Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

Valutazione della suscettibilità al rischio idraulico di infrastrutture viarie dell'entroterra Toscano

Relatori:

Prof. CLAPS Pierluigi

Prof.ssa CAPORALI Enrica

Candidato:

Caterina Chiarini matricola 253659

Marzo 2020

Abstract

Questo lavoro di tesi ha come obiettivo la proposta di un metodo speditivo di valutazione della suscettibilità delle infrastrutture stradali al rischio idraulico tramite l'analisi di parametri geomorfologici e di caratteristiche proprie della sede stradale stessa. L'area di applicazione del modello comprende una vasta zona nell'entroterra toscano individuata da tre zone di allerta, comprendente 35 comuni appartenenti alle tre province di Firenze, Prato e Pistoia. Tale territorio è caratterizzato dalla presenza di una fitta rete di servizi di trasporto urbano ed extraurbano di importanza regionale e nazionale, nonché da numerosi bacini idrografici più o meno estesi. Risulta, quindi, evidente l'importanza di un'analisi, se pur speditiva, dell'interazione tra sviluppo infrastrutturale e compatibilità territoriale nell'ottica di limitare i rischi dovuti al manifestarsi di eventi metereologici intensi, le cui conseguenze più drammatiche coinvolgono spesso la rete viaria e coloro che ne usufruiscono. Uno degli obiettivi di questo progetto di tesi è quello di formulare un modello di classificazione della suscettibilità idrologica stradale che sia ripetibile anche in altri contesti territoriali grazie all'utilizzo quasi esclusivo di banche dati open source, e all'applicazione di procedure che non necessitano dell'impiego di modelli idraulici.

Nello specifico il modello permette di classificare la vulnerabilità al rischio idraulico delle infrastrutture considerate tramite l'analisi di parametri geomorfologici in ambiente Gis e di confrontare i risultati ottenuti da tale classificazione con i dati relativi all'incidentalità delle sedi stradali. Il metodo, inoltre, prevede un ulteriore confronto tra il tasso di incidentalità ed i dati relativi alle precipitazioni, con lo scopo di formulare una classificazione di vulnerabilità che introduca il concetto di esposizione. L'esposizione viene, quindi, valutata come combinazione tra il contributo fornito dall'incidentalità e quello dell'entità dell'evento meteorologico.

Sommario

Abstract 2

1. Introduzione e obiettivi 4

2. Vulnerabilità idrologica delle infrastrutture 6

2.1. Rischio idraulico per le infrastrutture viarie: alluvioni pluviali ed alluvioni fluviali 6

2.2. Modelli di stima della vulnerabilità delle sedi stradali 7

3. Presentazione del caso studio 13

3.1. Le infrastrutture stradali 14

3.2. Caratteri geomorfologici 16

3.3. Bacino idrografico del fiume Arno 18

3.3.1. Sottobacini 21

3.4. Caratteristiche Climatiche 25

3.5. Regime Pluviometrico 25

3.6. Insediamenti 26

3.7. Altre infrastrutture 28

4. Valutazione della pericolosità degli attraversamenti fluviali 29

4.1. Individuazione degli attraversamenti 29

4.2. Identificazione dei parametri morfologici 33

4.3. Classificazione degli attraversamenti 35

5. Applicazione del modello ai tronchi stradali 40

5.1. Analisi di incidentalità delle sedi stradali 40

5.2. Individuazione dei parametri morfologici 42

5.3. Classificazione dei tronchi stradali 45

5.4. Confronto con le aree a pericolosità idraulica elevata 49

6. Confronto tra i dati di incidentalità e i dati di precipitazione 52

7. Conclusioni 57

8. Bibliografia 59

9. Allegati 60

1. Introduzione e obiettivi

Le alluvioni sono tra le catastrofi naturali più frequenti e più costose in termini di danno, nonché in termini di perdita di vite umane [8]. In Europa gli eventi alluvionali sono diventati sempre più frequenti dal 1985 e il numero di piene repentine di entità media o levata è raddoppiato rispetto a quello registrato alla fine degli anni '80. I cambiamenti climatici influiscono sull'intensità delle precipitazioni che colpiscono l'Europa e secondo l'agenzia Europea dell'Ambiente le conseguenze delle alluvioni fluviali, pluviali e costiere peggioreranno a causa dell'incremento della frequenza e dell'intensità degli eventi [9].

L'Italia è il paese con il più elevato numero di abitanti soggetti a rischio alluvionale tra gli Stati europei: circa 6 milioni di persone sono esposte a tale rischio naturale [2]. Il bacino dell'Arno, principale corso d'acqua in Toscana, è stato scenario di numerosi eventi alluvionali significativi per impatto ed estensione delle aree interessate: si ricordi l'alluvione del Novembre 1966, ma anche eventi più recenti avvenuti negli anni '90 o nei primi anni 2000 come l'esondazione del Fiume Serchio, uno degli affluenti maggiori dell'Arno, nel 2009.

Recenti studi hanno evidenziato che la maggior parte dei decessi durante un'alluvione si verifica all'aperto nel momento in cui le persone tentano di camminare o guidare investiti nelle acque alluvionali [10]; inoltre quando gli eventi alluvionali colpiscono le infrastrutture stradali si ha l'interruzione del traffico che può portare anche ad un ritardo nelle operazioni di soccorso o all'impedimento per la popolazione di raggiungere luoghi sicuri [7].

Le aree urbane sono esposte ad un alto rischio alluvionale data la posizione generalmente localizzata lungo le rive dei corsi d'acqua e la quasi totale impermeabilizzazione delle superfici che impedisce l'infiltrazione dell'acqua piovana. Nelle aree extraurbane la presenza di una rete di infrastrutture di trasporto può rappresentare un vincolo al naturale percorso delle aste fluviali, la cui interazione con l'infrastruttura espone quest'ultima a rischio idraulico sia in relazione agli eventuali attraversamenti sia per quanto riguarda la locazione della sede stradale all'interno di aree a pericolosità idraulica elevata. L'area in esame, situata nell'entroterra toscano, presenta una fitta rete di infrastrutture viarie di importanza regionale o nazionale, costituendo il territorio maggiormente sviluppato dal punto di vista infrastrutturale dell'intera regione.

Nel seguente lavoro di tesi sarà analizzata la suscettibilità delle infrastrutture stradali di collegamento al rischio idraulico. La valutazione della vulnerabilità delle sezioni stradali può rappresentare un

importante elemento per una previsione attendibile del rischio alluvionale per le infrastrutture viarie da integrare alla stima della magnitudo dell'evento che induce l'inondazione.

La suscettibilità è definita come la capacità dell'elemento stesso di resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento, in questo caso dall'evento alluvionale. Tale tendenza è espressa da caratteristiche proprie dell'oggetto dell'analisi, nel caso specifico la suscettibilità delle infrastrutture al rischio idraulico è classificata sulla base di parametri morfologici e geografici valutati in corrispondenza delle sezioni stradali analizzate o sulla base di caratteristiche proprie della sede stradale stessa. Tali caratteristiche influiscono sulla suscettibilità dell'infrastruttura rendendola più o meno vulnerabile al rischio idraulico.

Nello specifico nei seguenti capitoli sarà analizzata la suscettibilità degli attraversamenti e dei tronchi stradali sulla base di parametri di valutazione differenti.

Nella prima parte di questo elaborato sarà analizzata la suscettibilità al rischio idraulico degli attraversamenti presenti nell'area di studio tramite l'applicazione di un modello di classificazione che definisce la vulnerabilità delle sezioni stradali intersecanti corsi d'acqua tramite la valutazione di tre fattori geografici discriminanti: la quota, la pendenza locale nell'intorno della sezione e l'area del bacino idrografico a monte. Successivamente il modello di classificazione sarà applicato ai singoli tronchi stradali, incrociando l'informazione relativa alla suscettibilità al rischio idraulico con quella relativa all'incidentalità dei medesimi. Nel sesto capitolo saranno analizzate le caratteristiche dei tronchi stradali incidentati relativamente alla pendenza della sede stradale ed alla velocità media del tratto e confrontati con i dati relativi alle precipitazioni, valutando l'esposizione dell'infrastruttura ad eventi metereologici più o meno intensi.

2. Vulnerabilità idrologica delle infrastrutture

2.1. Rischio idraulico per le infrastrutture viarie: alluvioni pluviali ed alluvioni fluviali

Come precedentemente esposto le alluvioni fluviali e pluviali si verificano prevalentemente nelle aree urbane sia a causa della posizione ravvicinata dei centri urbani ai corsi d'acqua e quindi l'elevato grado di interazione con i bacini imbriferi, sia a causa dell'impermeabilizzazione quasi totale della superficie che impedisce l'infiltrazione dell'acqua nel terreno.

Il rischio idraulico al quale sono esposti i servizi di trasporto è dovuto a due modalità di interazione tra infrastruttura ed acqua: la trasformazione degli afflussi in deflussi, che può dar luogo alle alluvioni fluviali, e lo smaltimento delle acque meteoriche che ricadono sulla piattaforma stradale, che può dar luogo alle alluvioni pluviali.

Le alluvioni fluviali si verificano quando la portata di un corso d'acqua non può essere contenuta nell'alveo e quindi esonda allagando il territorio circostante.

Questo scenario ha luogo solitamente a seguito di piogge intense e di lunga durata che si riversano sul bacino idrografico del corso d'acqua; l'apporto di acqua piovana determina una risposta del bacino che si traduce in una variazione della portata.

La significatività e la rapidità della variazione della portata dipendono dalla magnitudo e dalla durata dell'evento meteorologico e dalle caratteristiche del bacino idrografico.

L'afflusso può essere diretto, ovvero quella quota di precipitazione che cade direttamente sulle superfici liquide, o dato da deflusso superficiale, ovvero quella parte di precipitazione che si riversa sul bacino e che, non soggetta ad evapotraspirazione o infiltrazione nel terreno, si dirige superficialmente verso la sezione di chiusura e quindi verso l'asta principale. Generalmente l'apporto di afflussi derivante dal deflusso superficiale rappresenta il contributo più significativo. C'è poi una parte di afflusso dovuta a deflussi sotterranei o profondi dati dalla quota di acqua piovana che si è infiltrata.

A parità di intensità di pioggia l'entità della portata di piena in corrispondenza della sezione di chiusura di un bacino idrografico dipende dalla durata dell'evento pluviometrico e dal tempo di corrivazione del bacino, che a sua volta è funzione di caratteristiche topografiche, geologiche e litologiche del bacino stesso, nonché dall'uso del suolo.

Anche l'area del bacino influisce sulla magnitudo della portata, più è estesa maggiori saranno i contributi di portata che fluiscono verso l'asta principale. In aggiunta a quando detto finora è necessario considerare la situazione di valle, ovvero quando la portata di colmo generatasi a seguito

di un evento meteorologico arriva a transitare a fondovalle dove generalmente si ha una densità insediativa maggiore.
L'urbanizzazione spesso implica un forte condizionamento delle caratteristiche morfologiche e idrauliche dei corsi d'acqua, sia in relazione alle possibilità di laminazione sia alla tendenza di divagazione degli alvei; inoltre la presenza di una rete di infrastrutture viarie anche in ambito extraurbano rappresenta generalmente un grosso vincolo per il naturale tragitto delle aste fluviali.
Influenzare queste caratteristiche di un corso d'acqua comporta un aumento del rischio idraulico e una maggiore probabilità che l'onda di piena non venga contenuta dall'alveo ed esondi.
Tra le alluvioni fluviali più frequenti vi sono le cosiddette "flash floods" o alluvioni repentine. Queste alluvioni coinvolgono piccoli bacini e si sviluppano in tempi molto rapidi, sono causate da precipitazioni intense che comportano il rapido aumento del livello dell'acqua di aste fluviali aventi bacini poco estesi e pendenze relativamente elevate. A causa dell'intensità e della rapidità di sviluppo questi eventi rappresentano un rischio elevato per le infrastrutture e per coloro che ne usufruiscono.
Le piene pluviali si sviluppano indipendentemente dai corpi idrici superficiali quando il sistema di smaltimento delle acque meteoriche risulta insufficiente al drenaggio e si satura a causa di precipitazioni intense con conseguente allagamento delle infrastrutture. Le alluvioni pluviali si verificano anche quando il terreno è incapace di assorbire le acque meteoriche (terreni saturi o affetti da recenti incendi boschivi) a causa di una bassa permeabilità.

2.2. Modelli di stima della vulnerabilità delle sedi stradali

In letteratura sono presenti numerosi modelli di stima della vulnerabilità idraulica delle sedi stradali, spesso formulati e convalidati tramite modellazione idraulica e scenari di allagamento.
L'analisi del rischio alluvionale viene generalmente attuata tramite l'utilizzo di modelli idrologici e idraulici che possano simulare l'estensione dell'inondazione, l'altezza dei battenti e la velocità del flusso tramite modellazione monodimensionale o bidimensionale. Questo tipo di analisi tuttavia, viene generalmente applicato su piccola scala a causa della mole di dati di alta qualità necessari alla modellazione e la mancanza di considerazioni relative agli spartiacque su larga scala.
Uno degli aspetti maggiormente affrontati riguardo al rischio idraulico delle infrastrutture è legato all'interruzione dei collegamenti causato dall'inagibilità delle sedi stradali alluvionate ed alle conseguenze di tale interruzione che si ripercuotono su tutta la sede stradale nonché sui percorsi dei mezzi di emergenza [7]. Tale valutazione risulta fondamentale nei piani di gestione del rischio alluvioni.

La valutazione della suscettibilità delle infrastrutture al rischio idraulico basata su analisi GIS (Geographic Information Systems) è in grado di superare i limiti imposti dalla tradizionale modellazione idrologica e idraulica fornendo uno strumento in grado di integrare diversi tipi di dati e visualizzare ed analizzare dati idrologici nello spazio. Combinando l'analisi in ambiente GIS con dei modelli di analisi statistica è possibile valutare a larga scala la vulnerabilità al rischio alluvionale.
Il modello applicato nella prima parte di questo lavoro di tesi prevede un'analisi speditiva e basata su informazioni geografiche. Tale modello è stato proposto da P-A. Versini, E. Gaume, ed H. Andrieu in"Assessment of the susceptibility of roads to flooding based on geographical information – test in a flash flood prone area (the Gard region, France)", pubblicato nel 2010 su Natural Hazard and Earth System Sciences [1].
L'analisi parte dal presupposto che, per una previsione attendibile del rischio alluvionale per le infrastrutture viarie, sia necessaria una valutazione della suscettibilità delle sezioni stradali da integrare alla stima della magnitudo dell'evento che induce l'inondazione.
La suscettibilità è definita in questo caso come la probabilità che una data sezione possa essere soggetta ad allagamento sulla base di informazioni relative alla sede stradale e alle caratteristiche geografiche dell'area in esame. Lo scopo dell'analisi condotta da E. Gaume, P-A. Versini ed H. Andrieu è quello di caratterizzare sistematicamente a scala regionale la suscettibilità delle infrastrutture stradali al rischio idraulico.
L'analisi è applicata agli attraversamenti della regione del Gard, Francia, zona soggetta a frequenti inondazioni repentine causate da piogge intense che hanno provocato negli anni numerosi episodi di allagamento della sede stradale. Il set di dati a disposizione per l'area in esame consta di un vasto inventario delle sezioni stradali note sommerse nei 40 anni precedenti alla compilazione del suddetto dataset; tale inventario ha permesso di sviluppare un modello speditivo e sistematico basato su un'analisi di tipo discriminante.
Il modello prevede l'identificazione di una serie di caratteristiche geografiche connesse alla suscettibilità delle sedi stradali. Sulla base del numero di sezioni alluvionate che assumono determinati valori di tali indicatori si individuano delle classi di suscettibilità. In questo modo è possibile estendere la valutazione in modo sistematico ad aree vaste senza la necessità di utilizzare modelli specifici per i singoli casi.
Di seguito verrà esposto più nel dettaglio lo studio condotto E. Gaume, P-A. Versini ed H. Andrieu in modo che ne risulti più chiara la successiva applicazione all'area oggetto di studio del presente lavoro di tesi.
Il dataset delle sezioni sommerse, chiamato PICH (Plan d'Intervention aux Crises Hydrologiques), comprende i tratti stradali allagati durante i 40 anni precedenti alla compilazione dell'inventario. Gli

attraversamenti elencati nel PICH costituiscono il 20% sul totale degli attraversamenti individuati tramite un'analisi in ambiente Gis, il set di dati è quindi suddiviso in due classi:

- I punti non-PICH, costituiti dagli attraversamenti non inventariati ed aventi, quindi, un tempo di ritorno empirico maggiore di 40 anni
- I punti PICH, costituiti dagli attraversamenti riportati nel dataset, e caratterizzati conseguentemente da un periodo di ritorno inferiore a 40 anni.

La calibrazione e la validazione del modello coinvolgono aree diverse della regione. Per testare la robustezza e la validità del metodo è necessario calibrarlo su un campione di elementi e validarlo su un campione diverso, in base alla coerenza dei risultati ottenuti dalla validazione si definisce la solidità del modello.

Il primo passo dell'analisi discriminante consiste nell'individuazione di fattori legati alla suscettibilità al rischio idraulico (fattori discriminanti) la cui distribuzione statistica nella classe PICH dovrebbe differire significativamente dalla loro distribuzione statistica nella classe Non PICH.

I fattori discriminanti considerati sono gli unici tra numerosi indicatori geografici per i quali emerge una differenza significativa tra le distribuzioni di punti PICH e non PICH secondo il test Wilcoxon-Mann Whiley e sono:

- Altitudine
- Pendenza locale nell'intorno della sezione stradale
- Area del bacino idrografico a monte

A questi indicatori va aggiunto il coefficiente di deflusso dato dal rapporto tra la capacità teorica massima di deflusso della superficie libera attraverso la struttura e il deflusso teorico del bacino a monte considerato un tempo di ritorno di 10 anni.

Questo fattore, tuttavia, non risulta particolarmente discriminatorio considerata la sua scarsa correlazione con i tempi di ritorno empirici delle sezioni considerate e richiede una mole di informazioni non indifferente e generalmente disponibile solo per un numero limitato di sezioni, di conseguenza viene scartato.

Il test Wilcoxon-Mann Whiley è un test non parametrico utilizzato per verificare, in presenza di valori ordinali appartenenti ad una distribuzione continua, se due campioni provengono dalla stessa popolazione. I risultati del test evidenziano che la distribuzione delle quote normalizzate delle sezioni stradali PICH nelle quattro regioni di calibrazione differisce significativamente da una distribuzione uniforme. Circa il 40% delle sezioni stradali PICH si trova nel 20% a minor altitudine delle aree di calibrazione, è situato quindi nelle aree a quota più bassa. Inoltre un numero elevato di tratti stradali PICH è situato in aree tendenzialmente piane, circa il 60% delle sezioni stradali PICH appartiene al 40% dell'insieme totale di sezioni potenzialmente allagate con pendenze locali basse. La pendenza

massima locale attorno alla sezione stradale considerata indica se la sezione stradale si trova su una superficie ripida o piana, e di conseguenza è in parte legata all'altitudine e può caratterizzare il deflusso locale perché influisce sulla velocità del flusso e quindi sulla capacità dei canali sotterranei. Tramite il test emerge, infine, che le sezioni PICH sono caratterizzate da bacini idrografici a monte più ampi rispetto a quelli che drenano verso tratti non PICH.

Il potere discriminatorio dei fattori viene valutato anche attraverso un altro test di ordinamento; i valori di soglia per ciascun indicatore considerato individuano quattro classi di suscettibilità:

- Classe di suscettibilità 1: contiene il 20% dei punti PICH e il minor numero possibile di punti non PICH.
- Classe di suscettibilità 2: contiene un ulteriore 30% dei punti PICH.
- Classe di suscettibilità 3: contiene il 50% dei punti PICH rimanenti.
- Classe di suscettibilità 4: contiene solo punti non PICH.

La proporzione dei punti non PICH nelle prime tre classi dovrebbe essere zero se il fattore discriminante fosse efficiente al 100%. Per poter confrontare i risultati ottenuti dalle aree di calibrazione e poterli riportare alle zone di validazione è necessario normalizzarli, il metodo di normalizzazione applicato si basa su un indice corrispondente ad una probabilità di superamento (Formula 1 e 2):

$$Ind = \frac{i-0,5}{n+0,5} \qquad (1)$$

$$Ind = 1 - \frac{i-0,5}{n+0,5} \qquad (2)$$

Dove *i* è il rango del valore nell'area in cui tutti i valori sono stati ordinati in ordine crescente ed *n* è il numero degli elementi analizzati, ovvero il numero degli attraversamenti.

L'indice assume valori minori al crescere della concentrazione dei punti PICH: se i punti PICH sono concentrati su valori bassi di un parametro, al crescere di tali valori cresceranno anche quelli assunti dall'indice, viceversa se i punti PICH sono concentrati su valori alti del parametro.

La Formula 1 è applicata ai parametri per i quali i punti PICH sono concentrati tra i valori più bassi, quindi alla pendenza massima locale e alla quota, la Formula 2 a quelli per i quali i punti PICH hanno densità maggiore tra i valori più alti, quindi alle aree dei bacini a monte. Di conseguenza a valori più bassi di pendenza e quota corrispondono valori più bassi dell'indice e quindi una maggiore suscettibilità, questo perché la maggior parte delle sezioni alluvionate è caratterizzata da valori minori di quota e pendenza locale; a valori più alti di area dei bacini sottesi corrispondono indici minori e

suscettibilità maggiore. Gli indici assumono valori compresi tra 0 e 1, per cui valori prossimi allo zero rappresentano una suscettibilità alta e valori prossimi ad uno rappresentano una suscettibilità bassa. Tale metodo di normalizzazione risulta robusto soprattutto per valori estremi.

L'efficienza dei fattori discriminanti aumenta se questi vengono combinati tramite connettivi logici, poiché parzialmente correlati tra loro. Secondo la struttura del set di dati, una combinazione non lineare basata sui connettori logici "*and*" e "*or*" è più adatta della tradizionale combinazione lineare per raggiungere la migliore efficienza di classificazione. Le classi sono quindi delimitate da valori di soglia che, per uno stesso elemento, devono essere contemporaneamente superati da tutti e tre i fattori (connettivo "*and*") o superate da almeno un fattore (connettivo "*or*").

Le soglie sono individuate come precedentemente esposto in base alla percentuale di punti alluvionati in ciascuna classe (20%, 30%, 50%).

Dalle distribuzioni cumulative di superamento delle combinazioni dei tre indicatori emerge il potere discriminante della combinazione: il connettore AND sembra più adatto a definire le classi ad alta suscettibilità mentre il connettore OR ha prestazioni più elevate per le classi a bassa suscettibilità e consente la definizione di una classe che non contiene punti PICH (quella a suscettibilità molto bassa).

Per semplicità viene considerato un unico valore di soglia per ciascuno dei tre fattori.

La soglia che separa la prima classe dalla seconda è il valore minimo per cui la prima classe contiene un 20% di punti PICH i cui fattori non superano tale valore: la prima classe contiene il 20% delle sezioni alluvionate i cui tre indici relativi ai tre fattori discriminanti assumono valori minori o uguali a 0.3. La soglia relativa alla seconda classe è individuata come quella che la separa dalla prima considerando però una percentuale di punti PICH del 50% (il 20% appartenente alla prima classe più un ulteriore 30%). L'ultima soglia, quella che delimita la terza classe dalla quarta, è ottenuta considerando il valore per cui il 100% dei punti PICH ha un fattore minore o uguale a 0.57.

Valori crescenti dell'indice rappresentano valori decrescenti si suscettibilità.

La fase di validazione del modello ha prodotto dei risultati soddisfacenti dai quali è possibile dedurre la robustezza della procedura.

I risultati ottenuti dall'applicazione del metodo evidenziano che, sulla base della scarsa correlazione tra frequenza di alluvione osservata e i possibili fattori discriminanti testati, da un punto di vista metodologico è possibile estrarre informazioni da un set di dati anche in mancanza di informazioni relative ad eventi alluvionali. Nonostante la variabilità dovuta a situazioni locali, le analisi indicano alcune tendenze generali:

- La dimensione delle strutture di attraversamento non è l'unica grandezza che influenza la suscettibilità stradale alle inondazioni

- I tratti stradali sommersi spesso tendono a trovarsi in aree pianeggianti a bassa quota, a valle di bacini idrografici estesi, generalmente in grandi pianure alluvionali
- Indagini sul campo indicano che non necessariamente è la struttura di attraversamento ad essere sommersa ma piuttosto un punto sulla strada di accesso a questa struttura situata nella pianura alluvionale.

I risultati sono, inoltre, coerenti con le frequenze di immersione osservate: i punti più frequentemente sommersi della rete stradale sono effettivamente concentrati nelle classi di sensibilità più elevate, quasi tutti i punti appartenenti alla prima classe hanno periodi di ritorno empirici inferiori ad un anno, allo stesso modo quasi tutti gli elementi appartenenti alla terza classe sono caratterizzati da periodi di ritorno empirici superiori a 10 anni.

Nel capitolo 4 sarà esposta l'applicazione del modello all'area oggetto di studio di questo lavoro di tesi, considerando le dovute approssimazioni relative alle diverse condizioni morfologiche e idrogeologiche, nonché costruttive relativamente alle infrastrutture stradali. È importante inoltre considerare che i valori dell'indicatore normalizzati e quindi le soglie definite non sono indipendenti dall'estensione delle aree considerate e dal gradiente dei valori all'interno di un'area, per questo motivo nel presente lavoro di tesi verrà considerata anche la mappatura di pericolosità per ottenere un ulteriore riscontro rispetto alla classificazione.

3. Presentazione del caso studio

L'area in esame si sviluppa nell'entroterra della Toscana Settentrionale e comprende la provincia di Firenze, di Prato e parte della provincia di Pistoia per un'area totale di 2500 km^2. L'area è delimitata a nord dall'Appennino Settentrionale, a sud dalle colline del Chianti, ad ovest dai rilievi Pistoiesi e ad est dalla valle del Casentino; coincide con l'estensione di tre zone di allerta. Le zone di allerta sono ambiti territoriali omogenei alla risposta del territorio a fenomeni meteo-idrologici che si possono verificare e sono individuate ai fini delle attività di previsione e prevenzione. La Toscana è la regione col più alto numero di zone di allerta (25), quelle selezionate ai fini del presente studio sono tre (come mostrato in Fig. 3.1):

- B: Bisenzio e Ombrone Pistoiese
- M: Mugello
- A3: Arno-Firenze

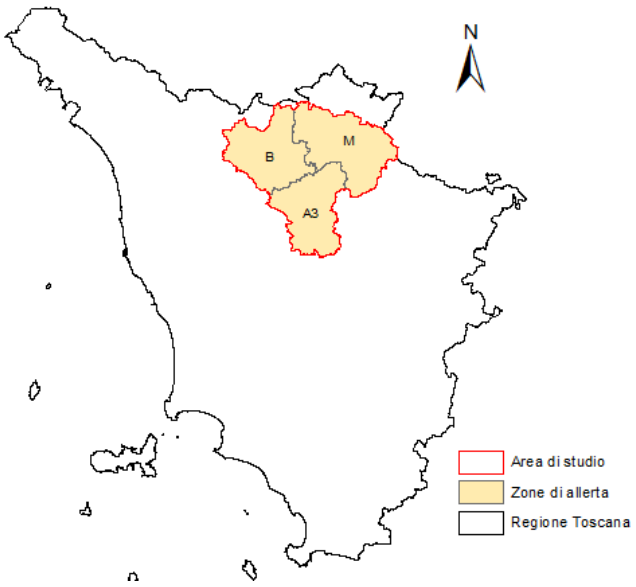


Figura 3.1 – Locazione dell'area di studio

3.1. Le infrastrutture stradali

L'area oggetto di studio è in parte occupata dalla cosiddetta Piana di Firenze-Prato-Pistoia, tale pianura ha la più alta concentrazione in Toscana di sedi viarie di importanza nazionale e regionale, costituenti una vasta rete stradale e molteplici servizi di trasporto urbano ed extraurbano.

L'intera area considerata è caratterizzata dalla presenza di numerose direttrici di comunicazione di competenza sovracomunale data l'importanza dei tre poli insediativi rappresentati dalle province della piana: Firenze è il capoluogo e Prato è un importante centro industriale sia a scala regionale che nazionale. Il territorio in esame, quindi, contiene una delle zone più sviluppate della toscana a livello urbanistico e infrastrutturale e con un numero rilevante di poli funzionali di importanza regionale e nazionale che, insieme ai centri abitati a più alta densità abitativa, contribuiscono a originare la maggior parte dei flussi di traffico in entrata all'area o interni all'area stessa.

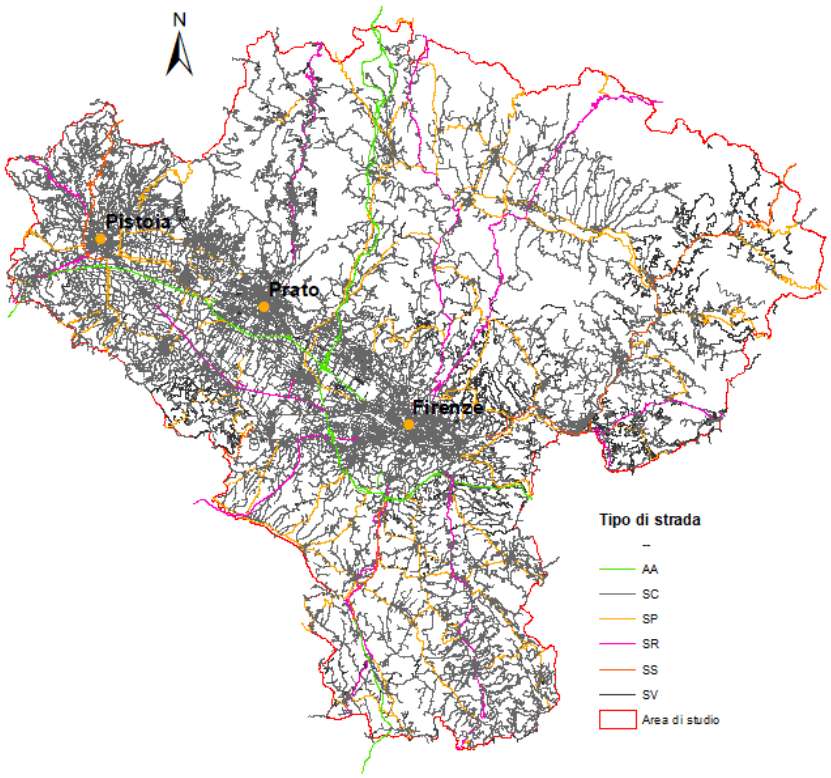


Figura 3.2 – Rete viaria

Il territorio è attraversato da due autostrade della rete nazionale: l'Autostrada "Firenze-Mare" (A11 Firenze-Pisa) e l'Autostrada "Del Sole" (A1 Milano-Napoli).

Il raccordo autostradale dell'A11 con l'A1 e l'ingresso a Firenze rappresenta l'asse stradale più importante di penetrazione verso il capoluogo.

La fitta rete viaria comprende, oltre alle già citate autostrade, numerose strade di collegamento statale, regionale o provinciale molte delle quali conseguentemente trafficate e lunghe diversi chilometri:

la strada di grande comunicazione Firenze-Pisa-Livorno (FI-PI-LI), lunga 99 km dei quali 42 nell'area di studio, è una delle arterie principali di trasporto della regione Toscana; la statale Tosco-Romagnola costituisce uno dei collegamenti principali tra Emilia-Romagna e Toscana, si sviluppa per una lunghezza di 232 km di cui 64 nel territorio in esame.

Allo scopo dell'analisi in questo lavoro sono state selezionate esclusivamente infrastrutture di competenza sovracomunale nei tratti ricadenti all'interno dell'area in esame. Il set di campioni selezionati conta 123 sedi stradali, identificate in base alla loro "denominazione estesa" ed appartenenti ad una delle seguenti categorie:

- Autostrade
- Strade Statali
- Strade Regionali
- Strade Provinciali

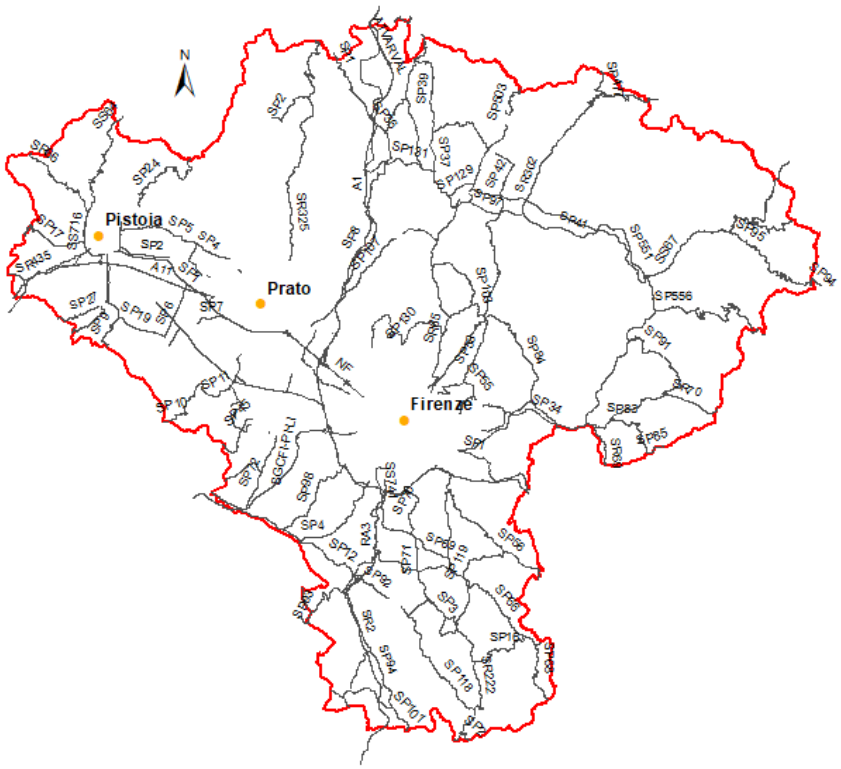


Figura 3.3 - Infrastrutture Stradali di collegamento extraurbano

In allegato la tabella elencate le infrastrutture considerate per l'analisi di suscettibilità al rischio idraulico

I servizi di trasporto interagiscono con i numerosi corsi d'acqua presenti sul territorio intersecandone il tracciato o ricalcandone parallelamente il percorso.

L'alto grado di sviluppo infrastrutturale, e il conseguente livello di interazione con i corsi d'acqua, rendono il sistema di trasporto fortemente esposto al rischio alluvionale. Molte infrastrutture ricadono, infatti, in zona ad elevata pericolosità idraulica per percentuali significative della propria lunghezza totale.

3.2. Caratteri geomorfologici

La zona in esame presenta un territorio vario dal punto di vista morfologico, caratterizzato da due zone pianeggianti, la piana Firenze-Prato-Pistoia e la val di Sieve, separate dai rilievi della Calvana e di Monte Morello, e da una zona prettamente collinare che anticipa le colline del Chianti Fiorentino (Figura 3.3).

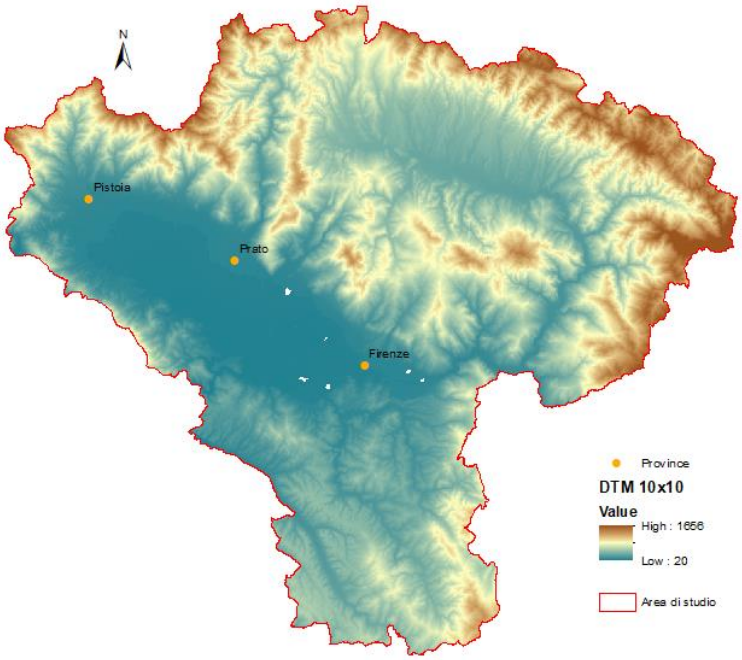


Figura 3.3 – DTM con risoluzione 10 m per 10 m dell'area oggetto di studio. Le aree blu sono quelle a bassa quota, le aree marroni sono quelle a quota maggiore.

Il rischio idraulico dovuto ad alluvioni pluviali è strettamente legato alla morfologia in quanto la presenza di zone depresse facilita l'accumulo di acqua piovana che non può essere drenata naturalmente a causa delle quote più elevate che circondano tali zone.

3.2.1. Pianura Firenze-Prato-Pistoia

La pianura Firenze-Prato-Pistoia occupa la zona centrale dell'area oggetto di studio, tale pianura costituisce un bacino intermontano di origine alluvionale orientato NO-SE, con un'estensione di circa 45 km in lunghezza e di 10 km in larghezza e con un'altitudine media di 45 m s.l.m. La suddetta pianura è delimitata a nord dalla dorsale Pistoia-Montale-Calvana-M.Morello-Fiesole-Settignano, è divisa ad ovest dai rilievi collinari di Serravalle Pistoiese e dalla Valdinevole; ad est è delimitata dalle colline dei comuni di Bagno a Ripoli, Pontassieve e Fiesole ed a sud è chiusa dalla dorsale M.Albano-Pian dei Cerri-Impruneta e dalle colline del chianti Fiorentino .

Il territorio è caratterizzato dal dualismo tra bacino intermontano e territorio montano; nel settore Pistoiese lo spartiacque appenninico raggiunge vette anche di 1700 m s.l.m., scendendo verso sud-est la conca è delimitata da rilievi minori su cui si impongono le valli del fiume Arno, dell'Ombrone Pistoiese e del Bisenzio il cui fronte occidentale è dominato da una fascia collinare ristretta caratterizzata dai versanti dolci delle Unità Toscane e di Fiesole.

Da un punto di vista geologico l'area metropolitana è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali anche molto profondi, in particolare l'area di Prato in corrispondenza della confluenza tra Bisenzio e Arno e l'area di Pistoia alla confluenza tra Ombrone Pistoiese ed Arno presentano conoidi molto estesi a granulometria prevalentemente sabbiosa.

3.2.2. Val di Sieve

La Val di Sieve occupa la zona nord-orientale dell'area in esame, è costituita dal bacino del fiume Sieve e si estende per una superficie di 830 km quadrati la maggior parte dei quali appartenenti alla Provincia di Firenze, i restanti alla Provincia di Prato. Tale valle è delimitata a nord dall'Appennino Tosco-romagnolo, ad ovest dai monti della Calvana, dai rilievi del crinale monte Senario/monte Morello a sud e dal monte Falterona sul versante orientale. La quota minima della valle coincide con la confluenza del fiume Sieve con il fiume Arno, in corrispondenza della località Pontassieve, pari ad 82 m s.l.m. Nella parte medio superiore del bacino del fiume Sieve la val di Sieve coincide con la valle del Mugello, un antico bacino che presenta l'affioramento di sedimenti fluvio-lacustri che danno origine a rilievi collinari e superfici terrazzate scarsamente inclinate sulla sinistra idrografica e la pianura alluvionale che si raccorda seccamente con i rilievi della catena meridionale del Montesenario sulla destra idrografica. Proseguendo lungo il bacino la val di Sieve presenta versanti più acclivi ed un'ampiezza minore della pianura alluvionale, data la presenza di rocce prevalentemente lapidee intervallate da sporadici affioramenti di terreni argillosi riconducibili all'originale estensione dell'unità lacustre del Mugello.

Da un punto di vista morfologico la valle è, quindi, caratterizzata dalla presenza di rilievi in corrispondenza dei confini idrografici del bacino, dalle fasce pedemontane che connettono tali rilievi con il fondovalle e dalla pianura alluvionale del Sieve e dei suoi affluenti.

3.2.3. Colline del Chianti

Il quadrante meridionale dell'area in esame è caratterizzato dalle prime colline del Chianti, una breve catena montuosa di origine strutturale lunga circa 20 km la cui vetta più alta raggiunge gli 893 m s.l.m. nel comune di Greve in Chianti (provincia di Firenze)

3.3. Bacino idrografico del fiume Arno

Da un punto di vista idraulico l'area è caratterizzata dalla presenza di un'asta principale costituita dal fiume Arno e da numerosi suoi affluenti.

L'Arno è il principale corso d'acqua in Toscana, con una lunghezza di 241 km e un bacino imbrifero che si estende per 8228 Kmq tra la Toscana (98,4%) e l'Umbia (1,6%). Il fiume nasce dal versante meridionale del Monte Falterona, nell'Appennino Tosco-Emiliano, ad una quota di 1385 m s.l.m e sfocia nel mar Ligure in Provincia di Pisa. L'Arno attraversa numerosi comuni Toscani, dalla sorgente nel Casentino sbocca nella piana di Arezzo, per poi entrare in provincia di Firenze fino al comune di San Miniato oltre il quale attraversa la provincia di Pisa fino alla foce.

Più del 50% dell'area del bacino ha quote inferiori ai 300 m s.l.m con dei picchi di altitudine in corrispondenza del gruppo di rilievi del monte Falterona e del Pratomagno.

La pendenza media dell'intero percorso è pari a circa 5,6%, con valori di pendenza intorno al 140% nei primi 5 km e dello 0,43% in prossimità della foce. Per quanto riguarda le formazioni geologiche queste sono principalmente impermeabili e costituite da arenarie compatte, argille, marne; la copertura alluvionale è presente sul 23% della superficie.

Il bacino idrografico dell'Arno è suddiviso in sei sottobacini, secondo quanto definito dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale: Casentino, Val di Chiana, Valdarno superiore, Valdarno Medio, Sieve, Valdarno Inferiore (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Sottobacini del Bacino dell'Arno, Relazione di piano-Stralcio bilancio idrico-autorità di bacino

Nel seguente paragrafo verranno analizzati esclusivamente quei sottobacini che interessano l'area in esame, ovvero il bacino del Sieve, il Valdarno medio e il Valdarno Inferiore.

Per quanto riguarda gli eventi alluvionali fluviali nel bacino dell'Arno questi possono essere ricondotti prevalentemente a fenomeni di esondazione delle acque di piena del reticolo gerarchizzato come nel caso dell'alluvione storica di Firenze durante la quale piogge persistenti distribuite su buona parte del bacino si sono riversate nella rete di drenaggio principale ed esondate per insufficienza della sezione o in alcuni casi per rottura arginale. Dalla fine degli anni '90 questo tipo di fenomeno si è intensificato, spesso associato ad eventi di allagamento diretto delle acque meteoriche.

Considerando le alluvioni fluviali connesse ad eventi di precipitazione continua e distribuita sul bacino, le principali criticità lungo l'asta principale e gli affluenti si registrano [2]:

- Alla confluenza tra Arno e Sieve, dove sono presenti importanti insediamenti abitativi e infrastrutture di interessa nazionale come la linea Milano-Napoli;
- Nella pianura fiorentina fino ad oltre la confluenza con il Torrente Ombrone Pistoiese, compreso il centro storico di Firenze. La zona è esposta a pericolosità variabile tra media ed elevata,
- Nell'area occupata dai bacini dell'Ombrone e del Bisenzio, in corrispondenza di Prato e Pistoia a causa del rigurgito diretto dell'Arno durante le piene in concomitanza

dell'impossibilità di far defluire le portate dei tributari locali determina vasti allagamenti in aree densamente abitate e industrializzate;

- Alla confluenza tra Arno e Pesa, in particolare nei comuni limitrofi a Empoli

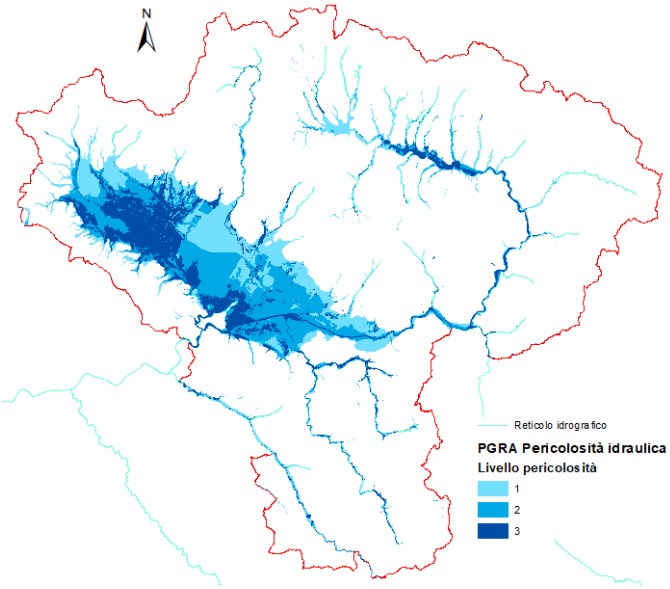


Figura 3.5 - Mappa di pericolosità idraulica PGRA, Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

In Figura 3.5 la mappa di pericolosità del bacino dell'Arno secondo la mappatura del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

3.3.1. Sottobacini

L'area di studio è occupata dai sottobacini della Sieve, del Valdarno Medio e parte del Valdarno Inferiore (sottobacino del fiume Pesa).

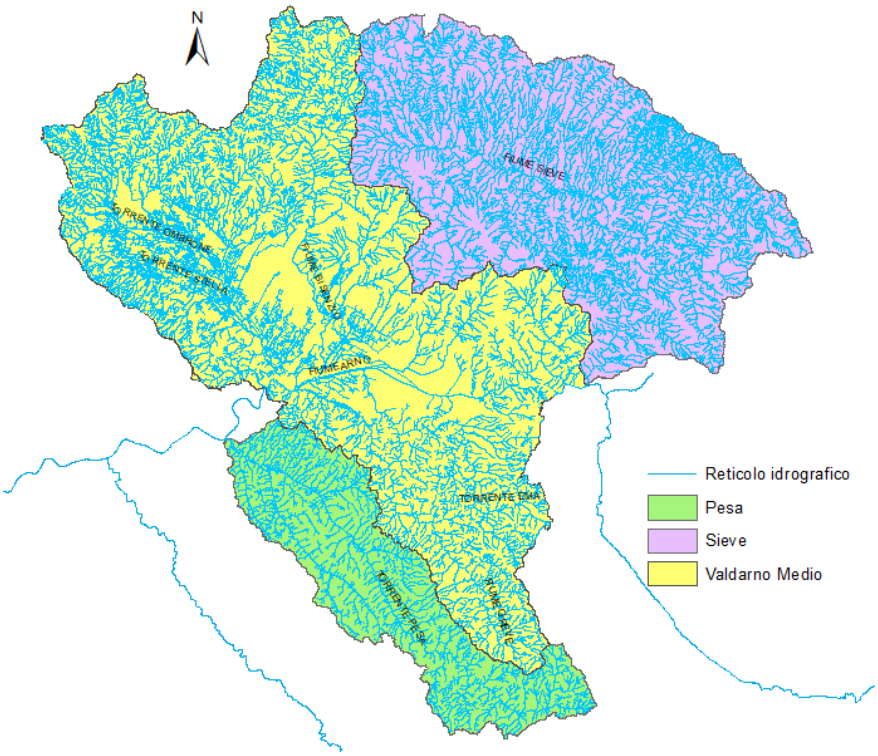


Figura 3.6 – Sottobacini dell'Arno

La Sieve

Il bacino della Sieve è chiuso sia a monte che a valle da alte e ripide dorsali e costituisce un bacino indipendente compreso tra la dorsale Appenninica e il Mugello. Il fiume Sieve nasce vicino a Barberino di Mugello ad una quota di 777 m s.l.m e confluisce nel fiume Arno poco a monte di Firenze, in corrispondenza di Pontassieve a 82 m s.l.m. Tributario di numerosi affluenti, la Sieve ha un bacino idrografico di circa 840 kmq ed una lunghezza di circa 58 km. Data la morfologia, il versante sinistro è caratterizzato da un maggior numero di affluenti rispetto al destro, che presenta tributari di rilievo solo nella parte alta del bacino poiché nella zona inferiore la valle si restringe a causa della prossimità dei versanti al corso d'acqua.

Il fiume raggiunge pendenze tipiche dei fondovalle alluvionali (circa il 4%) nella parte terminale, mentre la maggior parte del territorio presenta pendenze comprese tra l'8% e il 35%.

Nella zona più a monte del bacino si trova l'invaso di Bilancino realizzato a fini principalmente idropotabili e di laminazione delle piene ed avente un volume massimo di invaso pari a 69 mc.

Le zone a pericolosità idraulica elevata sono distribuite principalmente nel fondovalle in aree limitrofe al corso d'acqua [3].

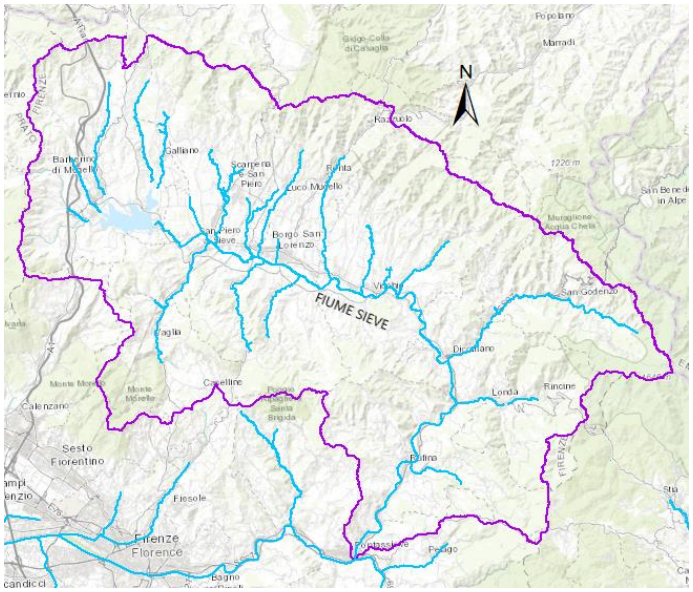


Figura 3.7 – Bacino del Fiume Sieve

Il Valdarno Medio

Il Valdarno Medio si estende dalla confluenza tra Arno e Ombrone fino ad i territori a valle di Pontassieve per un'area di 1375 kmq e comprende i sottobacini del torrente Greve (compreso l'importante affluente Ema), del torrente Ombrone e del fiume Bisenzio. Da un punto di vista geologico il bacino del Valdarno Medio è costituito da un'ampia depressione caratterizzata da depositi fluvio-lacustri anche molto profondi che danno luogo a grandi conoidi debolmente inclinati. La distribuzione delle pendenze è fortemente legata alla geologia del bacino anche se i rilievi collinari in sinistra idrografica del fiume Arno danno un forte contributo alla distribuzione dei valori di pendenza tra il 3% e il 35 %. La maggior concentrazione di territori a forte pendenza si riscontra in corrispondenza della parte alta del bacino del Bisenzio e delle valli di limitata larghezza dei tributari di destra dell'Arno.

Al sottobacino del Valdarno Medio appartiene il bacino del torrente Ombrone Pistoiese, affluente di destra dell'Arno, che si estende per circa 490 kmq. Il torrente Ombrone nasce sull'Appennino Pistoiese in Provincia di Pistoia nel cui territorio comunale ricade la maggior parte del suo percorso, per poi svilupparsi in un'ampia valle attraversando il comune di Prato e infine confluire in Arno all'altezza del comune di Signa. Il fondovalle densamente urbanizzato influisce sulla dinamica idrologica ed idraulica del bacino rendendola complessa a causa del reticolo idrografico fortemente dipendente dalla configurazione degli insediamenti. Secondo quanto riportato dall'Autorità di Bacino

del Distretto dell'Appennino Settentrionale la pianura dell'Ombrone Pistoiese è un terreno storicamente allagabile e oggetto di bonifica nel quale gli alvei sono stati modificati e rettificati al punto che il reticolo originale non esiste praticamente più; il sistema di arginature e opere idrauliche si rivela, però, per la maggior parte insufficiente a contenere anche eventi frequenti con periodo di ritorno inferiore o uguale a 30 anni. I principali tributari confluiscono prevalentemente nel territorio di Pistoia, tra gli affluenti di destra sono presenti il torrente Sella e il torrente Furba, mentre tra i tributari di sinistra il torrente Bure, il torrente Brana, il Calice e il torrente Agna.

La Val di Bisenzio si sviluppa lungo il corso del fiume Bisenzio, affluente di destra dell'Arno, e si estende nella zona centro-settentrionale della Provincia di Prato per un'area di circa 320 kmq. Il fiume Bisenzio nasce in Provincia di Prato, attraversa numerosi comuni e sfocia in Arno in corrispondenza del comune di Signa. Nel primo tratto presenta un regime torrentizio che si esaurisce in corrispondenza del centro cittadino con il diminuire della pendenza dell'alveo e l'incremento dei sistemi arginali. Tra gli affluenti principali il torrente Marina e il torrente Marinella.

Il fiume Greve è un affluente di sinistra dell'Arno, nasce nel comune di greve in Chianti e confluisce in Arno nel comune di Firenze. Uno degli affluenti principali è il torrente Ema con il quale il Greve forma un sistema che per molti aspetti si oppone agli affluenti di destra dell'Arno da un punto di vista geomorfologico.

La mappa di pericolosità relativa al sottobacino Medio indica che le aree di fondovalle sono esposte principalmente a fenomeni alluvionali, in particolare le aree a pericolosità idraulica elevata si concentrano nel fondovalle del bacino dell'Ombrone Pistoiese. Il reticolo minore è caratterizzato dal verificarsi prevalentemente di fenomeni di flash flood, ovvero eventi di pioggia brevi ma intensi e localizzati che provocano piene repentine con conseguenti inondazioni [3].

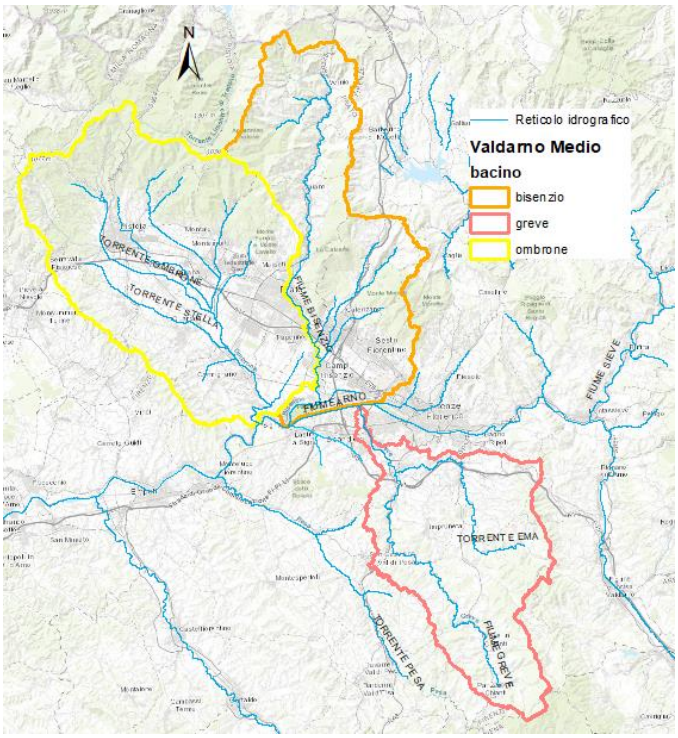


Figura 3.8 – Sottobacini del Valdarno Medio: Bacino del Bisenzio, Bacino del Greve e Bacino dell'Ombrone

Il Valdarno Inferiore

Il Valdarno Inferiore si estende a valle della dorsale Monti del Chianti/ Monte Albano per una superficie di 3641 kmq, presenta in destra idrografica una vasta pianura di bonifica e in sinistra estesi sottobacini intervallati da bassi rilievi collinari che danno luogo ad ampie vallate nelle quali scorrono importanti tributari dell'Arno come il fiume Pesa, l'Era e l'Elsa.

Da un punto di vista morfologico questo sottobacino presenta un'alta percentuale di aree pianeggianti (più del 50% del territorio ha pendenze comprese tra il 35 e il 35%) e conseguentemente una bassa percentuale di superfici ad elevata pendenza che, in ogni caso, si trovano in corrispondenza di zone a quote limitate con particolari situazioni geomorfologiche.

L'area oggetto di studio è occupata dal bacino del fiume Pesa, affluente di sinistra dell'Arno che nasce tra le province di Siena e Firenze e confluisce in Arno all'altezza del comune di Montelupo Fiorentino (FI).

Il fiume Pesa si sviluppa per una lunghezza di circa 53 km, nel corso dei quali riceve numerosi contributi dai diversi affluenti sia di sinistra che di destra, tra i quali è presente il torrente Terzona e il torrente Sugana.

Le aree a pericolosità idraulica elevata sono ubicate nel fondovalle, in particolare in corrispondenza delle fasce urbanizzate lungo l'Arno comprese tra lo sbocco della Pesa e quello del torrente Era nei comuni di Empoli, San Miniato e Montopoli Valdarno [3].

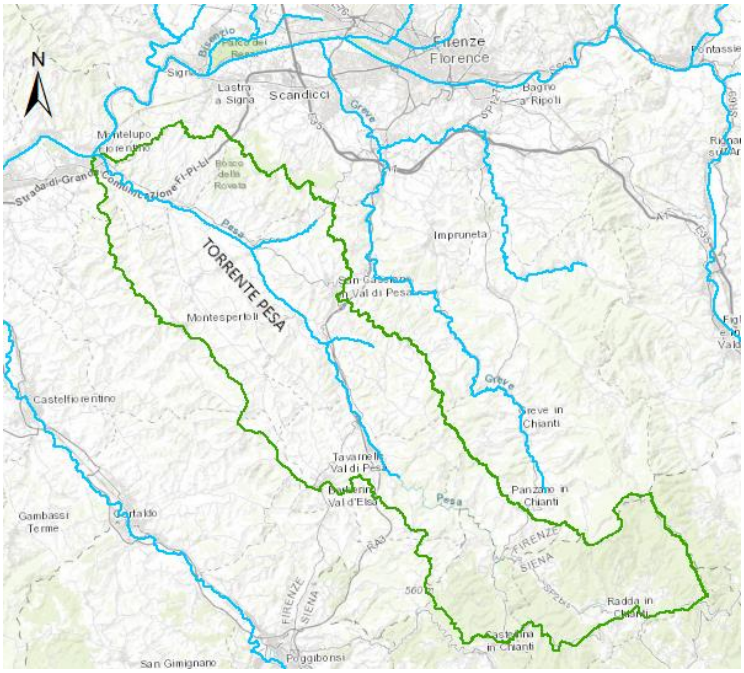


Figura 3.9 – Bacino del Torrente Pesa

3.4. Caratteristiche Climatiche

Da un punto di vista climatico la temperatura media del bacino dell'Arno diminuisce progressivamente procedendo dal mare verso l'entroterra, diminuzione che diventa più sensibile a partire dal Valdarno Medio.

L'escursione termica annua varia in relazione all'altitudine, le isoterme di valore più elevato rincorrono le forme dei rilievi, delimitando la vallata sul fronte settentrionale e su quello meridionale, mentre quelle di valore più basso evolvono parallelamente alle colline.

L'andamento delle temperature mensili subisce un progressivo aumento da gennaio a luglio e una progressiva diminuzione da luglio a dicembre con temperature minime nei mesi di gennaio e febbraio intorno ai 4°- 7° e massime nei mesi di luglio e agosto comprese tra i 25° e i 26°.

L'andamento nel corso dell'anno dell'evaporazione segue quello della temperatura dell'aria.

3.5. Regime Pluviometrico

Nell'ambito del bacino dell'Arno le precipitazioni sono distribuite in due periodi principali, un primo che va da gennaio a maggio e un secondo compreso tra i mesi di ottobre e dicembre, le due fasi sono

separate da un intervallo caratterizzato da piogge scarse. Nel primo periodo le precipitazioni sono abbondanti e regolari, nel secondo periodo le precipitazioni sono intense ma irregolari.
Circa il 90% dei giorni piovosi sul totale annuo è distribuito nelle stagioni primaverili, autunnali e invernali, mentre per quello che concerne la distribuzione areale questa è strettamente legata all'orografia. Nel Valdarno Medio e nel Valdarno inferiore le precipitazioni si mantengono intorno agli 800-900 mm, mentre nella fascia parallela ai rilievi Appenninici e del Mugello non scendono al di sotto dei 1000 mm e raggiungono valori anche di 2000 mm sullo spartiacque del Bisenzio.
Il bacino dell'Arno, nella zona concernente l'area in esame, è classificato come tipo pluviometrico sub-litoraneo appenninico [4].

3.6. Insediamenti

L'area comprende un totale di 35 comuni, appartenenti alle province di Firenze, Prato e Pistoia.

Figura 3.10 – Comuni compresi nell'area oggetto di studio

Da un punto di vista insediativo la Piana Firenze-Prato-Pistoia presenta una configurazione estremamente eterogenea caratterizzata dalla presenza di tre poli principali costituiti dalle tre province (Firenze Prato Pistoia), che rappresentano alcuni dei centri urbani più significativi in Toscana (Firenze è il capoluogo di provincia e Prato è un importante centro nevralgico a livello industriale), e da un'urbanizzazione sparsa, in alcune zone relativamente densa ed in altre estremamente rada. Questa pianura alluvionale non solo rappresenta una delle aree in toscana soggette a maggior sviluppo urbanistico ed infrastrutturale ma ha al suo interno una costellazione di poli funzionali, comprendenti

attività economiche e attrezzature pubbliche di rilevanza regionale, che, insieme ad i poli a più elevato carico urbanistico, contribuiscono a generare i principali flussi di traffico entranti nell'area o interni alla piana stessa (ne sono un esempio le aree industriali di Calenzano o Prato).
La maggior concentrazione demografica si ha, infatti, in pianura con i comuni di Firenze e Prato che contano più di 500 mila abitanti distribuiti su una superficie inferiore ai 200 kmq e con città come Sesto Fiorentino, campi Bisenzio e Scandicci con un numero di abitanti compreso tra i 30 e i 50 mila. Firenze rappresenta indubbiamente la città più popolata sia a scala di bacino che a scala regionale, con 367 mila abitanti costituisce il 16,3 % della popolazione residente nell'area di competenza del bacino dell'Arno [3].

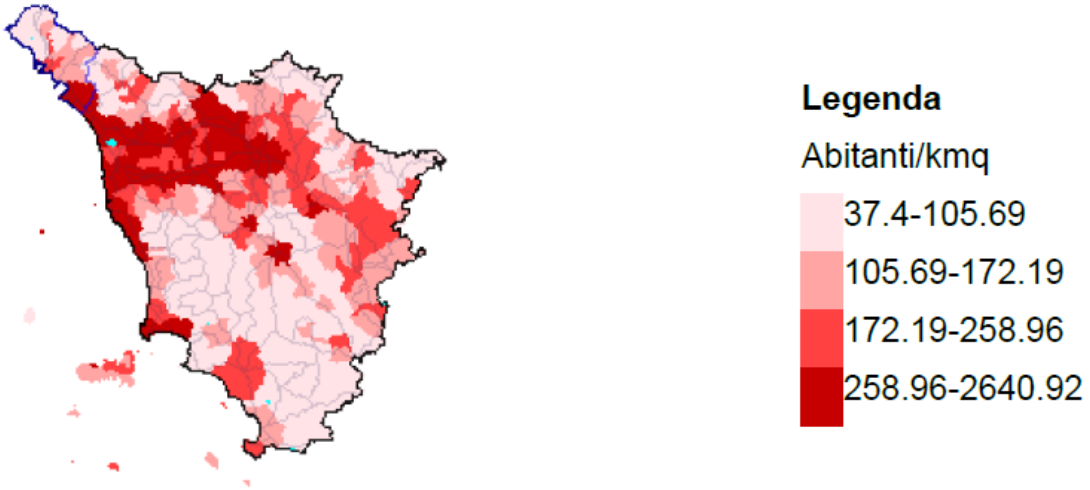


Figura 3.11- Relazione di piano- Stralcio di bilancio idrico, Autorità di bacino dell'appennino settentrionale, Fonte ISTAT 2005

Nelle zone collinari e di montagna la densità abitativa è molto più bassa, per quando riguarda, invece, la sinistra idrografica dell'Arno, nella parte urbanizzata sviluppatasi lungo il fiume, sono presenti importanti poli produttivi come il comune di Empoli che rappresenta una delle principali aree industriali regionali.

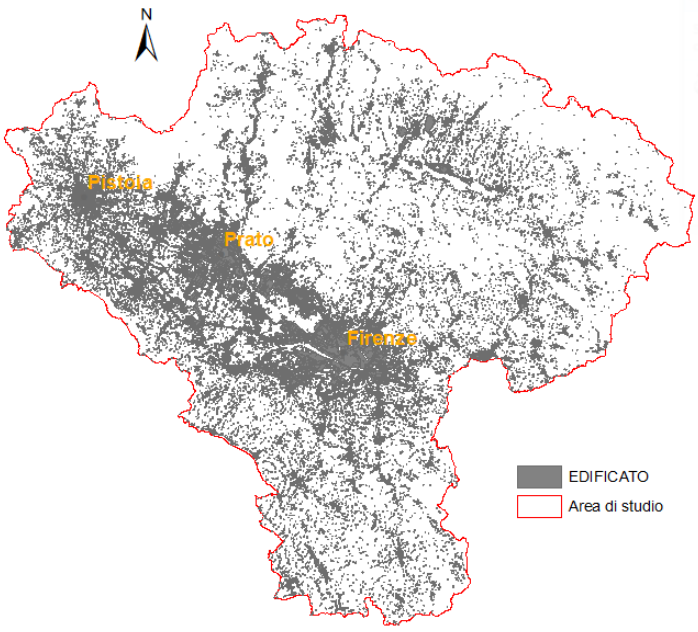


Figura 3.12 – Urbanizzazione all'interno dell'area di studio

3.7. Altre infrastrutture

Oltre al sistema di infrastrutture viarie sul territorio è presente una fitta rete ferroviaria di collegamento sia regionale che interregionale come la tratta dell'alta velocità Firenze-Bologna o la direttissima Firenze-Roma.

A livello regionale nell'area ricadono le due tratte a più alta densità di domanda, la linea Firenze-Prato-Pistoia-Lucca-Viareggio e la linea Firenze-Empoli-Pisa.

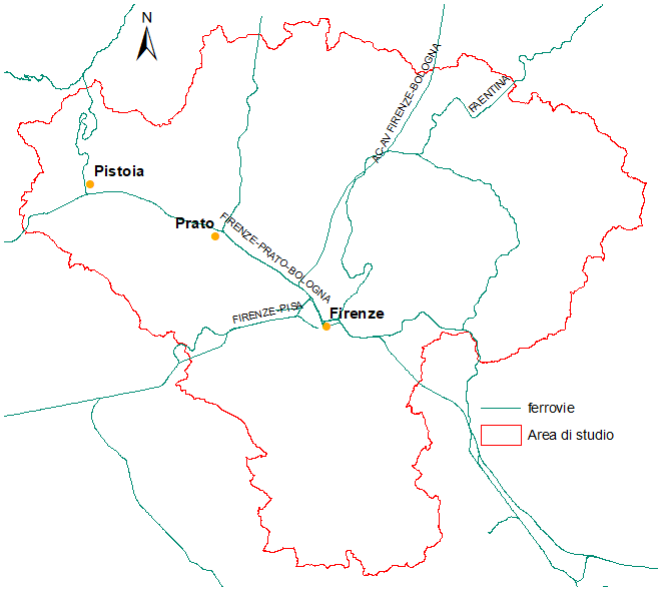


Figura 3.13 – Rete ferroviaria

4. Valutazione della pericolosità degli attraversamenti fluviali

Come esposto in precedenza la suscettibilità di una sede stradale al rischio idraulico è dettata dall'interazione tra l'infrastruttura e l'acqua piovana, sia per quanto riguarda l'interazione della struttura con i corsi d'acqua sia per quanto riguarda lo smaltimento delle acque meteoriche.
In questo capitolo verrà trattata la vulnerabilità delle infrastrutture nelle sezioni che interagiscono con il reticolo idrografico, alle quali è stato applicato il modello di classificazione della suscettibilità al rischio idraulico proposto da E. Gaume, P-A. Versini ed H. Andrieu [1] ed esposto nel secondo paragrafo del secondo capitolo. Tale modello prevede la classificazione delle sezioni stradali sulla base di informazioni geografiche estrapolate in ambiente Gis. Il risultato della classificazione sarà poi confrontato con le mappe di pericolosità idraulica che forniscono un'informazione aggiuntiva riguardo al tempo di ritorno teorico di allagamento delle aree esaminate, in modo da ottenere un ulteriore riscontro sulla classificazione considerate le approssimazioni derivanti dall'estrapolazione del modello e all'applicazione di quest'ultimo ad una zona geografica differente rispetto a quella di calibrazione e validazione.
Il seguente capitolo tratterà, quindi, l'individuazione degli attraversamenti presenti all'interno dell'area in esame, l'identificazione dei parametri morfologici per ognuno dei suddetti attraversamenti, ed infine, il collocamento di ciascuna sezione in una delle quattro classi di suscettibilità previste dal metodo sulla base dell'applicazione di valori di soglia
Gli strati informativi utilizzati per l'analisi sono i seguenti:

- Digital Terrain Model, con estensione regionale e risoluzione a 10 metri
- File lineare degli elementi stradali

Entrambi gli strati informativi sono stati ottenuti dalla sezione opendata Geoscopio della Regione Toscana.

4.1. Individuazione degli attraversamenti

Il primo passo è quello di individuare gli attraversamenti presenti nell'area di interesse, a questo scopo sono state considerate quelle sezioni che attraversano corsi d'acqua almeno del quarto ordine secondo la classificazione di Horton-Strahler. Tale classificazione descrive un bacino idrografico come un sistema costituito da tronchi e ordinato gerarchicamente in base ai valori, od ordini, assegnati a ciascun corso d'acqua: le sorgenti generano segmenti di ordine 1, due tronchi di ordine 1 che si incontrano in un punto generano un segmento di ordine 2 e così via.

Si è proceduto, quindi, ad individuare i corsi d'acqua di ordine pari o superiore a quattro tramite un'analisi idrologica in ambiente Gis. La scelta di considerare elementi appartenenti ad una certa classe gerarchica è stata dettata dalla volontà di considerare attraversamenti significativi.

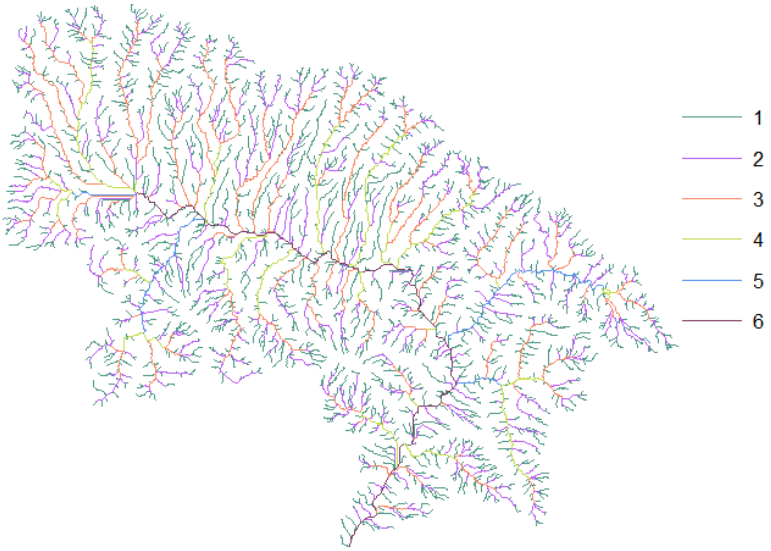


Figura 4.1 – Esempio di classificazione del reticolo secondo Horton-Stahler

Si è proceduto, quindi, ad individuare i corsi d'acqua di ordine pari o superiore a quattro tramite un'analisi idrologica in ambiente Gis. La scelta di considerare elementi appartenenti ad una certa classe gerarchica è stata dettata dalla volontà di considerare attraversamenti significativi.

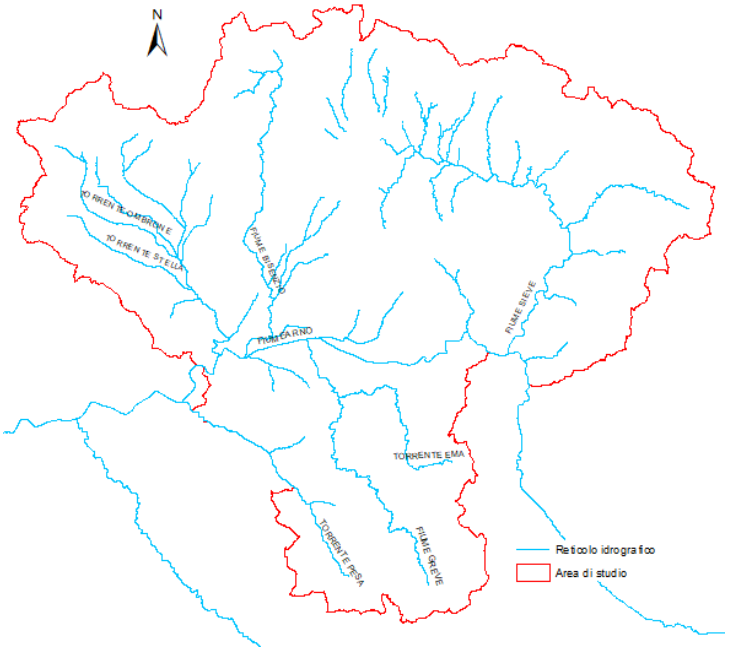


Figura 4.2- Reticolo idrografico considerato nell'analisi per l'individuazione degli attraversamenti

L'analisi idrologica in ambiente Gis permette di assegnare un ordine a ciascun corso d'acqua sulla base della direzione di flusso generata tramite il raster delle quote, il reticolo idrografico prodotto è rappresentato in Figura 4.2.

Il reticolo presenta un'asta principale, il fiume Arno, e i seguenti affluenti facenti parte del reticolo principale secondo la definizione dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale:

- Torrente Ombrone
- Torrente Stella
- Fiume Bisenzio
- Fiume Sieve
- Torrente Terzolle
- Torrente Mugnone
- Torrente Pesa
- Torrente Ema
- Torrente Greve

L'analisi idrologica ha evidenziato anche alcuni affluenti del Fiume Sieve e del Torrente Ombrone che essendo corsi d'acqua minori non sono inclusi nel reticolo principale dall'Autorità di Bacino. Ai fini dell'analisi tali affluenti sono stati valutati rilevanti e quindi presi in considerazione.

Come precedentemente esposto il campione di elementi stradali analizzato comprende esclusivamente infrastrutture di gestione sovracomunale, per un set totale di 123 strade facenti parte di una delle seguenti categorie: Strade Provinciali, Strade Regionali, Strade Statali, Autostrade.

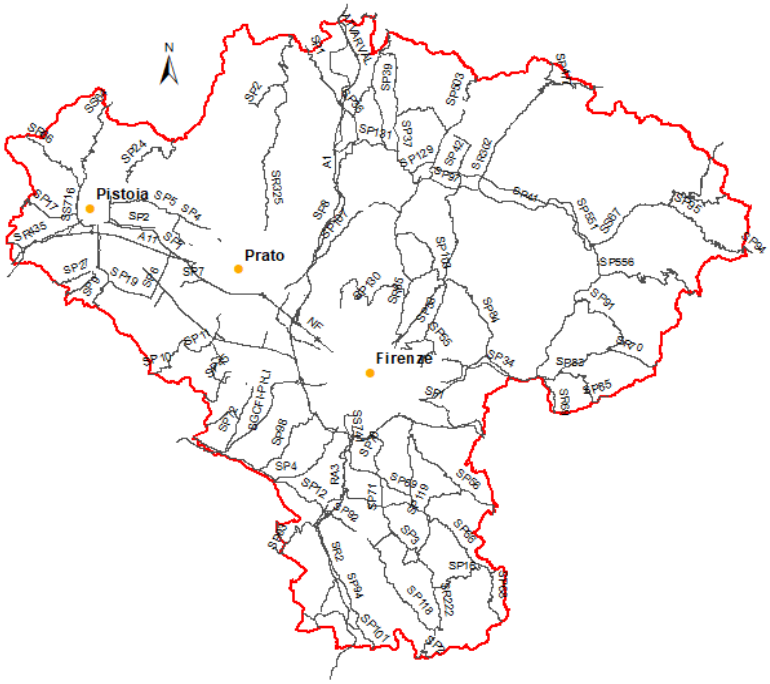


Figura 4.3 - Grafo stradale considerato nell'analisi per l'individuazione degli attraversamenti

Il grafo stradale è stato ottenuto aggregando secondo “denominazione estesa” gli elementi lineari messi a disposizione della Regione Toscana tra gli Opendata nella sezione Geoscopio.
Individuato il reticolo idrografico e il campione di infrastrutture stradali si è proceduto all’identificazione delle intersezioni tra questi; il file puntuale generato è stato poi esportato sulla piattaforma Google Earth per un controllo ulteriore sulla selezione degli attraversamenti.

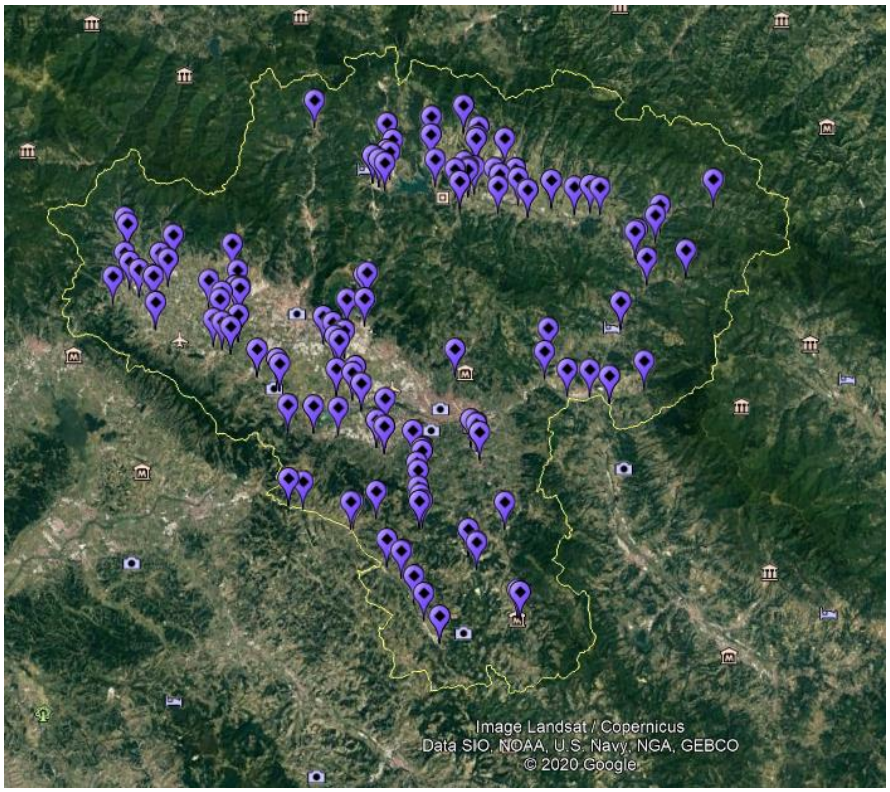


Figura 4.4 - Controllo degli attraversamenti sulla piattaforma Google Earth

I dati derivanti dalle intersezioni sono stati quindi epurati da quegli elementi individuati tramite analisi con il software Gis che non hanno trovato riscontro nel controllo successivo, ottenendo un set di 124 attraversamenti.
In Figura 4.5 sono rappresentati gli elementi utilizzati nell’analisi collocati all’interno della mappa dell’area in esame. Come esposto in precedenza l’analisi dei parametri di suscettibilità verrà eseguita in ambiente Gis tramite gli strati informativi in formato raster o shapefile o tramite dati ottenuti con ulteriori elaborazioni. In allegato l’elenco degli attraversamenti e dei valori estrapolati per ognuno di essi.

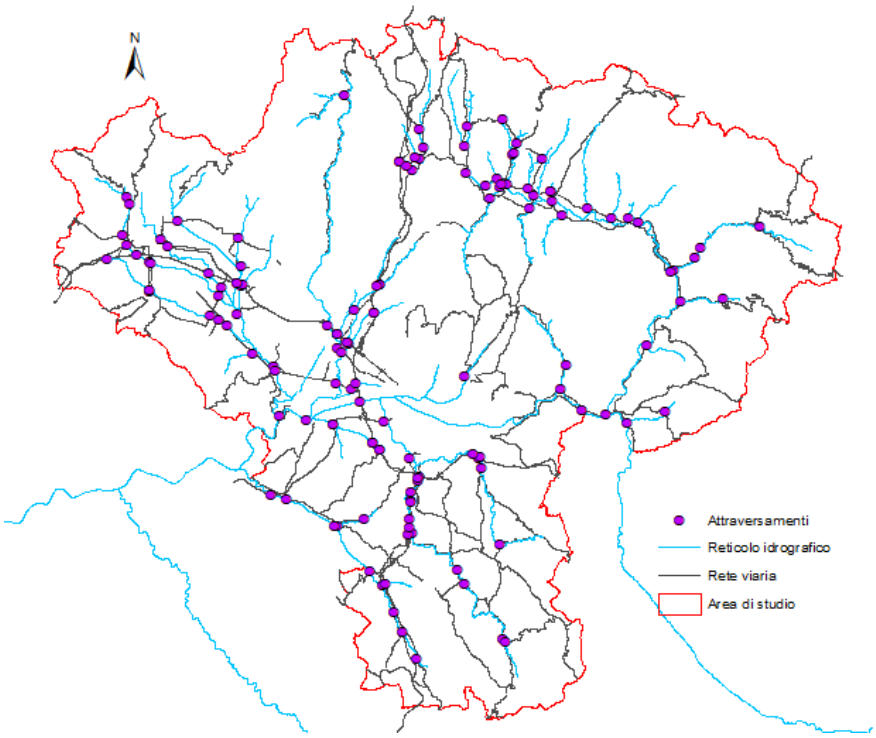


Figura 4.5 - Set finale di attraversamenti

4.2. Identificazione dei parametri morfologici

Il modello [1] prevede l'analisi di tre parametri morfologici per ciascuna sezione individuata:

- La quota in corrispondenza della sezione
- La pendenza massima locale nell'intorno della sezione
- L'area del bacino idrografico a monte della sezione

Quota in corrispondenza della sezione

La quota in corrispondenza della sezione è stata individuata attribuendo il valore del raster delle quote a ciascun elemento puntuale identificativo di un attraversamento. Questo fattore discriminante è legato alla posizione della sezione analizzata: gli attraversamenti a maggiore suscettibilità, secondo i risultati estrapolati dal modello applicato, si trovano tendenzialmente in zone a bassa quota.

La suscettibilità al rischio idraulico dovuto ad alluvioni fluviali diminuisce all'aumentare dell'altitudine ed è maggiore nei territori di fondovalle delle aste principali.

Pendenza massima locale

La pendenza massima locale nell'intorno dell'attraversamento è stata individuata tramite il raster delle pendenze in un intorno con raggio pari a 10 volte la larghezza dell'attraversamento. Anche in questo caso la suscettibilità aumenta al diminuire del valore assunto da questo fattore discriminante.

La pendenza locale nell'intorno della sezione è in parte correlata all'informazione relativa alla quota

ed indica se la sezione è posizionata in aree pianeggianti o ripide. I risultati del modello applicato [1] evidenziano come la suscettibilità aumenti al diminuire della pendenza nell'intorno della sezione stradale considerata. Questo fattore discriminante può anche caratterizzare il deflusso superficiale in quanto pendenze maggiori facilitano il drenaggio superficiale delle acque e aumentano la velocità del flusso.

Area del bacino idrografico a monte

L'area del bacino idrografico con sezione di chiusura in corrispondenza dell'attraversamento è stata identificata tramite un'analisi idrologica in ambiente Gis. La suscettibilità, in questo caso, diminuisce per valori minori dell'indicatore. Le sezioni stradali verso le quali drenano bacini idrografici ad area maggiore sono caratterizzate da una suscettibilità più alta. Più è esteso il bacino a monte dell'attraversamento maggiore è la portata che defluirà in corrispondenza della sezione perché è maggiore il contributo che defluisce verso l'asta principale.

Per poter applicare le soglie estrapolate dal modello utilizzato [1] i valori sono stati normalizzati tramite un indice che rappresenta una probabilità di superamento (Formula 1 e Formula 2). Il metodo di normalizzazione utilizzato è robusto soprattutto per valori estremi e considera la posizione, ovvero il rango, del singolo valore all'interno del set di tutti i valori assunti dagli elementi analizzati per quel dato parametro. A valori decrescenti assunti dall'indice corrispondono sezioni a suscettibilità maggiore. I dati devono quindi essere ordinati in ordine crescente e poi calcolato l'indice di normalizzazione a seconda che i valori del dato parametro caratterizzino la suscettibilità in modo crescente o decrescente.; in particolare i risultati estrapolati dal modello [1] indicano che a pendenze e quote minori si abbia una maggiore suscettibilità, viceversa per quanto riguarda le aree dei bacini a monte. Ai primi due fattori è stata applicata la Formula 1 e al terzo la Formula 2.
Nel seguente grafico è riportata la distribuzione dei valori per ognuno dei tre fattori discriminanti rispetto alla probabilità di superamento espressa dall'indicatore: sull'asse delle ascisse sono presenti i valori normalizzati compresi tra 0 e 1 assunti dai punti in esame per ciascun parametro e sull'asse delle ordinate la percentuale di sezioni sul totale degli elementi analizzati che assume un determinato valore. Per semplicità i valori dei parametri normalizzati sono stati rappresentati in intervalli pari a 0.1 e le percentuali calcolate su tali intervalli.

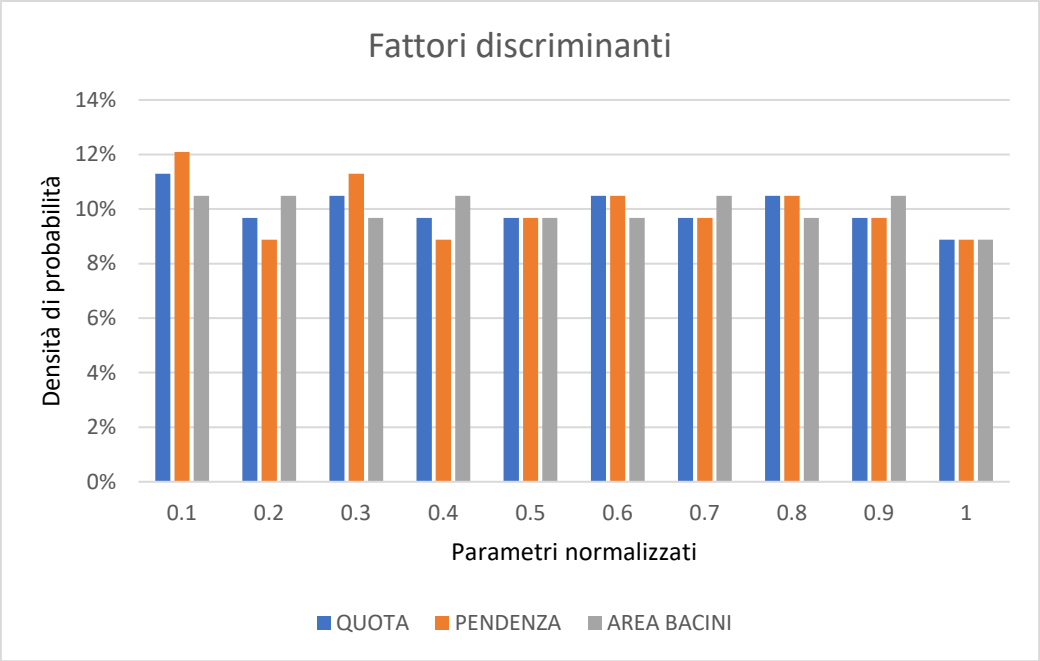


Figura 4.6 - Distribuzione dei valori normalizzati. Le colonne in blu rappresentano i valori normalizzati di altitudine, le colonne in arancione rappresentano i valori normalizzati delle pendenze locali e le colonne in grigio rappresentano i valori normalizzati delle aree dei bacini a monte degli attraversamenti

Le distribuzioni dei valori normalizzati appaiono piuttosto uniformi senza particolari picchi, questo significa che per ciascuno dei tre parametri gli elementi risultano eterogenei.

4.3. Classificazione degli attraversamenti

Una volta ordinate le sezioni e calcolato l'indice per ognuna di esse sono state applicate le soglie estrapolate dal modello [1] e indicate in Tabella 4.1

Tabella 4.1 – Soglie per la suddivisione in classi di suscettibilità

	Connettivo	Soglia
classe 1	AND	0.3
classe 2	AND	0.57
classe 3	OR	0.57
classe 4	-	-

La prima classe è stata individuata applicando il connettivo logico "*and*" con soglia pari a 0.3, fanno parte di questa classe (quella a maggiore suscettibilità) gli attraversamenti caratterizzati da valori minori o uguali a 0.3 per ciascuno dei tre fattori geografici contemporaneamente. Analogamente per la seconda classe con soglia pari a 0.57. La terza classe, invece, comprende le sezioni aventi almeno un parametro inferiore alla soglia di 0.57. Alla quarta, infine, appartengono gli elementi aventi valori

superiori a 0.57 per ognuno dei fattori discriminanti. I risultati ottenuti dalla classificazione sono mostrati in Tabella 4.2. Il numero totale degli attraversamenti è 124, di questi il 2% è classificato a suscettibilità molto elevata, il 25% a suscettibilità media, il 62% a suscettibilità bassa e l'11% a suscettibilità molto bassa.

Tabella 4.2 – Risultati della classificazione di suscettibilità

Classe	Numero	Percentuale %
classe 1	2	2
classe 2	31	25
classe 3	77	62
classe 4	14	11

La distribuzione degli elementi all'interno delle classi risulta abbastanza soddisfacente, se gli attraversamenti fossero risultati appartenere tutti ad un'unica classe, ad esempio, sarebbe stata evidente la scarsa applicabilità del metodo all'area in esame.

In Figura 4.7 è riportata la mappa con gli attraversamenti esaminati: in rosso quelli a suscettibilità molto alta, in arancione quelli a suscettibilità media, in giallo gli elementi a suscettibilità bassa e in verde molto bassa. Le sezioni appartenenti alle classi a maggiore suscettibilità si trovano prevalentemente nel territorio della piana di Firenze-Prato-Pistoia caratterizzato da un'altitudine media di 45 m slm e pendenze molto basse; quelli classificati come elementi a suscettibilità molto bassa si trovano principalmente nella zona della Val di Sieve, in corrispondenza delle intersezioni con gli affluenti del Sieve lungo i crinali dei rilievi che circondano la valle.

Le due sezioni di classe 1 si trovano in corrispondenza del Fiume Arno e del Torrente Ombrone, due dei corsi d'acqua più significativi per quanto concerne la pericolosità idraulica. I corsi d'acqua interessati dagli attraversamenti a maggiore suscettibilità sono infatti caratterizzati da una pericolosità idraulica elevata, l'Arno è l'asta principale del bacino e il Torrente Ombrone è soggetto ad esondazioni frequenti a causa dell'intensa urbanizzazione che rappresenta un forte vincolo alla naturale tendenza di espansione, come precedentemente esposto nel Capitolo 3.3.

Ne consegue che i due attraversamenti maggiormente vulnerabili sono anche esposti ad un rischio idraulico elevato data la natura delle aste fluviali che intersecano.

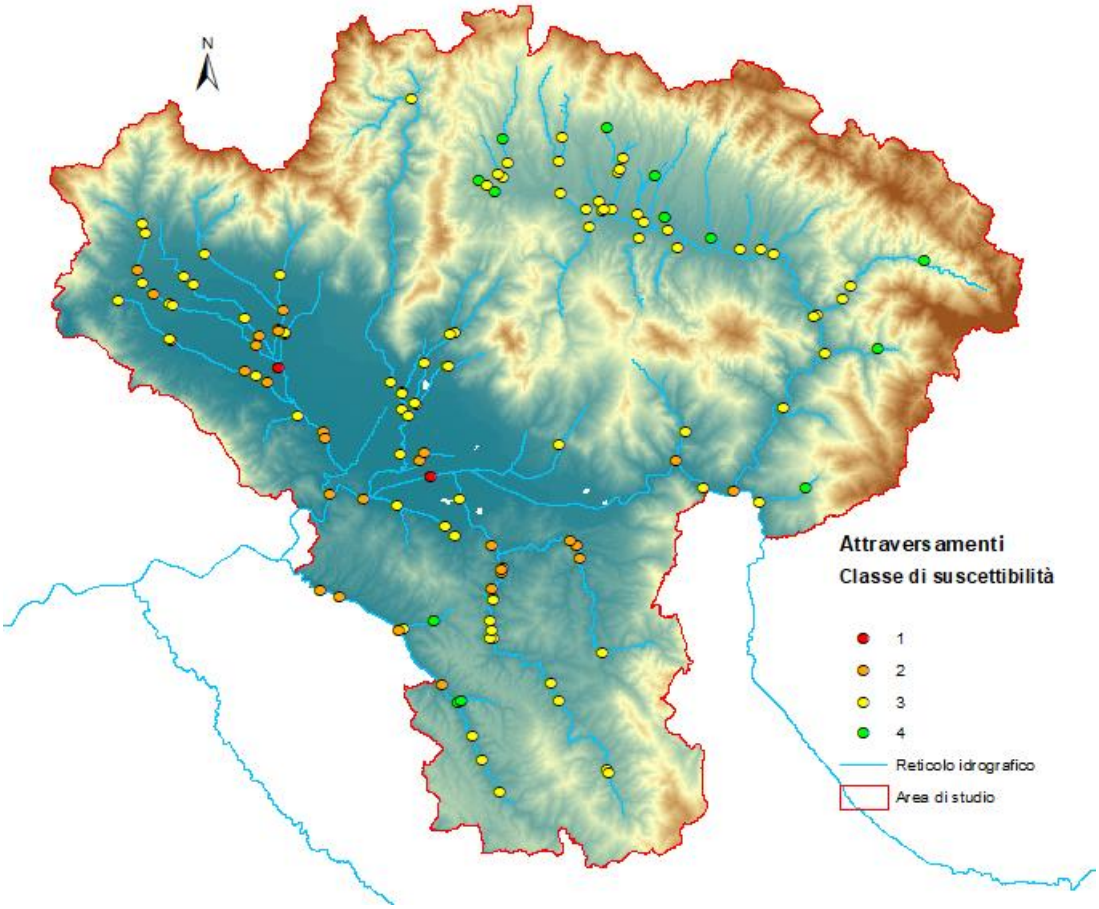


Figura 4.7 – Mappa degli attraversamenti classificati per suscettibilità. I punti in rosso rappresentano le sezioni appartenenti alla classe 1 (alta), i punti in giallo rappresentano le sezioni appartenenti alla classe 2 (media), i punti i giallo le sezioni appartenenti alla classe 3 (bassa), i punti in verde rappresentano le sezioni in classe 4 (molto bassa)

I risultati della classificazione sono stati quindi confrontati con la mappa di pericolosità prodotta dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appenino Settentrionale. Il confronto è stato applicato alla fascia a pericolosità elevata P3, come mostrato in Figura 4.8.

Dalla mappa è possibile osservare che buona parte degli attraversamenti classificati a suscettibilità maggiore sono caratterizzati da un'alta pericolosità idraulica.

Le aree a pericolosità idraulica elevata sono quelle zone allagabili per portate caratterizzate da tempi di ritorno minori o uguali a 30 anni. La pericolosità è legata alla probabilità di accadimento di un evento con determinata magnitudo, alta probabilità significa alta frequenza e di conseguenza pericolosità elevata.

Nel caso di attraversamenti fluviali, le intersezioni con il reticolo principale si trovano necessariamente in area a pericolosità idraulica elevata, di conseguenza il confronto con la suscettibilità può risultare utile nel caso degli attraversamenti che interessano il reticolo idrografico minore.

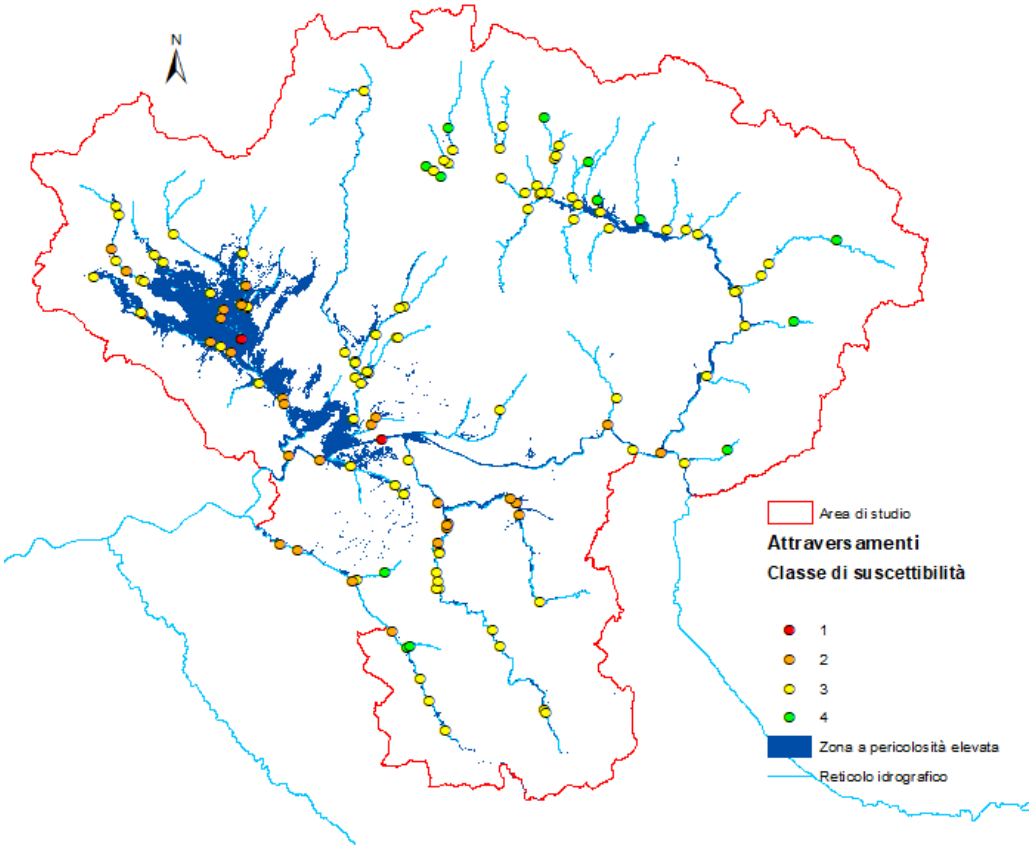


Figura 4.8 – Mappa degli attraversamenti interessati da pericolosità idraulica elevata. L'area in blu rappresenta la zona a pericolosità idraulica elevata, corrispondente ad un tempo di ritorno inferiore o uguale a 30 anni.

Come si evince dalla Figura 4.8 il reticolo principale è caratterizzato da una pericolosità idraulica elevata, congruentemente con i risultati ottenuti dalla classificazione di suscettibilità che individua gli elementi più vulnerabili localizzati in corrispondenza delle intersezioni con le aste fluviali principali.

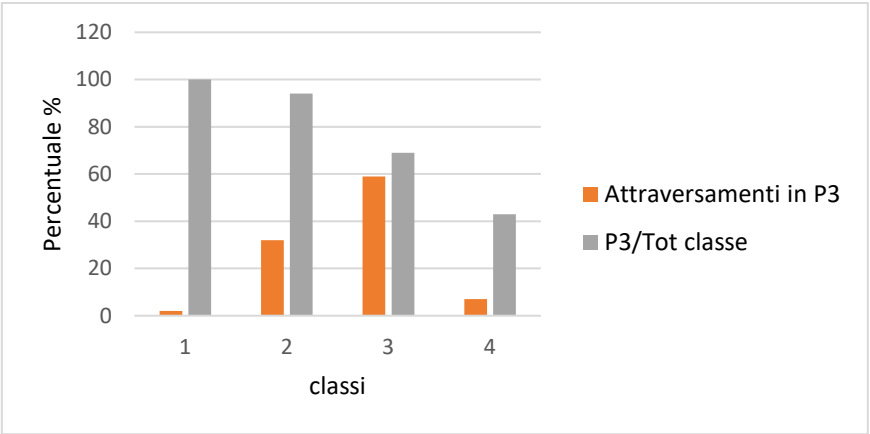


Figura 4.9 - Distribuzione degli attraversamenti in P3 nelle classi di suscettibilità. Le colonne arancioni rappresentano le percentuali di attraversamenti in P3 per ciascuna classe. Le colonne grigie indicano la percentuale di attraversamenti in P3 per ciascuna classe rispetto al numero di elementi presenti nella classe.

In Figura 4.9 sono rappresentate le distribuzioni nelle classi di suscettibilità degli attraversamenti caratterizzati da pericolosità idraulica elevata, tali valori sono riassunti in Tabella 4.3

Tabella 4.3 - Distribuzione degli attraversamenti caratterizzati da pericolosità elevata nelle varie classi di suscettibilità

	Numero attraversamenti	Percentuale attraversamenti (%)	Numero attraversamenti in P3	P3(%)	P3/tot classe
classe 1	2	2%	2	2%	100%
classe 2	31	25%	29	32%	94%
classe 3	77	62%	53	59%	69%
classe 4	14	11%	6	7%	43%

Come si può osservare il 100% dei tronchi nella prima classe di suscettibilità al rischio idraulico si trova anche in area a pericolosità elevata, così come il 94% per la seconda. Le due classi a maggiore suscettibilità sono anche caratterizzate da un numero cospicuo di elementi a pericolosità elevata (quasi il 100%), questo rende tali elementi estremamente esposti al rischio idraulico. Considerando che il rischio idraulico è definito dai tre valori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, gli attraversamenti in classe 1 e 2 presentano valori elevati per due dei tre fattori. Le soglie applicate derivano da un'analisi di attraversamenti con tempi di ritorno empirico inferiori a 40 anni, confrontando i risultati con le aree caratterizzate da tempi di ritorno teorici inferiori o uguali a 30 anni risultano essere congruenti.

Il confronto con le aree a pericolosità elevata non solo permette un ulteriore sull'efficacia della classificazione ma introduce la possibilità di utilizzare tale classificazione nel caso in cui la mappa delle aree allagabile per assegnati tempi di ritorno teorici non sia presente.

Considerando la congruenza tra suscettibilità e pericolosità idraulica, la valutazione della vulnerabilità degli attraversamenti potrebbe risultare un'alternativa nei casi in cui la mappatura di pericolosità non è disponibile.

5. Applicazione del modello ai tronchi stradali

Nel seguente capitolo verrà trattata l'applicazione del modello proposto da E. Gaume, P-A. Versini ed H. Andrieu [1] ai tronchi stradali e non più agli attraversamenti. Lo scopo è quello di classificare la suscettibilità al rischio idraulico dei singoli tronchi in modo da incrociare questa informazione con il livello di incidentalità stradale del tronco stesso. La classificazione sarà attuata valutando i parametri di suscettibilità idraulica proposti dal modello [1] sulla base di soglie individuate dal numero di tronchi stradali interessati da almeno un incidente nel periodo di tempo considerato. La seguente classificazione evidenzia la distribuzione dei parametri di suscettibilità idraulica nei tronchi incidentati, in questo modo è possibile analizzarne la vulnerabilità della sede stradale e valutare la distribuzione dei valori per ciascun parametro.

5.1. Analisi di incidentalità delle sedi stradali

Per prima cosa è stato analizzato il dataset di incidenti stradali a disposizione, che copre tutta la Regione Toscana per un periodo di tempo che va dal 2014 al 2016 e fornito dall'Università di Firenze. Tale set di dati è costituito dalla lista degli incidenti avvenuti lungo l'intera rete viaria toscana e da una serie di informazioni associate ad ognuno di questi, quali:

- Anno;
- Giorno della settimana;
- Provincia;
- Comune;
- Posizione:
- Denominazione della strada;
- Tipo di strada;
- Chilometro;
- Condizione metereologica;
- Modalità di accadimento

Sulla base di queste informazioni è stato possibile isolare gli incidenti avvenuti nelle province di interesse (Firenze, Prato, Pistoia) e quelli avvenuti in condizioni metereologiche di pioggia. Un ulteriore selezione è stata fatta per individuare solo gli incidenti avvenuti su strade di collegamento

extraurbano, quindi su strade statali, regionali, provinciali e autostrade, che sono le infrastrutture analizzate nel presente lavoro.
Le due sedi stradali più incidentate sono risultate essere le due autostrade che attraversano il territorio, l'A1 Milano-Napoli e l'A11 Firenze-Pisa Nord seguite dalla Statale 67, dal Raccordo Autostradale 03 e dalla Strada Grande Comunicazione Firenze-Pisa-Livorno.
Allo scopo dell'analisi sulla correlazione tra incidenti e suscettibilità dei tronchi stradali all'allagamento sono state selezionate le tre strade più incidentate non classificate come autostrade.
Questo perché il numero di incidenti registrati sulle autostrade è decisamente superiore a quello delle suddette statali o regionali, ma ciò è probabilmente dovuto ai limiti di velocità elevati e al fine di valutare la correlazione tra tasso di incidentalità e suscettibilità idraulica è stato ritenuto opportuno escluderle dall'analisi.
Il set finale di incidenti selezionati conta 161 elementi totali, dei quali 97 localizzati lungo le tre infrastrutture individuate per la fase di calibrazione delle soglie, in particolare:

- 11 sulla Strada Statale n. 67 (SS 67)
- 66 sulla Strada Grande Comunicazione Firenze-Pisa-Livorno (S.G.C. FI-PI-LI)
- 20 sul Raccordo Autostradale 03 (RA 03)

I restanti 64 incidenti catalogati sono localizzati lungo le sedi stradali analizzate nella successiva fase di validazione. Grazie alle informazioni relative alla posizione o al chilometro stradale è stato possibile rappresentare gli incidenti in ambiente Gis (Figura 5.1)
Si è proceduto quindi a calibrare le soglie sulle tre sedi stradali maggiormente incidentate e a validare il modello sulle altre infrastrutture per le quali si sono registrati incidenti.
Le fasi di calibrazione sono le stesse applicate nel modello esposto precedentemente [1]: individuazione dei parametri morfologici per ciascun elemento, ordinamento degli elementi e calcolo dell'indice di normalizzazione, classificazione in base alla percentuale di elementi incidentati (20%, 30%, 50%) con utilizzo dei connettivi logici "*and*" e "*or*" e conseguente identificazione delle soglie da applicare al resto delle infrastrutture.

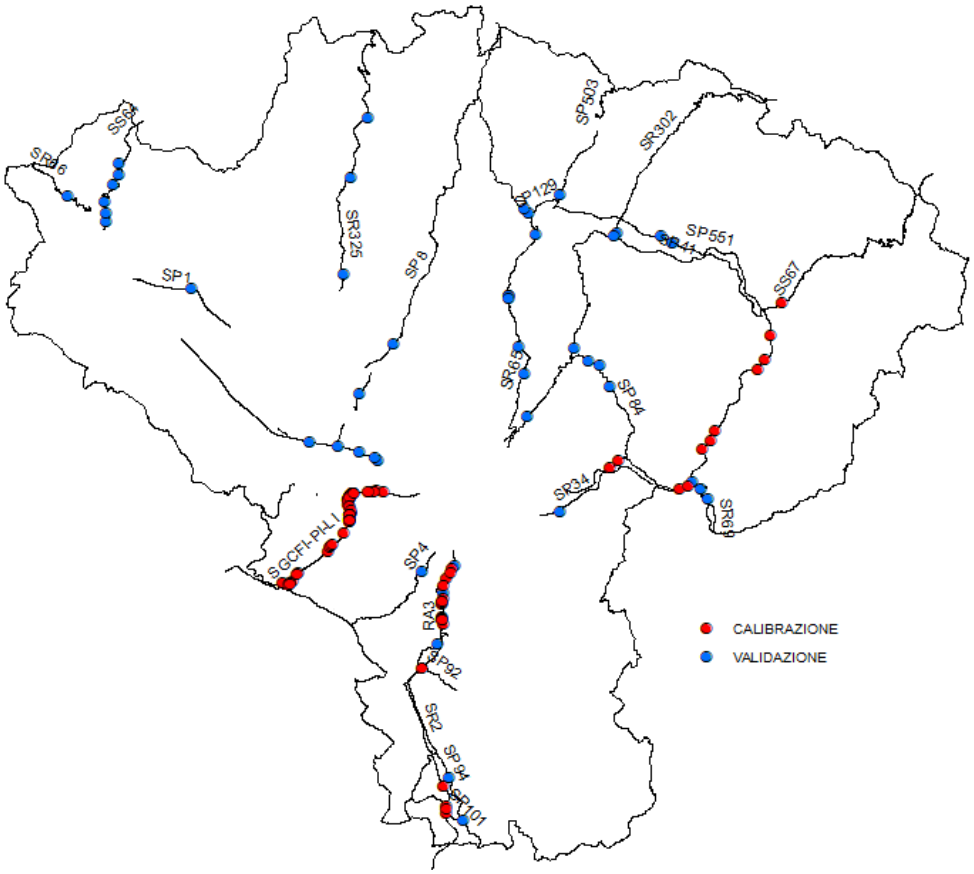


Figura 5.1 – Incidenti stradali registrati nell'area in esame, I punti in rosso rappresentano gli incidenti appartenenti alle infrastrutture analizzate nella fase di calibrazione, i punti in blu quelli appartenenti alle strade valutate nella fase di validazione.

5.2. Individuazione dei parametri morfologici

Nella valutazione della suscettibilità dei tronchi stradali sono stati considerati i tre parametri geografici proposti dal modello applicato anche agli attraversamenti [1]: pendenza massima nell'intorno del tronco considerato, area del bacino idrografico a monte, quota media del tronco stradale. Le tre succitate infrastrutture sono state suddivise in tronchi lunghi 500 m per avere un numero di segmenti significativo ma allo stesso tempo non eccessivamente oneroso e facilmente maneggiabile per le elaborazioni successive. Il set finale di elementi conta 186 tronchi stradali dei quali 39 soggetti ad incidente stradale almeno una volta tra il 2014 e il 2016.

Per ognuno degli elementi sono stati identificati i valori dei fattori discriminanti. Nei prossimi paragrafi verrà fatto riferimento a due categorie di tronchi stradali

- Tronchi incidentati: elementi stradali in corrispondenza dei quali è stato registrato almeno un incidente stradale tra il 2014 e il 2016

- Tronchi non incidentati: elementi stradali in corrispondenza dei quali non è stato registrato alcun incidente nel triennio 2014-2016

Quota media del tronco stradale

I tronchi stradali con quote più basse sono stati considerati come più vulnerabili da un punto di vista idraulico, come per gli attraversamenti, inoltre la maggior parte dei tratti stradali incidentati è caratterizzato da bassi valori di altimetria come mostrato nel grafico in Figura 5.2. Più del 60% dei tronchi incidentati è concentrato nel 30% degli elementi potenzialmente allagabili caratterizzati dalle quote minori. La distribuzione risulta non omogenea e presenta una spiccata densità di tronchi incidentati nelle aree a bassa altitudine e una marcata concentrazione di elementi non incidentati nelle zone ad altitudine maggiore.

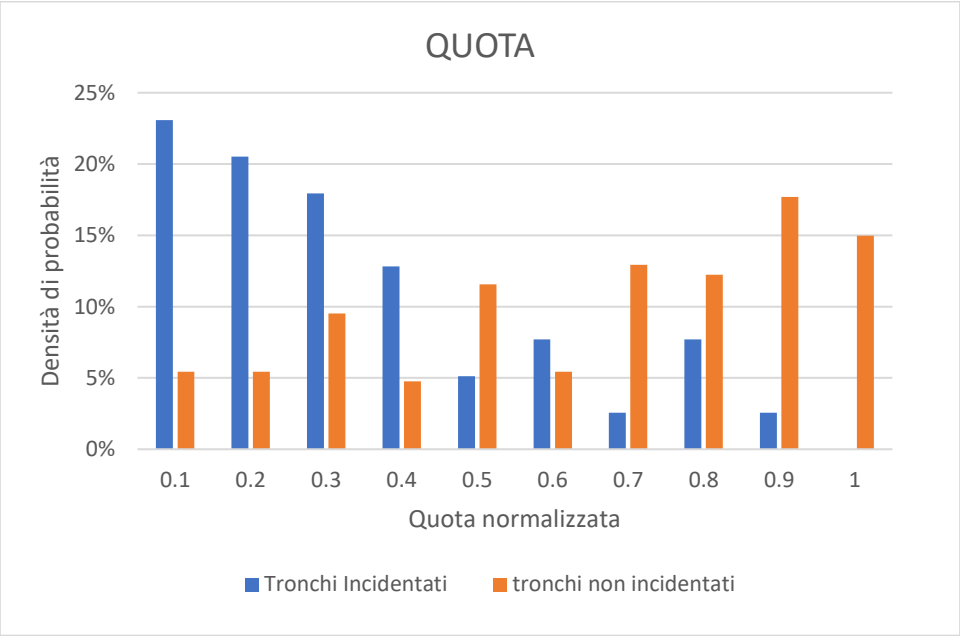


Figura 5.2 - Distribuzione dei valori di altitudine normalizzata dei tronchi incidentati e non incidentati. Le colonne blu rappresentano la distribuzione dei valori relativi ai tronchi incidentati, le colonne arancioni rappresentano i valori relativi ai tronchi non incidentati.

Per questo fattore l'indice di normalizzazione è stato calcolato utilizzando la Formula 1 relativa ai parametri per i quali gli elementi di interesse si concentrano tra i valori più bassi, per cui a valori minori di altitudine corrispondono valori minori di indice di normalizzazione.

Pendenza massima locale nell'intorno del tronco

Per quanto riguarda la pendenza nell'intorno dell'elemento, nell'analisi della suscettibilità idraulica dei tronchi stradali, è stata valutata in modo diverso rispetto all'applicazione sugli attraversamenti. In questo caso la pendenza nell'intorno della sezione è stata analizzata in relazione alla presenza o meno di un corso d'acqua parallelamente alla sede stradale. Nel caso in cui il tronco stradale si trovi in una condizione di parallelismo con un'asta fluviale la pendenza nell'intorno del tronco gioca un ruolo

fondamentale nella suscettibilità al rischio idraulico dell'infrastruttura, soprattutto in relazione all'aumento del rischio di erosione spondale. La presenza di pendii adiacenti al corso d'acqua può determinare un effetto di confinamento dell'onda di piena in caso di eventi metereologici estremi con conseguente aumento del rischio idrogeologico. Gli elementi stradali paralleli ad un'asta fluviale sono stati considerati a maggiore suscettibilità nel caso di pendenze elevate nell'intorno dell'elemento; a tali pendenze è stato assegnato un indice di normalizzazione calcolato con la Formula 2 relativa ai parametri per i quali gli elementi interessati si concentrano su valori elevati. Il grafico seguente in Figura 5.3 mostra la distribuzione dei valori di pendenza normalizzati; è possibile notare un picco di densità nel 10 % dei tronchi a pendenza più bassa e nei valori centrali (0.6) tra i tronchi incidentati. La maggior parte dei tronchi incidentati concentrati tra le pendenze minori non è parallelo a nessun corso d'acqua, al contrario quelli corrispondenti ai valori normalizzati nell'intorno 0.5-0.6 sono tutti adiacenti ad aste fluviali.

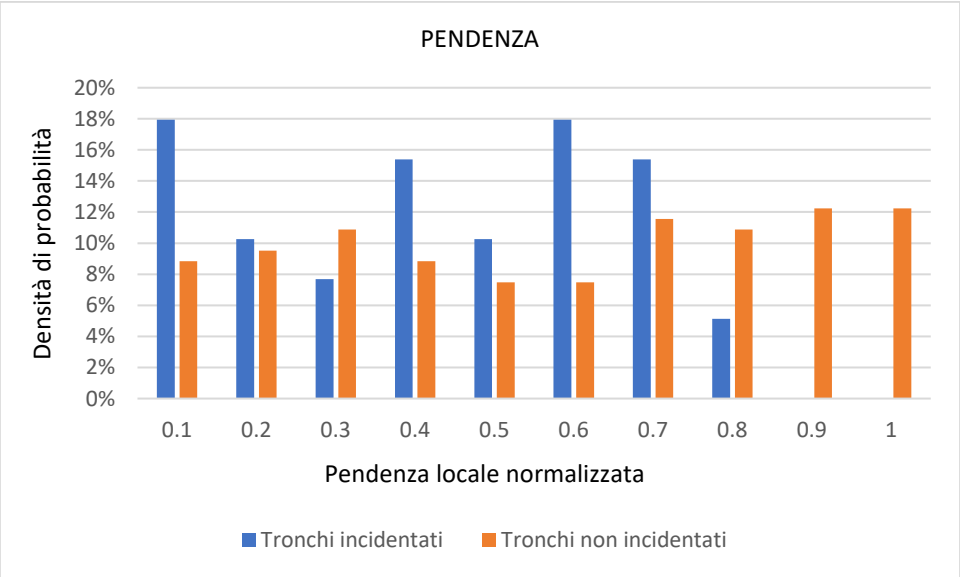


Figura 5.3 – Distribuzione dei valori di pendenza locale normalizzata dei tronchi incidentati e non incidentati. Le colonne blu rappresentano la distribuzione dei valori relativi ai tronchi incidentati, le colonne arancioni rappresentano i valori relativi ai tronchi non incidentati.

Area dei bacini idrografici a monte dei tronchi stradali

Per quanto riguarda l'area dei bacini idrografici a monte dei tratti stradali sono stati esaminati quei bacini sottesi dall'attraversamento più vicino all'elemento in esame. Nel caso in cui il tronco in esame fosse equidistante da due attraversamenti è stato considerato il bacino più esteso e quando possibile grazie ad una pendenza marcata in direzione longitudinale rispetto al tratto stradale si è optato per il bacino a monte. Dal grafico in Figura 5.4 si evince che anche per questo parametro la distribuzione non è omogenea, bensì oltre il 50% dei tratti incidentati è concentrato nel 30% dei tronchi verso i quali defluiscono i bacini più estesi. In questo caso è stata utilizzata la Formula 2 per il calcolo

dell'indice di normalizzazione di conseguenza a valori maggiori del parametro corrispondono valori minori dell'indice.

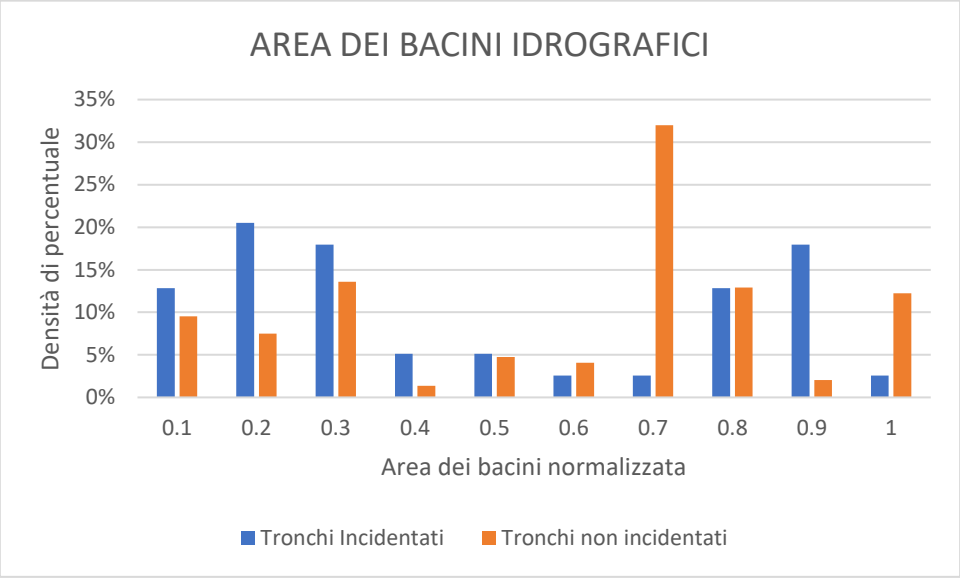


Figura 5.4 – Distribuzione dei valori di area dei bacini idrografici a monto normalizzata dei tronchi incidentati e non incidentati. Le colonne blu rappresentano la distribuzione dei valori relativi ai tronchi incidentati, le colonne arancioni rappresentano i valori relativi ai tronchi non incidentati.

5.3. Classificazione dei tronchi stradali

Per calibrare le soglie da applicare successivamente al set completo di infrastrutture incidentate è stato utilizzato il modello di classificazione esposto nel paragrafo 2 del capitolo 1. Tale modello individua quattro classi di suscettibilità idraulica sulla base delle percentuali degli elementi di interesse, concentrati in determinati intervalli di valori dell'indice di normalizzazione. Nello specifico, per incrociare la suscettibilità idraulica con il tasso di incidentalità i tronchi sono stati classificati sulla base dei parametri di suscettibilità idraulica tenendo conto, però, del numero di tronchi incidentati:

- Classe di suscettibilità 1: contiene il 20% dei tronchi incidentati e il minor numero di tronchi non incidentati, è la classe a suscettibilità elevata;
- Classe di suscettibilità 2: contiene un ulteriore 30% dei tronchi incidentati, è la classe a suscettibilità media;
- Classe di suscettibilità 3: contiene il 50% dei tronchi non incidentati, è la classe a suscettibilità bassa;
- Classe di suscettibilità 4: contiene solo tronchi non incidentati, è la classe a suscettibilità molto bassa.

Per incrementare l'efficienza di selezione gli indici sono stati combinati con i connettivi logici "*and*" e "*or*". Come nel modello applicato agli attraversamenti il connettivo "and" è risultato essere più adatto per definire le classi a suscettibilità maggiore rispetto al connettivo "or". Dal grafico in Figura 5.5 è possibile osservare l'andamento della percentuale di tronchi incidentati in funzione dei valori normalizzati combinati con i due connettivi.

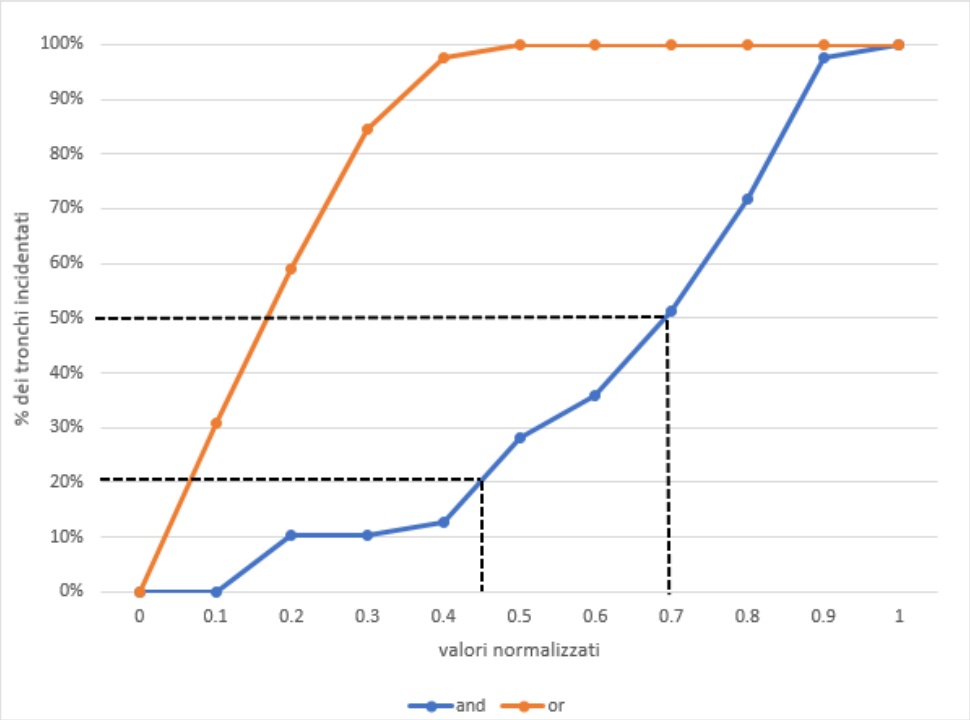


Figura 5.5 – Andamento della distribuzione degli elementi incidentati in relazione ai valori normalizzati combinati con i connettivi "and" (linea blu) e "or" (linea arancione).

Il valore di soglia relativo alla prima classe, quindi al 20% degli elementi incidentati, risulta essere 0.44 con l'utilizzo del connettivo "and", il valore di soglia relativo alla seconda classe, 50% degli elementi, risulta essere 0,7 considerando sempre il connettivo "and". Per quanto riguarda la terza e la quarta classe il connettivo "or" permette più facilmente di identificare la soglia discriminante tra le due in quanto è più immediata l'individuazione della classe priva di tronchi incidentati (la classe quattro), ma in generale le prestazioni di questo connettivo risultano essere molto basse. Utilizzando "or" per definire la terza classe emergono delle incongruenze in quanto la soglia così individuata risulta minore di quella della seconda classe, di conseguenza è stato usato "and" anche per classificare gli elementi a suscettibilità bassa e molto bassa. Nella Tabella 5.1 seguente sono riassunti i criteri di classificazione e le soglie ottenute per ogni classe di suscettibilità.

Tabella 5.1- Criteri di classificazione e soglie per ciascuna classe di suscettibilità

CLASSE	PERCENTUALE	CONNETTIVO	SOGLIA
1	20%	*AND*	0.44
2	30%	*AND*	0.7
3	50%	*AND*	0.9
4	0%		0

I risultati ottenuti dalla classificazione, applicando le soglie a tutti i tronchi della SS 67, del RA 03 e della S.G.C. FI-PI-LI, sono mostrati in Figura 5.6 e in Tabella 5.2.

Tabella 5.2 -Risultati della classificazione dei 186 tronchi stradali

CLASSE	NUMERO	TRONCHI TOTALI
1	19	10%
2	44	24%
3	85	46%
4	38	20%

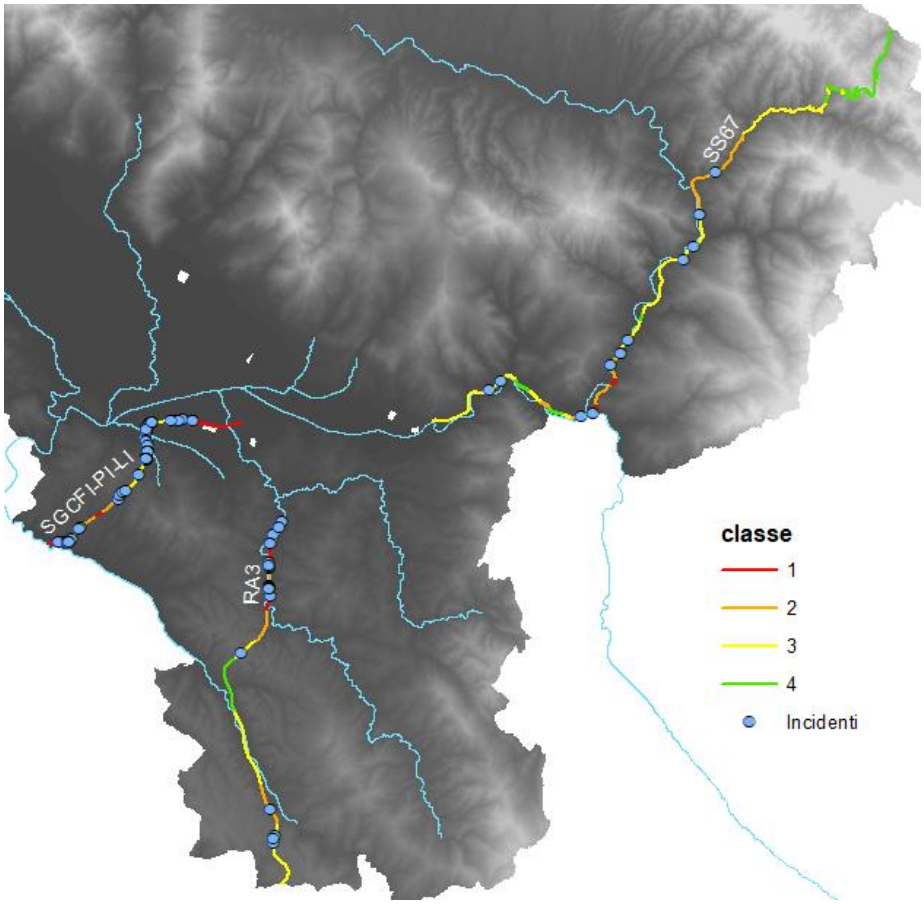


Figura 5.6 – Risultati classificazione fase di calibrazione. I segmenti rossi sono i tronchi appartenenti alla prima classe, quelli arancioni alla seconda, quelli gialli alla terza, quelli verdi alla quarta. I punti blu rappresentano gli incidenti

La fase successiva è stata quella di validazione delle soglie, in questa fase si sono applicate le soglie individuate nella fase di calibrazione, analizzando le tre infrastrutture selezionate, alle restanti strade per cui si sono registrati incidenti.

Le infrastrutture incidentate, 19 in tutto, sono state suddivise in tronchi della lunghezza di 500 m, come nella precedente fase di calibrazione, per ognuno dei quali sono stati calcolati i tre fattori discriminanti (quota, pendenza nell'intorno del tronco ed area del bacino idrografico a monte). Il set finale di tronchi stradali conta 596 elementi dei quali 44 interessati da incidenti stradali tra il 2014 e il 2016. L'analisi dei fattori discriminanti è stata attuata con le stesse modalità della fase di calibrazione (paragrafo 5.2). I risultati sono riportati in Tabella 5.3: la colonna denominata "tronchi totali" riporta le percentuali degli elementi per ciascuna classe di suscettibilità rispetto al numero totale dei tronchi; la colonna relativa ai "tronchi incidentati" riporta le percentuali dei tratti incidentati per ogni classe rispetto al numero totale degli stessi.

Tabella 5.3 – Risultati classificazione nella fase di validazione

	NUMERO TRONCHI TOTALI	PERCENTUALE TRONCHI TOTALI	NUMERO TRONCHI INCIDENTATI	PERCENTUALE TRONCHI INCIDENTATI
CLASSE1	75	13%	7	17%
CLASSE2	187	31%	16	36%
CLASSE3	274	46%	20	45%
CLASSE4	60	10%	1	2%

Il 17% dei tronchi incidentati è classificato a suscettibilità elevata, il 36% è classificato a suscettibilità media, il 45% a suscettibilità bassa e il 2% a suscettibilità molto bassa. Il risultato è rappresentato graficamente in Figura 5.7.

Confrontando i risultati con le percentuali utilizzate per la classificazione nella fase di calibrazione le soglie sembrano essere idonee ad individuare i tronchi incidentati aventi suscettibilità idraulica più elevata (tabella 5.4).

Tabella 5.4 - Confronto tra il modello e i risultati ottenuti dalla fase di validazione

CLASSE	PERCENTUALE MODELLO	PERCENTUALE VALIDAZIONE
1	20%	17%
2	30%	36%
3	50%	45%
4	0%	2%

La Tabella 5.4 esprime le percentuali degli elementi incidentati per ogni classe di suscettibilità imposte nella fase di calibrazione per l'individuazione delle soglie e nella fase di validazione delle suddette.

Le percentuali di selezione degli elementi incidentati caratterizzati da suscettibilità idraulica elevata sono soddisfacenti e congruenti con le percentuali del modello.

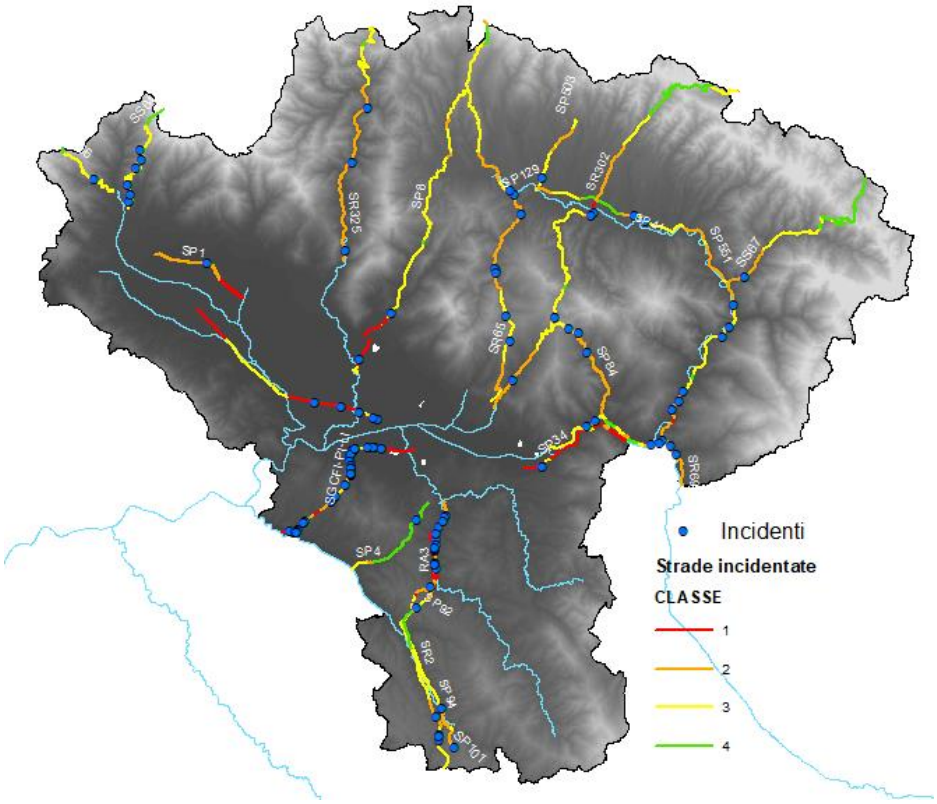


Figura 5.7 – Risultati classificazione della suscettibilità al rischio idraulico dei tronchi stradali, in rosso sono rappresentati i tronchi stradali appartenenti alla prima classe di suscettibilità, in arancione quelli appartenenti alla seconda, in giallo la terza classe e in verde la quarta classe di suscettibilità

5.4. Confronto con le aree a pericolosità idraulica elevata

La suscettibilità idraulica dei tronchi stradali è stata poi confrontata con i livelli di pericolosità idraulica ricavati dalla mappatura dell'Autorità di Bacino. In ambiente Gis sono state individuati gli elementi caratterizzati da pericolosità idraulica elevata tramite la mappa delle aree allagabili per tempi di ritorno inferiori o uguali a 30 anni. Le zone a pericolosità elevata verranno indicate come P3.

In tabella 5.5 sono riassunti i risultati del confronto tra elementi incidentati e P3: solo il 30% degli elementi incidentati appartenenti alla prima classe di suscettibilità idraulica risulta avere una

pericolosità idraulica elevata, lo stesso per il 40% della seconda classe. Nessun elemento incidentato appartenente alle classi di suscettibilità più basse è caratterizzato da pericolosità di livello 3.

Tabella 5.5 - Distribuzione dei tronchi incidentati ricadenti in P3 nelle classi di suscettibilità

	TRONCHI TOTALI	TRONCHI INCIDENTATI	TRONCHI IN P3	INCIDENTATI IN P3
CLASSE1	75	7	28	3
CLASSE2	187	16	29	7
CLASSE3	274	20	32	0
CLASSE4	60	1	4	0

Considerando la classificazione generale le percentuali di elementi in P3 per ogni classe di suscettibilità è pari al 40% per la prima classe, al 13% per la seconda e la terza e all'8% per la quarta. A differenza degli attraversamenti, per i tronchi stradali non emerge una correlazione significativa tra suscettibilità idraulica dei tronchi incidentati e pericolosità idraulica elevata in quanto meno del 50% dei tronchi classificati ad alta suscettibilità è caratterizzato da una pericolosità idraulica di livello 3.

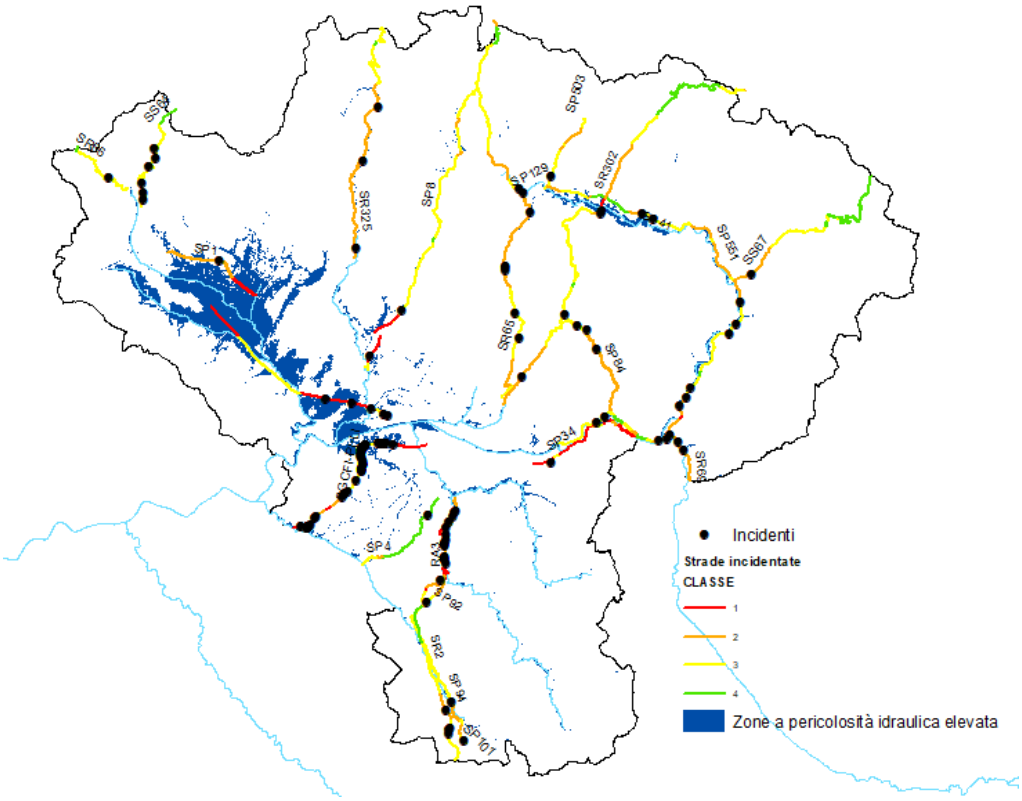


Figura 5.8 - Sovrapposizione tra i tronchi stradali classificati e l'area a pericolosità idraulica elevata. I segmenti in rosso rappresentano i tronchi stradali a suscettibilità idraulica elevata, quelli arancioni rappresentano i tronchi stradali a suscettibilità idraulica media, i segmenti gialli quelli a suscettibilità bassa e i quelli versi rappresentano i tronchi a suscettibilità idraulica molto bassa. L'area in blu rappresenta le zone a pericolosità idraulica elevata secondo la mappatura di pericolosità dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'appennino settentrionale. I punti neri rappresentano gli incidenti.

Applicando le soglie di classificazione della suscettibilità utilizzate nell'analisi degli attraversamenti e valutando successivamente la distribuzione dei tronchi incidentati nelle varie classi di suscettibilità emerge:

- una diminuzione della percentuale di elementi incidentati nelle classi a suscettibilità più alta (11% la prima e 23% la seconda)
- una diminuzione di tronchi totali in classe 1 e in classe 2 (rispettivamente 4% e 22%)
- un aumento dei tronchi classificati a suscettibilità bassa (oltre il 60%)
- un aumento degli elementi caratterizzati da pericolosità idraulica elevata in classe 2 (33%) e in classe 3 (58%), con percentuale pari a zero in classe 4.

I risultati dell'applicazione delle soglie utilizzate per la classificazione degli attraversamenti sono riassunti in Tabella 5.6

Tabella 5.6 – Risultati della classificazione di suscettibilità utilizzando le soglie applicate agli attraversamenti

	TOTALE TRONCHI	TRONCHI INCIDENTATI	TRONCHI IN P3	INCIDENTI/P3
CLASSE1	26	5	8	3
CLASSE2	132	10	31	3
CLASSE3	374	24	54	4
CLASSE4	64	5	0	0

A differenza di quanto ottenuto dalla classificazione degli attraversamenti, il confronto con le aree a pericolosità idraulica elevata non ha restituito risultati particolarmente congruenti sia nel caso in cui vengano calcolate soglie di classificazione sulla base delle percentuali di elementi incidentati aventi determinati valori dei parametri di suscettibilità, sia che vengano applicate le soglie utilizzate per la classificazione precedente.

6. Confronto tra i dati di incidentalità e i dati di precipitazione

Nel seguente capitolo sarà valutata la correlazione tra incidentalità stradale e dati di pioggia tramite la valutazione di alcune caratteristiche che influenzano la stabilità dei veicoli su strada in condizioni di asfalto bagnato o lama d'acqua. L'obiettivo è quello di valutare la suscettibilità dei tronchi stradali al rischio idraulico attraverso l'analisi di caratteristiche proprie dell'infrastruttura e della sua esposizione a precipitazioni più o meno intense. Verrà, quindi, analizzata l'incidentalità dei tronchi stradali in relazione alla variabilità spaziale delle altezze massime di pioggia e ad informazioni relative a caratteristiche strutturali e di utenza delle infrastrutture viarie.

Il procedimento atto ad identificare i tronchi stradali incidentati è lo stesso utilizzato nel Capitolo 5, in questo caso sono state prese in considerazione anche le due autostrade che attraversano il territorio, l'autostrada A1 Milano-Napoli e l'autostrada A11 Firenze-Pisa Nord.

Le infrastrutture analizzate, 24 in totale, sono state quindi suddivise in tronchi lunghi 500 m per un totale di 989 elementi, di questi ne sono stati selezionati 166 in quanto incidentati almeno una volta secondo il catalogo fornito dalla facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze. Il totale degli incidenti registrati nell'area in esame conta 289 elementi distribuiti su 166 tronchi stradali.

Individuati gli elementi incidentati per ognuno di essi è stata valutata la pendenza locale del tratto stradale in esame e la velocità media di percorrenza del tronco. Le informazioni relative alle infrastrutture sono state incrociate con le curve di possibilità pluviometrica dell'area in esame.

Pendenza del tronco stradale

La pendenza della sede stradale può influenzare l'instabilità del veicolo in condizioni di pavimentazione sommersa o bagnata. Un veicolo su strada investito da una corrente si destabilizza all'aumentare della pendenza della sede stradale a parità di velocità della corrente e di altezza del livello d'acqua (Xia et al. 2013) [5]. L'instabilità del veicolo aumenta proporzionalmente alla pendenza stradale a causa della diminuzione della forza di attrito tra veicolo e infrastruttura dovuta all'incremento dell'angolo rispetto all'orizzontale e alla conseguente ripartizione della forza peso del veicolo in due componenti. Contemporaneamente al decremento della forza di attrito, aumenta la componente parallela della forza di drag che causa lo slittamento del veicolo. Pendenze elevate del tratto stradale, inoltre, causano l'aumento della velocità della corrente d'acqua che può raggiungere gradienti anche molto elevati.

La pendenza del tratto stradale è stata calcolata assegnando i valori del raster delle pendenze ottenuto con il comando "Slope" in Arcmap a partire dal raster DTM.

Curva di possibilità pluviometrica

La curva di possibilità pluviometrica mette in relazione le altezze di precipitazione e la loro durata assegnato un determinato tempo di ritorno. All'interno della stessa area omogenea la distribuzione di probabilità dei valori massimi annui delle altezze di precipitazione corrispondenti ad una durata t rimane invariata a meno di un termine sito specifico rappresentato dalla grandezza indice μ_t, come espresso dalla Formula 3:

$$h_{t,T} = \mu_t K_T \tag{3}$$

Dove $h_{t,T}$ è l'altezza di precipitazione relativa alla durata t presa in considerazione e K_T è la curva di crescita che esprime la variazione dell'altezza di precipitazione in funzione del tempo di ritorno T, è unico per tutta la regione omogenea e dipende dalla distribuzione di probabilità utilizzata. La grandezza indice è espressa dalla seguente formula:

$$\mu_t = at^n \tag{4}$$

Dove a ed n sono coefficienti che dipendono dal periodo di ritorno. Considerando un unico K_T per l'area pressa in esame, l'altezza di precipitazione relativa alla durata t per assegnato tempo di ritorno può essere ricondotta alla Formula 4. Considerando, inoltre, precipitazioni di durata unitaria (1 ora) la massima altezza di pioggia è rappresentata dal coefficiente a espresso in mm/h e dipendente dal sito di interesse e dal tempo di ritorno. Analizzare la variabilità spaziale di a equivale ad analizzare la variabilità dell'altezza massima di pioggia di durata unitaria per un determinato tempo di ritorno.

I valori del coefficiente a sono stati forniti dall'università di Firenze (Caporali et al., 2014)* [6] in formato raster con risoluzione pari ad 1 km. Tale parametro è stato calcolato a partire da valori annui di pioggia massima giornaliera di durata oraria (1, 3, 6, 12, 24 ore) e sub-oraria (15, 20, 30, 45 minuti). Ai fini dell'analisi dell'incidentalità stradale è stato ritenuto opportuno considerare tempi di ritorno brevi, pertanto è stato utilizzato il coefficiente della curva di possibilità pluviometrica relativa ad un periodo di ritorno di 5 anni. In ambiente Gis è stato, quindi, possibile assegnare un valore del coefficiente ad ognuno dei tronchi stradali esaminati.

I valori di pendenza del tronco e di a assegnati a ciascuno dei 166 elementi sono stati classificati in quattro classi per ciascuno dei due parametri. Il metodo di classificazione utilizzato è la classificazione "quantile" di Arcmap che suddivide gli elementi in classi di valori contenenti lo stesso numero di elementi. Questo tipo di classificazione è consigliato per set di elementi uniformi perché aggrega nella stessa classe valori anche molto differenti dato che il criterio si basa sul numero di elementi. I dati di pendenza del tronco non sono uniformi bensì concentrati in determinati intervalli, ma lo scopo della classificazione è unicamente quello di individuare quegli elementi caratterizzati da

*Recentemente Caporali, Lompi e Pampaloni hanno aggiornato l'analisi al periodo 1961-2017

valori bassi di entrambi i parametri, quindi è stato scelto di utilizzare la classificazione quantile nonostante inadatta al tipo di dato analizzato.
Le classi di pendenza del tronco (espressa in percentuale) e di *a* (espresso in mm/h) con i rispettivi intervalli di valore sono elencate in Tabella 6.1 e in Tabella 6.2.

Tabella 6.1 – Classi di pendenza espressa in percentuale

CLASSI DI PENDENZA	INTERVALLI
1	0,78-6,1
2	6,2-17,1
3	17,2-27,4
4	27,5-66,1

Tabella 6.2 - Classi valori di "a"

CLASSI DI “a”	INTERVALLI
1	30-32,5
2	32,6-33,6
3	33,7-35,6
4	35,7-39,9

Classificati i valori dei due parametri sono stati individuati gli elementi incidentati aventi valori di pendenza del tronco e di *a* appartenenti alle due classi minori.

Velocità media

Per caratterizzare i tronchi incidentati pur appartenendo a classi minori dei due parametri sono stati confrontati con i valori di velocità media. L’informazione relativa alla velocità media è stata ricavata dagli elementi dello shapefile del grafo stradale utilizzato per le elaborazioni. Tale file vettoriale è suddiviso in tratti stradali ciascuno dei quali ha, fra gli altri attributi, l’attributo della velocità media che varia da elemento ad elemento e non necessariamente coincide con la velocità massima consentita. Al fine di analizzare l’incidentalità è stato ritenuto più idoneo l’utilizzo della velocità media piuttosto che la velocità massima ammissibile in quanto maggiormente rappresentativo. La velocità ha un ruolo fondamentale nella stabilità del veicolo in movimento in caso di asfalto bagnato o di lama d’acqua, all’aumentare dello spessore della lama d’acqua sulla pavimentazione stradale la velocità di sicurezza (definita come la velocità considerata sicura per un veicolo in movimento in un

determinato spessore d'acqua) diminuisce fino a raggiungere lo zero in corrispondenza di uno spessore di 30 cm (Pregnolato et al., 2016) [7].

Il set finale di dati è costituito dai 166 tronchi stradali con assegnati i relativi valori di pendenza, del coefficiente *a* e della velocità media. In Figura 6.1 sono rappresentati i tratti incidentati in un grafico avente sull'asse delle ascisse i valori di pendenza del tronco espressa in percentuale, sull'asse delle ordinate i valori del coefficiente *a* della curva di possibilità pluviometrica e il colore indicativo della velocità media espressa in km/h. I due rettangoli rappresentano gli insiemi di punti appartenenti alle classi minori per i due parametri contemporaneamente, nello specifico:

- Il rettangolo blu individua gli elementi con valori di pendenza nella prima classe e valori di *a* nella prima o nella seconda classe (gruppo 1);
- Il rettangolo verde individua gli elementi con valori di pendenza appartenenti alla seconda classe e valori di *a* appartenenti alla prima o alla seconda classe (gruppo2).

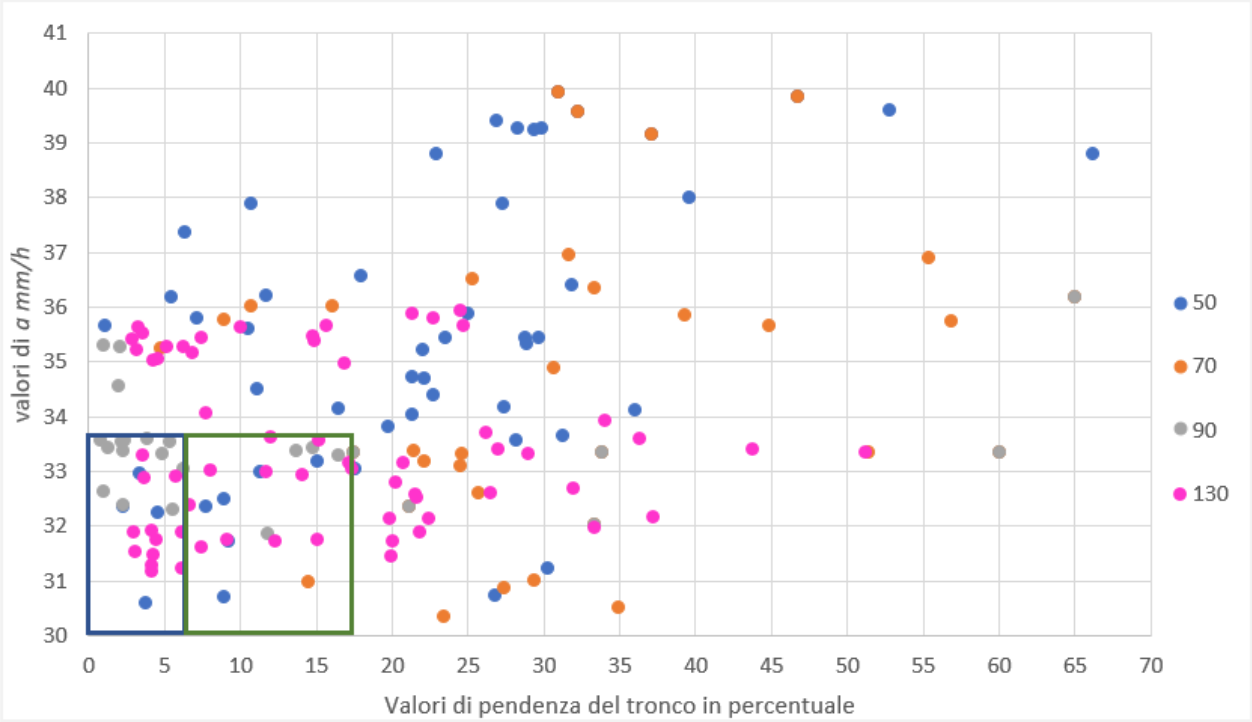


Figura 6.1 - Rappresentazione dei tronchi incidentati: i punti in blu rappresentano gli elementi con velocità media inferiore o uguale a 50 km/h, i punti in arancione gli elementi con velocità media compresa tra 50 km/h e 70 km/h, i punti in grigio rappresentano gli elementi con velocità media compresa tra 70 km/h e 90 km/h e i punti rosa rappresentano gli elementi con velocità media compresa tra 90 km/h e 130 km/h

I valori relativi alla velocità media sono stati suddivisi in classi

- I punti blu rappresentano i tratti stradali caratterizzati da velocità media inferiore o uguale a 50 km/h.

- I punti arancioni rappresentano i tratti stradali caratterizzati da velocità media compresa tra 50 Km/h e 70 km/h
- I punti grigi rappresentano i tronchi stradali con velocità compresa tra 70 km/h e 90 km/h
- I punti rosa rappresentano i tronchi stradali con velocità media compresa tra 90 km/h e 130 km/h.

L'88% dei tronchi stradali compresi nel gruppo 1 (rettangolo blu) presenta una velocità media superiore o uguale a 70 km/h così come il 75% degli elementi presenti nel gruppo 2. I restanti tronchi stradali hanno valori compresi nelle classi più alte per almeno uno dei due parametri (pendenza e coefficiente a) e circa il 60% di questi è caratterizzato da velocità medie inferiori ai 70 km/h.
L'analisi ha quindi evidenziato che la maggior parte degli elementi incidentati, considerando incidenti avvenuti in condizioni metereologiche piovose, caratterizzato da valori bassi di pendenza stradale e coefficiente della curva di possibilità pluviometrica appartiene ad infrastrutture con velocità medie elevate. Più del 50% degli elementi stradali affetti da incidenti appartenenti ad infrastrutture viarie caratterizzate da velocità medie inferiori o uguali a 70 km/h presenta valori elevati per almeno uno dei due parametri tra pendenza locale del tronco e coefficiente *a*.

7. Conclusioni

L'analisi della suscettibilità al rischio idraulico delle infrastrutture stradali ha evidenziato che il modello proposto da E. Gaume, P-A. Versini ed H. Andrieu [1] è robusto per quanto riguarda la classificazione degli attraversamenti, sia in relazione all'efficienza di discriminazione delle soglie sia per quanto concerne il confronto con le aree a pericolosità idraulica elevata.

I risultati hanno evidenziato che, nonostante le approssimazioni relative alle diverse condizioni morfologiche e idrogeologiche, nonché costruttive delle infrastrutture stradali e considerato che gli indici di normalizzazione e le relative soglie non sono proporzionali al range di valori assunti per ciascun parametro all'interno dell'area, è possibile applicare un'analisi di tipo discriminatorio anche in assenza di dati relativi ad eventi alluvionali. L'ulteriore riscontro con le aree a pericolosità idraulica elevata ha confermato la validità della classificazione in quanto le percentuali di elementi classificati a suscettibilità idraulica elevata, quindi potenzialmente allagabili maggiormente, sono caratterizzati da un'alta probabilità di allagamento per portante con tempi di ritorno inferiori a 30 anni.

Per quanto riguarda il confronto tra suscettibilità e incidentalità, il modello ha evidenziato che effettivamente la classificazione sulla base dei parametri di suscettibilità idraulica è correlata con le caratteristiche dei tronchi stradali incidentati in quanto la maggior parte degli elementi coinvolti in almeno un incidente è caratterizzato da valori coerenti con una suscettibilità idraulica elevata. L'analisi ha evidenziato che la maggior parte degli elementi incidentati si trova in aree a bassa quota, nei pressi di attraversamenti caratterizzati da estesi bacini a monte e con pendenze elevate nell'intorno del tratto in esame nel caso in cui la sede stradale sia parallela ad un corso d'acqua. Il fatto che il modello di classificazione basato su valori assunti da specifiche percentuali degli elementi abbia fornito delle soglie più alte rispetto a quelle utilizzate per l'analisi precedente evidenzia che la correlazione non è robusta come nel caso degli attraversamenti. Risultato confermato dal fatto che applicando le soglie utilizzate in precedenza la selezione dei tratti incidentati nelle classi a suscettibilità maggiore si riduce dal 17% all'11% per la prima classe e dal 36% al 23% nella seconda classe, aumentando il numero di elementi incidentati nella classe a suscettibilità minore. Il confronto con le aree a pericolosità maggiore, inoltre, conferma quanto esposto finora poiché solo una percentuale esigua degli elementi incidentati ricade in zone allagabili per tempi di ritorno bassi. Considerando, però, l'incidentalità come indicatore di vulnerabilità dell'infrastruttura, soprattutto nel caso di tratti affetti da più di un incidente, dovuta a fattori di traffico elevato o a caratteristiche strutturali della sede stradale, la combinazione con la suscettibilità al rischio idraulico rende questi elementi dei nodi problematici in caso di eventi metereologici estremi.

Infine, la suscettibilità dei tronchi stradali, analizzata valutando l'esposizione alle precipitazioni, ha evidenziato che i tronchi stradali, sede di incidenti avvenuti in condizioni metereologiche di pioggia,

sono caratterizzati da valori elevati per almeno uno tra i parametri di pendenza della sede stradale, altezza massima di pioggia per durata oraria e velocità media di percorrenza del tratto. Questo risultato è congruente con l'ipotesi per cui pendenza del tratto stradale e velocità influiscano nella stabilità dei veicoli su strada, aumentando la probabilità di incidente anche per altezze di pioggia inferiori.

8. Bibliografia

[1] P.A. Versini, E. Gaume, and H. Andrieu (2010). Assessment of the susceptibility of roads to flooding based on geographical information – test in a flash flood prone area (the Gard region, France). *Natural Hazards and Eearth System Sciences*, 10, 793–803.

[2] Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (2016). Unit of Management: Arno, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – Relazione di Piano

[3] Autorità di Bacino del fiume Arno (2008). Progetto di Piano di Bacino stralcio "Bilancio Idrico" - Relazione di Piano

[4] Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (2014). Unit of Management: Arno, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – Rapporto Preliminare – Valutazione Ambientale Strategica

[5] Xia, J., Falconer, R.A., Xiao, X. *et al.* (2014). Criterion of vehicle stability in floodwaters based on theoretical and experimental studies. *Nat Hazards,* 70**,** 1619–1630.

[6] Caporali, E., Chiarello, V., Rossi, G., 2014. Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme. In Accordo di collaborazione scientifica RT-UNIFI per attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella regione Toscana. Macroattività B - Modellazione idrologica Attività B1: Regionalizzazione precipitazioni. Scientific report (in Italian language).

[7] Maria Pregnolato, Alistair Ford and Richard Dawson (2016). Disruption and adaptation of urban transport networks from flooding. *E3S Web of Conferences, FLOODrisk 2016 - 3rd European Conference on Flood Risk Management.*

[8] Group Annual Report 2015 Munich Re group 2015

[9] Corte dei Conti Europea (2018), Direttiva Alluvioni: progressi nella valutazione dei rischi, ma occorre migliorare la pianificazione e l'attuazione – Relazione Speciale.

[10] C. Arrighi, M. Pregnolato , R.J. Dawson, F. Castelli (2019). Preparedness against mobility disruption by floods. *Science of the Total Environment,* 654, 1010–1022.

9. Allegati

1. ALLEGATO 1 – ELENCO INFRASTRUTTURE

DENOMINAZIONE ESTESA	DENOMINAZIONE BREVE	PROVINCIA	TIPO STRADA
AREA DI SERVIZIO BISENZIO EST	NF	FI	AA
AUTOSATRADA A-1	NF	FI	AA
AUTOSTRADA A.11 FIRENZE-MARE	NF	FI	AA
AUTOSTRADA A1	NF	FI	AA
AUTOSTRADA A1 VARIANTE DI VALICO	A1VARVAL	FI	AA
AUTOSTRADA DEL SOLE A1	NF	FI	AA
AUTOSTRADA FIRENZE-PISA NORD (A11)	A11	FI	AA
AUTOSTRADA MILANO - NAPOLI (A1)	A1	-	AA
DEL RABBI E DEL CAVALLINO(N.9TER)	SP9TER	FI	SP
DELL'ALPE DI CASAGLIA (N.477)	SP477	FI	SP
R.A. SIENA - FIRENZE (N.3)	RA3	FI	AA
S. P. DI COMEANA (N.9)	SP9	PO	SP
S. P. VARIANTE DI COMEANA (N. 9BIS)	SP9BIS	PO	SP
S.P. TRAVERSA DEL MUGELLO (N.551)	SP551	FI	SP
S.P. 1 DI MONTEPIANO (N. 1)	SP1	PO	SP
S.P. 12	NF	FI	SP
S.P. 80	NF	FI	SP
S.P. 92	NF	FI	SP
S.P. ARETINA PER SAN DONATO (N. 1)	SP1	FI	SP
S.P. AUTOSTRADA DECLASSATA (N. 6)	SP6	PO	SP
S.P. BIS DI CARDETOLE (N. 97BIS)	SP97BIS	FI	SP
S.P. CANTAGRILLO BICCIMURRI (N. 28)	SP28	PT	SP
S.P. CANTAGRILLO VERGINE DEI PINI (N. 27)	SP27	PT	SP
S.P. CASTAGNO (N.94)	SP94	-	SP
S.P. CASTAGNO CASORE (N. 49)	SP49	PT	SP
S.P. CASTELLINA IN CHIANTI	NF	FI	SP
S.P. CERTALDESE I	NF	FI	SP
S.P. CERTALDESE I (N. 93)	SP93	FI	SP
S.P. CERTALDO TAVARNELLE (N. 49)	SP49	FI	SP

S.P. CHIANTI VALDARNO (N. 16)	SP16	FI	SP
S.P. CHIANTIGIANA (N. 94)	SP94	FI	SP
S.P. CHIANTIGIANA PER GRASSINA	SP2	FI	SP
S.P. CHIANTIGIANA PER VAL DI GREVE (N. 3)	SP3	FI	SP
S.P. CIPOLLATICO SAN PANCRAZIO (N. 81)	SP81	FI	SP
S.P. DEL BROLLO POGGIO ALLA CROCE (N. 56)	SP56	FI	SP
S.P. DEL CARIGIOLA (N. 2)	SP2	PO	SP
S.P. DEL CASTAGNO (N. 95)	SP95	FI	SP
S.P. DEL FERRONE (N. 71)	SP71	FI	SP
S.P. DEL PALAGIONE (N. 119)	SP119	FI	SP
S.P. DEL PASSO DEL GIOGO (N. 503)	SP503	FI	SP
S.P. DEL VIRGINIO (N. 80)	SP80	FI	SP
S.P. DELLA CASA AL VENTO (N. 102)	SP102	FI	SP
S.P. DELLA NIEVOLE (N. 40)	SP40	PT	SP
S.P. DI BILANCINO (N.131)	SP131	FI	SP
S.P. DI BIVIGLIANO (N. 103)	SP103	FI	SP
S.P. DI CARDETOLE (N. 97)	SP97	FI	SP
S.P. DI COMEANA (N. 45)	SP45	FI	SP
S.P. DI IOLO (N. 7)	SP7	PO	SP
S.P. DI LEGRI E DEL CARLONE (N. 107)	SP107	FI	SP
S.P. DI LONDA - STIA (N.556)	SP556	FI	SP
S.P. DI LUCO O DEL BAGNONE (N. 42)	SP42	FI	SP
S.P. DI LUCOLENA (N. 68)	SP68	FI	SP
S.P. DI MALMANTILE (N. 73)	SP73	FI	SP
S.P. DI MOLIN DEL PIANO (N. 84)	SP84	FI	SP
S.P. DI MONTEBENI (N. 110)	SP110	FI	SP
S.P. DI MONTEPIANO (N. 36)	SP36	FI	SP
S.P. DI PANNA (N. 39)	SP39	FI	SP
S.P. DI PIETRAMARINA (N. 10)	SP10	PO	SP
S.P. DI POMINO (N. 91)	SP91	FI	SP
S.P. DI RONCOBILACCIO (N. 120)	SP120	-	SP
S.P. DI ROSANO (N. 34)	SP34	FI	SP
S.P. DI SAGGINALE (N.41)	SP41	FI	SP
S.P. DI SAN DONATO IN POGGIO (N. 101)	SP101	FI	SP
S.P. DI SCANDICCI (N. 98)	SP98	FI	SP

S.P. DI TESTI (N. 33)	SP33	FI	SP
S.P. DI VALLOMBROSA (N. 85)	SP85	FI	SP
S.P. DI VINCIGLIATA (N. 55)	SP55	FI	SP
S.P. DIRAMAZIONE CASSIA (N. 2 DIR1)	SP2DIR	FI	SP
S.P. GALLIANO SANT'AGATA (N. 37)	SP37	FI	SP
S.P. GREVIGIANA PER MERCATALE (N. 92)	SP92	FI	SP
S.P. IMPRUNETANA (N. 69)	SP69	FI	SP
S.P. IMPRUNETANA PER POZZOLATICO (N. 70)	SP70	FI	SP
S.P. LONDA STIA (N.556)	SP556	AR	SP
S.P. LUCCHESE PER PRATO (N. 5)	SP5	FI	SP
S.P. LUCCHESE PER PRATO (N.5)	SP5	PO	SP
S.P. MASSO RONDINAIO (N.129)	SP129	FI	SP
S.P. MILITARE PER BARBERINO (N. 8)	SP8	FI	SP
S.P. MONTALBANO (N. 9)	SP9	PT	SP
S.P. MONTALBANO BIS (N. 9BIS)	SP9BIS	PT	SP
S.P. MONTALBANO TER (N. 9TER)	SP9TER	PT	SP
S.P. MONTALBANO VECCHIA (N. 9A)	SP9A	PT	SP
S.P. MONTALE - INNESTO SP2 (N. 7)	SP7	PT	SP
S.P. MONTALESE (N. 5)	SP5	PT	SP
S.P. NUOVA MONTALESE (N. 4)	SP4	PO	SP
S.P. PANCA O PANCUCCIA (N. 66)	SP66	FI	SP
S.P. PANORAMICA DI MONTE MORELLO (N. 130)	SP130	FI	SP
S.P. PANZANO TESTALEPRE (N. 118)	SP118	FI	SP
S.P. PISTOIA FEMMINAMORTA (N. 17)	SP17	PT	SP
S.P. PISTOIA RIOLA (N. 24)	SP24	PT	SP
S.P. PRATESE (N. 2)	SP2	PT	SP
S.P. QUARRATA CASALGUIDI (N. 19)	SP19	PT	SP
S.P. QUARRATA CASINI (N. 44)	SP44	PT	SP
S.P. QUARRATA PONTE ALLA TRAVE (N. 6)	SP6	PT	SP
S.P. S.DOMENICO FIESOLE (N.53)	SP53	FI	SP
S.P. SVINCOLO SP7 - AGLIANA (N. 7S)	SP7S	PT	SP
S.P. TANGENZIALE EST DI PISTOIA (N.47)	SP47	PT	SP
S.P. TORRI VOLOGNANO ROSANO (N. 90)	SP90	FI	SP
S.P. TRAVERSA DEL CHIANTI (N. 114C)	114C	FI	SP
S.P. TRAVERSA DEL FERRONE (N. 67)	SP67	FI	SP

S.P. TRAVERSA DI CARMIGNANO (N. 11)	SP11	PO	SP
S.P. TRAVERSA DI PELAGO (N. 83)	SP83	FI	SP
S.P. TRAVERSA DI VAL D'OMBRONE (N. 8)	SP8	PO	SP
S.P. VAL DI PESA (N. 12)	SP12	FI	SP
S.P. VARIANTE PRATESE (N. 1)	SP1	PT	SP
S.P. VECCHIA PISANA (N. 72)	SP72	FI	SP
S.P. VOLTERRANA (N. 4)	SP4	FI	SP
S.R. BRISIGHELLESE RAVENNATE (N. 302)	SR302	FI	SR
S.R. CHIANTIGIANA (N. 222)	SR222	FI	SR
S.R. DELLA CONSUMA (N.70)	SR70	AR	SR
S.R. DELLA FUTA (N. 65)	SR65	FI	SR
S.R. DI VAL D'ARNO (N. 69)	SR69	FI	SR
S.R. DI VAL DI SETTA E VAL DI BISENZIO (N. 325)	SR325	FI	SR
S.R. FIRENZE PISA LIVORNO (S.G.C. FI-PI-LI)	SGCFI-PI-LI	FI	SR
S.R. LUCCHESE (N. 435)	SR435	PT	SR
S.R. PISTOIESE (N. 66)	SR66	FI	SR
S.R. RAMPA PER LA SR66 (N. 66S)	SR66S	PT	SR
S.R. VARIANTE LUCCHESE (N. 435 A)	SR435A	PT	SR
S.R. VIA CASSIA (N.2)	SR2	FI	SR
S.S. 67 - TOSCO-ROMAGNOLA	NF	FI	SS
S.S. PORRETTANA (N. 64)	SS64	PT	SS
S.S. RACCORDO DI PISTOIA (N. 716)	SS716	PT	SS
S.S. TOSCO-ROMAGNOLA (N. 67)	SS67	-	SS
STRADA STATALE 741 BY PASS DEL GALLUZZO	SS741	FI	AA

2. ALLEGATO 2 – CALCOLO INDICE ADIMENSIONALE PER I PARAMENTRI RELATIVI AGLI ATTRAVERSAMENTI

ID	Quota (m slm)	Rango	Indice	Pendenza (gradi)	Rango	Indice	Area bacini (km^2)	Rango	Indice
0	256,16	112	0,90	4,41	42	0,33	12,34	12	0,91
1	205,04	100	0,80	3,80	34	0,27	17,77	26	0,80
2	81,34	55	0,44	13,62	108	0,86	27,68	44	0,65
3	259,70	113	0,90	1,85	6	0,04	15,17	22	0,83
5	284,74	121	0,97	7,11	71	0,57	7,55	2	0,99
6	200,78	97	0,78	5,32	51	0,41	63,91	69	0,45
7	320,11	123	0,98	11,32	100	0,80	9,49	6	0,96
8	232,83	107	0,86	5,76	55	0,44	11,62	9	0,93
9	247,76	111	0,89	9,05	84	0,67	5,36	1	1,00
10	236,83	108	0,86	5,34	52	0,41	26,37	40	0,68
11	244,46	110	0,88	4,98	47	0,37	9,85	7	0,95
12	200,77	96	0,77	3,15	24	0,19	33,63	53	0,58
13	199,13	95	0,76	2,01	11	0,08	18,74	27	0,79
14	179,00	86	0,69	2,07	14	0,11	20,45	32	0,75
15	200,90	98	0,78	9,94	90	0,72	24,58	37	0,71
16	170,00	84	0,67	4,24	39	0,31	19,16	30	0,76
17	171,64	85	0,68	9,29	87	0,69	28,45	45	0,64
18	190,00	90	0,72	3,74	33	0,26	17,61	25	0,80
19	347,12	124	0,99	32,90	123	0,98	33,21	51	0,59
20	212,03	102	0,82	24,05	121	0,97	80,02	73	0,42
21	193,96	94	0,75	22,50	120	0,96	84,62	76	0,39
22	259,82	114	0,91	33,95	124	0,99	27,44	42	0,67
23	119,45	72	0,57	10,72	97	0,78	20,29	31	0,76
24	277,32	119	0,95	25,11	122	0,98	15,50	24	0,81
25	35,36	8	0,06	4,85	45	0,36	46,78	63	0,50
26	34,00	5	0,04	4,85	45	0,36	44,95	62	0,51
27	122,59	73	0,58	12,74	107	0,86	10,49	8	0,94
28	40,00	14	0,11	1,98	10	0,08	14,41	20	0,84
29	62,91	40	0,32	4,07	36	0,29	12,35	13	0,90
30	180,00	87	0,69	4,13	37	0,29	30,13	49	0,61
31	229,00	105	0,84	10,79	98	0,78	37,88	57	0,55

32	231,88	106	0,85	13,92	110	0,88	34,08	54	0,57
33	141,81	77	0,61	13,68	109	0,87	85,02	77	0,39
34	150,86	80	0,64	7,20	75	0,60	81,94	75	0,40
35	101,89	67	0,53	16,11	114	0,91	119,91	90	0,28
36	82,86	58	0,46	21,14	119	0,95	128,63	94	0,25
37	96,96	66	0,53	16,11	113	0,90	122,08	91	0,27
38	92,52	62	0,49	18,91	117	0,94	126,06	93	0,26
39	71,57	46	0,37	7,14	73	0,58	141,25	99	0,21
40	70,00	44	0,35	7,10	70	0,56	141,25	98	0,22
41	68,73	41	0,33	6,81	66	0,53	141,25	100	0,20
42	70,00	44	0,35	7,16	74	0,59	135,05	96	0,23
43	143,02	79	0,63	8,80	81	0,65	40,77	60	0,52
44	81,48	56	0,45	6,50	62	0,49	101,56	86	0,31
45	80,35	52	0,41	11,03	99	0,79	101,60	87	0,31
46	79,00	50	0,40	4,76	43	0,34	109,09	88	0,30
47	88,00	60	0,48	9,17	86	0,69	85,14	78	0,38
48	242,00	109	0,87	18,46	116	0,93	57,67	66	0,47
49	281,93	120	0,96	9,14	85	0,68	26,92	41	0,67
50	261,48	115	0,92	5,64	54	0,43	38,03	58	0,54
51	290,00	122	0,98	3,95	35	0,28	13,97	19	0,85
52	261,92	116	0,93	4,78	44	0,35	11,72	10	0,92
53	262,97	117	0,94	10,61	95	0,76	22,27	35	0,72
54	265,47	118	0,94	3,56	30	0,24	11,91	11	0,92
55	216,98	103	0,82	19,17	118	0,94	63,91	69	0,45
56	192,80	92	0,73	10,21	92	0,73	9,17	4	0,97
57	191,68	91	0,73	10,21	92	0,73	9,17	4	0,97
58	152,58	81	0,65	9,38	88	0,70	89,42	80	0,36
59	141,64	76	0,61	12,06	104	0,83	63,51	67	0,47
60	110,00	69	0,55	16,08	112	0,90	28,59	47	0,63
61	72,21	47	0,37	7,03	69	0,55	56,72	65	0,48
62	96,09	64	0,51	8,98	83	0,66	27,48	43	0,66
63	53,48	36	0,29	7,69	79	0,63	23,87	36	0,71
64	38,22	12	0,09	2,80	20	0,16	41,29	61	0,51
65	49,35	33	0,26	1,40	3	0,02	25,47	38	0,70
66	40,30	17	0,13	7,73	80	0,64	39,99	59	0,53
67	36,00	10	0,08	5,16	48	0,38	12,54	14	0,89

68	80,44	53	0,42	4,21	38	0,30	15,24	23	0,82
69	128,00	74	0,59	9,51	89	0,71	19,06	29	0,77
70	133,48	75	0,60	6,72	64	0,51	19,02	28	0,78
71	118,08	71	0,57	7,49	76	0,61	13,46	18	0,86
72	75,00	49	0,39	3,60	31	0,24	29,34	48	0,62
73	41,00	19	0,15	2,07	13	0,10	14,41	20	0,84
74	44,00	26	0,20	1,72	4	0,03	35,51	56	0,55
75	48,17	30	0,24	14,67	111	0,89	272,70	108	0,14
76	44,75	28	0,22	10,66	96	0,77	297,70	111	0,11
77	34,58	7	0,05	10,30	94	0,75	310,05	113	0,10
78	41,65	21	0,16	10,09	91	0,73	188,35	104	0,17
79	43,00	23	0,18	7,00	68	0,54	179,60	103	0,18
80	35,92	9	0,07	6,77	65	0,52	4768,34	124	0,01
81	28,00	1	0,00	5,25	49	0,39	4415,11	123	0,02
82	56,61	37	0,29	5,83	56	0,45	90,80	82	0,35
83	53,22	35	0,28	5,83	56	0,45	90,80	82	0,35
84	34,31	6	0,04	3,27	25	0,20	294,60	110	0,12
85	69,28	43	0,34	5,26	50	0,40	87,39	79	0,37
86	73,29	48	0,38	2,95	21	0,16	64,39	71	0,43
87	32,04	3	0,02	3,44	27	0,21	423,14	117	0,06
88	102,61	68	0,54	6,84	67	0,53	33,07	50	0,60
89	59,42	39	0,31	2,77	19	0,15	89,69	81	0,35
90	30,42	2	0,01	16,78	115	0,92	477,09	119	0,05
91	188,92	89	0,71	3,10	22	0,17	364,71	116	0,07
92	192,97	93	0,74	2,62	17	0,13	335,30	115	0,08
93	226,53	104	0,83	8,82	82	0,65	152,09	101	0,19
94	153,24	82	0,65	7,67	78	0,62	577,70	120	0,04
95	79,00	50	0,40	6,04	59	0,47	837,48	121	0,03
96	211,80	101	0,81	12,68	105	0,84	225,26	107	0,14
97	202,50	99	0,79	4,33	40	0,32	277,30	109	0,13
98	40,30	16	0,12	1,96	7	0,05	95,95	84	0,33
99	41,00	19	0,15	1,97	9	0,07	95,95	84	0,33
100	36,75	11	0,08	0,78	1	0,00	81,92	74	0,41
101	40,35	18	0,14	1,79	5	0,04	76,32	72	0,43
102	48,79	31	0,24	2,21	15	0,12	34,09	55	0,56
103	47,32	29	0,23	1,97	8	0,06	33,55	52	0,59

104	42,23	22	0,17	2,68	18	0,14	13,33	17	0,87
105	110,11	70	0,56	6,55	63	0,50	174,69	102	0,18
106	142,51	78	0,62	6,48	61	0,49	140,33	97	0,22
107	162,07	83	0,66	5,93	58	0,46	133,46	95	0,24
108	180,67	88	0,70	7,64	77	0,61	119,63	89	0,29
109	96,95	65	0,52	12,00	102	0,82	122,08	92	0,27
110	69,07	42	0,33	12,00	102	0,82	26,37	39	0,69
111	82,37	57	0,45	6,44	60	0,48	3885,18	122	0,02
112	40,26	15	0,12	3,55	29	0,23	193,54	105	0,16
113	32,13	4	0,03	3,44	28	0,22	440,06	118	0,06
114	83,62	59	0,47	3,61	32	0,25	212,75	106	0,15
115	51,62	34	0,27	4,37	41	0,33	302,92	112	0,10
116	49,09	32	0,25	7,11	72	0,57	312,85	114	0,09
117	58,11	38	0,30	5,63	53	0,42	28,46	46	0,63
118	80,90	54	0,43	2,29	16	0,12	7,99	3	0,98
119	44,25	27	0,21	0,91	2	0,01	12,64	16	0,88
120	43,00	23	0,18	3,11	23	0,18	12,63	15	0,88
121	43,96	25	0,20	2,01	12	0,09	50,92	64	0,49
122	39,40	13	0,10	3,41	26	0,20	63,61	68	0,46
123	92,76	63	0,50	12,70	106	0,85	20,54	33	0,74
124	90,14	61	0,49	11,77	101	0,81	21,55	34	0,73

3. ALLEGATO 3 – CLASSIFICAZIONE DEI TRONCHI

ID	Classe	ID	Classe	ID	Classe	ID	Classe
0	3	32	3	63	3	94	3
1	3	33	3	64	2	95	2
2	3	34	3	65	3	96	3
3	3	35	3	66	3	97	3
5	3	36	3	67	3	98	2
6	3	37	3	68	3	99	2
7	4	38	3	69	4	100	2
8	3	39	3	70	3	101	2
9	4	40	2	71	3	102	2
10	3	41	2	72	3	103	3
11	3	42	3	73	3	104	3
12	3	43	3	74	2	105	2
13	3	44	2	75	3	106	3
14	3	45	3	76	3	107	3
15	4	46	2	77	3	108	3
16	3	47	3	78	3	109	3
17	4	48	3	79	2	110	3
18	3	49	4	80	2	111	2
19	4	50	3	81	2	112	1
20	3	51	3	82	2	113	1
21	3	52	3	83	2	114	2
22	4	53	4	84	1	115	2
23	3	54	3	85	2	116	2
24	4	55	3	86	2	117	3
25	2	56	4	87	1	118	3
26	2	57	4	88	3	119	3
27	4	58	3	89	2	120	3
28	3	59	3	90	3	121	2
29	3	60	3	91	3	122	2
30	3	61	2	92	3	123	3
31	3	62	3	93	3	124	3

4. ALLEGATO 4 - CALCOLO INDICE ADIMENSIONALE PER I PARAMENTRI RELATIVI AI TRONCHI STRADALI, FASE DI CALIBRAZIONE.

ID	Pendenza (gradi)	Rango	Indice	Quota (m slm)	Rango	Indice	Area bacini (km^2)	Rango	Indice
1	5,31	22	0,12	50,19	14	0,07	312,85	159	0,12
2	13,20	90	0,48	60,33	16	0,08	312,85	159	0,12
3	12,20	80	0,43	69,43	21	0,11	312,85	159	0,12
4	17,19	117	0,62	74,87	30	0,16	312,85	159	0,12
5	17,45	119	0,64	80,35	37	0,20	312,85	159	0,12
6	16,39	112	0,60	96,67	54	0,29	312,85	159	0,12
7	13,38	92	0,49	107,05	66	0,35	312,85	159	0,12
8	12,60	87	0,46	120,41	73	0,39	312,85	159	0,12
9	13,25	91	0,49	139,03	86	0,46	312,85	159	0,12
10	11,43	73	0,39	153,93	106	0,57	312,85	159	0,12
11	11,94	76	0,40	161,24	110	0,59	28,72	20	0,85
12	11,87	75	0,40	148,07	99	0,53	28,72	20	0,85
13	9,75	55	0,29	152,09	102	0,54	28,72	20	0,85
14	13,97	97	0,52	138,86	85	0,45	28,72	20	0,85
15	15,25	106	0,57	117,28	72	0,38	28,72	20	0,85
16	19,72	125	0,67	97,86	56	0,30	28,72	20	0,85
17	16,15	109	0,58	77,87	33	0,17	28,72	20	0,85
18	8,24	44	0,23	57,31	15	0,08	28,72	20	0,85
19	4,73	20	0,10	43,67	13	0,07	28,72	20	0,85
20	2,65	13	0,07	38,92	6	0,03	28,72	20	0,85
21	1,36	5	0,02	36,82	2	0,01	28,72	20	0,85
22	2,62	12	0,06	40,93	11	0,06	28,72	20	0,85
23	2,43	10	0,05	38,77	5	0,02	28,72	20	0,85
24	0,94	4	0,02	36,07	1	0,00	28,72	20	0,85
25	2,57	11	0,06	40,82	10	0,05	297,70	152	0,18
26	2,67	14	0,07	40,68	9	0,05	297,70	152	0,18
27	1,42	6	0,03	37,85	3	0,01	297,70	152	0,18
28	0,74	1	0,00	38,65	4	0,02	297,70	152	0,18
29	0,77	2	0,01	40,28	7	0,03	297,70	152	0,18
30	3,04	16	0,08	41,58	12	0,06	297,70	152	0,18
31	0,82	3	0,01	40,47	8	0,04	297,70	152	0,18

32	15,90	108	0,58	302,08	148	0,79	140,33	128	0,24
33	12,53	84	0,45	315,38	154	0,82	140,33	128	0,24
34	12,45	82	0,44	306,88	151	0,81	140,33	128	0,24
35	12,96	88	0,47	295,81	147	0,79	140,33	128	0,24
36	12,35	81	0,43	304,33	149	0,80	140,33	128	0,24
37	12,02	78	0,42	308,42	152	0,81	140,33	128	0,24
38	17,03	113	0,60	293,04	145	0,77	140,33	128	0,24
39	17,12	116	0,62	272,76	143	0,76	140,33	128	0,24
40	21,95	129	0,31	256,90	139	0,74	140,33	128	0,24
41	18,16	121	0,35	234,55	134	0,72	140,33	128	0,24
42	17,12	115	0,39	214,86	129	0,69	140,33	128	0,24
43	13,53	93	0,50	199,91	125	0,67	140,33	128	0,24
44	9,34	49	0,74	183,99	119	0,64	140,33	128	0,24
45	6,41	29	0,85	172,36	117	0,62	140,33	128	0,24
46	6,75	32	0,83	164,75	113	0,60	140,33	128	0,24
47	6,97	33	0,83	160,16	109	0,58	140,33	128	0,24
48	7,38	39	0,79	153,47	104	0,55	140,33	128	0,24
49	6,39	28	0,85	151,26	101	0,54	140,33	128	0,24
50	6,05	25	0,87	145,66	97	0,52	140,33	128	0,24
51	7,85	41	0,78	144,12	94	0,50	140,33	128	0,24
52	6,19	26	0,86	143,72	93	0,50	140,33	128	0,24
53	7,06	35	0,82	140,02	87	0,46	140,33	128	0,24
54	6,31	27	0,86	140,15	88	0,47	19,02	1	0,97
55	8,85	46	0,76	140,89	89	0,47	19,02	1	0,97
56	10,76	64	0,66	144,68	96	0,51	19,02	1	0,97
57	12,51	83	0,56	166,73	115	0,61	19,02	1	0,97
58	16,21	110	0,59	184,16	121	0,65	19,02	1	0,97
59	17,27	118	0,63	197,12	124	0,66	19,02	1	0,97
60	18,93	124	0,66	217,73	130	0,69	19,02	1	0,97
61	19,86	126	0,67	235,63	135	0,72	122,08	112	0,48
62	17,09	114	0,61	268,32	141	0,75	122,08	112	0,48
63	23,33	140	0,75	220,60	131	0,70	122,08	112	0,48
64	22,04	131	0,70	203,80	127	0,68	122,08	112	0,48
65	18,70	123	0,66	174,92	118	0,63	122,08	112	0,48
66	12,01	77	0,41	163,31	111	0,59	122,08	112	0,48
67	15,21	105	0,44	144,39	95	0,51	122,08	112	0,48

68	24,21	142	0,24	97,75	55	0,29	126,06	121	0,36
69	14,29	99	0,47	93,70	51	0,27	126,06	121	0,36
70	10,61	62	0,67	95,67	53	0,28	126,06	121	0,36
71	16,22	111	0,41	90,60	48	0,25	128,63	124	0,36
72	22,34	133	0,29	106,21	63	0,34	128,63	124	0,36
73	14,88	101	0,46	102,72	61	0,32	135,05	126	0,30
74	9,67	54	0,71	74,58	28	0,15	135,05	126	0,30
75	9,38	51	0,73	76,17	32	0,17	141,25	150	0,24
76	10,06	59	0,69	74,22	27	0,14	141,25	150	0,24
77	14,76	100	0,47	112,21	69	0,37	122,08	112	0,48
78	12,55	86	0,54	99,52	58	0,31	122,08	120	0,42
79	10,69	63	0,66	72,86	26	0,14	56,72	34	0,79
80	6,99	34	0,82	70,10	23	0,12	56,72	34	0,79
81	10,39	61	0,68	70,09	22	0,12	56,72	34	0,79
82	8,33	45	0,76	69,40	20	0,10	56,72	34	0,79
83	7,37	38	0,80	74,59	29	0,15	56,72	34	0,79
84	11,13	70	0,63	66,98	17	0,09	56,72	34	0,79
85	10,87	67	0,64	68,86	18	0,09	56,72	34	0,79
86	8,87	47	0,75	69,17	19	0,10	56,72	34	0,79
87	6,54	31	0,84	78,33	34	0,18	56,72	34	0,79
88	8,10	42	0,78	81,89	42	0,22	56,72	34	0,79
89	10,03	58	0,69	78,36	35	0,18	56,72	34	0,79
90	11,07	69	0,63	72,45	24	0,13	56,72	34	0,79
91	7,26	37	0,80	72,60	25	0,13	56,72	34	0,79
92	2,28	8	0,96	75,23	31	0,16	56,72	34	0,79
93	1,68	7	0,97	80,07	36	0,19	56,72	34	0,79
94	4,07	18	0,91	83,51	43	0,23	837,48	169	0,06
95	7,11	36	0,81	80,43	38	0,20	837,48	169	0,06
96	12,54	85	0,55	84,24	46	0,24	837,48	169	0,06
97	3,02	15	0,92	81,38	39	0,21	837,48	169	0,06
98	2,32	9	0,95	81,74	40	0,21	837,48	169	0,06
99	4,71	19	0,90	83,69	45	0,24	837,48	169	0,06
100	10,85	66	0,65	81,82	41	0,22	837,48	169	0,06
101	5,73	24	0,87	83,58	44	0,23	837,48	169	0,06
102	6,43	30	0,84	86,86	47	0,25	837,48	169	0,06
103	18,29	122	0,35	124,51	77	0,41	837,48	169	0,06

104	23,06	137	0,27	164,79	114	0,61	837,48	169	0,06
105	10,80	65	0,65	120,66	74	0,39	837,48	169	0,06
106	13,60	94	0,50	107,01	65	0,35	837,48	169	0,06
107	23,15	138	0,26	91,30	49	0,26	837,48	169	0,06
108	11,42	72	0,62	93,05	50	0,27	837,48	169	0,06
109	15,00	102	0,46	94,65	52	0,28	837,48	169	0,06
110	11,74	74	0,61	99,26	57	0,30	837,48	169	0,06
111	15,06	104	0,45	100,79	59	0,31	837,48	169	0,06
112	14,28	98	0,48	101,44	60	0,32	20,29	8	0,91
113	9,87	57	0,70	106,31	64	0,34	20,29	8	0,91
114	8,20	43	0,77	105,98	62	0,33	20,29	8	0,91
115	5,28	21	0,89	109,52	67	0,36	20,29	8	0,91
116	3,36	17	0,91	109,82	68	0,36	20,29	8	0,91
117	5,37	23	0,88	114,31	70	0,37	20,29	8	0,91
118	12,03	79	0,58	117,19	71	0,38	20,29	8	0,91
119	15,01	103	0,45	123,01	76	0,40	20,29	8	0,91
120	9,14	48	0,75	122,28	75	0,40	20,29	8	0,91
121	9,37	50	0,73	135,73	81	0,43	20,29	8	0,91
122	9,62	52	0,72	142,06	92	0,49	20,29	8	0,91
123	9,79	56	0,70	136,64	82	0,44	20,29	8	0,91
124	13,20	89	0,53	130,25	79	0,42	63,51	49	0,73
125	21,98	130	0,31	130,21	78	0,42	63,51	49	0,73
126	21,24	128	0,32	131,67	80	0,43	63,51	49	0,73
127	13,88	96	0,49	136,94	83	0,44	63,51	49	0,73
128	15,38	107	0,43	138,57	84	0,45	63,51	49	0,73
129	10,21	60	0,68	140,97	90	0,48	63,51	49	0,73
130	10,91	68	0,64	141,06	91	0,49	63,51	49	0,73
131	7,81	40	0,79	145,75	98	0,52	63,51	49	0,73
132	11,29	71	0,62	148,81	100	0,53	63,51	49	0,73
133	17,81	120	0,36	152,51	103	0,55	89,42	106	0,55
134	20,07	127	0,32	159,33	108	0,58	89,42	106	0,55
135	13,63	95	0,49	155,56	107	0,57	89,42	106	0,55
136	9,63	53	0,72	153,90	105	0,56	89,42	106	0,55
137	22,57	135	0,28	163,86	112	0,60	89,42	106	0,55
138	26,10	146	0,22	169,17	116	0,62	89,42	106	0,55
139	22,11	132	0,29	184,01	120	0,64	84,62	102	0,61

140	22,54	134	0,28	194,01	122	0,65	84,62	102	0,61
141	22,97	136	0,27	195,01	123	0,66	84,62	102	0,61
142	23,26	139	0,26	203,70	126	0,67	84,62	102	0,61
143	26,47	148	0,21	214,39	128	0,68	80,02	58	0,67
144	28,39	151	0,19	220,79	132	0,71	80,02	58	0,67
145	29,30	153	0,18	232,57	133	0,71	80,02	58	0,67
146	25,68	144	0,23	240,15	136	0,73	80,02	58	0,67
147	25,45	143	0,24	245,49	137	0,73	80,02	58	0,67
148	23,34	141	0,25	250,68	138	0,74	80,02	58	0,67
149	26,01	145	0,23	261,00	140	0,75	80,02	58	0,67
150	29,70	156	0,17	270,56	142	0,76	80,02	58	0,67
151	34,56	173	0,08	283,45	144	0,77	80,02	58	0,67
152	33,20	169	0,10	293,54	146	0,78	80,02	58	0,67
153	33,11	167	0,11	305,68	150	0,80	80,02	58	0,67
154	28,24	150	0,20	313,62	153	0,82	80,02	58	0,67
155	27,65	149	0,20	330,48	155	0,83	80,02	58	0,67
156	29,57	155	0,17	352,00	156	0,83	80,02	58	0,67
157	26,46	147	0,79	386,23	157	0,84	80,02	58	0,67
158	32,06	163	0,87	403,18	158	0,84	80,02	58	0,67
159	34,13	171	0,91	425,91	159	0,85	80,02	58	0,67
160	35,45	177	0,95	465,54	160	0,86	80,02	58	0,67
161	33,74	170	0,91	506,47	161	0,86	80,02	58	0,67
162	35,92	180	0,96	540,64	162	0,87	80,02	58	0,67
163	34,25	172	0,92	581,27	163	0,87	80,02	58	0,67
164	32,37	164	0,88	620,38	164	0,88	80,02	58	0,67
165	35,65	178	0,95	658,24	167	0,89	80,02	58	0,67
166	36,79	181	0,97	693,81	169	0,90	80,02	58	0,67
167	38,90	184	0,98	718,43	170	0,91	80,02	58	0,67
168	36,94	182	0,97	749,13	174	0,93	80,02	58	0,67
169	34,83	175	0,94	782,95	177	0,95	80,02	58	0,67
170	39,43	186	0,99	823,25	179	0,96	80,02	58	0,67
171	33,12	168	0,90	860,30	181	0,97	80,02	58	0,67
172	32,97	166	0,89	889,46	183	0,98	80,02	58	0,67
173	32,72	165	0,88	902,61	186	0,99	80,02	58	0,67
174	31,17	160	0,86	901,08	185	0,99	80,02	58	0,67
175	30,05	158	0,84	892,03	184	0,98	80,02	58	0,67

176	31,90	162	0,87	866,67	182	0,97	80,02	58	0,67
177	31,23	161	0,86	832,66	180	0,96	80,02	58	0,67
178	30,36	159	0,85	801,37	178	0,95	80,02	58	0,67
179	29,36	154	0,82	771,38	176	0,94	80,02	58	0,67
180	29,89	157	0,84	752,65	175	0,94	80,02	58	0,67
181	29,06	152	0,81	744,65	173	0,92	80,02	58	0,67
182	35,09	176	0,94	734,12	172	0,92	80,02	58	0,67
183	35,81	179	0,96	720,83	171	0,91	80,02	58	0,67
184	39,10	185	0,99	691,39	168	0,90	80,02	58	0,67
185	37,41	183	0,98	657,20	166	0,89	80,02	58	0,67
186	34,66	174	0,93	623,14	165	0,88	80,02	58	0,67

5. ALLEGATO 5 – CLASSIFICAZIONE TRONCHI STRDALI, FASE DI CALIBRAZIONE

ID	CLASSE	ID	CLASSE	ID	CLASSE	ID	CLASSE
1	1	48	3	95	3	142	2
2	2	49	3	96	2	143	2
3	1	50	3	97	4	144	2
4	2	51	3	98	4	145	2
5	2	52	3	99	3	146	3
6	2	53	3	100	2	147	3
7	2	54	4	101	3	148	3
8	1	55	4	102	3	149	3
9	2	56	4	103	1	150	3
10	2	57	4	104	2	151	3
11	2	58	4	105	2	152	3
12	2	59	4	106	2	153	3
13	3	60	4	107	1	154	3
14	3	61	3	108	2	155	3
15	3	62	3	109	1	156	3
16	3	63	3	110	2	157	3
17	3	64	2	111	1	158	3
18	3	65	2	112	3	159	4
19	3	66	2	113	3	160	4
20	3	67	2	114	3	161	3
21	3	68	1	115	3	162	4
22	3	69	2	116	4	163	4
23	1	70	2	117	3	164	3
24	1	71	1	118	3	165	4
25	1	72	1	119	3	166	4
26	1	73	1	120	3	167	4
27	1	74	2	121	3	168	4
28	1	75	3	122	3	169	4
29	1	76	2	123	3	170	4
30	1	77	1	124	3	171	4
31	1	78	2	125	3	172	4
32	3	79	3	126	3	173	4
33	3	80	3	127	3	174	4

34	3	81	3	128	3	175	4
35	3	82	3	129	3	176	4
36	3	83	3	130	3	177	4
37	3	84	3	131	3	178	4
38	3	85	3	132	3	179	4
39	3	86	3	133	2	180	4
40	3	87	3	134	2	181	4
41	2	88	3	135	2	182	4
42	2	89	3	136	2	183	4
43	2	90	3	137	2	184	4
44	3	91	3	138	2	185	4
45	3	92	4	139	2	186	4
46	3	93	4	140	2		
47	3	94	3	141	2		

6. ALLEGATO 6 - CALCOLO INDICE ADIMENSIONALE PER I PARAMENTRI RELATIVI AI TRONCHI STRADALI, FASE DI VALIDAZIONE.

ID	Quota (m slm)	Rango	Indice	Pendenza (gradi)	Rango	Indice	Area Bacini (km^2)	Rango	Indice
0	158,56	202	0,34	5,95	143	0,76	28,45	230	0,62
1	189,99	265	0,44	14,30	307	0,49	119,63	386	0,35
2	206,11	302	0,51	3,74	115	0,81	277,30	504	0,16
3	508,85	527	0,88	8,45	184	0,31	28,59	244	0,59
4	58,93	80	0,13	0,55	34	0,06	3885,18	571	0,04
5	42,62	52	0,09	1,15	56	0,09	95,95	376	0,37
6	175,80	231	0,39	13,77	292	0,49	10,49	9	0,99
7	202,29	292	0,49	13,44	286	0,48	27,68	217	0,64
8	151,95	195	0,33	22,89	472	0,79	152,09	421	0,30
9	114,27	152	0,25	10,96	226	0,62	27,48	207	0,65
10	39,11	38	0,06	1,89	71	0,12	46,78	302	0,49
11	133,64	176	0,29	14,64	317	0,53	13,46	35	0,94
12	101,16	139	0,23	27,93	537	0,10	57,67	308	0,48
13	114,01	151	0,25	26,55	522	0,13	57,67	308	0,48
14	127,10	166	0,28	27,12	528	0,12	57,67	308	0,48
15	131,35	172	0,29	33,91	584	0,02	57,67	308	0,48
16	134,42	178	0,30	18,99	404	0,32	57,67	308	0,48
17	130,63	171	0,29	11,20	233	0,61	57,67	308	0,48
18	126,38	165	0,28	15,97	341	0,43	57,67	308	0,48
19	125,09	160	0,27	24,47	498	0,17	57,67	308	0,48
20	129,96	170	0,28	17,05	362	0,39	57,67	308	0,48
21	136,96	179	0,30	12,75	275	0,54	57,67	308	0,48
22	140,34	182	0,30	8,87	186	0,69	57,67	308	0,48
23	150,93	194	0,32	10,88	223	0,63	57,67	308	0,48
24	169,36	220	0,37	13,57	290	0,51	57,67	308	0,48
25	165,29	214	0,36	13,84	294	0,51	57,67	308	0,48
26	163,36	208	0,35	22,86	471	0,21	57,67	308	0,48
27	163,19	207	0,35	18,16	387	0,35	57,67	308	0,48
28	161,49	206	0,34	18,24	389	0,35	57,67	308	0,48
29	170,50	222	0,37	22,06	456	0,24	57,67	308	0,48
30	180,38	246	0,41	22,08	458	0,23	57,67	308	0,48

31	179,55	243	0,41	19,69	419	0,30	57,67	308	0,48
32	176,41	232	0,39	20,11	427	0,28	57,67	308	0,48
33	175,15	229	0,38	24,33	495	0,17	57,67	308	0,48
34	189,65	262	0,44	18,18	388	0,35	57,67	308	0,48
35	191,52	271	0,45	26,25	518	0,13	57,67	308	0,48
36	201,14	290	0,49	25,21	508	0,15	57,67	308	0,48
37	205,19	298	0,50	23,49	485	0,19	57,67	308	0,48
38	208,99	303	0,51	23,59	487	0,18	57,67	308	0,48
39	211,76	305	0,51	28,58	542	0,09	57,67	308	0,48
40	217,75	312	0,52	21,87	452	0,24	57,67	308	0,48
41	223,26	318	0,53	18,32	391	0,35	57,67	308	0,48
42	224,34	323	0,54	24,46	497	0,17	57,67	308	0,48
43	234,28	336	0,56	23,55	486	0,19	57,67	308	0,48
44	249,86	354	0,59	21,90	454	0,24	57,67	308	0,48
45	261,67	372	0,62	21,95	455	0,24	57,67	308	0,48
46	253,06	356	0,60	16,21	346	0,42	57,67	308	0,48
47	259,76	369	0,62	18,55	396	0,66	57,67	308	0,48
48	265,84	383	0,64	23,73	488	0,82	57,67	308	0,48
49	273,17	393	0,66	22,09	459	0,77	57,67	308	0,48
50	295,23	410	0,69	30,53	561	0,94	57,67	308	0,48
51	319,08	432	0,72	31,90	571	0,96	57,67	308	0,48
52	349,20	450	0,75	31,68	568	0,95	57,67	308	0,48
53	377,25	463	0,78	30,18	559	0,94	57,67	308	0,48
54	409,06	482	0,81	29,39	548	0,92	57,67	308	0,48
55	437,47	494	0,83	30,00	554	0,93	57,67	308	0,48
56	469,72	512	0,86	30,10	557	0,93	57,67	308	0,48
57	503,41	525	0,88	25,01	505	0,85	57,67	308	0,48
58	534,79	534	0,89	28,74	543	0,91	57,67	308	0,48
59	559,63	539	0,90	30,62	562	0,94	57,67	308	0,48
60	579,60	542	0,91	33,43	581	0,97	57,67	308	0,48
61	602,60	545	0,91	29,29	547	0,92	57,67	308	0,48
62	620,67	548	0,92	27,19	529	0,89	57,67	308	0,48
63	638,55	553	0,93	25,97	516	0,86	57,67	308	0,48
64	662,73	558	0,93	25,71	513	0,86	57,67	308	0,48
65	687,83	562	0,94	20,33	433	0,73	57,67	308	0,48
66	702,72	565	0,95	13,01	280	0,47	57,67	308	0,48

67	35,57	17	0,03	1,78	70	0,12	46,78	302	0,49
68	34,57	15	0,02	1,06	53	0,09	46,78	302	0,49
69	36,09	20	0,03	3,74	114	0,19	310,05	505	0,15
70	35,96	19	0,03	2,18	79	0,13	310,05	505	0,15
71	37,61	31	0,05	2,61	88	0,15	310,05	505	0,15
72	34,21	12	0,02	0,29	14	0,02	310,05	505	0,15
73	34,25	14	0,02	0,72	39	0,06	310,05	505	0,15
74	33,89	8	0,01	0,34	23	0,04	310,05	505	0,15
75	33,94	9	0,01	0,47	32	0,05	310,05	505	0,15
76	33,15	5	0,01	0,67	37	0,06	440,06	563	0,06
77	34,00	10	0,02	0,38	27	0,04	440,06	563	0,06
78	33,73	7	0,01	0,24	9	0,01	440,06	563	0,06
79	34,00	10	0,02	0,32	19	0,03	440,06	563	0,06
80	33,41	6	0,01	1,53	66	0,11	440,06	563	0,06
81	34,22	13	0,02	2,17	78	0,87	440,06	563	0,06
82	41,11	47	0,08	4,67	125	0,79	440,06	563	0,06
83	36,66	26	0,04	3,17	99	0,83	12,54	29	0,95
84	36,22	22	0,04	1,42	61	0,90	12,54	29	0,95
85	36,76	27	0,04	0,93	46	0,92	12,54	29	0,95
86	36,25	23	0,04	1,19	59	0,90	12,54	29	0,95
87	36,19	21	0,03	2,01	73	0,88	81,92	363	0,39
88	37,45	30	0,05	1,42	62	0,90	81,92	363	0,39
89	36,63	25	0,04	1,01	49	0,92	81,92	363	0,39
90	36,39	24	0,04	0,72	40	0,93	81,92	363	0,39
91	37,25	29	0,05	1,05	52	0,91	81,92	363	0,39
92	38,00	32	0,05	1,04	51	0,92	81,92	363	0,39
93	38,00	33	0,05	1,73	69	0,11	81,92	363	0,39
94	38,37	34	0,06	1,03	50	0,08	81,92	363	0,39
95	38,38	35	0,06	0,93	47	0,08	81,92	363	0,39
96	38,62	36	0,06	0,24	6	0,01	81,92	363	0,39
97	39,11	37	0,06	0,29	13	0,02	81,92	363	0,39
98	40,00	39	0,06	0,20	3	0,00	81,92	363	0,39
99	40,33	42	0,07	0,23	5	0,01	81,92	363	0,39
100	36,79	28	0,05	5,41	138	0,77	440,06	563	0,06
101	35,56	16	0,03	7,64	167	0,72	12,54	29	0,95
102	35,89	18	0,03	3,78	117	0,80	12,54	29	0,95

103	41,84	49	0,08	0,90	43	0,07	95,95	376	0,37
104	41,68	48	0,08	0,91	44	0,07	95,95	376	0,37
105	40,63	44	0,07	0,00	1	0,00	95,95	376	0,37
106	40,69	45	0,07	0,32	18	0,03	95,95	376	0,37
107	40,07	40	0,07	0,41	29	0,05	95,95	376	0,37
108	40,38	43	0,07	0,41	30	0,05	12,34	25	0,96
109	40,16	41	0,07	0,40	28	0,05	95,95	376	0,37
110	40,84	46	0,08	0,33	20	0,03	95,95	376	0,37
111	42,07	50	0,08	0,34	21	0,03	95,95	376	0,37
112	42,16	51	0,08	0,35	24	0,04	95,95	376	0,37
113	43,00	53	0,09	0,26	11	0,02	25,47	177	0,70
114	43,00	53	0,09	0,25	10	0,02	25,47	177	0,70
115	43,00	53	0,09	0,31	16	0,03	25,47	177	0,70
116	43,89	61	0,10	0,24	7	0,01	25,47	177	0,70
117	43,83	60	0,10	0,23	4	0,01	25,47	177	0,70
118	43,95	62	0,10	0,27	12	0,02	25,47	177	0,70
119	43,81	59	0,10	0,24	8	0,01	25,47	177	0,70
120	50,34	74	0,12	0,68	38	0,06	25,47	177	0,70
121	50,70	76	0,13	0,75	41	0,07	25,47	177	0,70
122	49,87	72	0,12	0,53	33	0,05	25,47	177	0,70
123	47,52	71	0,12	0,36	25	0,04	25,47	177	0,70
124	46,10	69	0,11	0,36	26	0,04	25,47	177	0,70
125	45,01	66	0,11	0,32	17	0,03	25,47	177	0,70
126	44,72	64	0,11	0,46	31	0,05	25,47	177	0,70
127	44,01	63	0,10	0,34	22	0,04	25,47	177	0,70
128	49,88	73	0,12	0,60	36	0,06	25,47	177	0,70
129	53,23	77	0,13	1,33	60	0,10	25,47	177	0,70
130	160,66	205	0,34	18,43	393	0,66	13,46	35	0,94
131	189,58	261	0,44	17,61	375	0,63	13,46	35	0,94
132	203,27	294	0,49	12,35	261	0,44	13,46	35	0,94
133	235,70	337	0,56	15,81	336	0,56	13,46	35	0,94
134	267,30	384	0,64	18,70	398	0,67	13,46	35	0,94
135	292,09	407	0,68	18,11	386	0,65	13,46	35	0,94
136	318,82	431	0,72	22,13	460	0,77	13,46	35	0,94
137	348,93	449	0,75	21,90	453	0,76	13,46	35	0,94
138	383,91	471	0,79	26,73	525	0,88	13,46	35	0,94

139	414,99	485	0,81	29,27	546	0,91	13,46	35	0,94
140	442,35	497	0,83	24,47	499	0,84	13,46	35	0,94
141	467,71	510	0,85	23,88	489	0,82	13,46	35	0,94
142	494,76	522	0,87	21,36	448	0,75	13,46	35	0,94
143	526,17	531	0,89	25,89	514	0,86	13,46	35	0,94
144	553,34	536	0,90	25,96	515	0,86	13,46	35	0,94
145	576,78	541	0,91	23,19	479	0,80	13,46	35	0,94
146	604,10	546	0,91	22,97	474	0,79	13,46	35	0,94
147	626,31	551	0,92	23,08	476	0,80	13,46	35	0,94
148	656,12	554	0,93	24,61	501	0,84	13,46	35	0,94
149	684,00	561	0,94	26,89	527	0,88	13,46	35	0,94
150	708,24	566	0,95	23,45	484	0,81	13,46	35	0,94
151	733,76	572	0,96	26,26	520	0,87	13,46	35	0,94
152	759,80	578	0,97	31,84	570	0,95	13,46	35	0,94
153	818,42	586	0,98	26,11	517	0,87	13,46	35	0,94
154	928,96	596	1,00	30,10	556	0,93	13,46	35	0,94
155	0,00	1	0,00	33,87	583	0,98	13,46	35	0,94
156	43,28	57	0,09	3,03	97	0,84	188,35	487	0,18
157	43,59	58	0,10	2,75	91	0,85	188,35	487	0,18
158	45,18	67	0,11	2,47	83	0,14	188,35	487	0,18
159	45,40	68	0,11	1,18	58	0,10	188,35	487	0,18
160	43,28	56	0,09	0,30	15	0,02	188,35	487	0,18
161	44,83	65	0,11	1,47	64	0,11	188,35	487	0,18
162	46,73	70	0,12	1,53	65	0,11	188,35	487	0,18
163	50,35	75	0,12	1,44	63	0,10	188,35	487	0,18
164	58,33	79	0,13	2,70	90	0,15	212,75	495	0,17
165	53,97	78	0,13	0,60	35	0,06	212,75	495	0,17
166	63,42	84	0,14	8,43	183	0,31	212,75	495	0,17
167	70,75	97	0,16	6,95	152	0,25	212,75	495	0,17
168	66,76	88	0,15	3,56	106	0,18	212,75	495	0,17
169	78,71	113	0,19	9,53	197	0,33	21,55	110	0,82
170	84,76	120	0,20	13,92	298	0,50	21,55	110	0,82
171	88,41	127	0,21	20,79	441	0,26	21,55	110	0,82
172	87,53	125	0,21	19,68	417	0,30	21,55	110	0,82
173	89,15	128	0,21	11,73	248	0,59	21,55	110	0,82
174	94,66	134	0,22	7,35	162	0,73	21,55	110	0,82

175	107,49	146	0,24	8,92	188	0,69	21,55	110	0,82
176	126,33	164	0,27	12,52	265	0,56	21,55	110	0,82
177	116,67	154	0,26	12,69	272	0,54	21,55	110	0,82
178	120,92	158	0,26	11,27	237	0,60	21,55	110	0,82
179	133,12	175	0,29	13,28	284	0,52	21,55	110	0,82
180	148,26	189	0,32	22,17	461	0,23	21,55	110	0,82
181	157,33	199	0,33	23,22	481	0,19	21,55	110	0,82
182	181,74	249	0,42	27,34	532	0,11	21,55	110	0,82
183	204,00	296	0,50	20,33	432	0,28	22,27	124	0,79
184	205,42	299	0,50	20,92	442	0,74	22,27	124	0,79
185	247,97	353	0,59	33,02	578	0,97	22,27	124	0,79
186	298,22	416	0,70	27,34	531	0,89	22,27	124	0,79
187	343,26	446	0,75	25,11	507	0,85	22,27	124	0,79
188	377,33	464	0,78	16,76	356	0,60	22,27	124	0,79
189	405,67	480	0,80	16,97	358	0,60	22,27	124	0,79
190	418,50	486	0,81	14,75	320	0,54	22,27	124	0,79
191	399,45	477	0,80	20,16	429	0,72	22,27	124	0,79
192	379,11	468	0,78	20,15	428	0,72	22,27	124	0,79
193	352,27	455	0,76	14,28	306	0,51	22,27	124	0,79
194	310,33	427	0,72	11,06	229	0,38	22,27	124	0,79
195	297,22	413	0,69	9,83	199	0,33	22,27	124	0,79
196	297,47	415	0,69	21,06	445	0,75	22,27	124	0,79
197	298,22	417	0,70	22,42	465	0,78	22,27	124	0,79
198	282,74	400	0,67	19,73	421	0,70	22,27	124	0,79
199	264,43	378	0,63	12,63	271	0,45	22,27	124	0,79
200	257,19	365	0,61	10,24	206	0,34	22,27	124	0,79
201	264,70	380	0,64	4,82	128	0,21	22,27	124	0,79
202	263,99	376	0,63	5,54	139	0,23	12,34	25	0,96
203	259,67	368	0,62	3,17	100	0,17	12,34	25	0,96
204	260,78	370	0,62	0,00	1	0,00	38,03	271	0,55
205	261,29	371	0,62	2,56	86	0,14	38,03	271	0,55
206	262,62	373	0,62	4,82	126	0,79	38,03	271	0,55
207	267,76	386	0,65	2,79	92	0,85	38,03	271	0,55
208	274,93	395	0,66	4,96	129	0,78	38,03	271	0,55
209	283,11	401	0,67	6,18	145	0,76	38,03	271	0,55
210	300,66	420	0,70	12,52	264	0,56	38,03	271	0,55

211	321,79	435	0,73	15,03	328	0,45	38,03	271	0,55
212	341,61	444	0,74	16,04	343	0,43	38,03	271	0,55
213	361,39	460	0,77	21,28	447	0,25	38,03	271	0,55
214	380,28	469	0,79	25,51	511	0,14	38,03	271	0,55
215	400,52	478	0,80	27,31	530	0,11	38,03	271	0,55
216	419,92	487	0,82	25,26	509	0,15	38,03	271	0,55
217	439,10	495	0,83	20,02	425	0,29	38,03	271	0,55
218	460,09	506	0,85	19,48	416	0,30	38,03	271	0,55
219	482,44	515	0,86	15,92	339	0,57	38,03	271	0,55
220	186,64	257	0,43	17,71	378	0,63	13,46	35	0,94
221	223,71	319	0,53	18,90	401	0,67	13,46	35	0,94
222	264,64	379	0,63	19,85	422	0,71	13,46	35	0,94
223	306,05	425	0,71	26,70	524	0,88	13,46	35	0,94
224	345,57	448	0,75	23,95	491	0,82	13,46	35	0,94
225	379,06	467	0,78	30,16	558	0,93	13,46	35	0,94
226	414,61	484	0,81	31,49	565	0,95	13,46	35	0,94
227	452,43	502	0,84	31,67	567	0,95	13,46	35	0,94
228	493,03	519	0,87	30,90	564	0,94	13,46	35	0,94
229	535,60	535	0,90	30,76	563	0,94	13,46	35	0,94
230	570,32	540	0,90	27,37	533	0,89	13,46	35	0,94
231	605,51	547	0,92	20,64	438	0,73	13,46	35	0,94
232	637,99	552	0,92	23,09	477	0,80	13,46	35	0,94
233	677,89	559	0,94	22,81	469	0,79	13,46	35	0,94
234	714,72	567	0,95	22,32	464	0,78	13,46	35	0,94
235	731,95	571	0,96	22,22	462	0,77	13,46	35	0,94
236	753,90	575	0,96	18,04	384	0,64	13,46	35	0,94
237	173,75	227	0,38	12,81	277	0,46	10,49	9	0,99
238	176,50	233	0,39	13,84	295	0,49	10,49	9	0,99
239	191,22	270	0,45	13,19	282	0,47	10,49	9	0,99
240	179,29	241	0,40	17,89	381	0,64	10,49	9	0,99
241	199,08	285	0,48	19,39	414	0,69	10,49	9	0,99
242	213,18	308	0,52	9,03	191	0,32	10,49	9	0,99
243	225,41	327	0,55	10,19	205	0,34	10,49	9	0,99
244	215,77	310	0,52	13,46	287	0,48	10,49	9	0,99
245	185,37	256	0,43	13,74	291	0,49	10,49	9	0,99
246	169,85	221	0,37	15,03	329	0,45	10,49	9	0,99

247	159,78	203	0,34	17,34	366	0,39	10,49	9	0,99
248	138,94	181	0,30	13,82	293	0,51	10,49	9	0,99
249	126,09	162	0,27	11,49	243	0,59	10,49	9	0,99
250	119,34	156	0,26	11,40	239	0,60	10,49	9	0,99
251	111,92	150	0,25	9,99	203	0,66	10,49	9	0,99
252	107,38	145	0,24	8,08	174	0,71	212,75	495	0,17
253	101,00	138	0,23	6,99	153	0,74	212,75	495	0,17
254	94,72	135	0,23	5,07	133	0,78	212,75	495	0,17
255	81,85	117	0,20	3,45	103	0,83	212,75	495	0,17
256	145,99	186	0,31	8,29	179	0,70	19,06	84	0,86
257	148,08	188	0,31	8,11	178	0,70	19,06	84	0,86
258	148,85	190	0,32	7,20	161	0,73	19,06	84	0,86
259	150,63	193	0,32	12,12	256	0,57	19,06	84	0,86
260	149,89	192	0,32	10,56	216	0,64	19,06	84	0,86
261	158,48	201	0,34	9,93	202	0,66	19,06	84	0,86
262	164,49	211	0,35	11,78	249	0,58	19,06	84	0,86
263	292,66	409	0,68	17,44	368	0,62	19,06	84	0,86
264	271,50	390	0,65	14,85	322	0,54	19,06	84	0,86
265	259,09	367	0,61	17,59	374	0,63	19,06	84	0,86
266	240,58	345	0,58	17,55	371	0,62	19,06	84	0,86
267	212,30	307	0,51	19,16	409	0,68	19,06	84	0,86
268	189,86	264	0,44	16,43	349	0,58	19,06	84	0,86
269	165,17	213	0,36	14,13	304	0,51	19,06	84	0,86
270	146,30	187	0,31	10,38	211	0,35	19,06	84	0,86
271	132,23	173	0,29	7,09	158	0,26	19,06	84	0,86
272	132,47	174	0,29	6,58	150	0,75	19,06	84	0,86
273	291,00	406	0,68	10,88	222	0,37	19,06	84	0,86
274	182,86	252	0,42	14,06	303	0,49	119,91	397	0,34
275	154,50	196	0,33	12,73	273	0,46	119,91	397	0,34
276	174,28	228	0,38	13,35	285	0,48	119,91	397	0,34
277	197,75	281	0,47	14,60	314	0,53	119,91	397	0,34
278	223,82	320	0,54	19,25	411	0,69	119,91	397	0,34
279	247,33	352	0,59	14,96	326	0,55	119,91	397	0,34
280	273,35	394	0,66	15,46	332	0,56	119,91	397	0,34
281	126,19	163	0,27	15,84	337	0,44	119,91	397	0,34
282	101,91	140	0,23	14,90	324	0,46	119,91	397	0,34

283	97,16	136	0,23	11,63	247	0,59	119,91	397	0,34
284	91,11	131	0,22	21,69	450	0,25	119,91	397	0,34
285	91,22	132	0,22	19,08	406	0,32	119,91	397	0,34
286	90,53	129	0,22	9,85	200	0,67	119,91	397	0,34
287	88,22	126	0,21	14,45	310	0,48	119,91	397	0,34
288	84,94	122	0,20	17,54	370	0,38	119,91	397	0,34
289	92,33	133	0,22	26,69	523	0,12	119,91	397	0,34
290	82,39	118	0,20	29,12	545	0,09	119,91	397	0,34
291	73,49	104	0,17	16,58	353	0,41	119,91	397	0,34
292	72,62	103	0,17	5,20	136	0,77	119,91	397	0,34
293	71,08	98	0,16	8,68	185	0,69	119,91	397	0,34
294	68,89	92	0,15	10,29	209	0,65	119,91	397	0,34
295	72,20	101	0,17	13,49	288	0,52	119,91	397	0,34
296	64,58	85	0,14	9,58	198	0,67	119,91	397	0,34
297	68,95	93	0,16	8,31	180	0,70	119,91	397	0,34
298	209,68	304	0,51	16,43	348	0,42	119,63	386	0,35
299	236,42	340	0,57	19,73	420	0,30	119,63	386	0,35
300	270,75	389	0,65	21,02	444	0,74	119,63	386	0,35
301	303,58	423	0,71	16,58	352	0,59	119,63	386	0,35
302	320,58	434	0,73	14,73	319	0,53	119,63	386	0,35
303	339,33	442	0,74	14,46	312	0,52	119,63	386	0,35
304	179,61	244	0,41	8,10	176	0,71	119,63	386	0,35
305	177,03	234	0,39	7,63	166	0,72	119,63	386	0,35
306	177,84	235	0,39	6,40	146	0,76	119,63	386	0,35
307	178,56	240	0,40	7,06	155	0,74	119,63	386	0,35
308	180,24	245	0,41	7,07	156	0,74	12,34	25	0,96
309	164,52	212	0,35	6,54	149	0,75	19,06	84	0,86
310	178,15	237	0,40	30,19	560	0,94	152,09	421	0,30
311	206,04	301	0,50	28,97	544	0,91	152,09	421	0,30
312	236,00	338	0,57	14,95	325	0,54	152,09	421	0,30
313	254,02	360	0,60	12,74	274	0,46	152,09	421	0,30
314	265,54	382	0,64	16,08	344	0,58	152,09	421	0,30
315	290,32	405	0,68	16,27	347	0,58	152,09	421	0,30
316	297,32	414	0,69	15,61	334	0,56	152,09	421	0,30
317	314,52	429	0,72	15,97	342	0,57	152,09	421	0,30
318	349,83	452	0,76	18,98	403	0,67	152,09	421	0,30

319	394,31	475	0,80	16,99	359	0,60	152,09	421	0,30
320	425,83	489	0,82	15,44	331	0,55	152,09	421	0,30
321	439,95	496	0,83	18,43	394	0,66	152,09	421	0,30
322	434,65	493	0,83	17,43	367	0,61	152,09	421	0,30
323	450,95	501	0,84	11,18	232	0,39	152,09	421	0,30
324	467,45	509	0,85	12,03	255	0,43	152,09	421	0,30
325	431,24	492	0,82	17,07	363	0,61	152,09	421	0,30
326	386,52	472	0,79	19,38	413	0,69	152,09	421	0,30
327	355,34	457	0,77	16,68	355	0,59	152,09	421	0,30
328	340,14	443	0,74	19,95	424	0,71	152,09	421	0,30
329	331,25	441	0,74	24,42	496	0,83	152,09	421	0,30
330	319,73	433	0,73	29,99	553	0,93	152,09	421	0,30
331	311,31	428	0,72	21,62	449	0,75	152,09	421	0,30
332	303,15	422	0,71	26,40	521	0,13	152,09	421	0,30
333	295,83	412	0,69	24,13	494	0,17	152,09	421	0,30
334	286,51	404	0,68	29,72	549	0,08	152,09	421	0,30
335	282,66	399	0,67	17,97	382	0,36	152,09	421	0,30
336	276,54	396	0,66	12,55	268	0,55	152,09	421	0,30
337	272,16	391	0,65	15,88	338	0,43	152,09	421	0,30
338	267,42	385	0,64	24,06	493	0,17	152,09	421	0,30
339	264,33	377	0,63	24,51	500	0,16	152,09	421	0,30
340	258,80	366	0,61	25,01	506	0,15	152,09	421	0,30
341	254,02	361	0,60	22,26	463	0,22	152,09	421	0,30
342	262,92	375	0,63	13,22	283	0,53	152,09	421	0,30
343	253,96	359	0,60	11,89	251	0,58	152,09	421	0,30
344	245,54	348	0,58	22,06	457	0,23	152,09	421	0,30
345	233,35	335	0,56	14,01	300	0,50	152,09	421	0,30
346	224,23	322	0,54	9,32	196	0,67	152,09	421	0,30
347	224,92	324	0,54	10,61	219	0,63	152,09	421	0,30
348	230,31	334	0,56	11,25	235	0,61	152,09	421	0,30
349	246,40	350	0,59	14,72	318	0,47	152,09	421	0,30
350	228,58	331	0,55	12,21	257	0,57	152,09	421	0,30
351	214,67	309	0,52	4,97	130	0,78	152,09	421	0,30
352	220,39	314	0,53	7,53	164	0,73	152,09	421	0,30
353	225,01	325	0,54	6,45	147	0,75	152,09	421	0,30
354	224,00	321	0,54	5,98	144	0,76	152,09	421	0,30

355	225,12	326	0,55	7,72	169	0,72	152,09	421	0,30
356	227,95	330	0,55	7,14	160	0,27	152,09	421	0,30
357	243,83	347	0,58	9,19	193	0,32	152,09	421	0,30
358	253,11	357	0,60	14,64	316	0,53	152,09	421	0,30
359	256,13	364	0,61	12,60	270	0,45	152,09	421	0,30
360	281,38	398	0,67	12,56	269	0,45	152,09	421	0,30
361	299,14	419	0,70	14,46	311	0,52	152,09	421	0,30
362	325,22	437	0,73	14,98	327	0,55	152,09	421	0,30
363	342,34	445	0,75	16,46	350	0,59	152,09	421	0,30
364	352,07	454	0,76	16,64	354	0,59	152,09	421	0,30
365	381,36	470	0,79	20,46	435	0,73	152,09	421	0,30
366	409,80	483	0,81	19,13	407	0,68	152,09	421	0,30
367	445,01	499	0,84	19,69	418	0,70	152,09	421	0,30
368	471,16	513	0,86	22,85	470	0,79	152,09	421	0,30
369	493,32	520	0,87	23,22	480	0,80	152,09	421	0,30
370	477,10	514	0,86	24,85	503	0,84	152,09	421	0,30
371	458,92	504	0,84	18,44	395	0,66	152,09	421	0,30
372	456,35	503	0,84	11,35	238	0,40	152,09	421	0,30
373	459,70	505	0,85	14,36	309	0,52	152,09	421	0,30
374	484,51	517	0,87	11,41	240	0,40	152,09	421	0,30
375	506,49	526	0,88	15,55	333	0,56	38,03	271	0,55
376	515,99	528	0,88	12,24	258	0,43	38,03	271	0,55
377	529,77	532	0,89	11,61	246	0,41	38,03	271	0,55
378	559,13	538	0,90	12,93	278	0,47	38,03	271	0,55
379	586,92	543	0,91	11,49	242	0,40	38,03	271	0,55
380	623,63	549	0,92	15,70	335	0,56	38,03	271	0,55
381	661,53	557	0,93	17,55	372	0,62	38,03	271	0,55
382	696,48	564	0,94	17,99	383	0,64	38,03	271	0,55
383	731,88	570	0,95	20,64	437	0,73	38,03	271	0,55
384	757,49	577	0,97	23,31	483	0,81	38,03	271	0,55
385	777,97	581	0,97	23,26	482	0,81	38,03	271	0,55
386	813,82	585	0,98	27,47	534	0,89	38,03	271	0,55
387	855,33	590	0,99	25,30	510	0,85	38,03	271	0,55
388	887,35	593	0,99	20,74	440	0,74	38,03	271	0,55
389	0,00	1	0,00	18,76	400	0,67	38,03	271	0,55
390	216,20	311	0,52	2,47	84	0,86	26,37	194	0,68

391	221,89	315	0,53	3,01	96	0,84	26,37	194	0,68
392	230,06	333	0,56	2,97	94	0,84	26,37	194	0,68
393	237,70	343	0,57	4,20	122	0,80	26,37	194	0,68
394	251,85	355	0,59	3,88	120	0,80	26,37	194	0,68
395	255,66	363	0,61	7,67	168	0,72	26,37	194	0,68
396	238,44	344	0,58	5,78	141	0,76	26,37	194	0,68
397	241,57	346	0,58	4,82	127	0,79	26,37	194	0,68
398	377,36	465	0,78	21,71	451	0,76	26,37	194	0,68
399	349,33	451	0,76	10,25	207	0,35	26,37	194	0,68
400	325,61	438	0,73	6,45	148	0,25	26,37	194	0,68
401	298,25	418	0,70	5,02	132	0,22	26,37	194	0,68
402	285,60	403	0,67	3,85	118	0,20	26,37	194	0,68
403	158,47	200	0,33	8,34	181	0,70	28,45	230	0,62
404	160,06	204	0,34	7,76	170	0,72	28,45	230	0,62
405	165,37	215	0,36	10,58	217	0,64	28,45	230	0,62
406	166,13	216	0,36	10,28	208	0,65	28,45	230	0,62
407	167,05	217	0,36	18,29	390	0,35	28,45	230	0,62
408	164,45	210	0,35	10,30	210	0,65	28,45	230	0,62
409	167,73	219	0,37	14,03	302	0,49	28,45	230	0,62
410	171,77	225	0,38	6,85	151	0,75	28,45	230	0,62
411	189,23	260	0,44	9,01	189	0,68	28,45	230	0,62
412	198,94	284	0,48	14,21	305	0,49	28,45	230	0,62
413	181,74	250	0,42	14,60	315	0,47	28,45	230	0,62
414	175,58	230	0,38	7,55	165	0,72	28,45	230	0,62
415	170,93	223	0,37	8,02	173	0,71	28,45	230	0,62
416	171,61	224	0,37	7,83	172	0,71	19,16	103	0,83
417	172,55	226	0,38	5,91	142	0,76	19,16	103	0,83
418	178,44	239	0,40	7,14	159	0,73	19,16	103	0,83
419	180,93	247	0,41	3,71	113	0,81	20,45	106	0,82
420	179,51	242	0,40	2,07	74	0,88	20,45	106	0,82
421	178,35	238	0,40	2,28	80	0,87	20,45	106	0,82
422	178,12	236	0,39	3,47	105	0,82	20,45	106	0,82
423	182,82	251	0,42	3,70	112	0,81	30,13	263	0,56
424	184,87	255	0,43	5,60	140	0,77	30,13	263	0,56
425	183,70	254	0,42	4,66	124	0,79	30,13	263	0,56
426	190,95	269	0,45	2,17	77	0,13	30,13	263	0,56

427	195,02	279	0,47	1,58	67	0,11	30,13	263	0,56
428	190,89	268	0,45	3,59	108	0,18	9,17	1	1,00
429	189,76	263	0,44	3,62	109	0,18	9,17	1	1,00
430	189,99	266	0,45	5,16	134	0,22	9,17	1	1,00
431	192,60	273	0,46	3,78	116	0,19	9,17	1	1,00
432	192,57	272	0,46	2,00	72	0,12	9,17	1	1,00
433	192,85	274	0,46	5,17	135	0,23	9,17	1	1,00
434	193,40	277	0,46	1,62	68	0,11	18,74	79	0,87
435	197,19	280	0,47	4,05	121	0,20	18,74	79	0,87
436	198,31	283	0,47	2,36	81	0,13	18,74	79	0,87
437	199,81	287	0,48	2,58	87	0,15	18,74	79	0,87
438	201,56	291	0,49	2,13	76	0,13	18,74	79	0,87
439	203,50	295	0,49	2,56	85	0,14	33,63	268	0,55
440	204,23	297	0,50	3,06	98	0,16	33,63	268	0,55
441	200,56	288	0,48	2,97	95	0,16	33,63	268	0,55
442	194,74	278	0,47	2,68	89	0,15	9,17	1	1,00
443	193,02	275	0,46	4,98	131	0,22	9,17	1	1,00
444	181,31	248	0,41	11,85	250	0,42	27,68	217	0,64
445	167,32	218	0,36	11,49	244	0,41	27,68	217	0,64
446	156,49	198	0,33	12,01	254	0,58	27,68	217	0,64
447	143,05	184	0,31	10,51	215	0,64	27,68	217	0,64
448	138,64	180	0,30	12,94	279	0,53	27,68	217	0,64
449	125,85	161	0,27	10,89	224	0,63	27,68	217	0,64
450	127,29	167	0,28	23,99	492	0,18	27,68	217	0,64
451	119,22	155	0,26	33,61	582	0,03	27,68	217	0,64
452	106,20	144	0,24	30,08	555	0,07	27,68	217	0,64
453	85,16	123	0,21	16,93	357	0,40	27,68	217	0,64
454	76,71	109	0,18	17,75	379	0,63	27,68	217	0,64
455	0,00	1	0,00	28,19	539	0,90	364,71	512	0,14
456	0,00	1	0,00	31,73	569	0,95	364,71	512	0,14
457	657,40	556	0,93	31,66	566	0,95	364,71	512	0,14
458	683,51	560	0,94	22,44	466	0,78	364,71	512	0,14
459	715,44	568	0,95	20,50	436	0,73	364,71	512	0,14
460	733,92	573	0,96	22,44	467	0,78	364,71	512	0,14
461	741,05	574	0,96	28,54	540	0,90	364,71	512	0,14
462	753,91	576	0,96	29,77	551	0,92	364,71	512	0,14

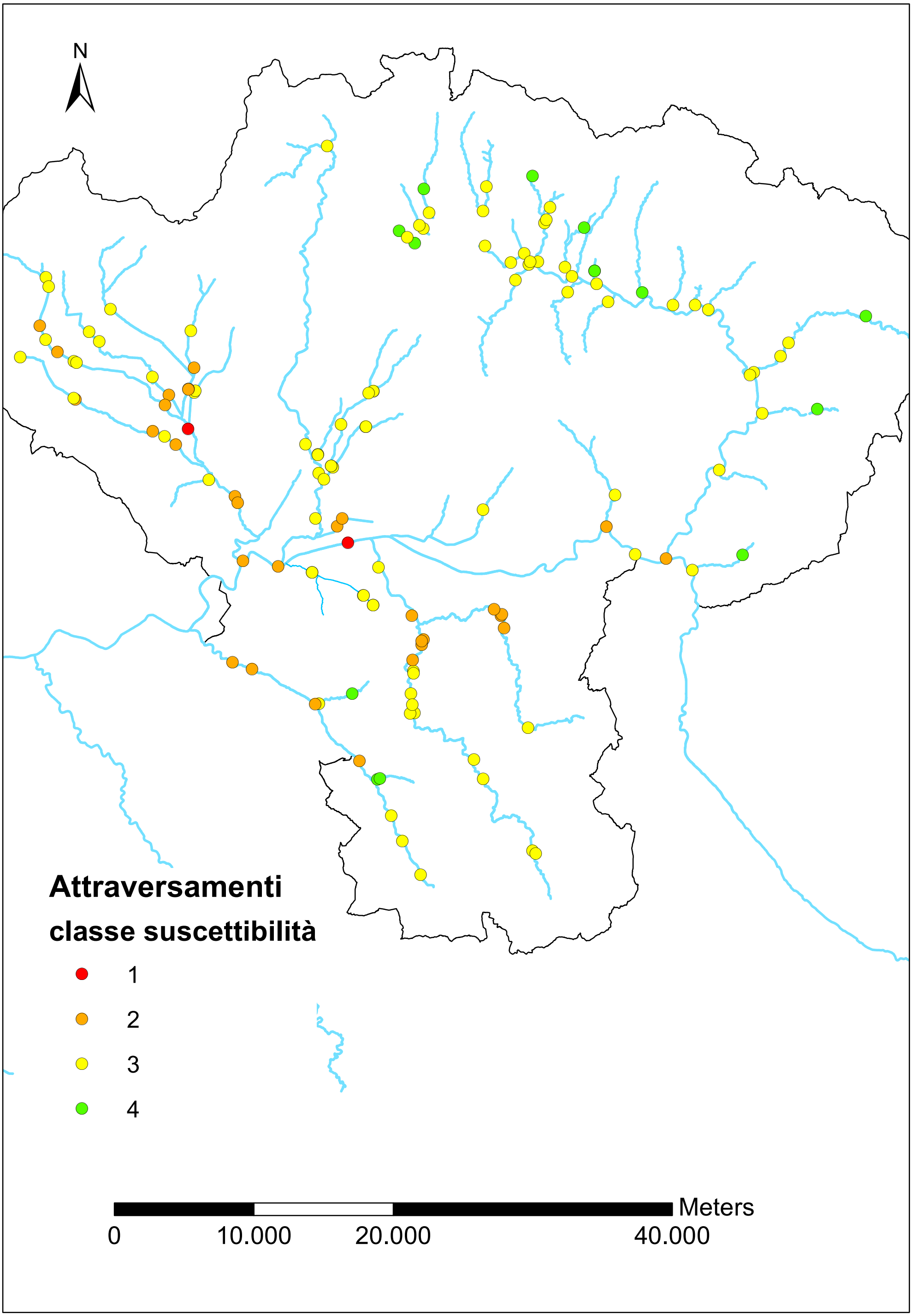
463	775,54	580	0,97	14,78	321	0,54	364,71	512	0,14
464	792,55	583	0,98	17,48	369	0,62	364,71	512	0,14
465	812,65	584	0,98	29,93	552	0,92	364,71	512	0,14
466	837,84	588	0,98	36,34	589	0,99	364,71	512	0,14
467	864,41	591	0,99	35,73	588	0,98	364,71	512	0,14
468	894,22	594	0,99	29,75	550	0,92	364,71	512	0,14
469	908,47	595	1,00	28,56	541	0,91	364,71	512	0,14
470	877,64	592	0,99	32,93	576	0,96	364,71	512	0,14
471	850,14	589	0,99	32,11	573	0,96	364,71	512	0,14
472	821,48	587	0,98	33,01	577	0,97	364,71	512	0,14
473	792,10	582	0,97	34,30	586	0,98	364,71	512	0,14
474	761,71	579	0,97	37,87	590	0,99	364,71	512	0,14
475	727,33	569	0,95	33,93	585	0,98	364,71	512	0,14
476	693,19	563	0,94	35,19	587	0,98	364,71	512	0,14
477	657,16	555	0,93	33,12	579	0,97	364,71	512	0,14
478	624,73	550	0,92	32,79	574	0,96	364,71	512	0,14
479	589,40	544	0,91	40,08	592	0,99	364,71	512	0,14
480	555,10	537	0,90	42,25	595	1,00	364,71	512	0,14
481	523,39	530	0,89	40,10	593	0,99	364,71	512	0,14
482	490,90	518	0,87	40,89	594	0,99	364,71	512	0,14
483	461,42	507	0,85	42,30	596	1,00	364,71	512	0,14
484	428,61	490	0,82	38,24	591	0,01	364,71	512	0,14
485	407,50	481	0,81	33,32	580	0,03	364,71	512	0,14
486	387,22	473	0,79	24,96	504	0,16	364,71	512	0,14
487	366,70	462	0,77	25,64	512	0,14	364,71	512	0,14
488	364,11	461	0,77	26,26	519	0,13	364,71	512	0,14
489	358,93	459	0,77	17,88	380	0,64	364,71	512	0,14
490	344,21	447	0,75	10,79	220	0,37	364,71	512	0,14
491	322,77	436	0,73	10,44	213	0,36	364,71	512	0,14
492	315,61	430	0,72	4,58	123	0,21	364,71	512	0,14
493	305,22	424	0,71	7,52	163	0,27	364,71	512	0,14
494	292,21	408	0,68	3,59	107	0,18	364,71	512	0,14
495	280,43	397	0,66	2,09	75	0,12	364,71	512	0,14
496	270,71	388	0,65	3,43	102	0,17	364,71	512	0,14
497	253,19	358	0,60	7,79	171	0,29	364,71	512	0,14
498	245,65	349	0,58	10,87	221	0,37	364,71	512	0,14

499	236,54	341	0,57	9,13	192	0,32	364,71	512	0,14
500	217,93	313	0,52	9,91	201	0,34	364,71	512	0,14
501	193,33	276	0,46	3,20	101	0,17	364,71	512	0,14
502	186,94	258	0,43	1,06	54	0,09	364,71	512	0,14
503	187,75	259	0,43	2,45	82	0,14	364,71	512	0,14
504	190,54	267	0,45	3,88	119	0,20	364,71	512	0,14
505	200,80	289	0,48	8,90	187	0,31	364,71	512	0,14
506	202,45	293	0,49	9,02	190	0,32	24,58	143	0,76
507	199,30	286	0,48	8,43	182	0,30	24,58	143	0,76
508	197,85	282	0,47	7,08	157	0,74	24,58	143	0,76
509	205,54	300	0,50	12,37	263	0,56	24,58	143	0,76
510	211,80	306	0,51	17,29	365	0,39	24,58	143	0,76
511	222,24	317	0,53	19,34	412	0,31	24,58	143	0,76
512	221,90	316	0,53	20,10	426	0,29	24,58	143	0,76
513	226,34	328	0,55	19,42	415	0,31	24,58	143	0,76
514	236,77	342	0,57	23,14	478	0,20	24,58	143	0,76
515	236,22	339	0,57	26,84	526	0,12	24,58	143	0,76
516	246,63	351	0,59	20,69	439	0,26	24,58	143	0,76
517	255,44	362	0,61	28,14	538	0,10	24,58	143	0,76
518	264,76	381	0,64	23,90	490	0,18	24,58	143	0,76
519	273,13	392	0,66	24,65	502	0,16	24,58	143	0,76
520	283,95	402	0,67	27,58	535	0,10	24,58	143	0,76
521	302,42	421	0,70	27,74	536	0,10	24,58	143	0,76
522	325,80	439	0,74	22,46	468	0,22	24,58	143	0,76
523	353,21	456	0,76	17,26	364	0,61	24,58	143	0,76
524	377,76	466	0,78	20,97	443	0,74	24,58	143	0,76
525	403,06	479	0,80	32,93	575	0,96	24,58	143	0,76
526	429,90	491	0,82	31,97	572	0,96	24,58	143	0,76
527	448,39	500	0,84	19,03	405	0,68	24,58	143	0,76
528	469,69	511	0,86	17,02	361	0,60	24,58	143	0,76
529	482,68	516	0,86	16,99	360	0,60	24,58	143	0,76
530	496,54	523	0,88	19,92	423	0,71	24,58	143	0,76
531	517,82	529	0,89	11,26	236	0,39	24,58	143	0,76
532	498,79	524	0,88	10,13	204	0,34	24,58	143	0,76
533	461,72	508	0,85	11,03	227	0,38	24,58	143	0,76
534	425,66	488	0,82	11,43	241	0,40	24,58	143	0,76

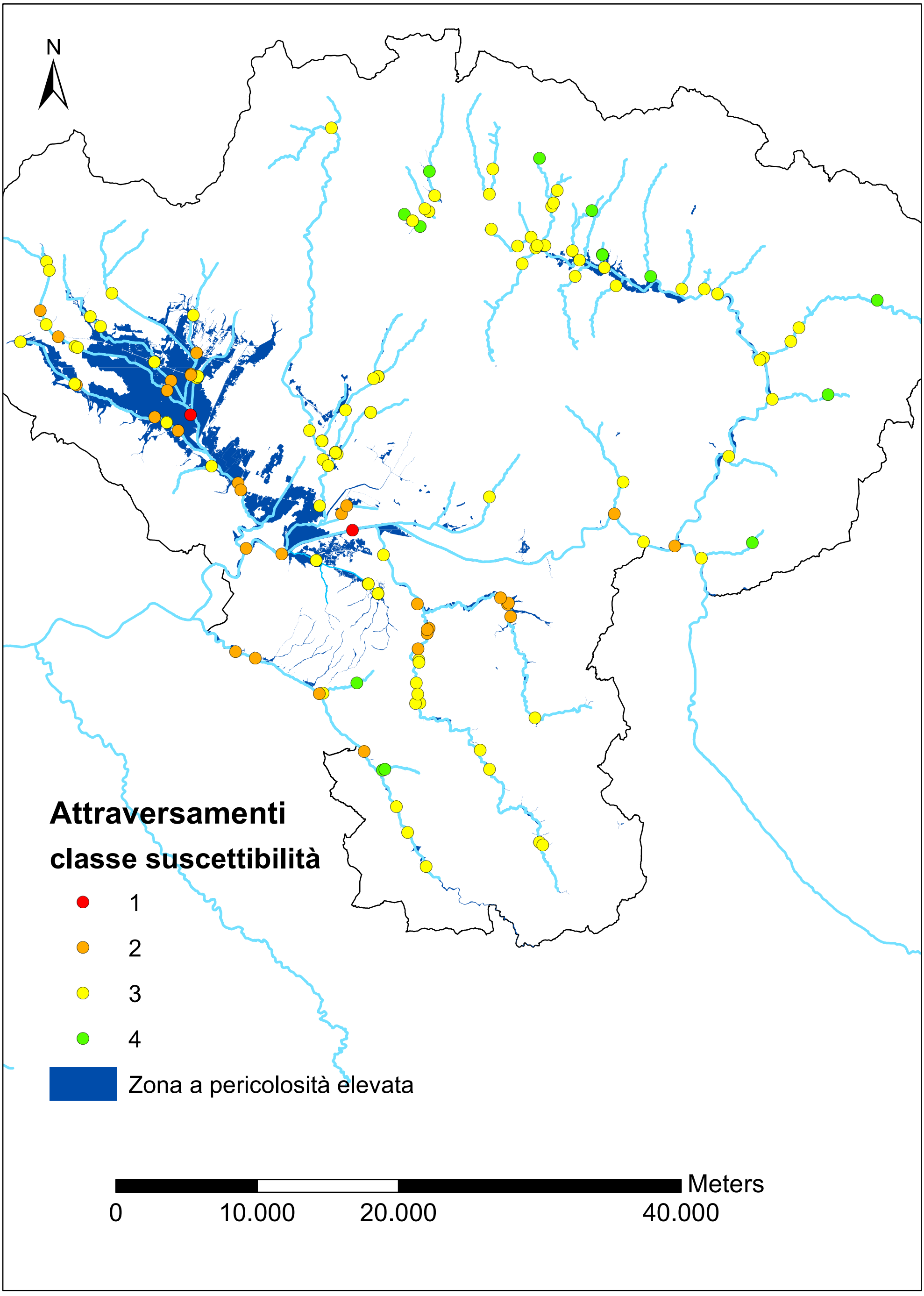
535	391,61	474	0,79	11,12	230	0,38	24,58	143	0,76
536	355,39	458	0,77	12,34	260	0,44	24,58	143	0,76
537	329,32	440	0,74	15,95	340	0,57	24,58	143	0,76
538	295,64	411	0,69	14,02	301	0,50	24,58	143	0,76
539	262,66	374	0,63	13,53	289	0,48	24,58	143	0,76
540	228,75	332	0,56	16,09	345	0,58	27,68	217	0,64
541	534,42	533	0,89	12,53	266	0,55	28,59	244	0,59
542	493,64	521	0,87	17,69	376	0,37	28,59	244	0,59
543	442,81	498	0,83	18,90	402	0,33	28,59	244	0,59
544	398,95	476	0,80	13,89	296	0,50	28,59	244	0,59
545	350,75	453	0,76	14,87	323	0,46	28,59	244	0,59
546	307,62	426	0,71	12,00	253	0,58	28,59	244	0,59
547	268,49	387	0,65	14,31	308	0,48	28,59	244	0,59
548	226,79	329	0,55	16,54	351	0,41	28,59	244	0,59
549	183,53	253	0,42	17,69	377	0,37	28,59	244	0,59
550	164,32	209	0,35	20,19	430	0,28	28,59	244	0,59
551	154,79	197	0,33	19,13	408	0,32	28,59	244	0,59
552	142,70	183	0,31	20,44	434	0,27	28,59	244	0,59
553	129,86	169	0,28	17,56	373	0,38	28,59	244	0,59
554	120,17	157	0,26	20,25	431	0,28	28,59	244	0,59
555	116,00	153	0,26	23,06	475	0,20	28,59	244	0,59
556	109,42	148	0,25	18,75	399	0,33	28,59	244	0,59
557	104,11	143	0,24	13,96	299	0,50	28,59	244	0,59
558	99,20	137	0,23	18,42	392	0,34	28,59	244	0,59
559	91,07	130	0,22	22,89	473	0,21	56,72	305	0,49
560	82,79	119	0,20	18,68	397	0,34	56,72	305	0,49
561	75,43	106	0,18	13,91	297	0,50	56,72	305	0,49
562	60,97	81	0,13	0,92	45	0,07	3885,18	571	0,04
563	61,10	82	0,14	0,99	48	0,08	3885,18	571	0,04
564	62,91	83	0,14	0,86	42	0,07	3885,18	571	0,04
565	65,31	86	0,14	1,10	55	0,09	3885,18	571	0,04
566	66,19	87	0,15	1,16	57	0,09	3885,18	571	0,04
567	69,55	95	0,16	5,21	137	0,23	3885,18	571	0,04
568	71,87	100	0,17	3,64	110	0,18	3885,18	571	0,04
569	71,34	99	0,17	3,64	111	0,81	3885,18	571	0,04
570	72,42	102	0,17	8,10	177	0,30	3885,18	571	0,04

571	69,35	94	0,16	12,53	267	0,45	3885,18	571	0,04
572	68,88	91	0,15	9,20	194	0,32	3885,18	571	0,04
573	69,56	96	0,16	10,45	214	0,36	3885,18	571	0,04
574	67,53	89	0,15	11,95	252	0,42	3885,18	571	0,04
575	68,42	90	0,15	12,36	262	0,44	3885,18	571	0,04
576	77,88	112	0,19	9,21	195	0,33	3885,18	571	0,04
577	75,50	107	0,18	7,01	154	0,26	3885,18	571	0,04
578	73,71	105	0,18	14,55	313	0,52	3885,18	571	0,04
579	80,99	115	0,19	21,13	446	0,75	3885,18	571	0,04
580	76,18	108	0,18	11,21	234	0,39	3885,18	571	0,04
581	84,78	121	0,20	11,05	228	0,38	3885,18	571	0,04
582	86,14	124	0,21	13,13	281	0,47	3885,18	571	0,04
583	77,54	111	0,19	10,39	212	0,35	3885,18	571	0,04
584	77,28	110	0,18	8,09	175	0,29	3885,18	571	0,04
585	79,71	114	0,19	2,94	93	0,16	3885,18	571	0,04
586	81,53	116	0,19	3,46	104	0,17	3885,18	571	0,04
587	134,20	177	0,30	11,52	245	0,41	27,48	207	0,65
588	149,54	191	0,32	10,89	225	0,38	27,48	207	0,65
589	145,25	185	0,31	12,76	276	0,46	27,48	207	0,65
590	128,07	168	0,28	12,29	259	0,43	27,48	207	0,65
591	103,94	142	0,24	10,59	218	0,36	27,48	207	0,65
592	101,95	141	0,24	11,12	231	0,39	27,48	207	0,65
593	108,40	147	0,25	15,05	330	0,55	27,48	207	0,65
594	121,17	159	0,27	19,16	410	0,69	27,48	207	0,65
595	110,50	149	0,25	18,08	385	0,64	27,48	207	0,65

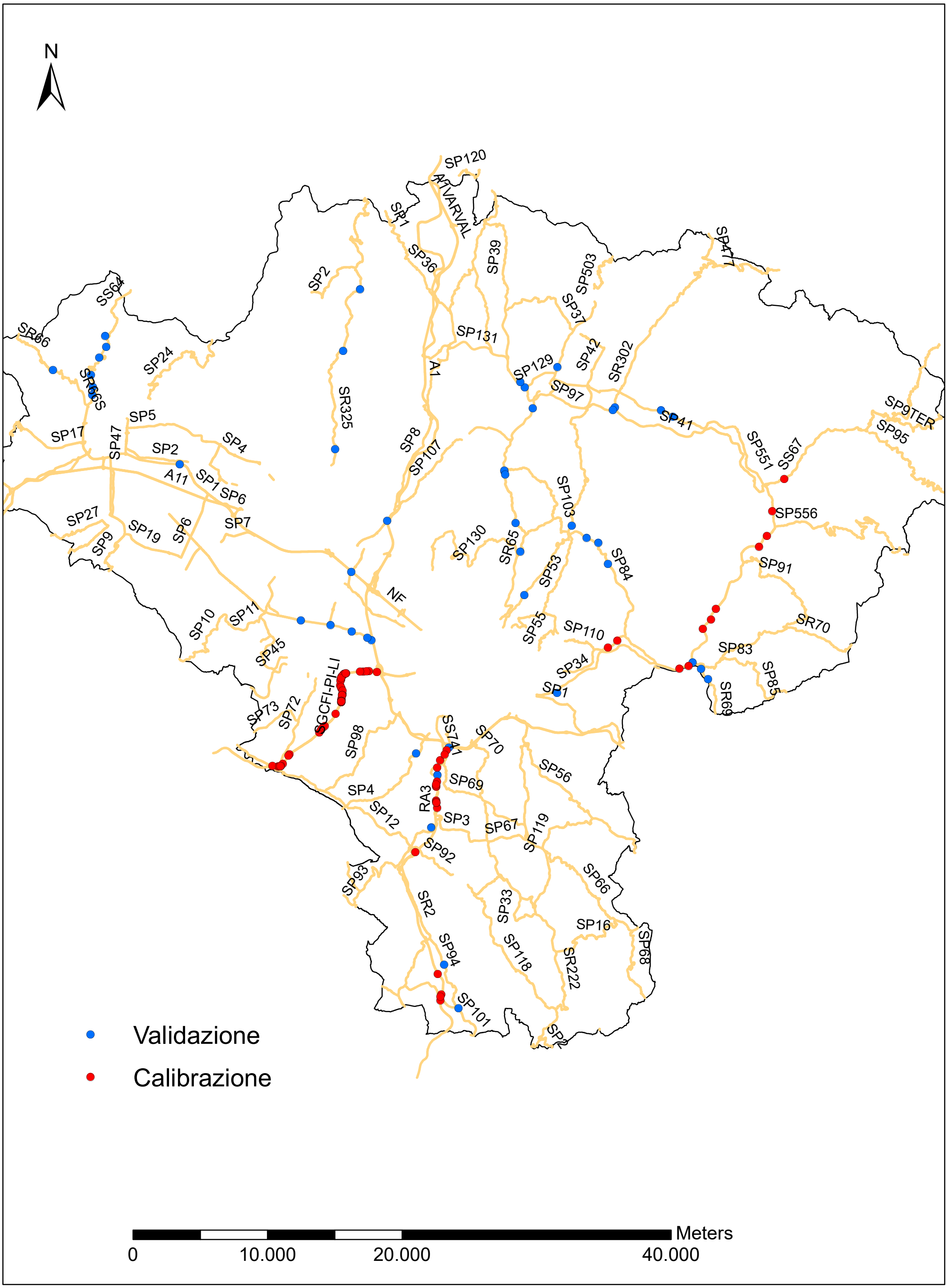
ALLEGATO 7 - CLASSIFICAZIONE SUSCETTIBILITA' ATTRAVERSAMENTI



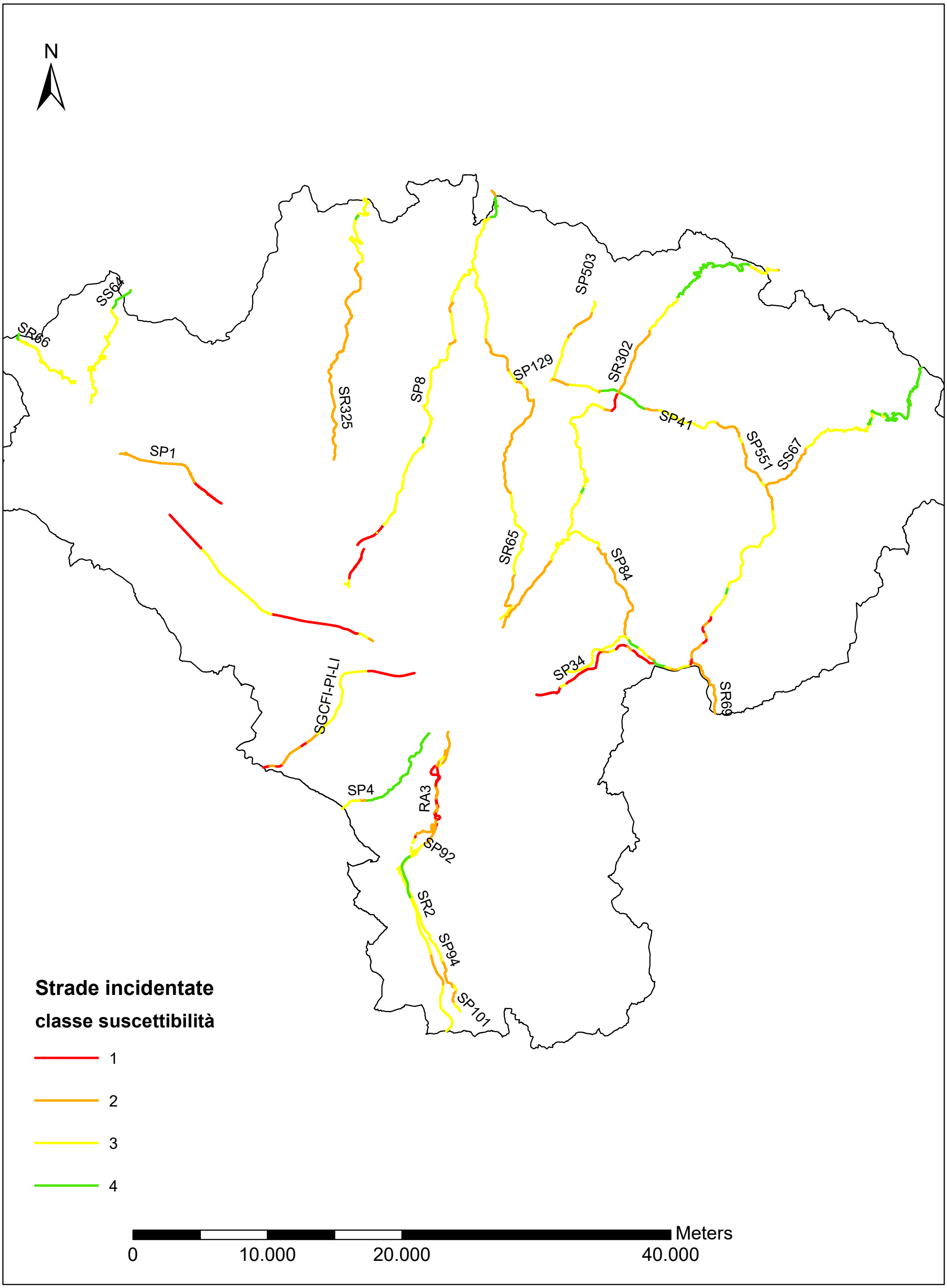
ALLEGATO 8 - CLASSIFICAZIONE SUSCETTIBILITA' ATTRAVERSAMENTI CON AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA



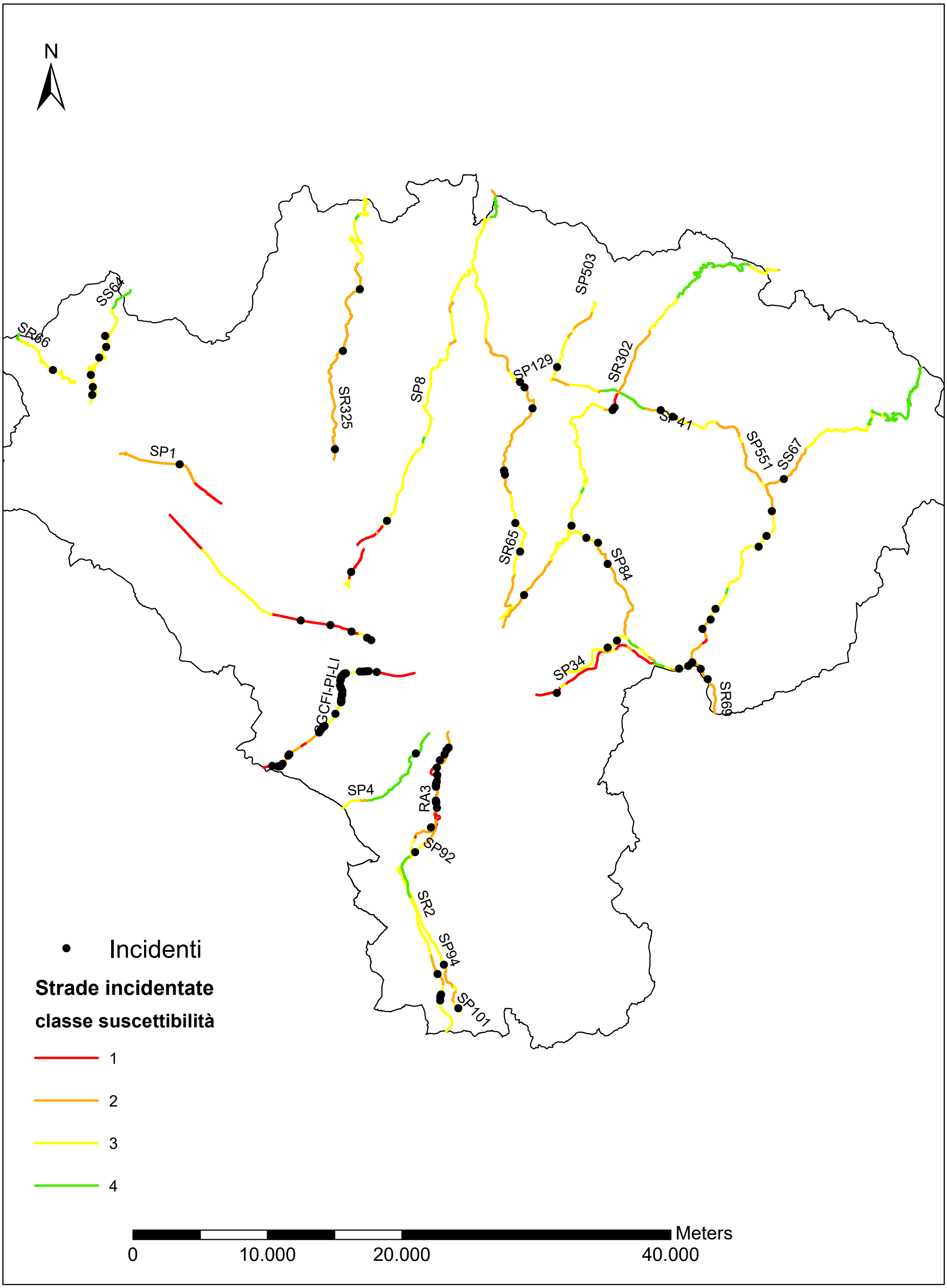
ALLEGATO 9 - INCIDENTI ANALIZZATI PER LA SUSCETTIBILITA'



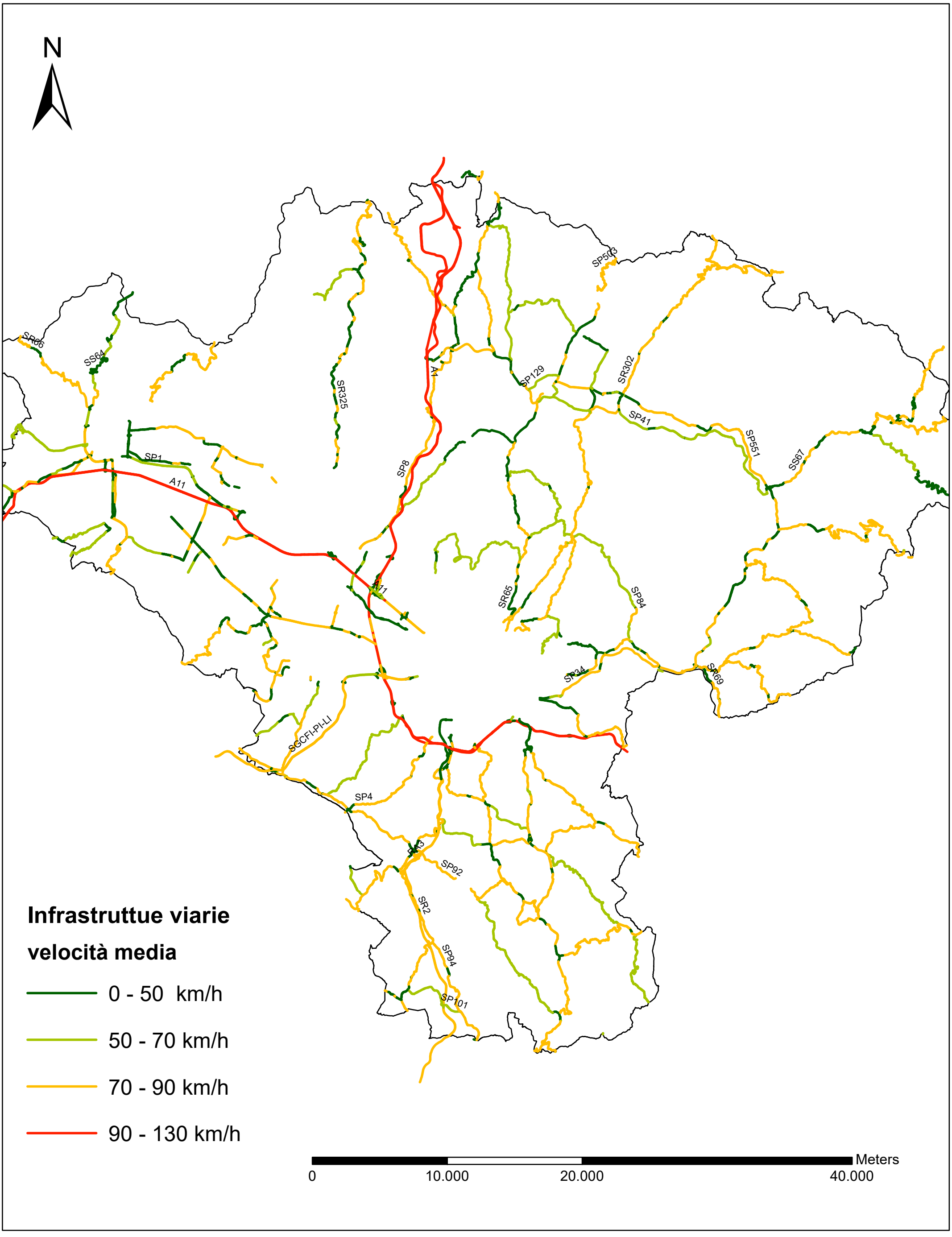
ALLEGATO 10 - CLASSIFICAZIONE SUSCETTIBILITA' TRONCHI STRADALI



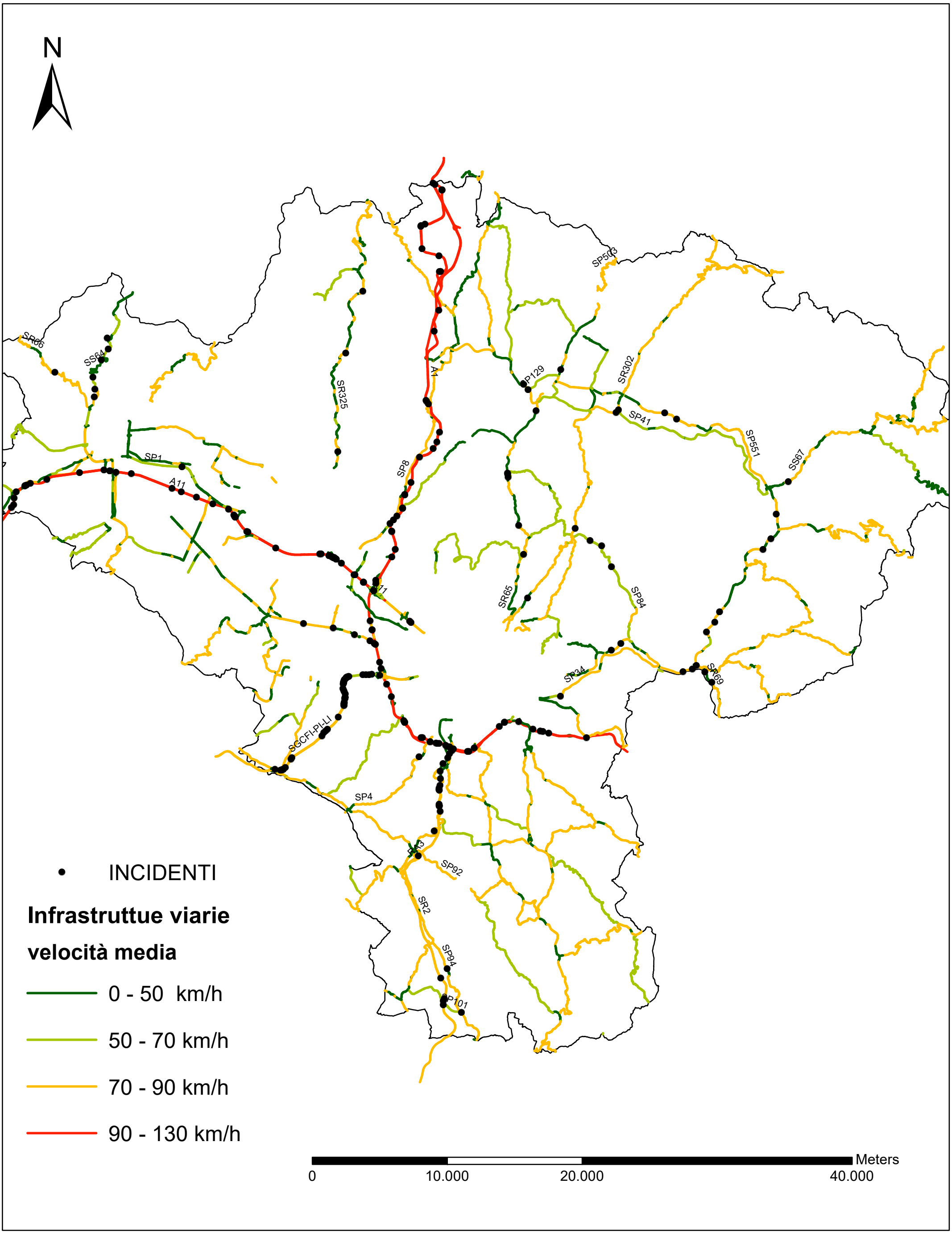
ALLEGATO 11 - CLASSIFICAZIONE SUSCETTIBILITA' TRONCHI STRADALI CON INCIDENTI



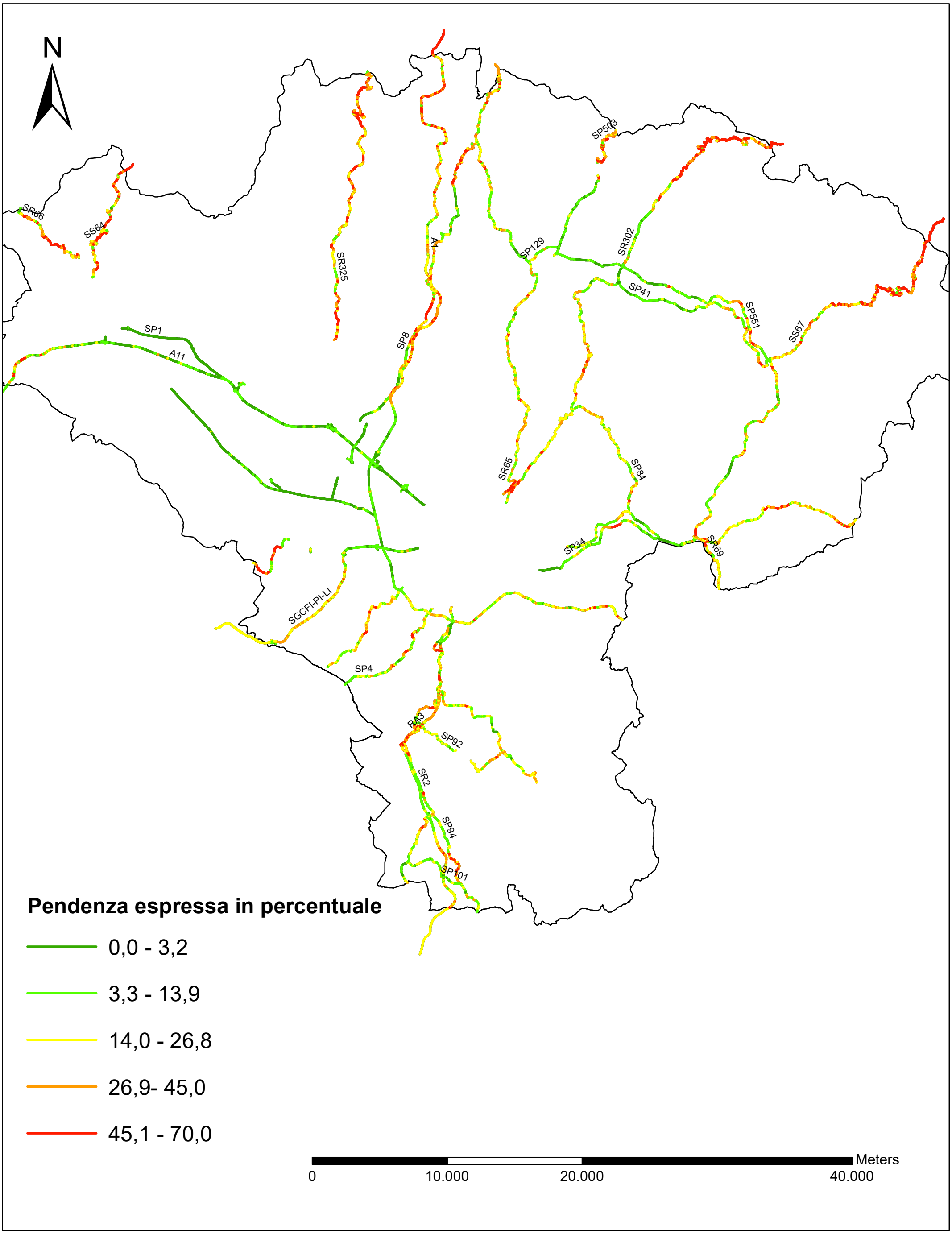
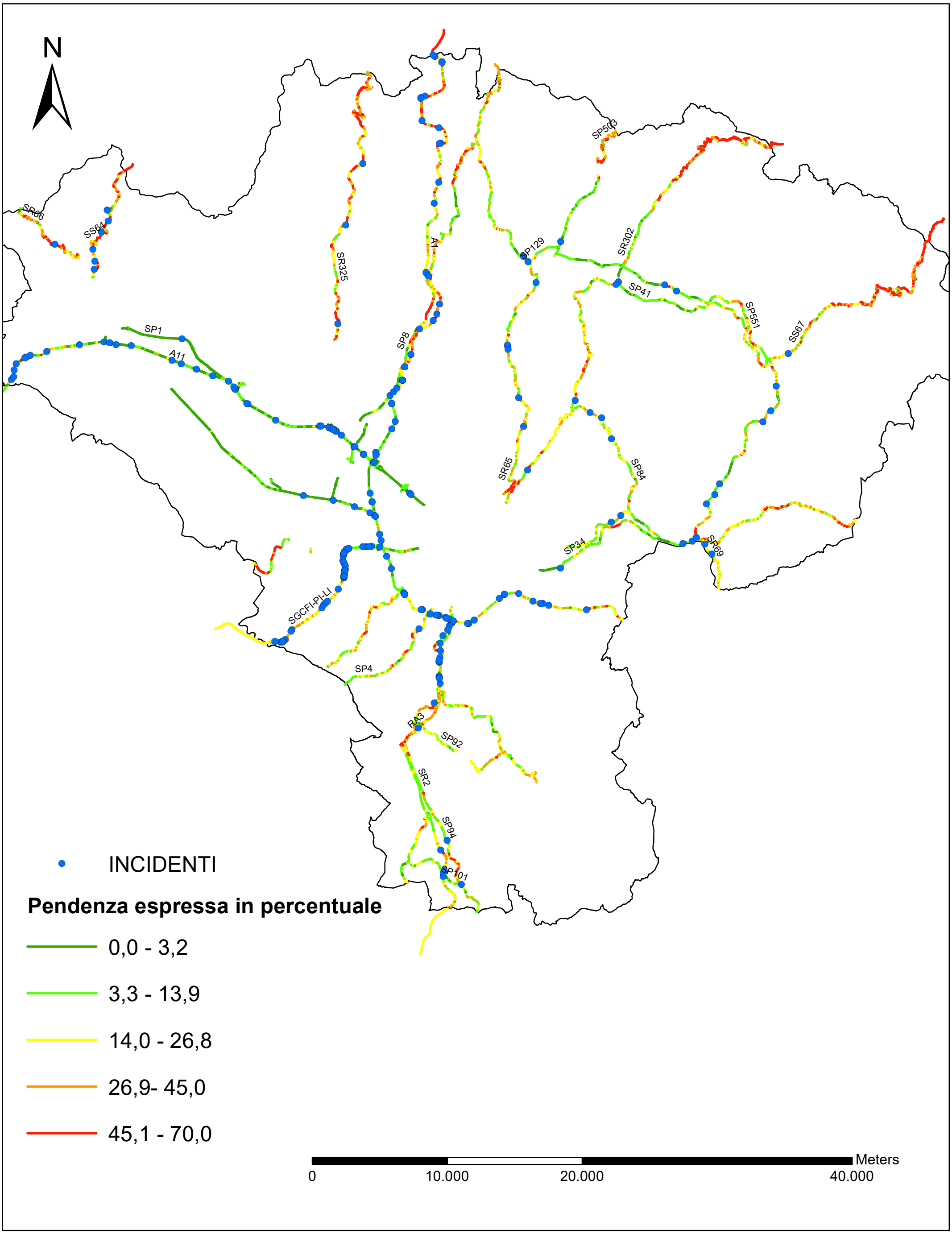
ALLEGATO 12 - VALORI DI VELOCITA' MEDIA DEI TRONCHI STRADALI



ALLEGATO 13 - VALORI DI VELOCITA' MEDIA DEI TRONCHI STRADALI CON INCIDENTI



ALLEGATO 14 - VALORI DI PENDENZA DEL TRONCO STRADALE



ALLEGATO 15 - VALORI DI PENDENZA DEL TRONCO STRADALE CON INCIDENTI