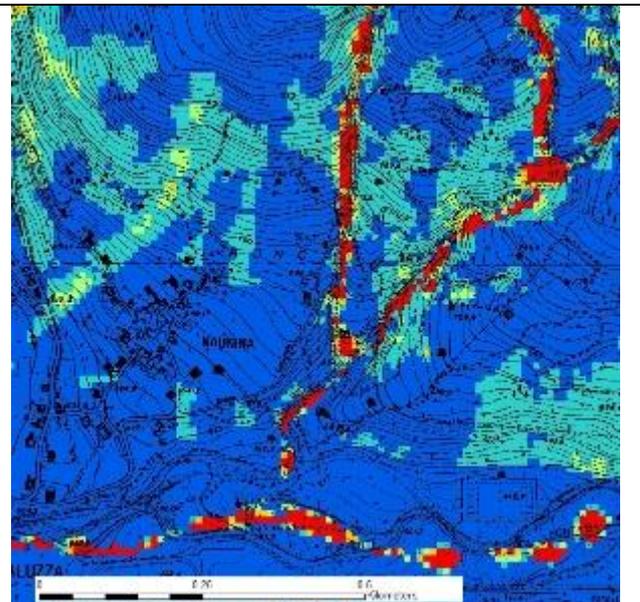


Fig. 11.2 b – A-SPI del dettaglio

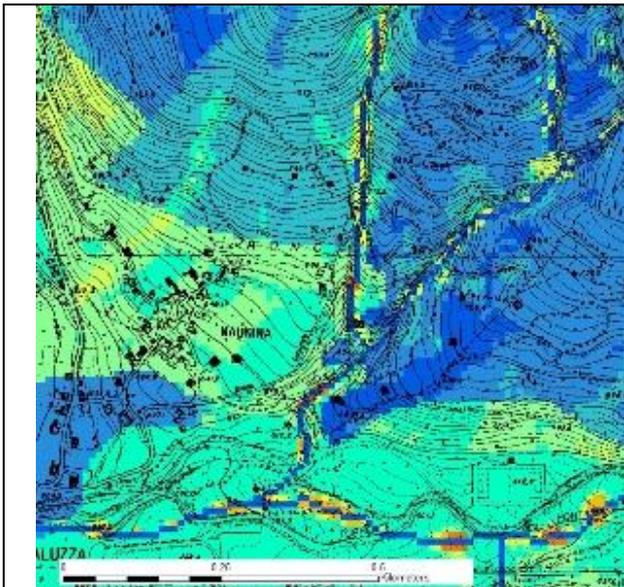


Fig. 11.2 c – FID del dettaglio

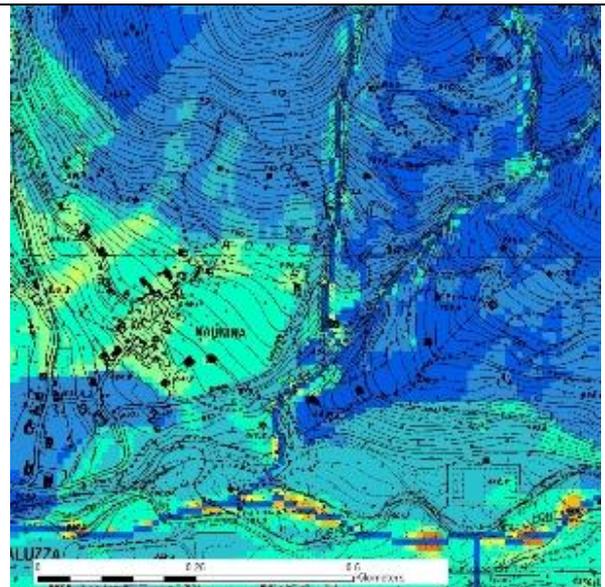


Fig. 11.2 d – FPD del dettaglio

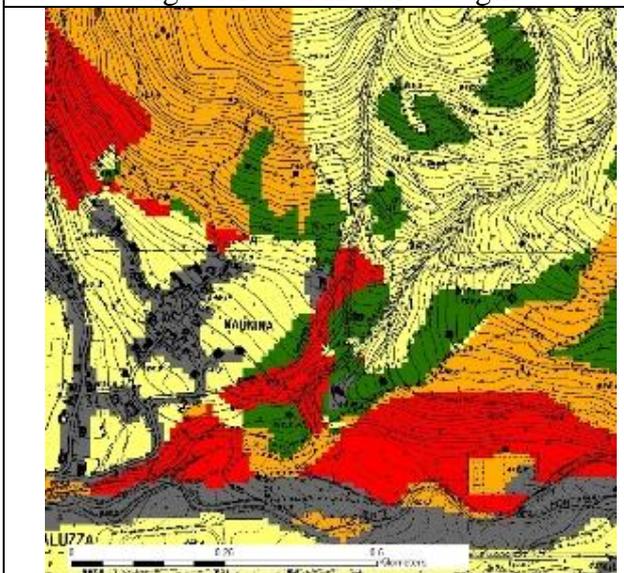


Fig. 11.2 e – FRV del dettaglio

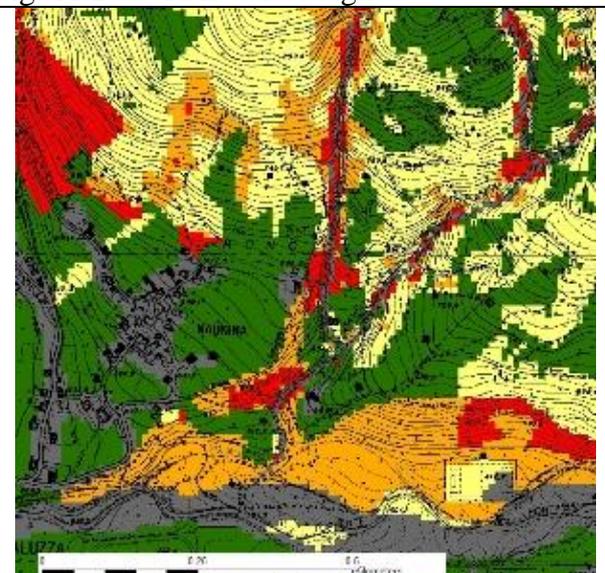


Fig. 11.2 f – FSV del dettaglio

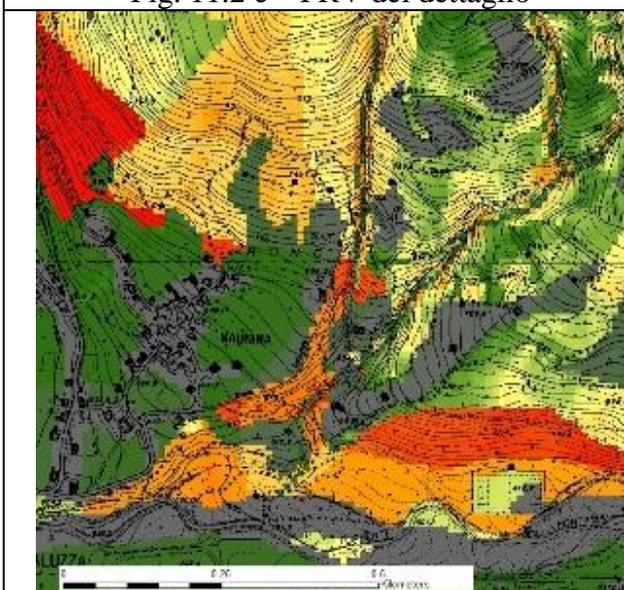


Fig. 11.2 g – FPV del dettaglio

Fig.11.2 – Dettaglio degli indicatori in un'area della borgata Naunina in comune di Paluzza, sulla sponda destra del torrente Pontaiba.

La procedura proposta con questo studio intende fornire un utile contributo per la definizione di criteri oggettivi di valutazione in grado di rendere più credibili ed sostenibili le decisioni tecniche nell'ambito dei processi di pianificazione e gestione territoriale.

Essa ha anche aperto la strada a vie di indagine parallele come la modellazione della stabilità dei versanti o l'utilizzo di modelli del terreno con diverse risoluzioni. Appare tuttavia di fondamentale importanza che, dato l'elevato livello di standardizzazione ottenuto per tutti gli strati informativi richiesti e prodotti, si giunga presto ad una cartografia di uso del suolo definitiva e sicuramente affidabile per analisi di tipo idrologico.

12 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AUTORITA' DI BACINO DEI FIUMI ISONZO, TAGLIAMENTO, LIVENZA, PIAVE, BRENTA-BACCHIGLIONE (2004): *Progetto Di Piano Stralcio Per L'assetto Idrogeologico Dei Bacini Idrografici Dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave E Brenta-Bacchiglione*.

BEVEN K. J., KIRKBY M. J.(1979): *A physically-based variable contributing area model of basin hydrology*. Hydrological Science Bulletin, 24, 43-69.

BORGA M., DALLA FONTANA G., CAZORZI F. (2002). *Analysis of topographic and climatic control on rainfall-triggered shallow landsliding using a quasi-dynamic wetness index*. JOURNAL OF HYDROLOGY. vol. 268, pp. 56-71 ISSN: 0022-1694

BORGA M., DEGLI ESPOSTI S., DALLA FONTANA G.: (2005): *Analisi e sintesi del regime delle precipitazioni intense in Friuli Venezia Giulia*. In: La prevenzione del rischio idrogeologico nei piccoli bacini montani della regione: esperienze e conoscenze acquisite con il progetto Catchrisk. Regione Friuli Venezia Giulia Direzione Regionale delle Risorse Agricole, Naturali, Forestali e Montagna. Servizio territorio montano e manutenzioni. pp. 75-93.

CAZORZI F., DALLA FONTANA G. (2005): *Metodologia per la definizione di una carta di fragilità territoriale per la Provincia Autonoma di Trento, applicazione al bacino dell'Alto Avisio*. Associazione Italiana di Idronomia. Padova.

CAZORZI F., DALLA FONTANA G. (2005): *Studio per lo sviluppo di nuovi criteri tecnici e normativi per il riordino del vincolo idrogeologico. Parte prima: metodologia*. Regione Friuli Venezia Giulia Direzione Regionale delle Risorse Agricole, Naturali, Forestali e Montagna. Servizio Selvicoltura e Antincendio Boschivo.

CAZORZI F., BINCOLETTA L. (2005): *Modellazione dei processi idrologici*. In: La prevenzione del rischio idrogeologico nei piccoli bacini montani della regione: esperienze e conoscenze acquisite con il progetto Catchrisk. Regione Friuli Venezia Giulia Direzione Regionale delle Risorse Agricole, Naturali, Forestali e Montagna. Servizio territorio montano e manutenzioni. pp. 45-74.

CAZORZI F. (2004): *Progetto di massima e sperimentale rivolto al riordino del vincolo idrogeologico all'interno di un bacino idrografico campione situato nel Collio Goriziano. Rio delle Rose*. Regione Friuli Venezia Giulia Direzione Regionale delle Risorse Agricole, Naturali, Forestali e Montagna.

CAZORZI F. (2002): *HydroGrid2002 (HG2k2). Manuale di Riferimento*. Università di Udine, Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali, pp. 38

CAZORZI F., DALLA FONTANA G. (2002): *Criteri per la revisione della gestione del vincolo idrogeologico. Applicazione pilota al bacino del torrente Pontaiba*. Dipartimento Foreste, Regione Friuli - Venezia Giulia. Rapporto Interno. pp.55. Convenzione 09/1999: Progetto di massima per la revisione del vincolo idrogeologico all'interno di un bacino idrografico campione, situato in Carnia.

DALLA FONTANA G., 2005. *I processi di formazione de lreticolo idrografico*. In: Conoscere il sistema fiume nell'ambiente alpino. D'Agostino & Carraro Eds. Atti del 41 Corso di Cultura in Ecologia. Dip. TeSAF. Università di Padova.

DALLA FONTANA G. (1996): *Il contributo della foresta alla mitigazione della vulnerabilità del territorio*. Estratto dalla rivista "Parchi", ottobre 1996, 19, 56-62.

DALLA FONTANA G, BORGA M., TAROLLI P. (2005): *Modellazione dei processi di instabilità superficiale*. Da "La prevenzione del rischio idrogeologico nei piccoli bacini montani della regione: esperienze acquisite con il progetto CatchRisk". Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna. Udine.

DIETRICH W. E.(1999): *Shalstab Tools Tutorial*. Department of Geology and Geophysics, University of California (Berkeley).

FRANK E (1997):. *Modello per la localizzazione dei siti più facilmente soggetti a movimenti franosi*. Associazione Italiana di Idronomia. Padova, 1997.

JENKINSON A. F. (1955): *The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements*. Quarterly J. Royal Met. Society, 87 – 158.

HEWLETT J.D., HIBBERT A.R.(1967): *Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid regions*. IN Forest Hydrology (eds. W.E. Sopper and H.W. Lull). Pergamon Press, Oxford. pp. 275-290.

HORN B.K.P., 1981, *Hill shading and the reflectance map*, Proceedings of the I.E.E.E. **69-1**, 14-47

MARCHI L., DALLA FONTANA G. (2005). GIS morphometric indicators for the analysis of sediment dynamics in mountain basins. ENVIRONMENTAL GEOLOGY. vol. 48, pp. 218-228 ISSN: 0943-010.

PACK R.T., TARBOTON D. G., GOODWIN C., PRASAD A.(2005): *Sinmap user's manual*. Utah State University.

PARIGI R. (2008): *Studio per l'applicazione della metodologia per il calcolo del Fattore Protettivo della Vegetazione (FPV) al territorio della Comunità di Valle della Val di Cembra*. Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento.

ROBERTS J., (2001). *Catchment and Processes Studies in Forest Hydrology: Implications for Indicator of Sustainable Forest Management*. In: Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management. (eds. R.J. Raion, A.G. Brow and D.W. Flinn) CAB International 2001.

SERVA L., CAMPOBASSO C., TRIGLIA A., IADANZA C.(2006): *Il progetto IFFI – Inventario Fenomeni Franosi in Italia*. Servizio Geologico d'Italia. 2006.

TAROLLI P (2006): *Modellazione dei processi di franamento superficiale*. Da "Foreste: Recupero Ambientale Naturalistico Ecologico. Linee guida per la mitigazione del rischio idrogeologico". Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna. Udine..

TAROLLI P, BORGA M., CESARE B., ZANON F., TOLLARDO M., MACCONI P. P.(2007): *Innesco di frane superficiali durante eventi di precipitazione brevi ed intensi in zone alpine*. Quaderni di Idronomia Montana – 26 – . Editoriale Bios.

TAROLLI P, TARBOTON D. G (2006): *A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping.* Hydrology and Earth System Sciences.

APPENDICE

VALORI MEDI DEI PRINCIPALI INDICATORI DI FRAGILITÀ PER ZONA

Nome ramo principale	COD_SB	Area (ha)	FPV medio	FSV medio	FRV medio
agar	1	1857.02	25.12	7.92	51.47
alba	2	2228.87	42.04	24.62	61.65
alberone	3	2081.53	40.37	21.32	59.24
alberone - zaverian	4	1706.40	38.68	19.78	35.61
alpa	5	2052.85	46.63	29.32	61.91
ambiesta	6	1395.86	40.53	22.78	63.39
ambruseit	7	1263.08	44.27	25.46	62.74
artugna	8	3728.04	29.03	12.41	59.81
arzano	9	7950.18	43.66	25.54	63.61
auempoch	10	753.56	39.16	19.47	60.20
aupa	11	4988.75	45.65	26.88	61.35
avanza	12	944.31	42.96	24.00	59.22
barbana	13	152.78	20.78	5.56	61.07
barman	14	1328.22	46.61	31.30	61.64
bartolo	15	2801.53	44.87	23.68	57.04
bianco	16	1923.31	46.30	27.19	57.89
bianco - natisone	17	1008.43	36.40	17.43	62.58
bianco - slizza	18	2441.02	42.45	20.26	51.23
bombaso	19	1564.36	44.87	25.72	51.45
bordaglia	20	890.98	42.65	24.15	4.80
bornass	21	802.91	24.32	7.62	62.14
brosa	22	1134.60	32.07	14.06	61.19
but	23	12294.72	40.04	21.06	59.21
caltea	24	2613.90	40.96	23.89	64.02
canale framoso	25	1163.72	29.01	11.82	60.65
canonica	26	1047.46	45.94	28.49	64.34
cansiglio	27	3886.02	32.69	14.66	65.10
cartiera	28	704.57	14.70	0.75	81.09
cavrezza	29	2595.32	19.23	4.30	60.06
cellina	30	15031.46	43.31	26.42	59.79
cercevesa	31	1529.98	41.38	23.44	55.36
chialeadina	32	1676.13	45.71	31.11	55.63
chiantone	33	670.20	39.74	20.72	64.58
chiarchia	34	1080.44	48.45	30.91	64.43
chiaro	35	1984.92	38.66	19.39	23.82
chiaro - quercig	36	810.21	31.48	12.69	59.01
chiaro di prestanto	37	958.06	34.70	16.06	72.21
chiarso	38	3186.35	42.77	24.51	64.56
chiarso - cercevesa	39	7006.41	44.41	25.73	58.92
chiarso - bandit	40	1330.35	38.61	18.99	61.79
cialata	41	289.72	30.25	12.40	60.27
cimoliana	42	7545.38	43.05	26.11	57.34
colvera	43	4152.60	31.77	13.93	48.57
comugna	44	2157.92	47.60	29.31	64.98
cornappo	45	5151.57	36.93	18.35	55.03
cosa	46	4409.25	29.47	11.51	60.03
cosizza	47	4252.59	41.47	21.88	58.78

coz	48	1158.38	31.64	13.55	54.02
degano	49	11347.46	43.65	24.39	60.89
dogna	50	4550.57	44.60	26.41	57.88
dongieaga	51	1081.23	41.95	23.43	64.89
erbezzo	52	2088.22	35.28	16.23	64.33
faeit	53	2627.87	42.85	26.07	64.05
fella	54	18906.81	45.86	27.01	60.93
fluvigna	55	752.34	34.85	14.70	64.67
foce	56	1014.57	41.10	22.50	63.93
fontanagal	57	3757.07	25.38	8.88	21.57
freddo	58	1554.74	44.29	24.66	58.04
frondizzon	59	1168.48	43.40	23.60	64.63
fulin	60	2223.98	40.33	19.60	57.18
gerchia	61	1876.76	19.28	3.42	53.41
geu	62	1271.31	44.93	25.81	60.59
giaf	63	985.46	39.36	19.07	56.66
giaveada	64	741.93	50.08	32.39	64.96
gladegna	65	2626.36	44.92	25.59	64.40
glagno	66	2448.05	46.48	29.37	63.16
griv_	67	2753.71	31.86	14.18	58.08
inglagna	68	1190.86	46.06	27.59	65.03
judrio	69	4499.19	32.92	15.10	27.94
kortol	70	968.62	39.18	19.89	62.67
la rosta	71	433.52	13.52	0.47	62.14
lagna	72	1147.16	39.66	20.63	62.77
lago - slizza	73	4550.71	43.98	25.64	12.13
leale	74	1671.53	43.47	25.10	64.94
legrada	75	2312.60	36.39	17.73	42.74
livenzetta	76	918.59	29.28	11.25	59.85
lumiei	77	5913.93	43.28	25.49	61.24
magnalina	78	92.18	47.01	28.24	18.85
malborghetto	79	2280.05	48.88	29.57	48.60
malina	80	2547.31	33.65	15.32	55.82
margo	81	1168.68	45.20	26.06	64.16
marsiglia	82	578.24	20.98	4.04	59.51
mea	83	2024.34	43.16	26.32	60.37
meduna	84	9086.82	42.59	24.96	59.96
meschio	85	65.09	11.69	0.79	18.93
miozza	86	1112.11	47.79	30.62	63.51
molassa	87	1257.94	45.41	29.39	63.81
mueia	88	1534.82	45.40	26.33	63.27
muie	89	1463.08	36.80	18.39	62.60
negro	90	1827.84	47.44	30.73	65.11
nero	91	6053.72	41.01	22.48	38.85
nero	92	1053.36	49.60	33.51	61.65
novarza	93	1469.10	41.84	24.15	64.51
orvenco	94	1174.54	37.67	18.28	41.38
ossena	95	489.27	27.28	11.86	52.28
parlar	96	5026.33	42.44	24.14	63.32
pentina	97	1558.32	44.08	26.70	63.24
pesarina	98	9137.56	45.02	26.19	63.32
pezzeda	99	1349.00	42.88	25.32	62.77
piccolo di meduna	100	1566.49	50.78	36.16	62.90

piellinis	101	843.63	32.49	14.20	63.72
podiamo	102	910.41	41.09	22.06	65.04
pontaiba	103	2860.62	44.84	25.49	63.37
pontebbana	104	4362.78	41.38	22.79	53.49
poschiedea	105	1528.48	47.28	29.48	63.84
postegae	106	1108.83	38.18	20.10	53.02
prescudin	107	1691.71	47.79	31.40	61.98
pusala	108	2196.69	41.53	24.15	61.17
raccolana	109	6510.56	44.49	30.03	50.85
raschiacco	110	1341.59	28.11	9.97	47.10
recca	111	327.32	21.78	6.38	62.70
resia	112	8324.47	42.90	25.27	48.15
riduan	113	1157.33	21.76	6.67	57.33
roggia brentella	114	6404.77	14.16	0.60	1.99
roggia di colle ognese	115	787.55	14.53	0.51	34.73
roggia di vivaro	116	4550.06	14.34	0.59	19.10
rugo	117	266.61	20.12	2.34	50.08
s. Maria	118	616.32	40.73	23.14	53.13
saisera	119	4522.16	40.45	20.43	55.21
saustri	120	1249.31	44.12	26.31	63.92
scodellin	121	994.87	25.27	8.91	59.95
seazza	122	1692.63	46.76	29.82	64.13
settimana	123	6882.68	45.34	27.82	61.04
silisia	124	4878.96	48.67	32.60	63.95
simon	125	969.32	46.57	30.13	61.54
slizza	126	2753.69	42.65	21.54	66.28
slizza due	127	144.39	40.22	21.26	41.95
storto	128	702.14	42.60	23.58	63.00
studena	129	1185.15	43.55	24.17	61.44
tagliamento tronco A	130	10938.77	43.97	24.54	66.79
tagliamento tronco B	131	4333.50	43.58	26.03	66.15
tagliamento tronco C	132	6966.34	33.73	16.16	54.34
tagliamento tronco D	133	9040.81	26.69	10.91	37.00
teria	134	1535.97	38.87	20.51	63.35
tolina	135	1442.15	44.45	25.27	58.61
torre	136	5004.54	35.14	17.23	51.89
turriea	137	1275.99	42.10	21.98	61.01
uccea	138	2573.08	46.99	29.57	31.25
uque	139	2366.81	42.82	21.75	58.70
urana	140	915.72	21.01	5.53	28.37
vaglina	141	1253.70	43.33	24.86	64.54
vaisonz	142	3781.48	41.23	19.86	9.70
vajont	143	6445.99	47.31	31.02	57.80
variola	144	1769.62	48.89	31.93	64.35
varma	145	1312.86	48.89	32.47	63.47
vedronza	146	1638.60	38.77	20.38	60.71
vegliato	147	1532.66	33.20	15.51	53.74
venzonassa	148	3883.57	44.55	26.16	65.34
viella	149	3144.22	48.55	32.25	64.01
vinadia	150	1738.13	38.94	21.06	63.43
zimor	151	969.38	39.41	20.46	64.54
carri	152	911.19	46.66	27.41	65.06