



PROGRAMMA
INFRASTRUTTURE

Resilienza rete toscana

REPORT FINALE
25/09/2025



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



01 Obiettivi e
approccio
metodologico

02 Attività di
progetto

03 Tratte strategiche
per la mobilità
regionale
Attività A

04 Individuazione dei
pericoli
Attività B

05 Identificazione
dei rischi
Attività C

06 Scenari di
disruption
Attività D

07 Inquadramento
climatico
Attività E

08 Conclusioni

Indice

Premessa

Il tema della **resilienza stradale e ferroviaria** è di crescente interesse, a fronte dei numerosi **eventi disruptive** che, con aumentata frequenza, stanno interessando il territorio nazionale.

I recenti avvenimenti alluvionali in Toscana hanno evidenziato con ancor maggior forza quanto sia importante disporre di reti di trasporto resilienti.

Alla luce del **contesto regionale**, risulta fondamentale comprendere quanto la rete di infrastrutture stradali e ferroviarie regionali possa garantire un livello di servizio adeguato a seguito di accadimenti che ne vadano a perturbare lo stato iniziale.

L'**obiettivo principale** dello studio è quindi **comprendere** la **capacità della rete regionale** di **rispondere** in modo efficace ed efficiente a **eventi disruptive** e fornire un **supporto** al territorio nel dialogo con **gli enti competenti** per le infrastrutture stradali e ferroviarie.

01

Obiettivi e approccio metodologico

Obiettivi di progetto

Realizzare uno strumento di supporto alle decisioni che favorisca la definizione di strategie per la gestione di interruzioni della funzionalità di tratte della rete stradale e/o ferroviaria della regione Toscana, con riferimento a fenomeni naturali o a interventi per la manutenzione e la protezione

- Individuare le tratte strategiche per la rete stradale e ferroviaria a livello regionale e in particolare per 3 direttrici rilevanti, con riferimento a indicatori di accessibilità e mobilità;
- Individuare i rischi, in termini di tipologia, magnitudo e probabilità di accadimento, legati a fattori territoriali, climatici e di uso del suolo, con riferimento alle tratte strategiche di cui sopra;
- Identificare scenari di disruption che valutino eventuali contemporaneità ed "effetti domino" per la mobilità delle persone;
- Valutare i correlati indici di rischio;
- Identificare raccomandazioni, strategie o politiche preliminari per la gestione di tali scenari, finalizzate a istruire tavoli ad hoc con gli enti territoriali coinvolti.



Approccio metodologico

Individuare le tratte strategiche per la rete stradale e ferroviaria

5 indicatori:

- Numero di coppie O-D intercettate dalla tratta
- Ritardo medio in caso di chiusura della tratta
- Distanza aggiuntiva da percorrere in caso di chiusura della tratta
- Flusso di traffico veicolare con ritardo >30% in caso di chiusura della tratta
- N. treni/giorno per tratta ferroviaria

Individuare i rischi, in termini di tipologia, magnitudo e probabilità di accadimento

- Definizione categorie di rischio e relativi indicatori;
- Analisi per singolo rischio
- Analisi per combinazione pesata di rischi diversi
- Discretizzazione territoriale per griglia 5X5 km

Identificare scenari di disruption

- Valutazione combinata per tratte ad elevata criticità trasportistica (potenziale danno) e potenzialità del rischio (magnitudo e probabilità)
- Identificazione tratte critiche
- Costruzione scenari di rischio

Valutazione degli impatti e identificazione strategie di mitigazione

- Valutazione degli **effetti del Climate Change** sui pericoli analizzati



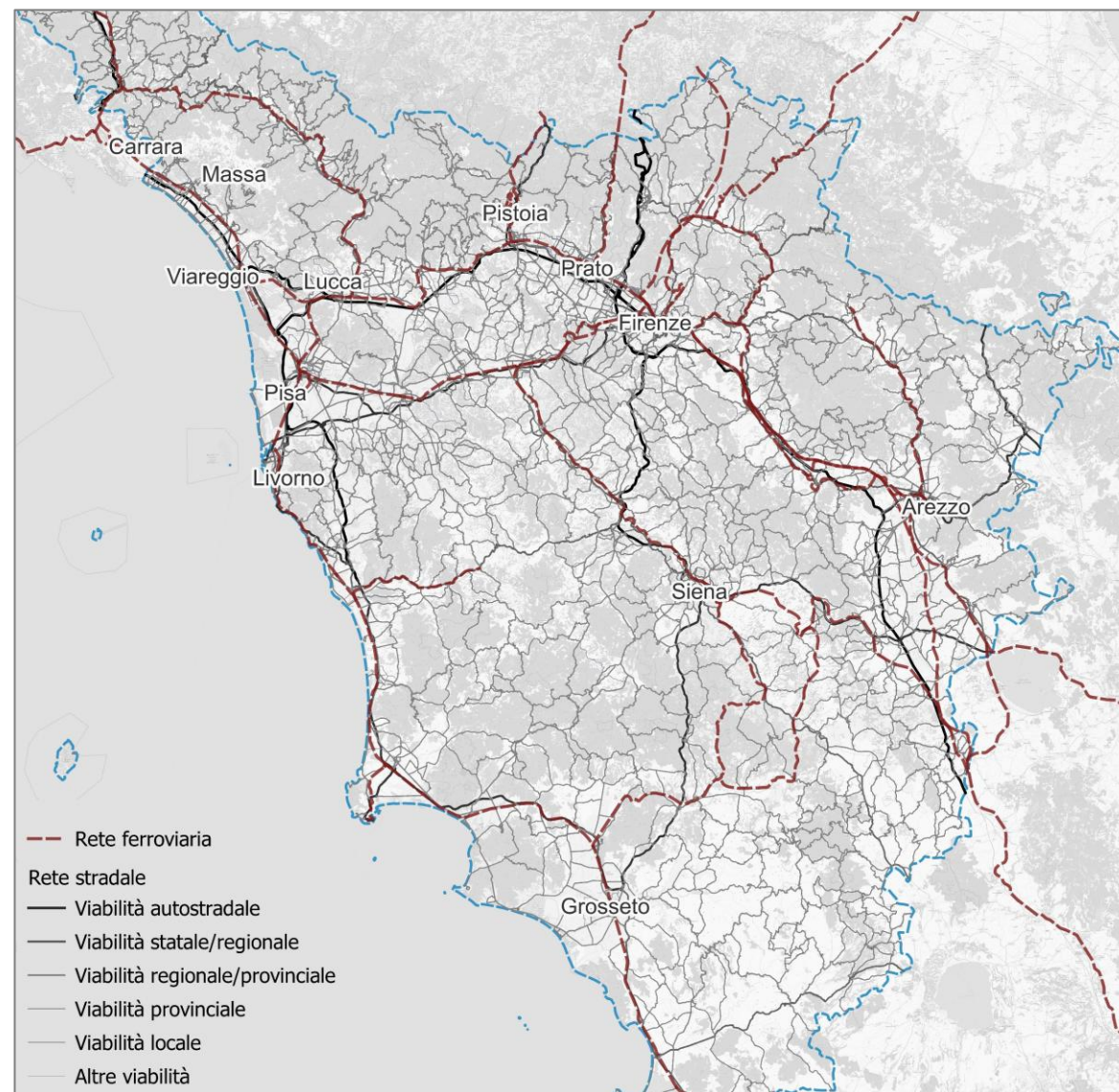
02

Attività di progetto

Attività di progetto

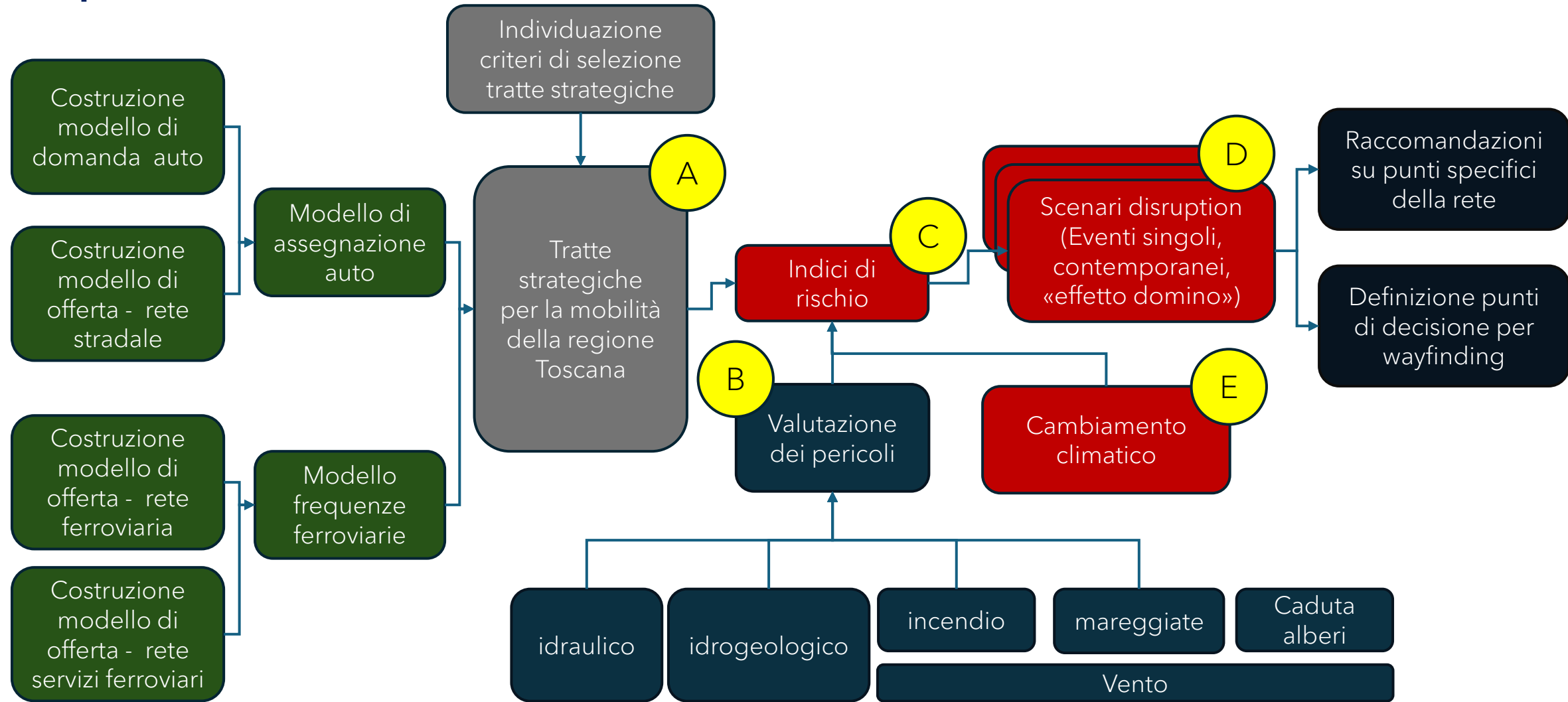
L'intero processo progettuale è stato scomposto in 5 attività fondamentali:

- A. Individuare le tratte strategiche per la rete stradale e ferroviaria a livello regionale e in particolare per 3 direttrici indicate da Uniontrasporti
- B. Valutare i pericoli, in termini di tipologia, magnitudo e probabilità di accadimento, legati a fattori territoriali, climatici e di land use, con riferimento alle tratte strategiche di cui sopra
- C. Valutare i correlati indici di rischio
- D. Identificare scenari di disruption che valutino eventuali contemporaneità ed "effetti domino" per la mobilità delle persone, e quindi raccomandazioni, strategie o politiche preliminari per la gestione di tali scenari
- E. Valutare gli effetti del Climate Change sui pericoli analizzati



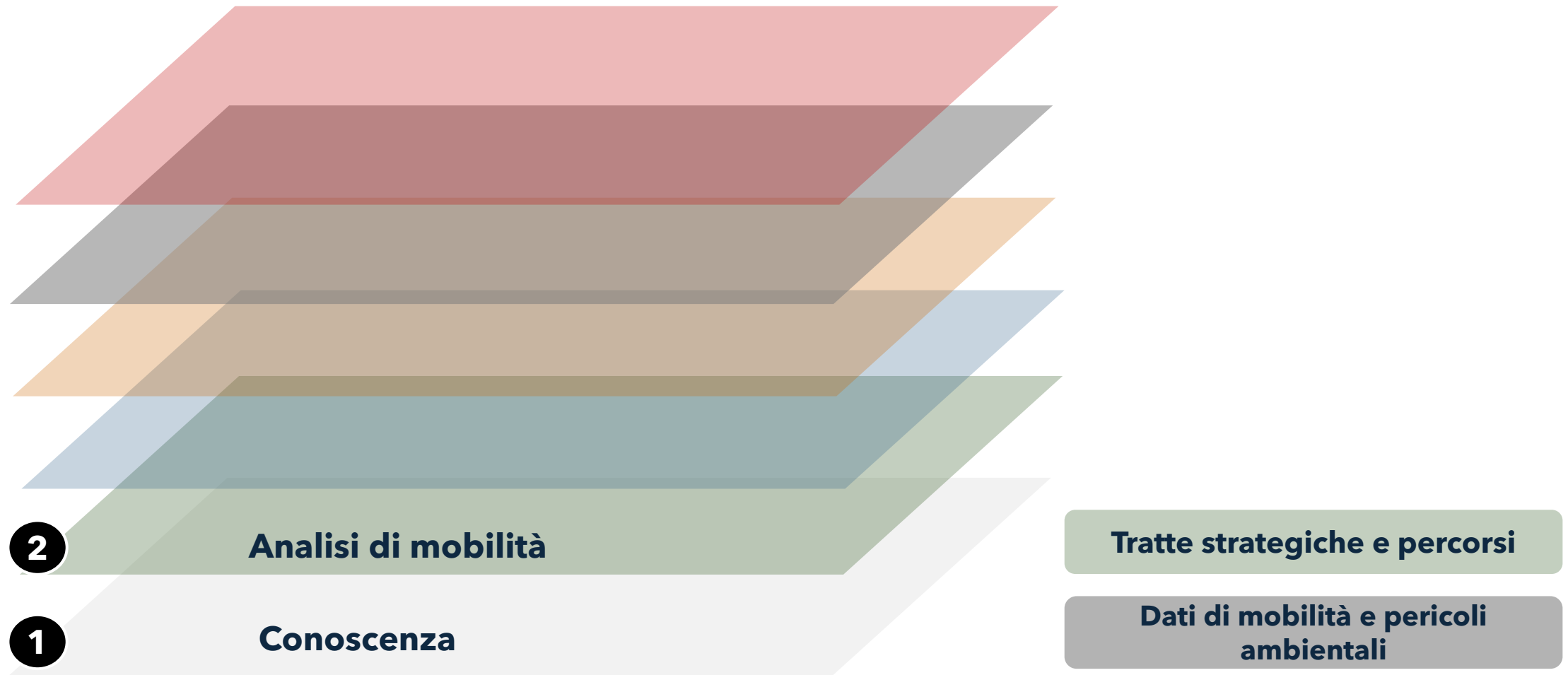
Attività di progetto

Il processo



I livelli delle analisi

Quadro complessivo



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



ENGINEERING

03

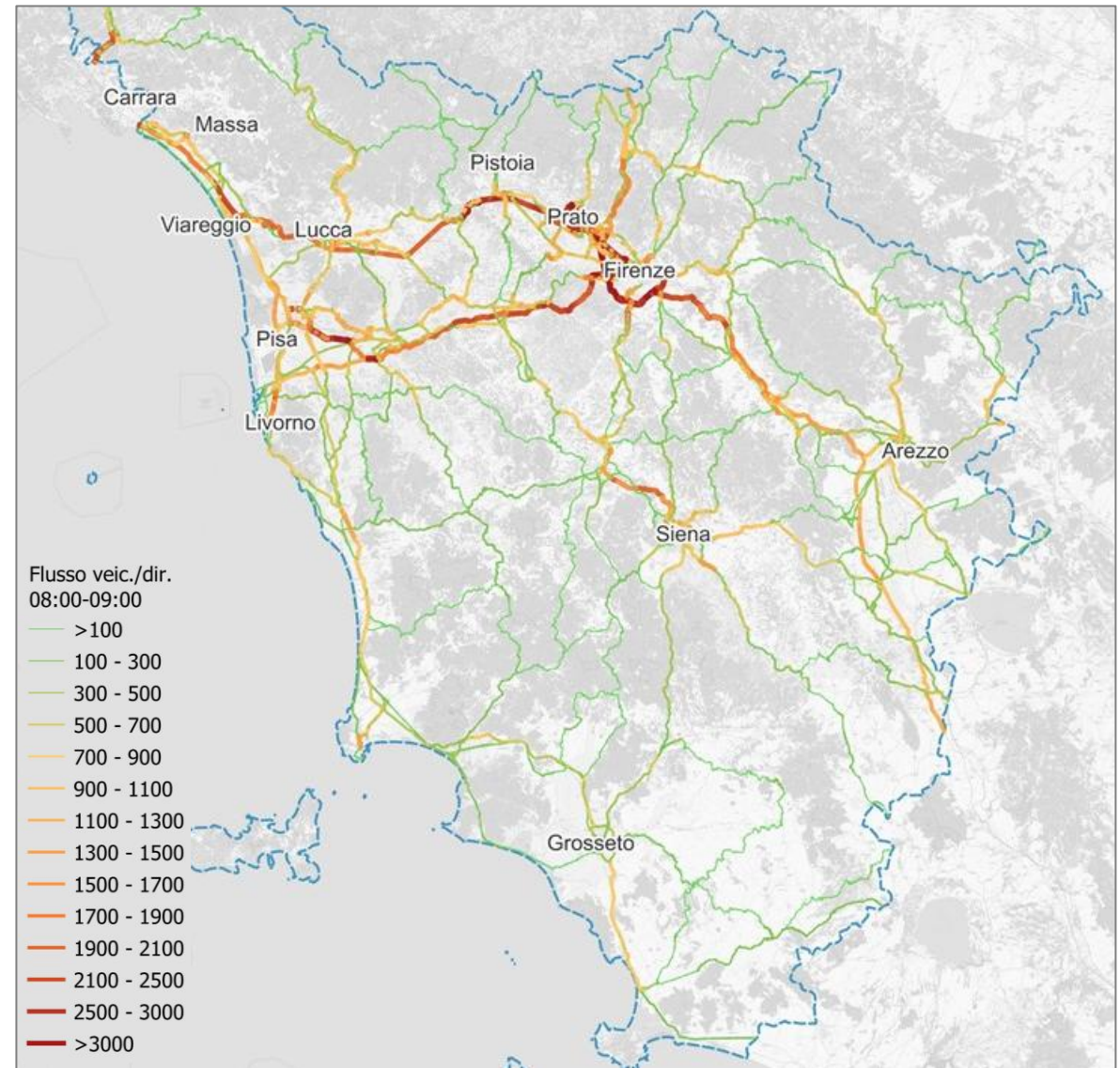
**Le tratte stradali strategiche
per la mobilità regionale**

ATTIVITÀ A

Analisi rete stradale Regione Toscana

Modello macroscopico

È stato sviluppato un **modello macroscopico** della **rete stradale** della **Toscana** ricostruendo la **domanda di mobilità** a partire dalla matrice origine/destinazione dell'ISTAT, integrata con i conteggi di traffico disponibili, mentre l'**offerta stradale** è rappresentata dal grafo certificato TomTom. La **zonizzazione** del territorio è stata effettuata a livello comunale, garantendo un adeguato livello di dettaglio per l'analisi. Il **modello** è stato quindi **calibrato** confrontando i flussi stimati con i dati osservati, fino a raggiungere una buona coerenza. L'output restituisce la distribuzione dei **flussi veicolari** circolanti sull'**intera rete stradale della Toscana** nella **fascia di punta del mattino di un giorno feriale medio**, utile a supportare valutazioni relative la strategicità delle tratte.



Analisi rete ferroviaria Regione Toscana

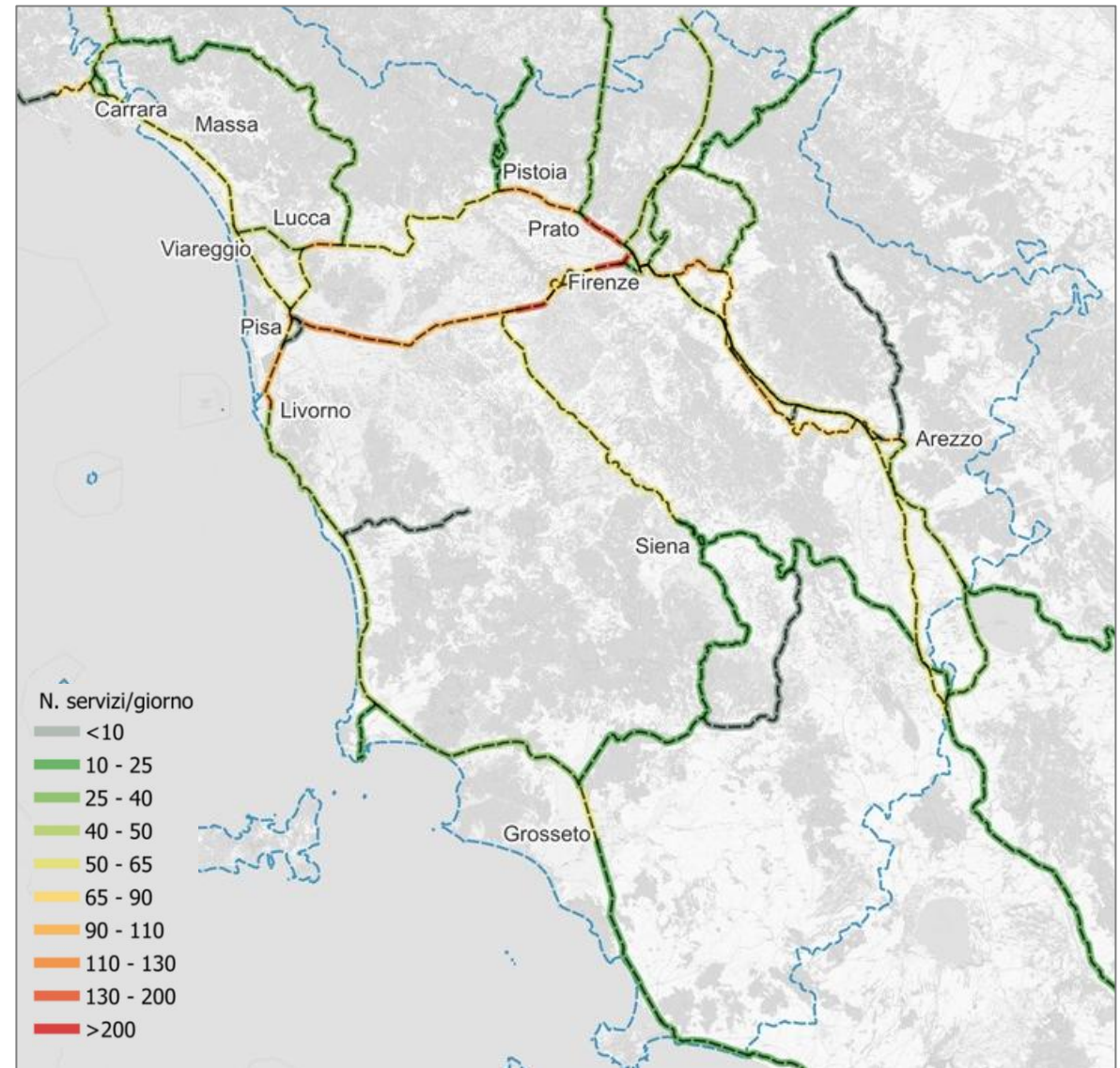
Modello macroscopico

È stato sviluppato un **modello macroscopico** della **rete ferroviaria** della Toscana.

L'**offerta ferroviaria** è stata rappresentata attraverso il grafo di OpenRailwayMap, mentre i **dati GTFS** di Trenitalia hanno consentito l'implementazione di tutte le **corse** nell'arco dell'intera giornata.

L'**area di studio** è stata definita in ottica **sovraregionale**, così da includere anche i servizi di lunga percorrenza.

La **numerosità dei servizi** è stata assunta come **indice della domanda di trasporto**, permettendo di valutare la rilevanza delle diverse direttrici. L'output grafico mostra il numero di servizi giornalieri per ciascuna tratta omogenea.

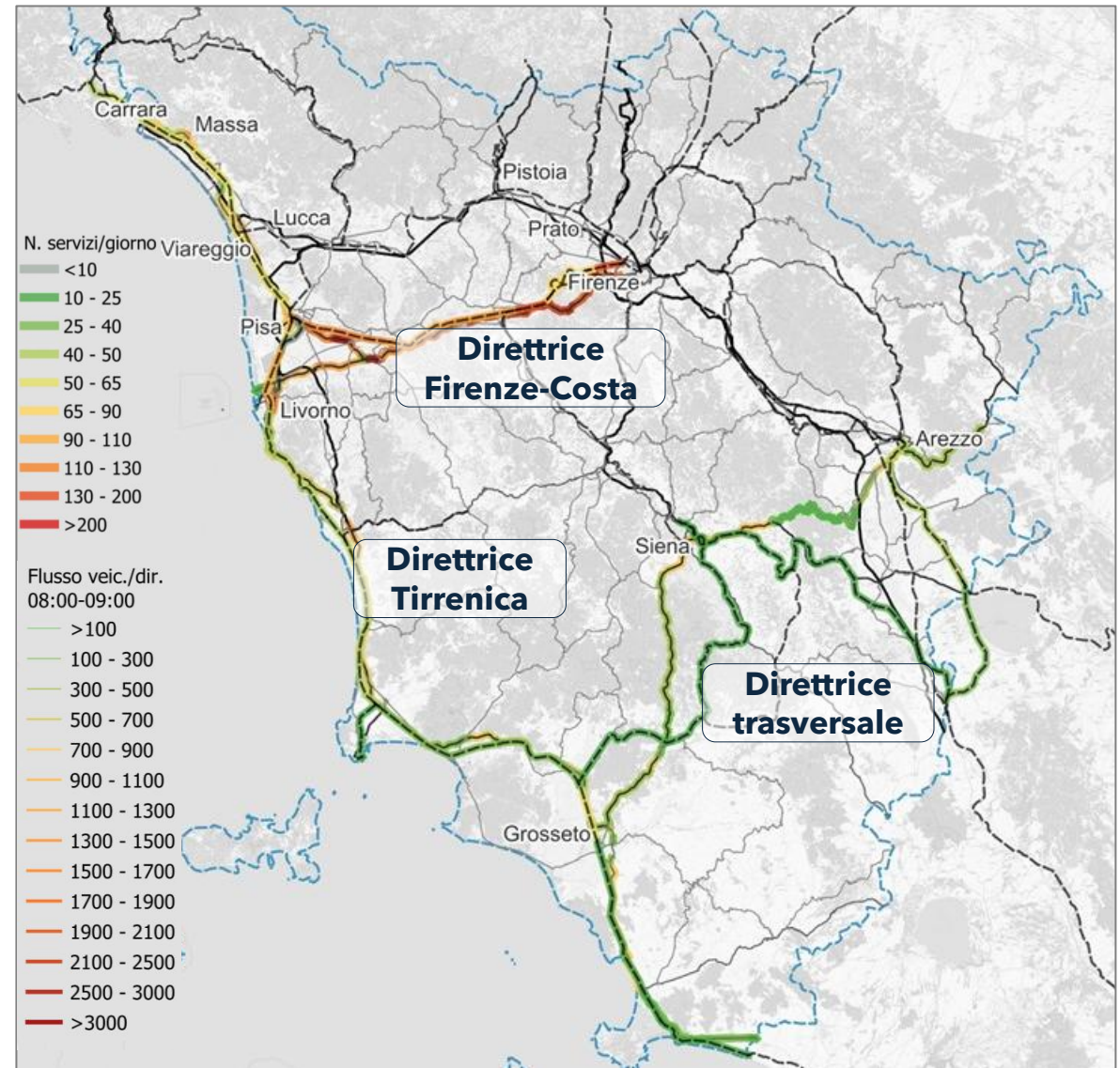


Analisi direttrici strategiche

Infrastrutture viarie e ferroviarie

Sebbene l'area di interesse sia quella regionale, si rilevano 3 **direttrici viarie e ferroviarie** particolarmente **strategiche** per la **mobilità territoriale** che necessitano di un maggior livello di approfondimento:

1. **Direttrice Firenze-Costa:** SGC "Fi-Pi-Li" e linea ferroviaria Firenze-Empoli-Pisa-Livorno
2. **Direttrice Tirrenica:** SS1 Aurelia nel tratto tra S.Pietro in Palazzi e Tarquinia "Tirrenica" e linea ferroviaria tirrenica (tratta Carrara-Capalbio)
3. **Direttrice trasversale:** E78 "Dei due Mari" (tratta ricadente nel bacino della regione Toscana) e relativo collegamento ferroviario



Individuazione tratte stradali strategiche

Fi-Pi-Li, SS1 e E78

Per ogni tratta omogenea dei 3 corridoi di studio (Fi-Pi-Li, SS1 e E78) è stata sviluppata un'analisi per individuarne il ruolo nella mobilità su scala regionale

Sono stati estratti **4 indicatori indipendenti** per la rete stradale :

- Numero di coppie OD intercettate dalla tratta
- Ritardo medio in caso di chiusura della tratta
- Distanza aggiuntiva da percorrere in caso di chiusura della tratta
- Flusso che, in caso di chiusura della tratta, subisce un ritardo >30%

Il ruolo di ogni tratta è stato valutato in relazione al corridoio di appartenenza, in modo da mitigare effetti dovuti a ordini di grandezza differenti tra tratte differenti di corridoi differenti

- I **4 indicatori** sono stati **normalizzati** rispetto ai valori delle sole tratte del singolo corridoio, rispettivamente Fi-Pi-Li, SS1, E78
- Sono quindi stati sommati per ottenere un **unico indicatore**
- L'indicatore sintetico finale fornisce una **misura della «strategicità»** di ogni singola tratta omogenea in relazione al corridoio di appartenenza

Per ciascun corridoio sono quindi individuate le tratte con ruolo strategico per la mobilità, ovvero la cui «disruption» metterebbe in crisi l'accessibilità di ampie zone di territorio. Sarà la **magnitudo** del rischio

- Le tratte individuate sono quelle con un **valore maggiore di 5 dell'indicatore sintetico normalizzato** (da 0 a 10)



UNIONCAMERE
TOSCANA



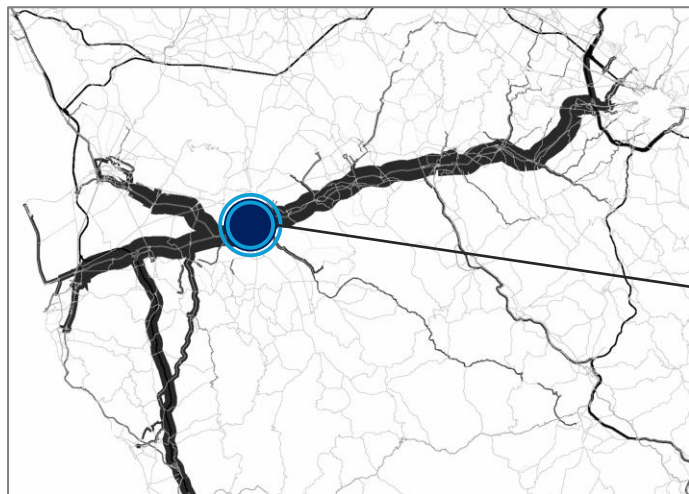
UNIONTRASPORTI



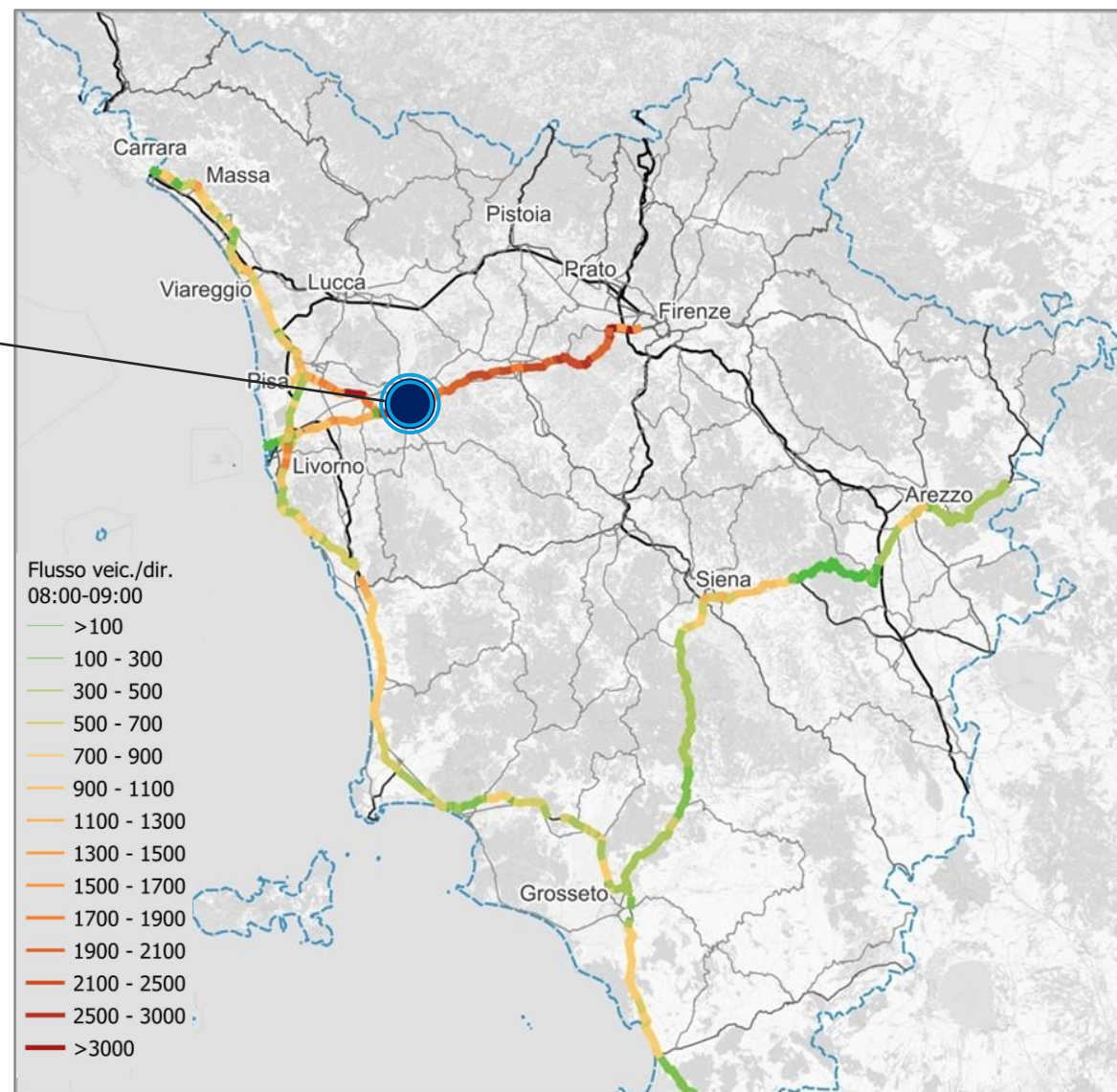
NET ENGINEERING

Individuazione tratte stradali strategiche

Calcolo Indicatori - «Albero dei flussi»

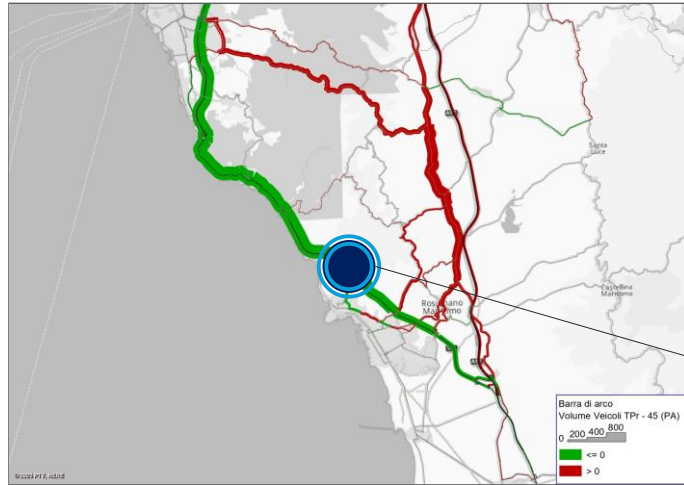


Per ciascun tratto omogeneo della rete - definito sia in base alle caratteristiche infrastrutturali sia in relazione al flusso di traffico circolante - è stato individuato il **numero di coppie origine-destinazione intercettate**, assunto come misura della **numerosità dei comuni serviti**, indipendentemente dal valore assoluto del relativo flusso veicolare.

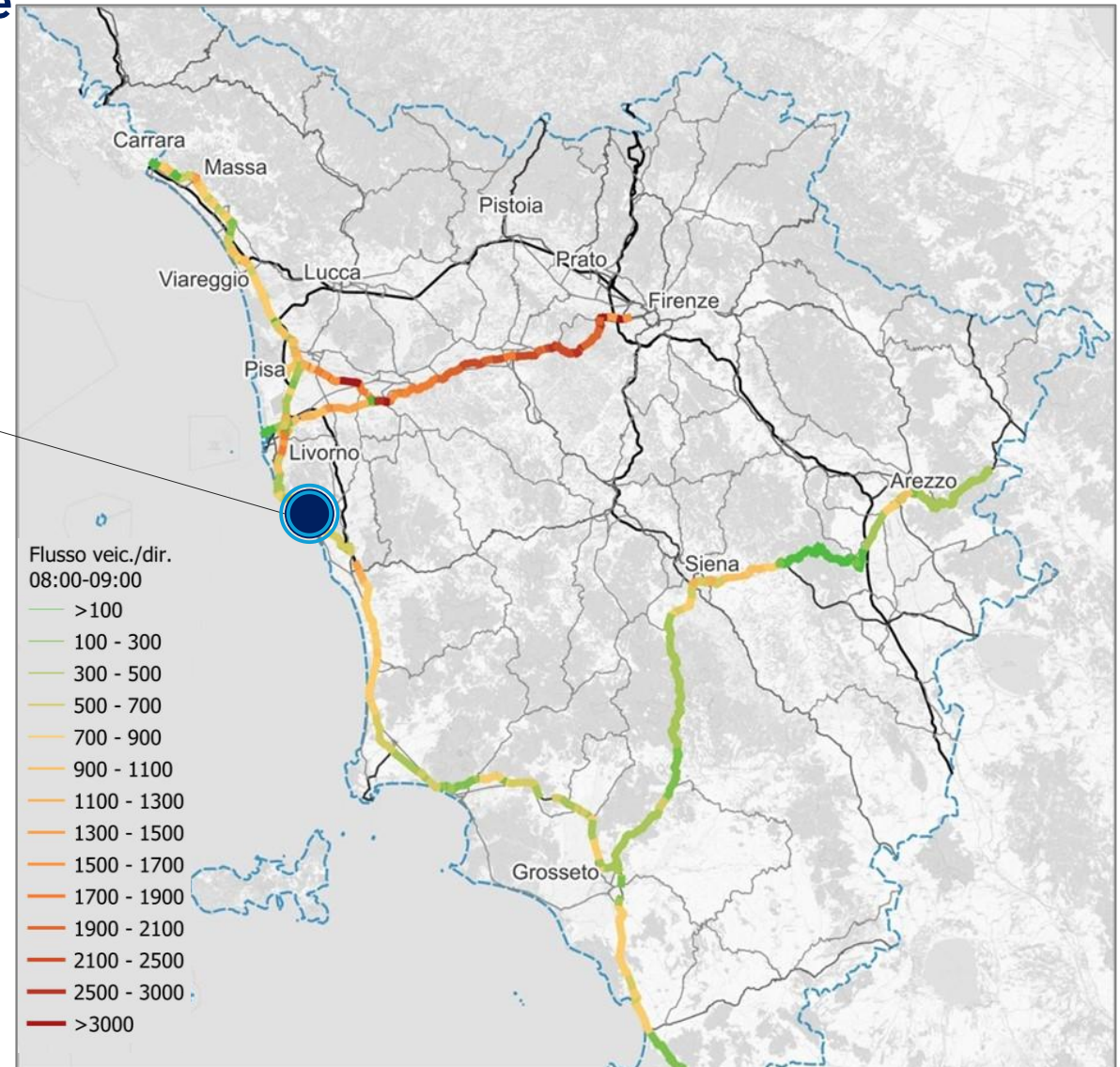


Individuazione tratte stradali strategiche

Calcolo Indicatori - Simulazione Chiusure



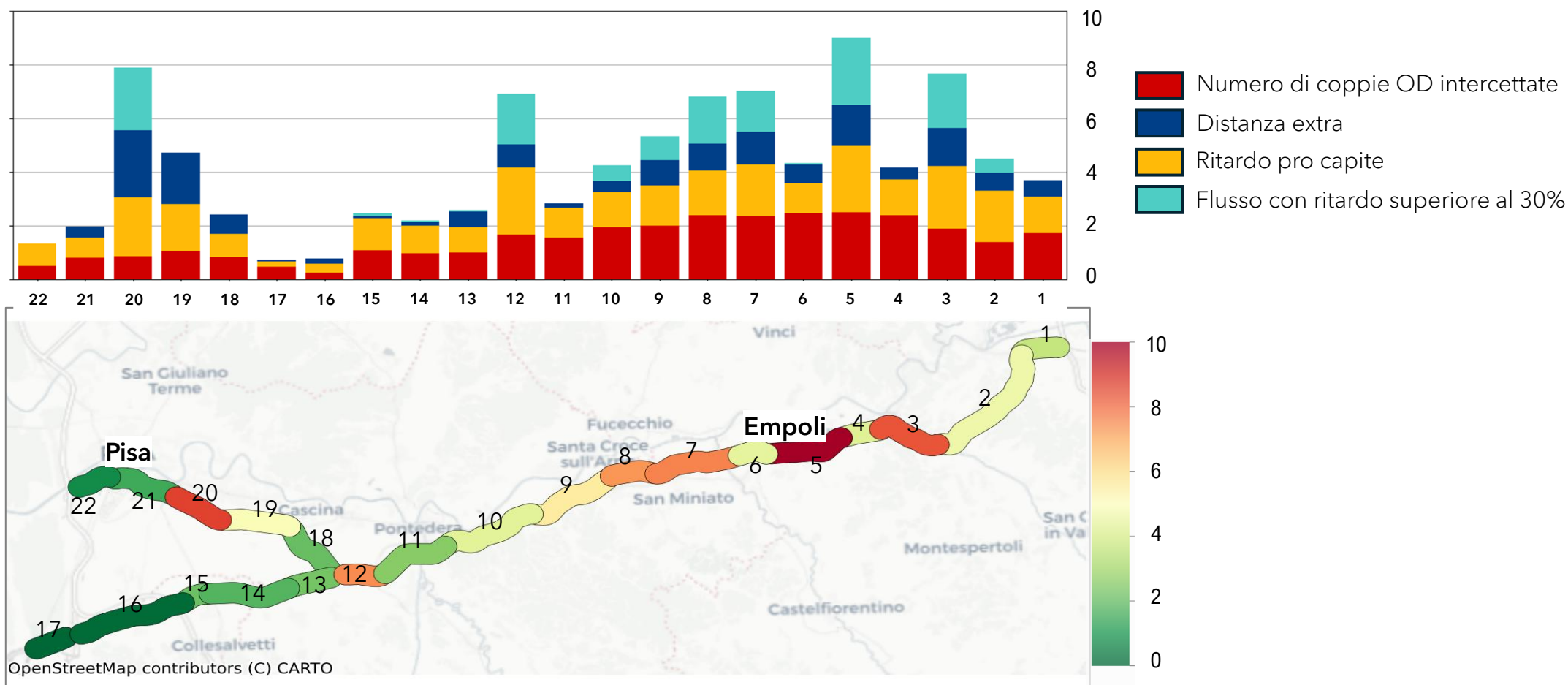
È stato analizzato uno scenario per ogni singola tratta omogenea, simulandone la chiusura al fine di valutarne preliminarmente gli effetti in termini di ritardo medio, incremento della distanza percorsa e quota di flusso veicolare soggetta a un ritardo superiore al 30% del tempo di percorrenza attuale.



Individuazione tratte stradali strategiche

Fi-Pi-Li

Il diagramma evidenzia «in pila» i valori normalizzati dei singoli indicatori.
La loro somma - da 1 a 10 - è la misura della «strategicità» della tratta



UNIONCAMERE
TOSCANA



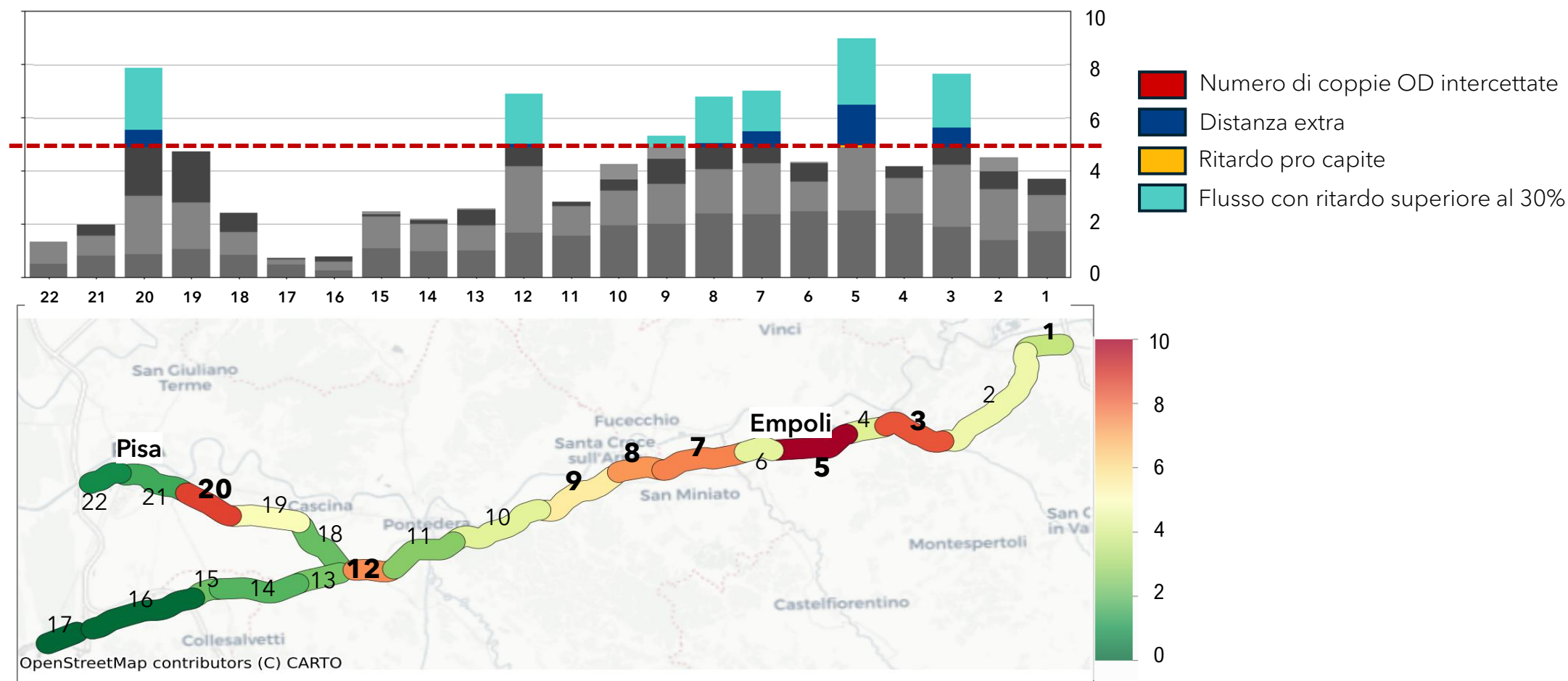
UNIONTRASPORTI



Individuazione tratte stradali strategiche

Fi-Pi-Li

Si evidenziano di seguito le **tratte** che, a seguito delle analisi condotte, hanno ottenuto un **punteggio trasportistico superiore a 5**.



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI

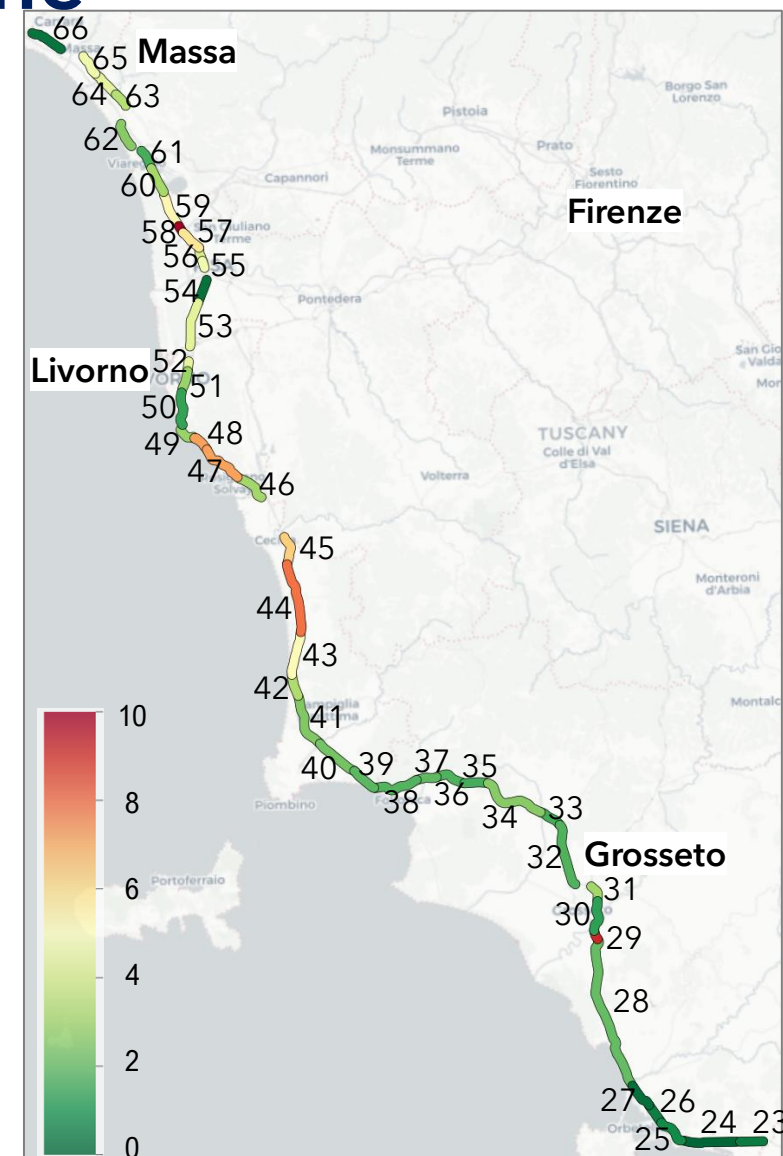
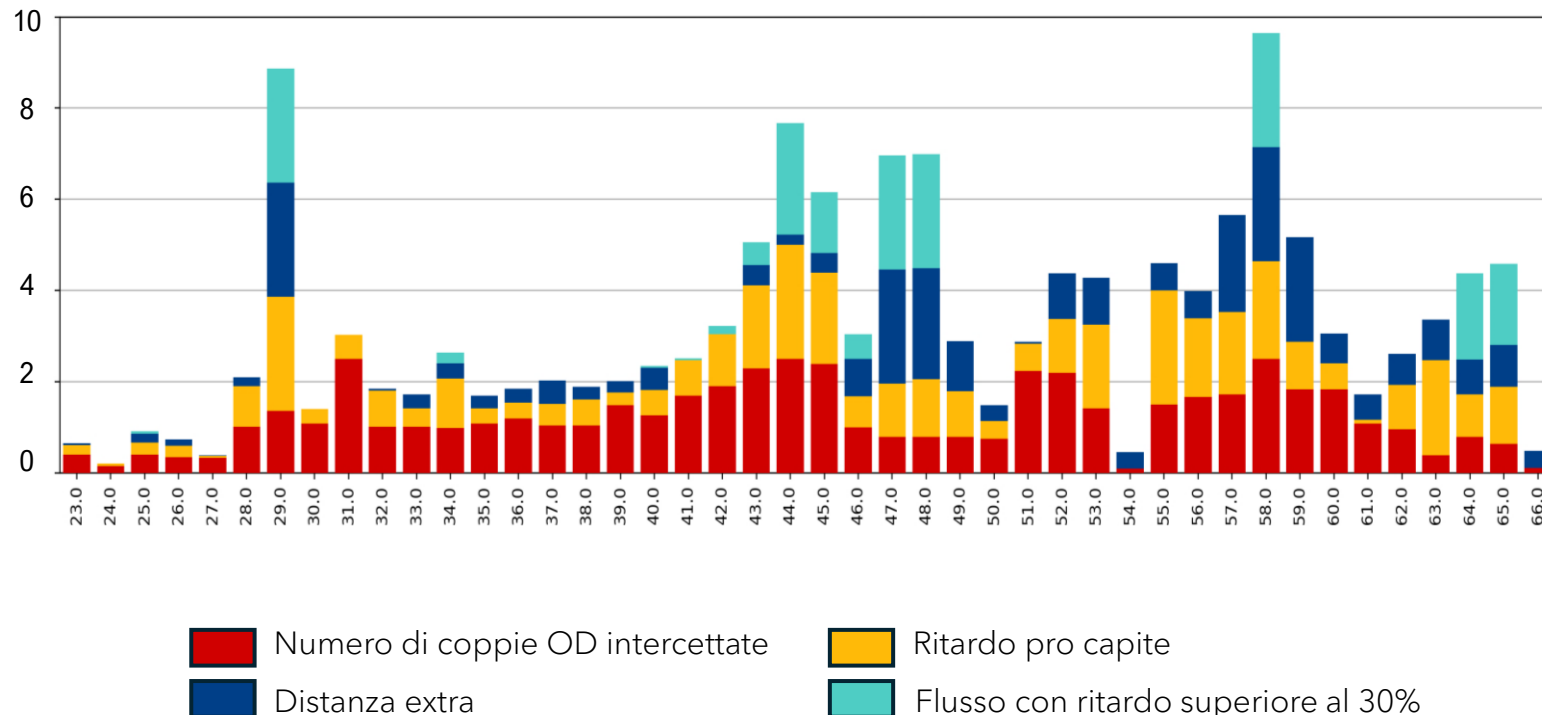


NET ENGINEERING

Individuazione tratte stradali strategiche

SS1

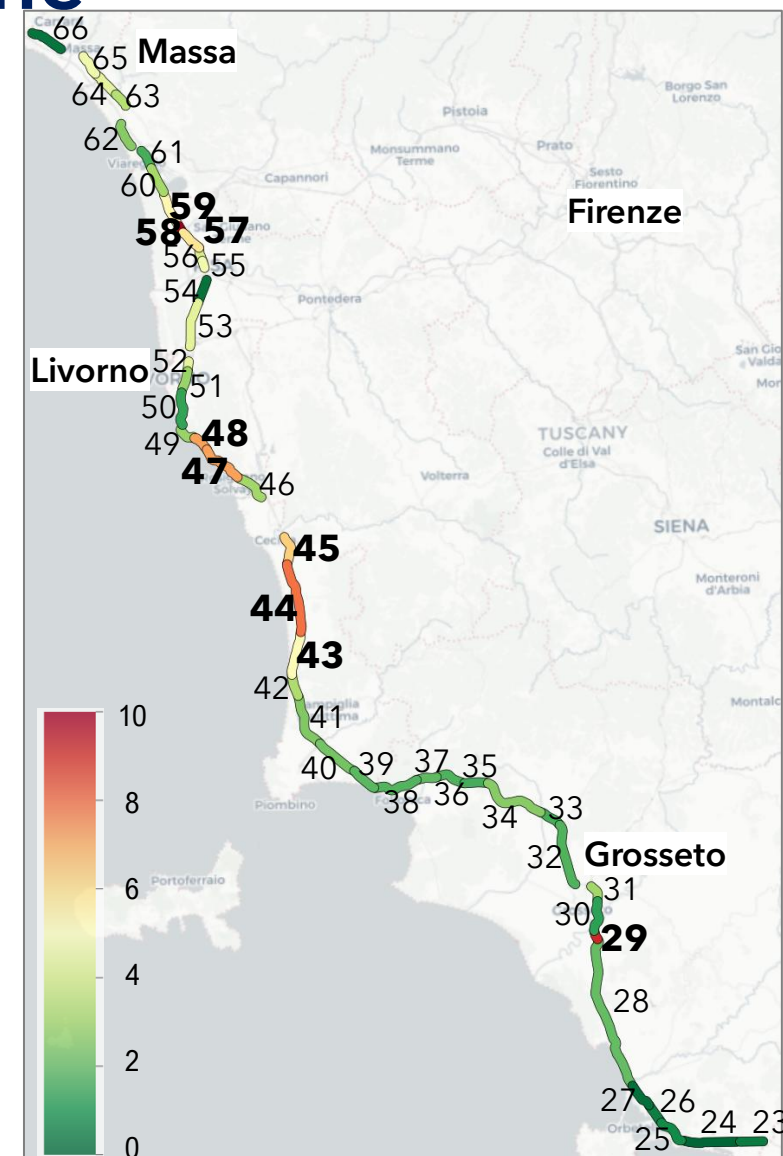
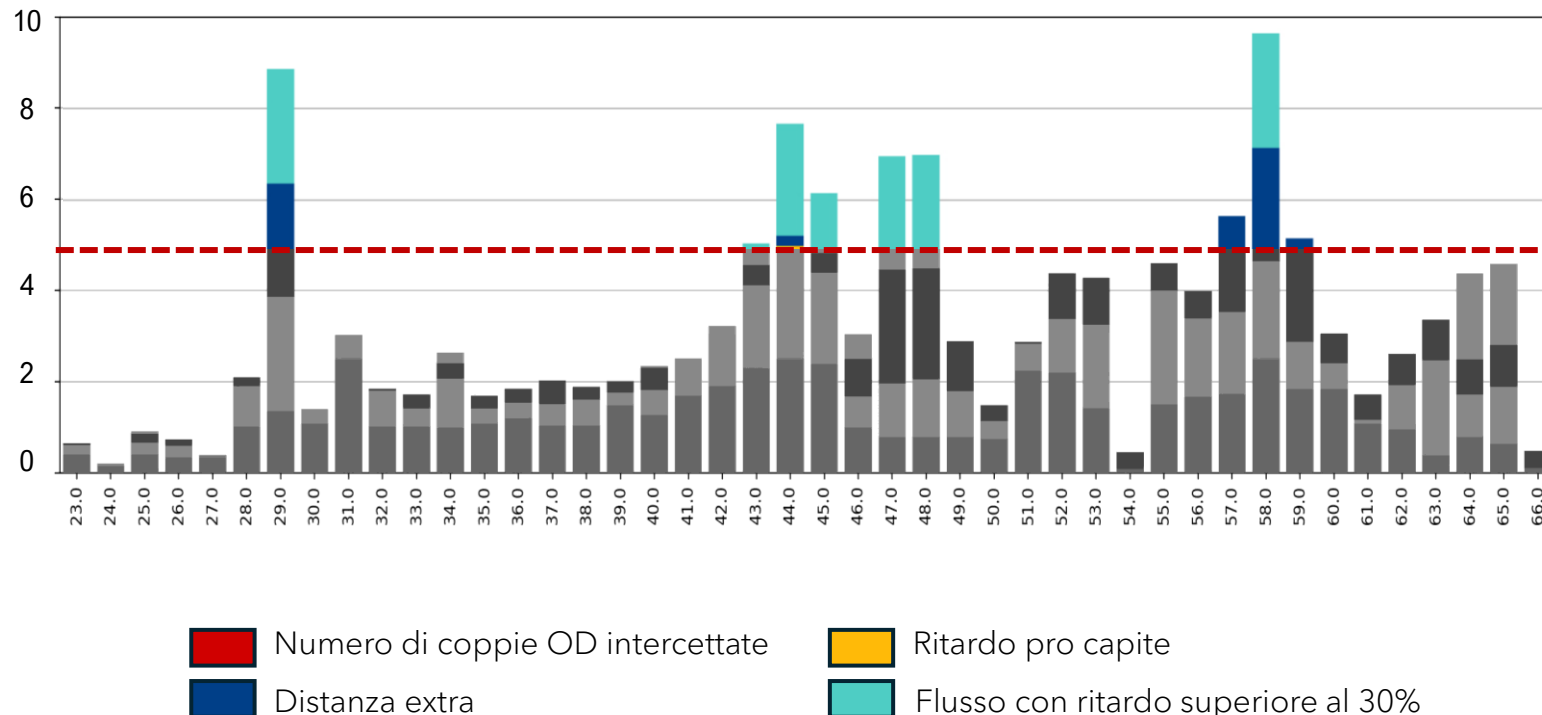
Il diagramma evidenzia «in pila» i valori normalizzati dei singoli indicatori. La loro somma - da 1 a 10 - è la misura della «strategicità» della tratta



Individuazione tratte stradali strategiche

SS1

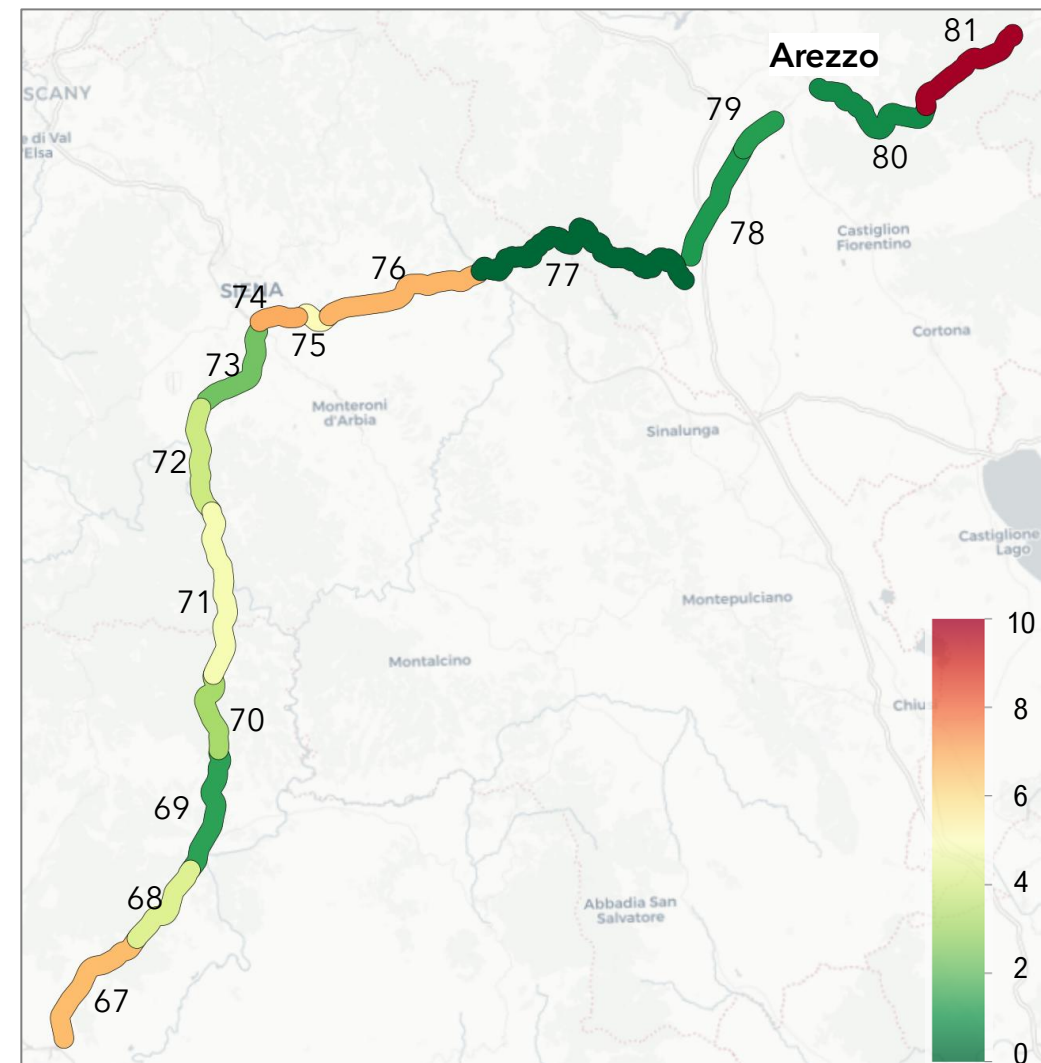
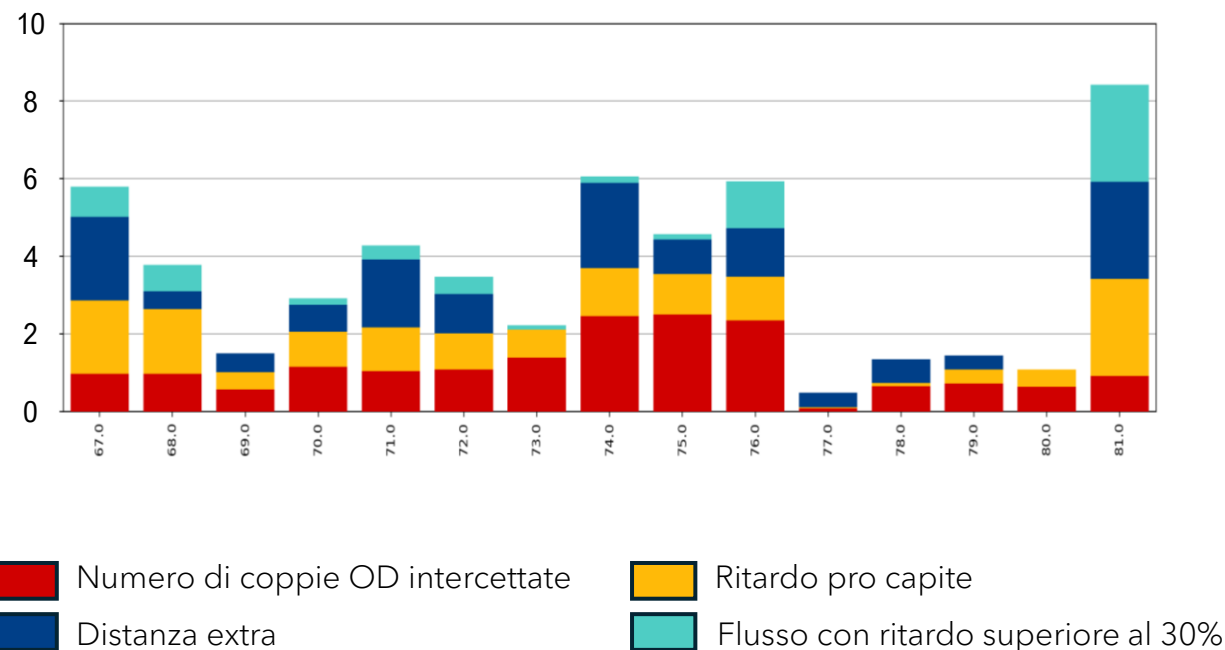
Si evidenziano di seguito le **tratte** che, a seguito delle analisi condotte, hanno ottenuto un **punteggio trasportistico superiore a 5**.



Individuazione tratte stradali strategiche

E78

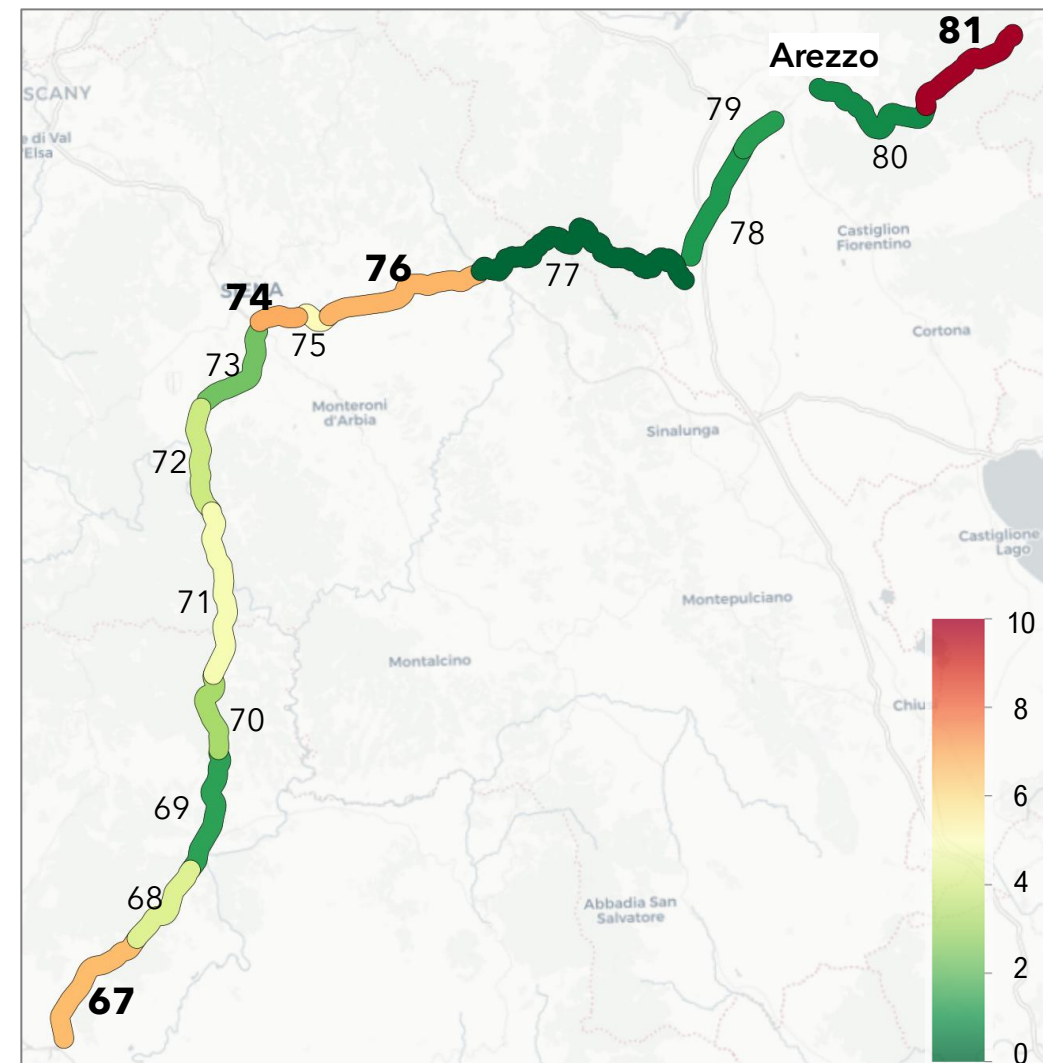
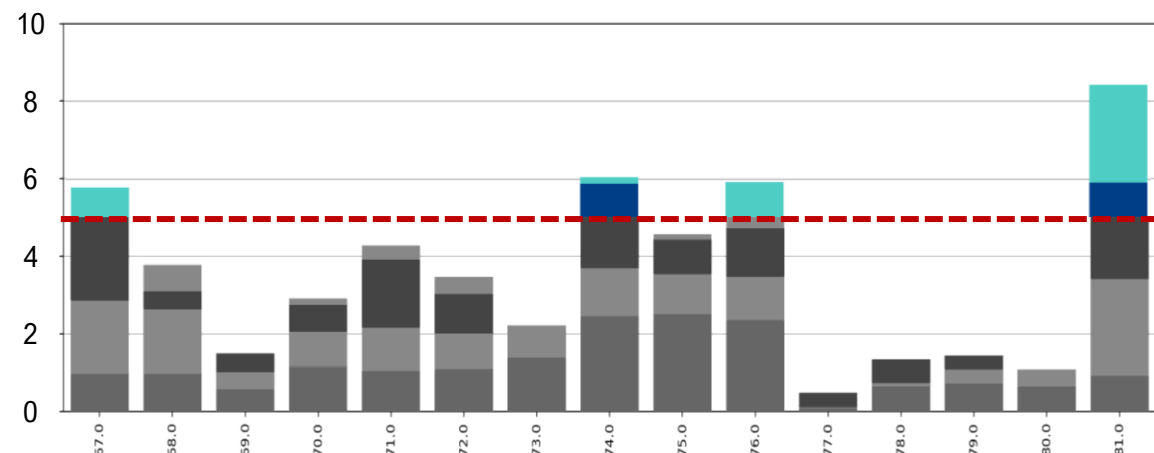
Il diagramma evidenzia «in pila» i valori normalizzati dei singoli indicatori. La loro somma - da 1 a 10 - è la misura della «strategicità» della tratta



Individuazione tratte stradali strategiche

E78

Si evidenziano di seguito le **tratte** che, a seguito delle analisi condotte, hanno ottenuto un **punteggio trasportistico superiore a 5**.

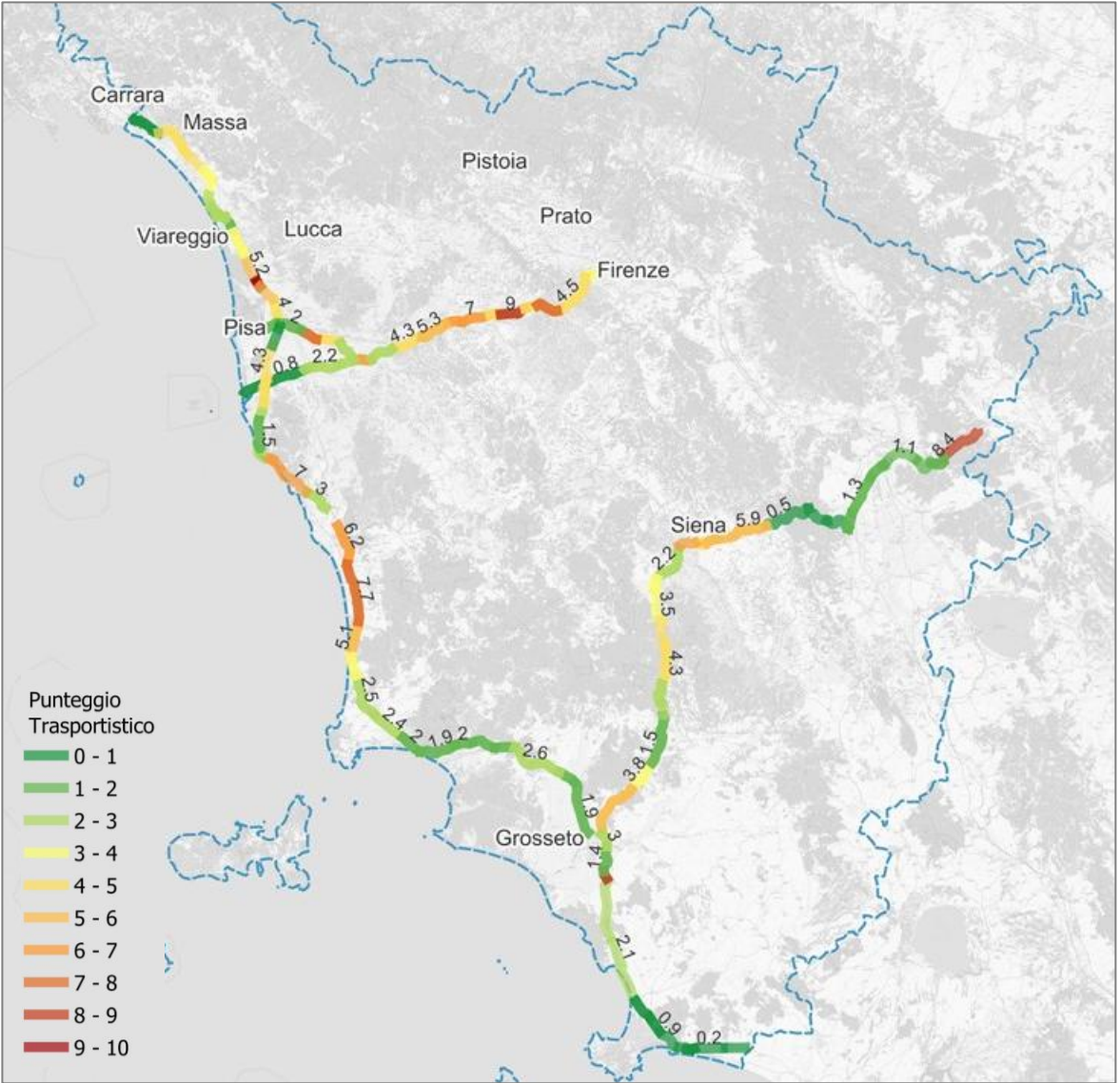


Individuazione tratte stradali strategiche

Punteggio trasportistico >5

La mappa e la relativa tabella evidenziano le **tratte** «strategiche» per la mobilità stradale regionale

Direttrice	N. tratta	Svincolo inizio	Svincolo fine	PT >5
FiPiLi	3	Ginestra Fiorentina	Montelupo Fiorentino	7.7
FiPiLi	5	Empoli Est	Empoli	9
FiPiLi	7	Empoli Ovest	San Miniato	7
FiPiLi	8	San Miniato	Santa Croce sull'Arno	6.8
FiPiLi	9	Santa Croce sull'Arno	Montopoli in Val d'Arno	5.3
FiPiLi	12	Ponsacco	Diramazione Pisa-Livorno	6.9
FiPiLi	20	Navacchio	Pisa Nord-Est	7.9
SS1	29	Montiano	Grosseto sud	8.9
SS1	43	San Vincenzo nord	Donoratico	5.1
SS1	44	Donoratico	Cecina sud - La California	7.7
SS1	45	Cecina sud	Genova - Rosignano	6.2
SS1	47	Rosignano Solvay	Chioma	7
SS1	48	Chioma	Quercianella	7
SS1	57	Madonna dell'acqua	Migliarino	5.7
SS1	58	Migliarino	A11	9.6
SS1	59	A11	Marina di Torre del Lago	5.2
E78	67	Grosseto	Montorsaio	5.8
E78	74	Siena	Siena est	6.1
E78	76	Taverne d'Arbia	Colonna del Grillo	5.9
E78	81	Palazzo del Pero	Le Ville	8.4



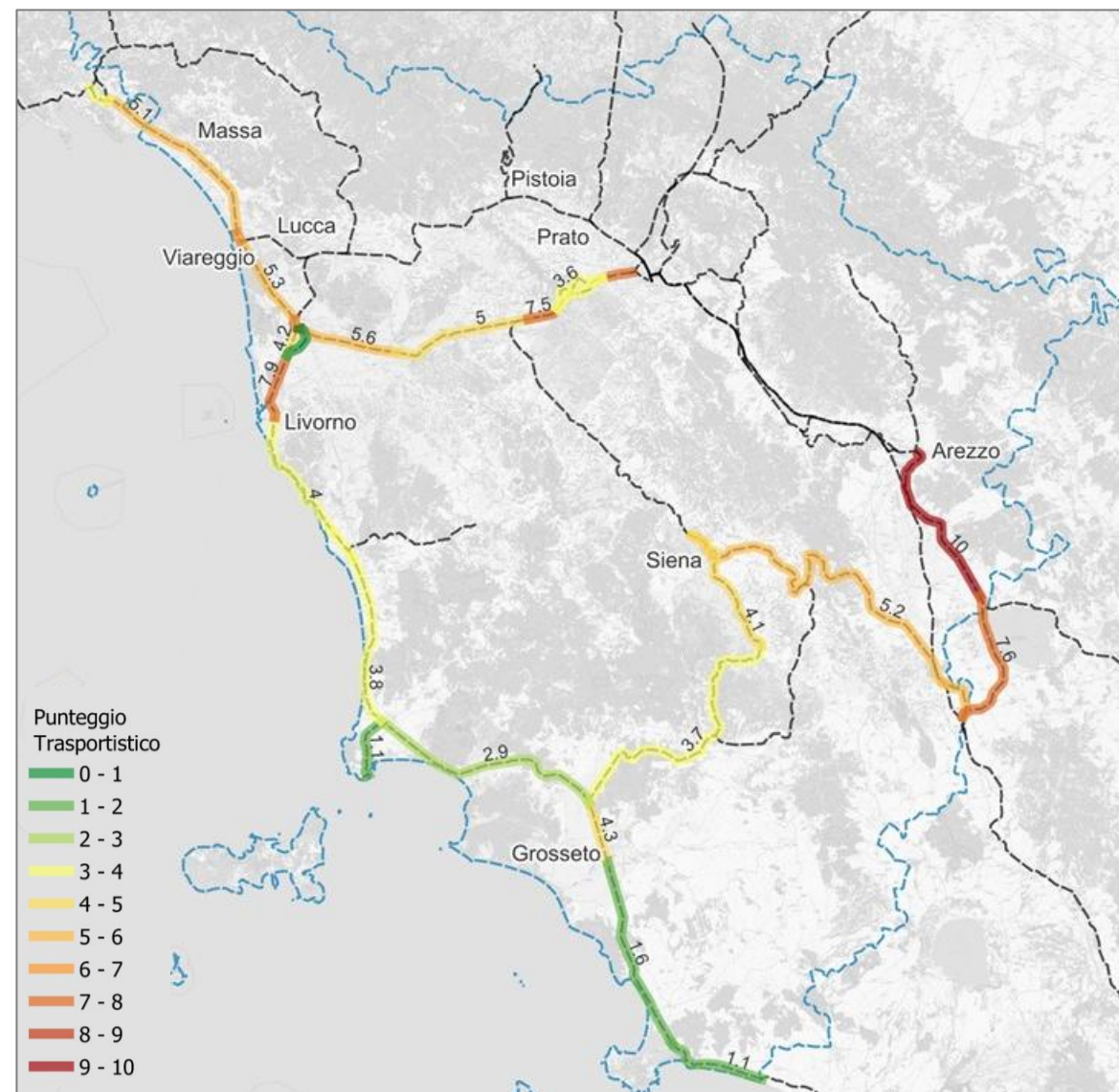
Individuazione tratte ferroviarie strategiche

Punteggio trasportistico >5

Il punteggio trasportistico, definito a partire dalla numerosità dei servizi giornalieri per ciascuna tratta e normalizzato rispetto alla direttrice di appartenenza, evidenzia le tratte a maggiore rilevanza per la mobilità ferroviaria regionale.

In particolare, risulta strategica la tratta Le Piagge (FI)-Empoli per la direttrice Firenze-Costa, la tratta Pisa C.le-Livorno C.le per la direttrice Tirrenica e la tratta Arezzo-Terontola per il collegamento Grosseto-Arezzo.

Direttrice	Stazione inizio	Stazione fine	PT >5
Firenze-Costa	Le Piagge (FI)	Empoli	7.5
Firenze-Costa	Empoli	Pontedera-Casciana T.	5.0
Firenze-Costa	Pontedera-Casciana T.	Pisa Centrale	5.6
Tirrenica	Pisa Centrale	Livorno Centrale	6.8
Tirrenica	Pisa San Rossore	Viareggio	5.3
Tirrenica	Viareggio	Carrara-Avenza	5.1
Grosseto-Arezzo	Siena	Chiusi	5.2
Grosseto-Arezzo	Chiusi	Terontola	7.6
Grosseto-Arezzo	Terontola	Arezzo	10

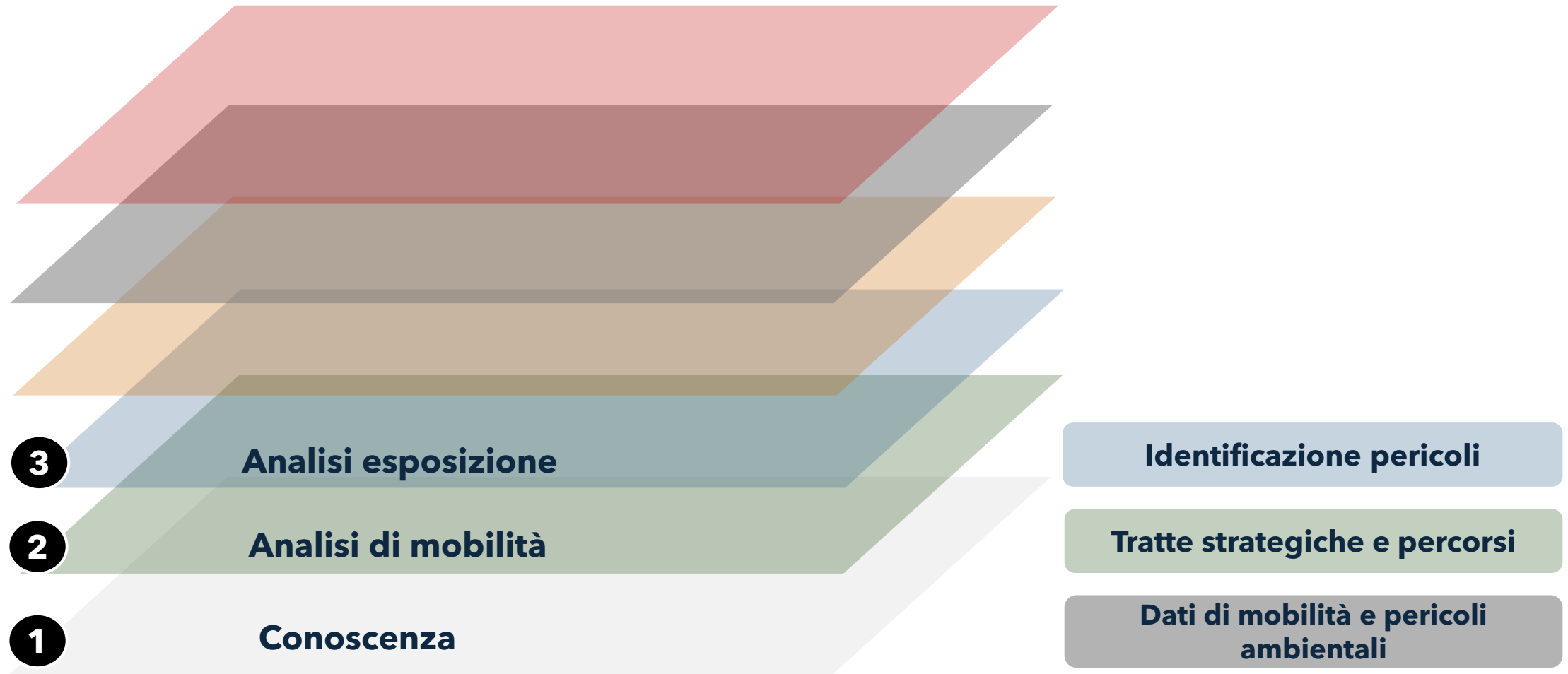


04

Identificazione dei pericoli
ATTIVITÀ B

I livelli delle analisi

Quadro complessivo



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



NET ENGINEERING

Valutazione dei pericoli

Il territorio della regione Toscana è stato schematizzato in aree quadrate di lato 5km, rispetto alle quali sono stati individuati i principali pericoli

Sono stati individuati **5 pericoli**, ottenuti da una combinazione di fattori ed indicatori relativi ai diversi aspetti del pericolo stesso ed alle condizioni del territorio:

- Pericolo **idraulico**;
- Pericolo **idrogeologico**;
- Pericolo da **incendio** e condizioni meteo critiche associate
- Pericolo da **impianti** strategici;
- Pericolo **costiero** e condizioni meteo critiche associate



Ogni porzione del territorio è stata quindi caratterizzata da un livello di «frequenza» di accadimento del singolo pericolo

Il risultato è rappresentato da **mappe di pericolosità** che caratterizzano il territorio

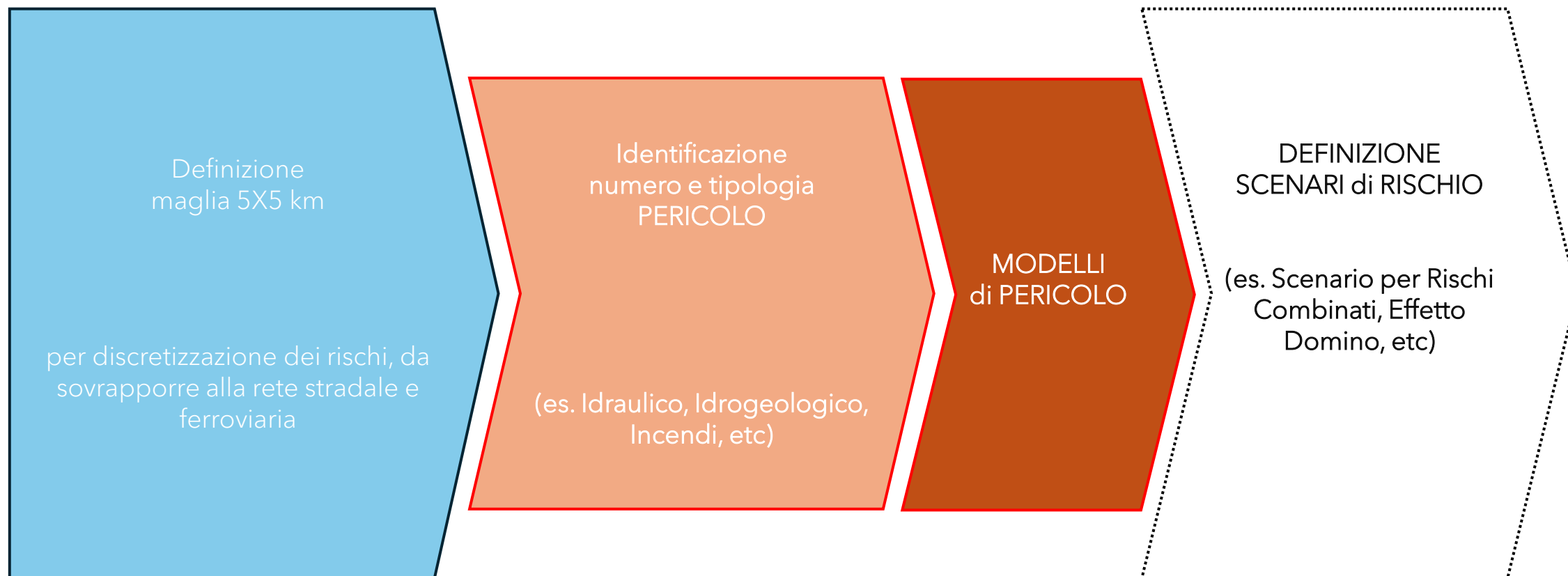


Ogni porzione di territorio è stata poi caratterizzata da un livello di «frequenza» di 3 tipologie di pericolo: singolo, combinato ed «effetto domino»

- Il **pericolo «combinato»** è quello dovuto alla somma di 2 o più pericoli (si è analizzato quello idraulico-idrogeologico)
- L'«**effetto domino**» è considerato come la somma di pericoli di cui uno è generato dall'accadimento degli altri



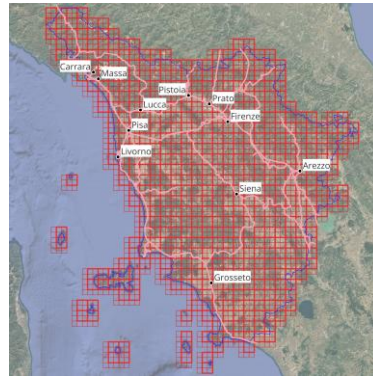
Valutazione dei pericoli



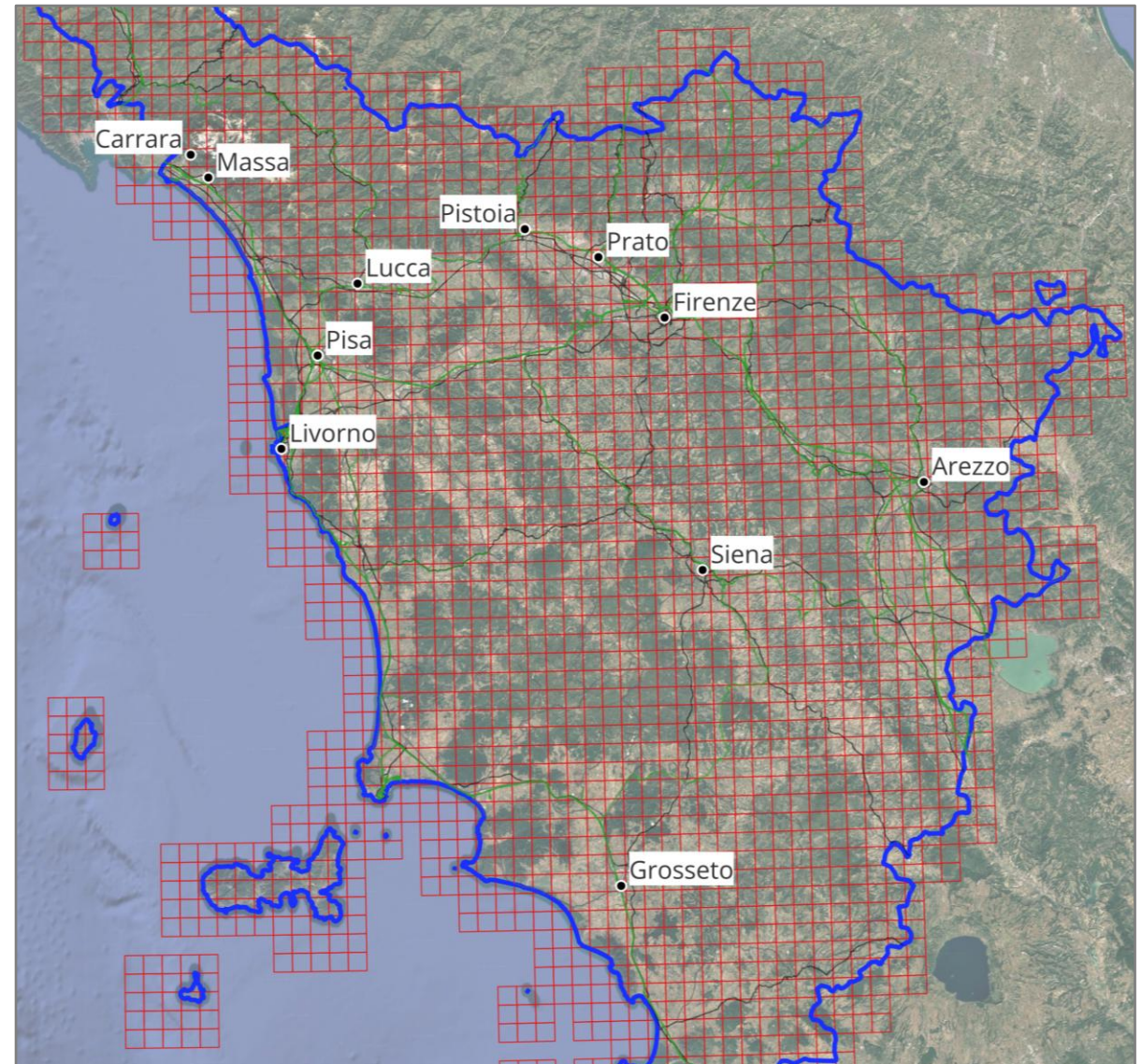
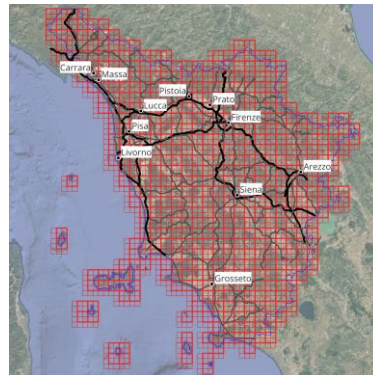
Definizione Griglia

5x5 km

- Rete ferroviaria



- Rete stradale



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



ENGINEERING

Identificazione dei Pericoli

Per numero, tipologia e rilevanza

La **selezione** di questi **pericoli** è stata effettuata considerando la loro rilevanza e il potenziale impatto sulla sicurezza, sull'affidabilità e sulla continuità delle infrastrutture viarie e ferroviarie.

Essi rappresentano dei **fattori di rischio** in grado di compromettere non solo l'integrità delle opere, ma anche la regolarità dei servizi di trasporto e la tutela degli utenti.

L'analisi include sia criticità ambientali sia **naturali** (eventi idraulici, idrogeologici, condizioni meteo estreme), sia aspetti legati al **contesto territoriale**, come la presenza di siti industriali o la vicinanza di tratti costieri esposti a mareggiate ed erosione. L'individuazione dei pericoli risponde così a un approccio integrato di prevenzione e gestione, volto a rafforzare la resilienza delle reti di trasporto.

- P1: Idraulico
- P2: Idrogeologico
- P3: Incendi e meteo critico
- P4: Siti rilevanti
- P5: Costa e windsurges

I pericoli individuati non sono entità isolate, ma comprendono al loro interno **diversi indicatori specifici**, che consentono di descriverne meglio la natura, l'intensità e i possibili effetti.



P1 – Pericolo Idraulico

Indicatori di composizione del Pericolo

P1: Idraulico: alluvioni e esondazioni che possono interrompere linee e danneggiare opere civili. Di seguito sono riportati gli indicatori associati al **pericolo Idraulico** e le rispettive fonte dati.

P1_1 – Pericolosità da alluvione (PGRA) - Pericolosità da alluvione 2019 (Dominio Fluviale+Costiero) - Distretto Appennino Settentrionale

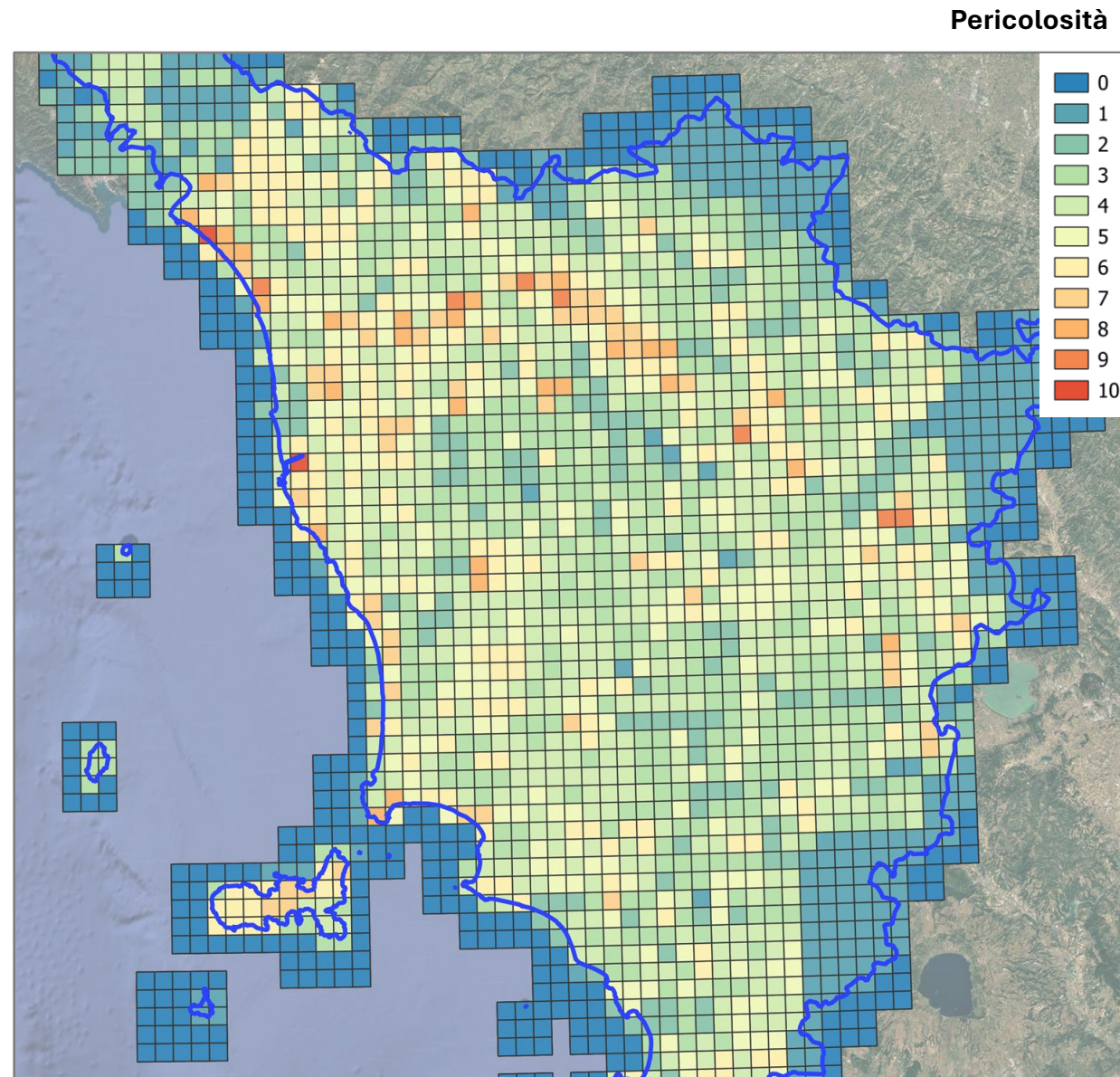
P1_2_1 – Permeabilità del suolo - Uso e copertura del suolo 2024 - Regione Toscana (strato MUST, WMS)

P1_2_2 – Percentuale di superficie artificiale - Aree artificializzate 2019 - percentuale di superficie potenzialmente impermeabilizzata (UCS10k P1_2)

P1_3 – Pendenza orografica - Modello Digitale del Terreno 1 m 2024 - Risoluzione Alta (DTM LiDAR Toscana)

P1_4 – Pericolosità da flash-flood - Pericolosità da flash flood 2007/60/CE - UoM Toscana (Il ciclo)

P1_5 – Pericolosità da prossimità fluviale - Pericolosità alluvionale (P1, P2, P3) 2019 - PGRA Toscana - AdB Appennino Settentrionale, Opere di difesa spondale e arginature 2021 - PGRA Toscana



P2 – Pericolo Idrogeologico

Indicatori di composizione del Pericolo

P2: Idrogeologico: frane e smottamenti che compromettono la stabilità di strade e ferrovie in aree collinari/montane. Di seguito sono riportati gli indicatori associati al **pericolo Idrogeologico** e le rispettive fonti dati.

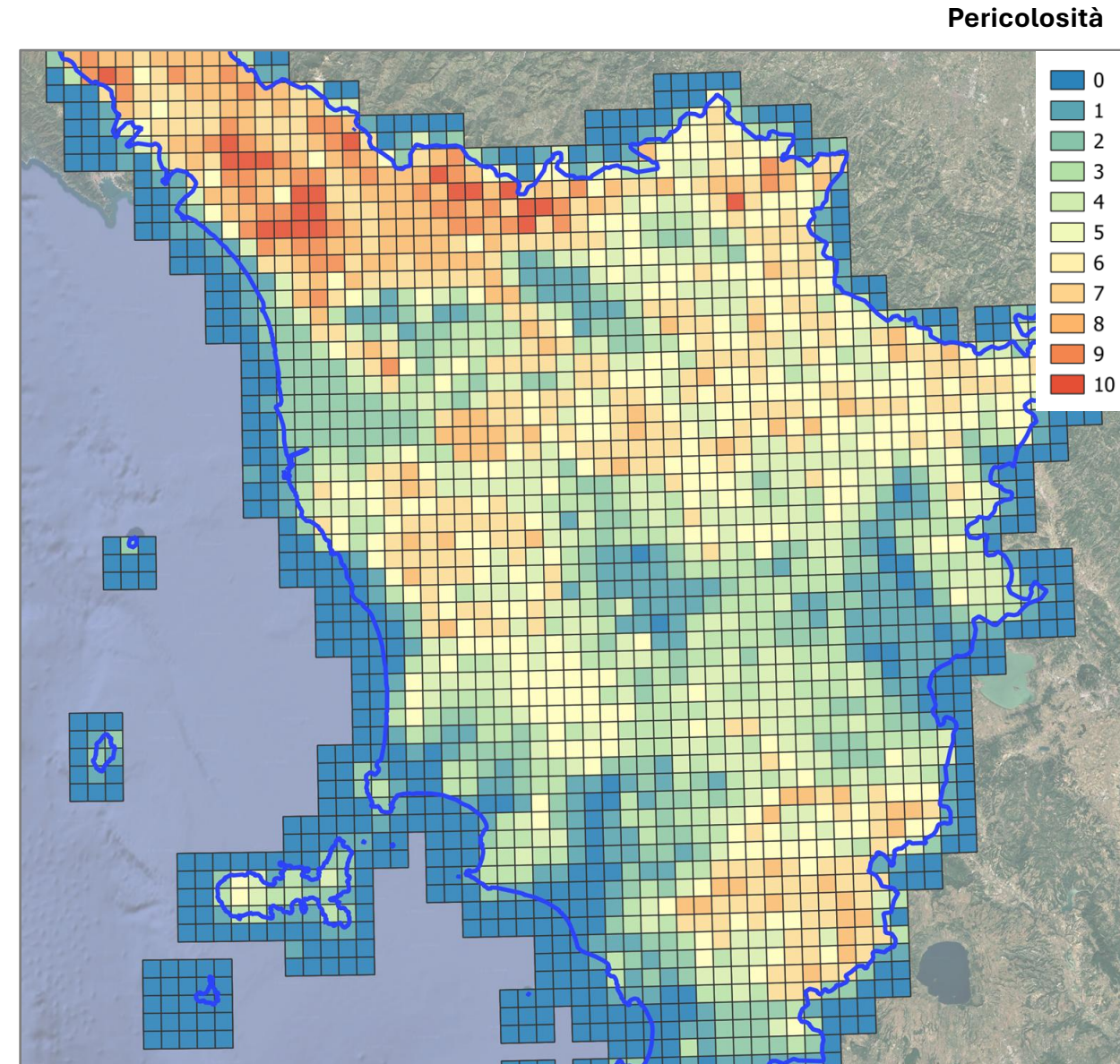
P2_1 – Numero di fenomeni franosi - Frane IFFI (Fenomeni Franosi Italia) 2019 - Regione Toscana

P2_2 – Inclinazione orografica (>15%) - Modello Digitale del Terreno 1 m 2024 - Risoluzione Alta (DTM LiDAR Toscana)

P2_3_1 – Quantità di pioggia caduta - IDW accumulata - Precipitazioni marzo 2025 (Copernicus Climate Data)

P2_3_2 – Inclinazione orografica (>30%) - Modello Digitale del Terreno 1 m 2024 - Risoluzione Alta (DTM LiDAR Toscana)

P2_3_3 – Pericolosità per tipologia di frane - Frane IFFI (Fenomeni Franosi Italia) 2019 - Regione Toscana



P3 – Pericolo Incendi ed eventi climatici relativi

Indicatori di composizione del Pericolo

P3: Incendi e meteo critico: eventi come incendi boschivi e ondate di calore che possono compromettere l'operatività e la sicurezza delle infrastrutture. Di seguito sono riportati gli indicatori associati al **pericolo Incendi** e le rispettive fonti dati.

P3_1 – Pericolo per fuochi cat.3 – EFFIS – Aggregated Wildfire Risk Index (preliminary prototype)

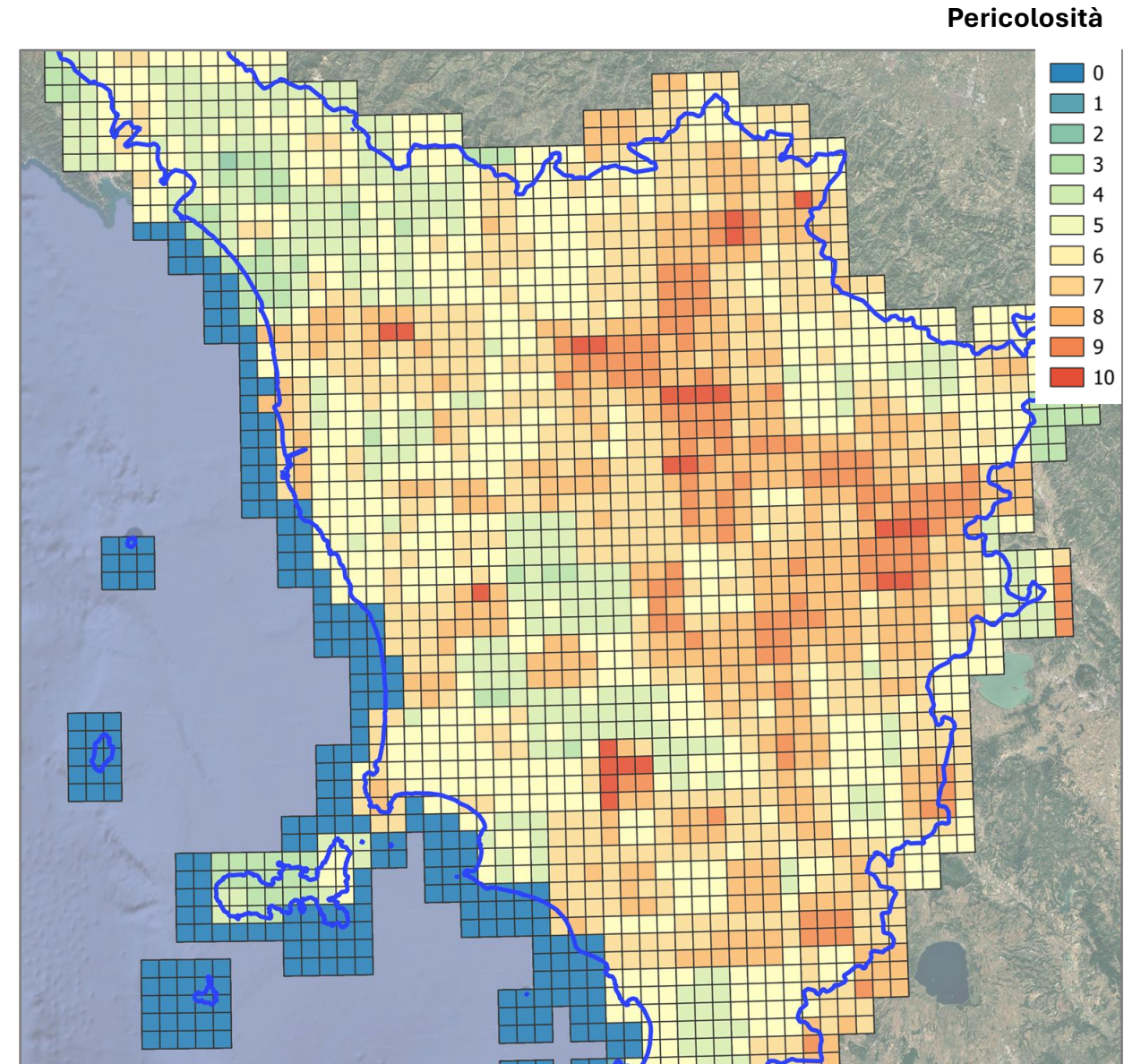
P3_2 – Pericolo per fuochi cat.2 – EFFIS – Aggregated Wildfire Risk Index (preliminary prototype)

P3_3 – Pericolosità per condizioni climatiche estreme – Danger by weather (FWI30-days) – European Wildfire Risk Assessment

P3_4 – Pericolosità per anomalie termiche – Danger by wildfire thermal anomalies – European Wildfire Risk Assessment

P3_4 – Storico incendi Regione Toscana – INCENDI – Regione Toscana (SIPT – Sistema Informativo e Pianificazione del Territorio).

P3_5 – Raffiche di vento – CERRA – Copernicus Regional ReAnalysis for Europe, 10m wind gust



P4 – Pericolo Siti Industriali Rilevanti

Indicatori di composizione del Pericolo

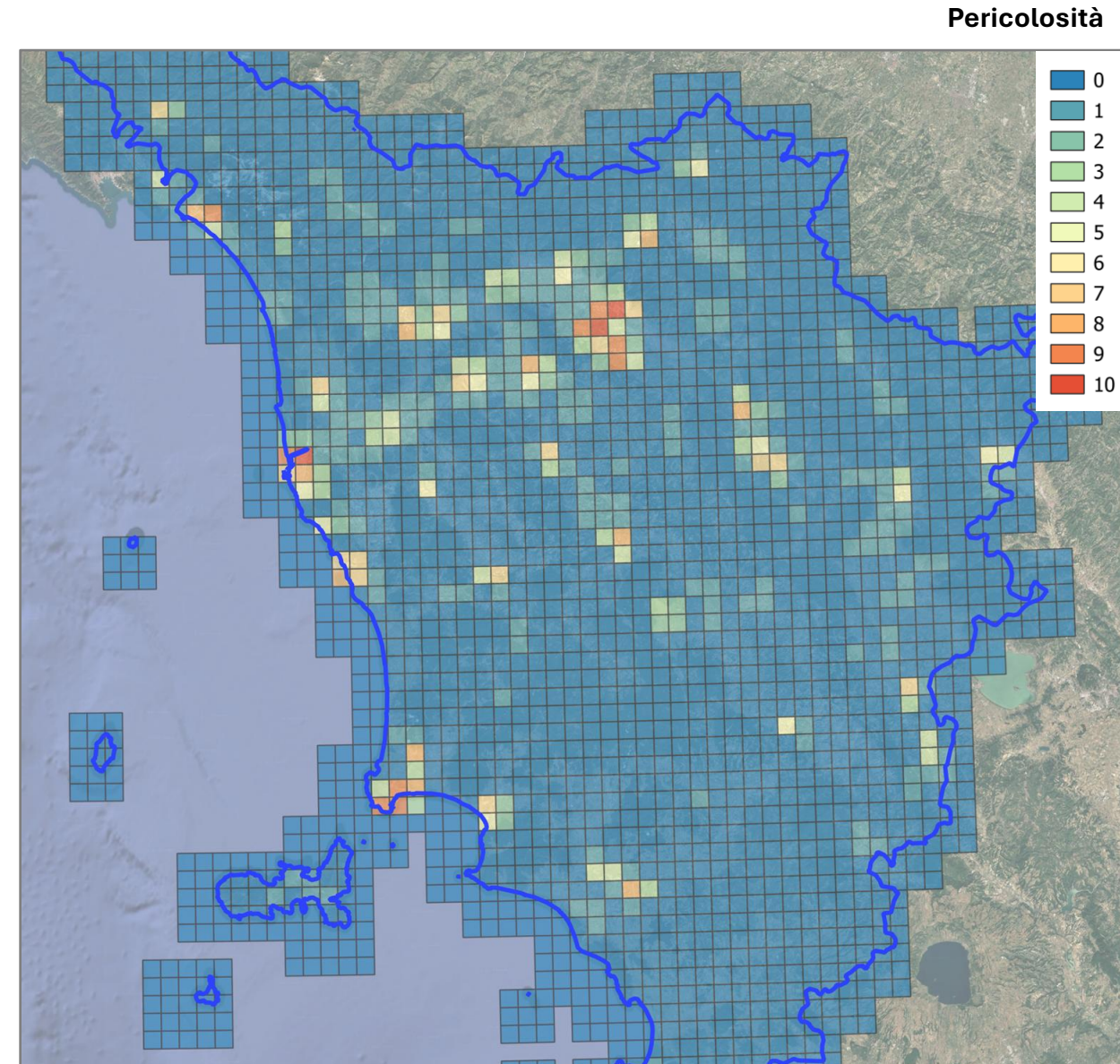
P4: Siti rilevanti: la vicinanza a industrie a rischio o depositi pericolosi espone le infrastrutture a eventi accidentali gravi. Di seguito sono riportati gli indicatori associati al **pericolo dei siti Industriali** e le rispettive fonti dati.

P4_1 – Aziende a rischio di incendio rilevante - SEVESO - Aziende a rischio di incidente rilevante / MASE - ISPRA

P4_2 – Industrie manifatturiere - Registro Imprese (Camere di Commercio) - elaborazioni Regione Toscana.

P4_3_2 – Impianti IPPC - IPPC - Autorizzazioni integrate ambientali / MASE, ISPRA, Regioni e ARPA competenti.

P4_4 – Impianti di gestione rifiuti - Siti rifiuti - Impianti di gestione rifiuti / MASE, ISPRA, Regioni/ARPA, Catasto Rifiuti ISPRA.



P5 – Pericolo Costiero

Indicatori di composizione del Pericolo

P5: Costa e windsurges: infrastrutture costiere sono vulnerabili a mareggiate ed erosione, con rischio di danni e interruzioni. Di seguito sono riportati gli indicatori associati al **pericolo Costiero** e le rispettive fonti dati.

P5_1 – Pericolosità Idraulica costiera - Linea di costa ed erosione / Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

P5_2_1 – Erosione costiera - Opere di difesa spondale e arginature 2021 - PGRA Toscana

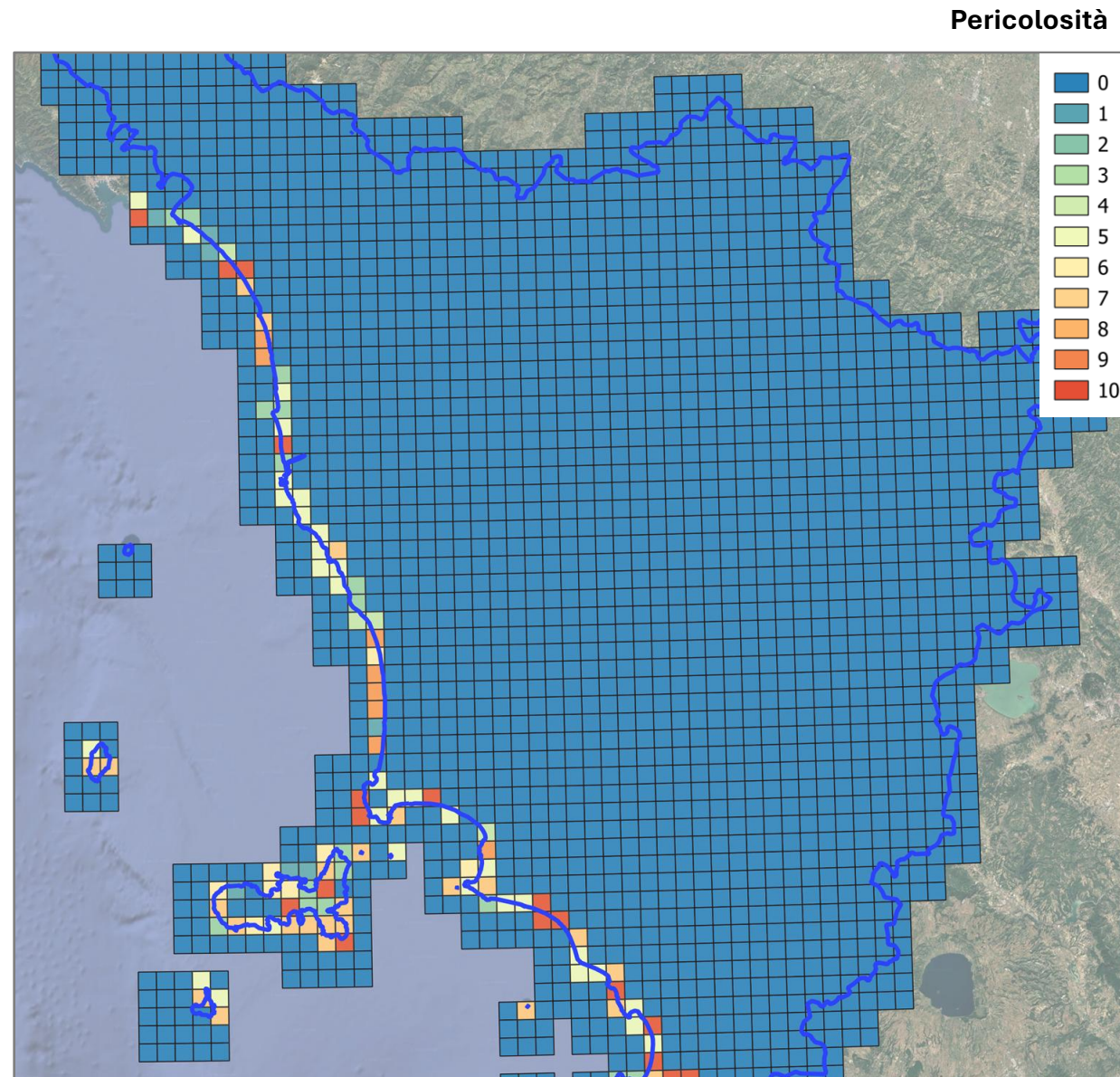
P5_2_2 – Tipologia di costa - Opere di difesa spondale e arginature 2021 - PGRA Toscana

P5_3 – Velocità del vento a 10m - CERRA - Copernicus Regional ReAnalysis for Europe / 10 m wind mean

P5_4 – Raffiche di vento a 10m - CERRA - Copernicus Regional ReAnalysis for Europe / 10 m wind gust

P5_5 – Pericolo di windsurges - SIR Toscana - Servizio Idrologico Regionale / Centro Funzionale

P5_6 – Storico eventi - Report meteorologici e trend climatici - LaMMA Toscana



Combinazione dei pericoli

Nella fase di valutazione del rischio, la **combinazione dei pericoli** assume un ruolo centrale, poiché gli effetti non si limitano a singoli eventi, ma possono interagire generando impatti più complessi.

In questo studio sono stati analizzati **due scenari principali**:

Scenario 1 – **Pericolo combinato**: riguarda l'interazione tra pericolo idraulico e idrogeologico, in cui gli indicatori si sviluppano in maniera correlata, amplificando le criticità.

Scenario 2 – **Pericolo effetto "domino"**: si riferisce a situazioni in cui gli indicatori non si manifestano isolatamente, ma in sequenza o con effetti moltiplicativi, dando origine a hazard a cascata che accrescono la gravità delle conseguenze. In questo caso si tiene conto dei pericoli idraulico, idrogeologico e incendi.

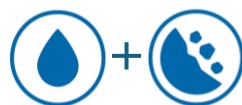
La valutazione del **pericolo combinato multi-hazard** richiede un metodo che tenga conto non solo della presenza di diversi pericoli naturali, ma anche della loro importanza relativa.

La letteratura scientifica sottolinea come alcuni hazard abbiano un peso maggiore nella determinazione della vulnerabilità territoriale (*Gill & Malamud, 2016; Rehman et al., 2024*).



Combinazione dei pericoli

**Pericolo
COMBINATO**
(Idraulico + Idrogeologico)



Scenario 1 - Pericolo combinato: si riferisce alla co-occorrenza di eventi idraulici e idrogeologici che non agiscono in modo indipendente, ma si rafforzano a vicenda. Un esempio tipico è costituito da precipitazioni intense e persistenti: da un lato aumentano la portata dei corsi d'acqua con conseguente rischio alluvionale, dall'altro saturano i terreni e indeboliscono i versanti, favorendo frane e smottamenti. In questo scenario la correlazione tra indicatori produce un aggravio delle criticità, poiché le conseguenze di un fenomeno amplificano quelle dell'altro, con impatti diretti sia sulle infrastrutture sia sulle comunità locali.

**Pericolo
DOMINO**
(Idraulico x Idrogeologico x Incendi)



Scenario 2 - Pericolo a effetto "domino": descrive invece situazioni in cui i pericoli si manifestano in sequenza, o con un effetto moltiplicativo, dando vita a una catena di eventi interconnessi. Un incendio boschivo, ad esempio, può ridurre la stabilità del suolo e rendere un'area molto più vulnerabile a successivi eventi piovosi intensi, che a loro volta possono generare frane o colate detritiche, causando interruzioni e danni significativi. In questo caso non si tratta solo di una correlazione tra fenomeni, ma di una vera e propria dinamica a cascata, in cui ogni evento innesca o amplifica quello successivo, aumentando esponenzialmente la gravità degli impatti complessivi sul territorio e sulle infrastrutture strategiche.



UNIONCAMERE
TOSCANA



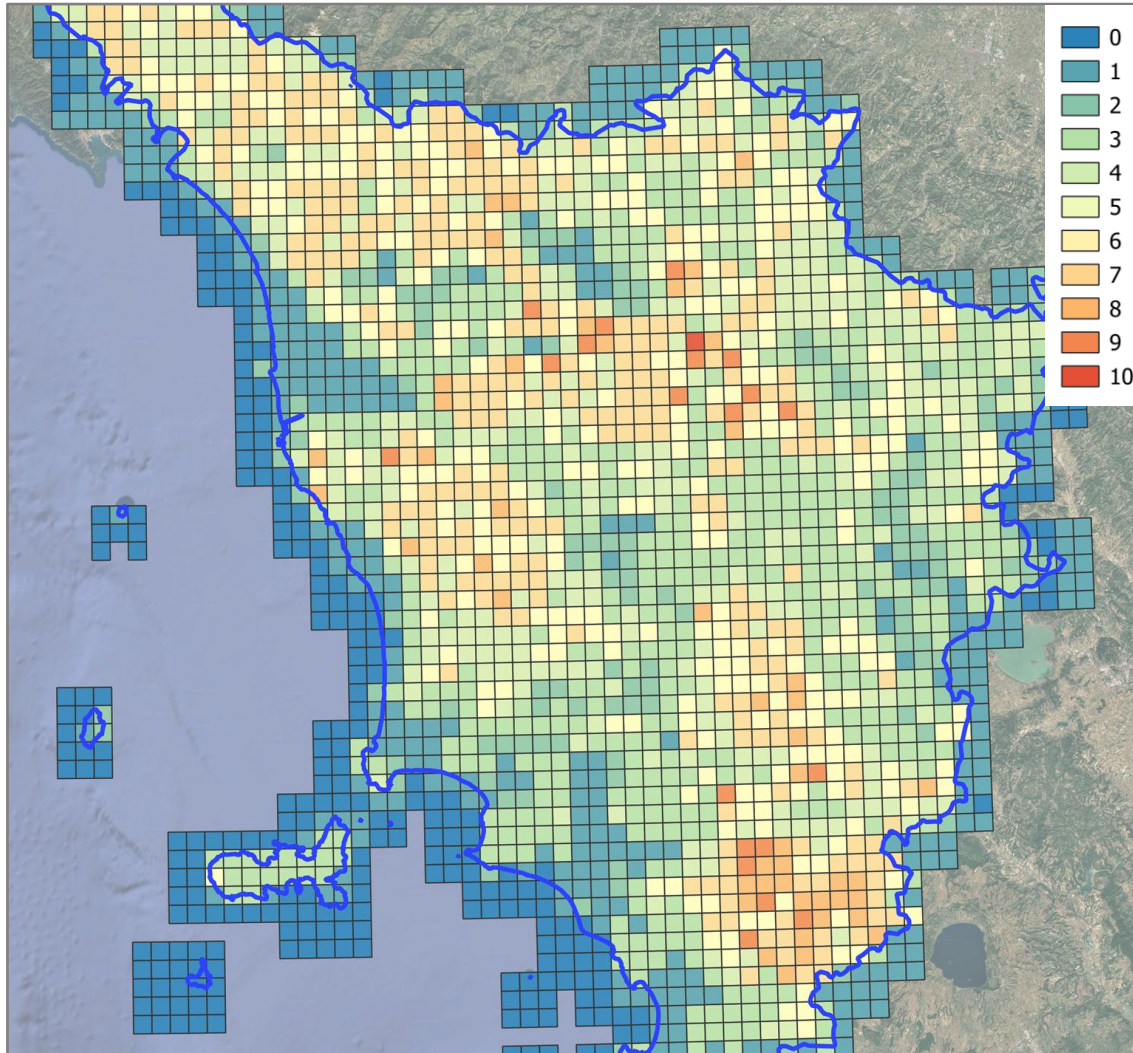
UNIONTRASPORTI



Combinazione dei pericoli

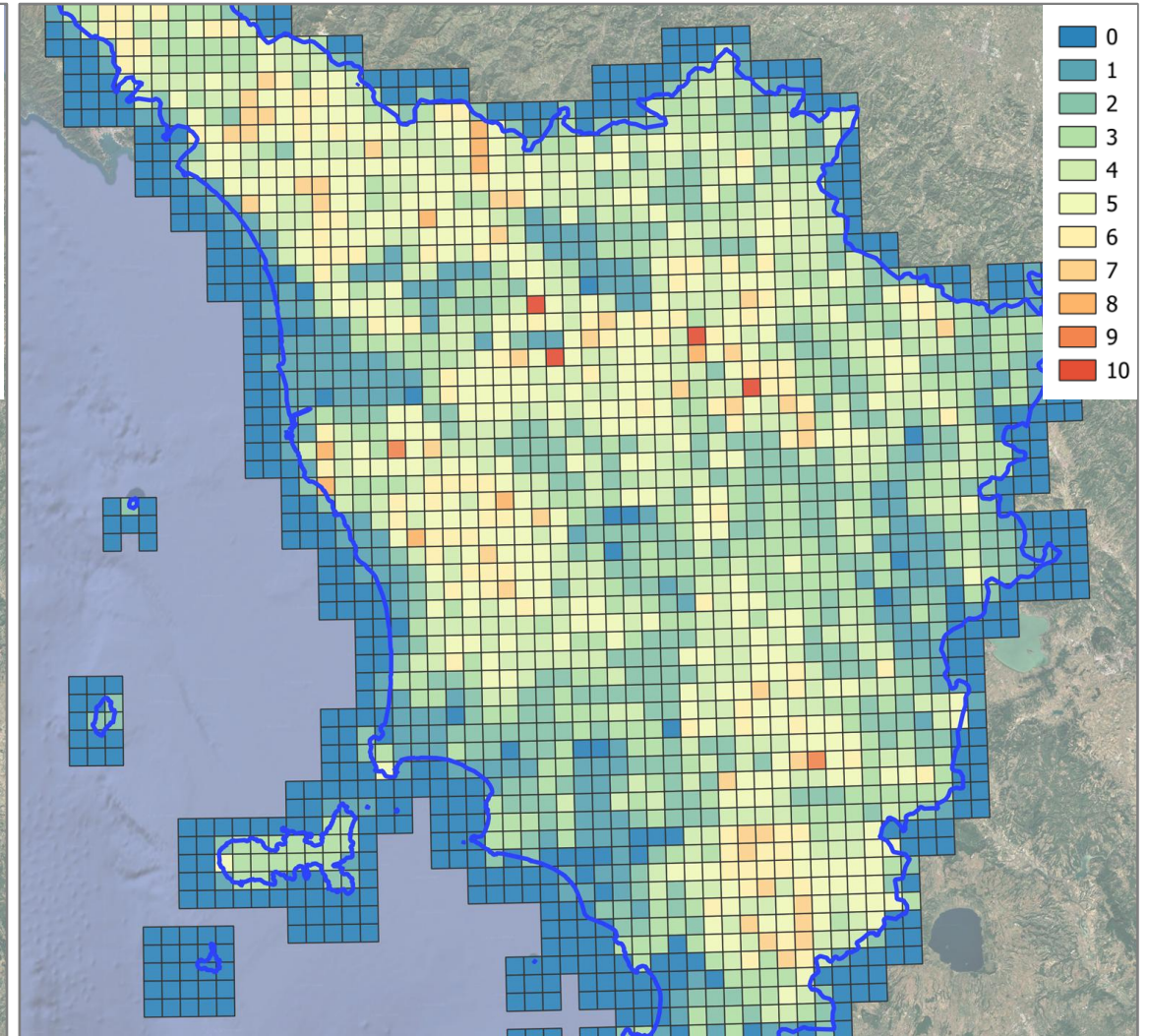
Pericolo combinato

Pericolosità



Pericolo effetto "domino"

Pericolosità



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI

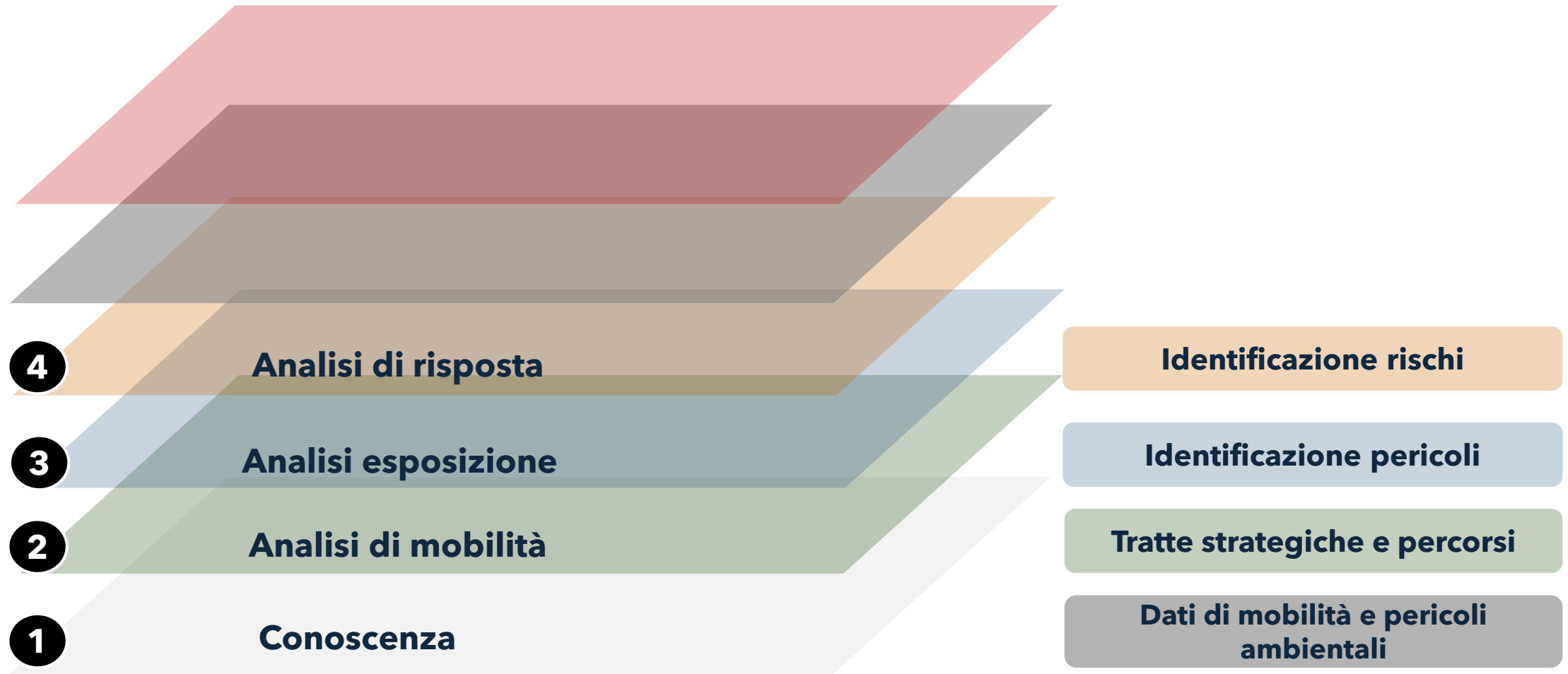


05

Identificazione dei rischi
ATTIVITÀ C

I livelli delle analisi

Quadro complessivo



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



ENGINEERING

Valutazione dei rischi

Sulla base della definizione di «rischio» sono state individuate le tratte infrastrutturali più critiche

- I valori di «strategicità» per la mobilità regionale sono stati considerati come **magnitudo**;
- I valori di pericolo per le diverse categorie sono stati considerati come **probabilità** di accadimento
- La «**sovrapposizione**» dei livelli di **analisi** ha permesso di individuare le **principali tratte critiche** per le diverse tipologie di **rischio** singolo, combinato e per «effetto domino»



Sono state quindi costruite le mappe di rischio per le 3 direttrici di analisi

- Per i **3 corridoi** – Fi-Pi-Li, SS1 e E78 – sono state prodotte le mappe che individuano **per ogni singola tratta** il valore di **rischio per ciascuna categoria di pericolo e per scenari combinati**
- Sono state quindi costruite delle **tabelle riassuntive dei risultati ottenuti**



La valutazione di tipo geografico ha quindi permesso di individuare porzioni di infrastruttura soggette a rischi importanti

- Tutti i **risultati** delle fasi precedenti sono quindi **analizzati a livello geografico e aggregati** per poter individuare tratte significative di infrastruttura da sottoporre ad analisi successive;
- I risultati costituiscono l'input per la **definizione degli scenari di disruption** che evidenzieranno gli impatti sul territorio

Analisi dei rischi

Il rischio è una misura quantitativa del potenziale impatto di un evento indesiderato, calcolata combinando la probabilità che esso si verifichi con la gravità delle sue conseguenze. E' espresso su una scala a 100, dove 100 è il rischio più elevato.

Rischio = Probabilità x Magnitudo

Probabilità: è la frequenza attesa o la possibilità che un determinato evento si verifichi. Espressa come combinazioni di pericoli, pesata e normalizzata in scala 10.

Magnitudo (o gravità/severità): rappresenta la portata delle conseguenze qualora l'evento si verifichi. Espressa come indicatore trasportistico, pesato e normalizzato in scala 10.

Matrice del Rischio

	Bassa	Media	Alta	Molto alta	Catastrofica
Molto bassa	1	2	2	3	3
Bassa	1	1	2	2	3
Media	1	2	2	3	4
Alta	2	2	3	4	5
Molto alta	2	3	4	4	5

(ISO 31000:2018 - Risk management - Guidelines / Kaplan, S., & Garrick, B. J. (1981). "On The Quantitative Definition of Risk." Risk Analysis, 1(1), 11-27. / Crovelli, R. A. (2009). "Probabilistic risk assessment of petroleum resources." U.S. Geological Survey Bulletin 2150-A. / Aven, T. (2015). Risk Analysis. Wiley.)



Analisi dei rischi tratte stradali

Calcolo del rischio

La rete stradale, suddivisa in tratte omogenee ciascuna caratterizzata da un **punteggio trasportistico (magnitudo)**, è stata sovrapposta alle **griglie dei diversi pericoli (probabilità)** al fine di ricavare un **valore di rischio** per ciascun singolo pericolo.

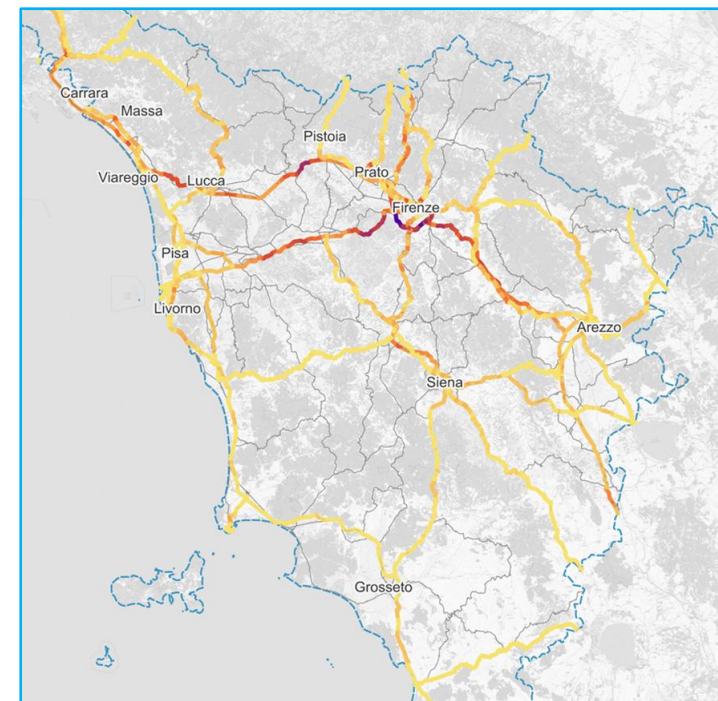
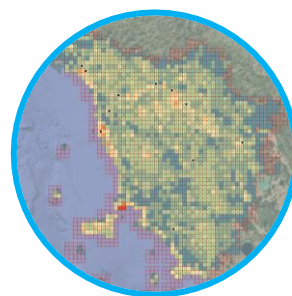
Il **rischio** è quindi definito come il **prodotto tra il punteggio trasportistico** della singola tratta e l'**indice di pericolo** della cella con punteggio maggiore tra quelle attraversate dalla tratta stessa.

Successivamente l'analisi è stata estesa alla **combinazione dei pericoli idraulico e idrogeologico** e, infine, è stato considerato un **possibile effetto domino** tra le diverse tipologie di pericolo analizzate.

Magnitudo



Probabilità



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI

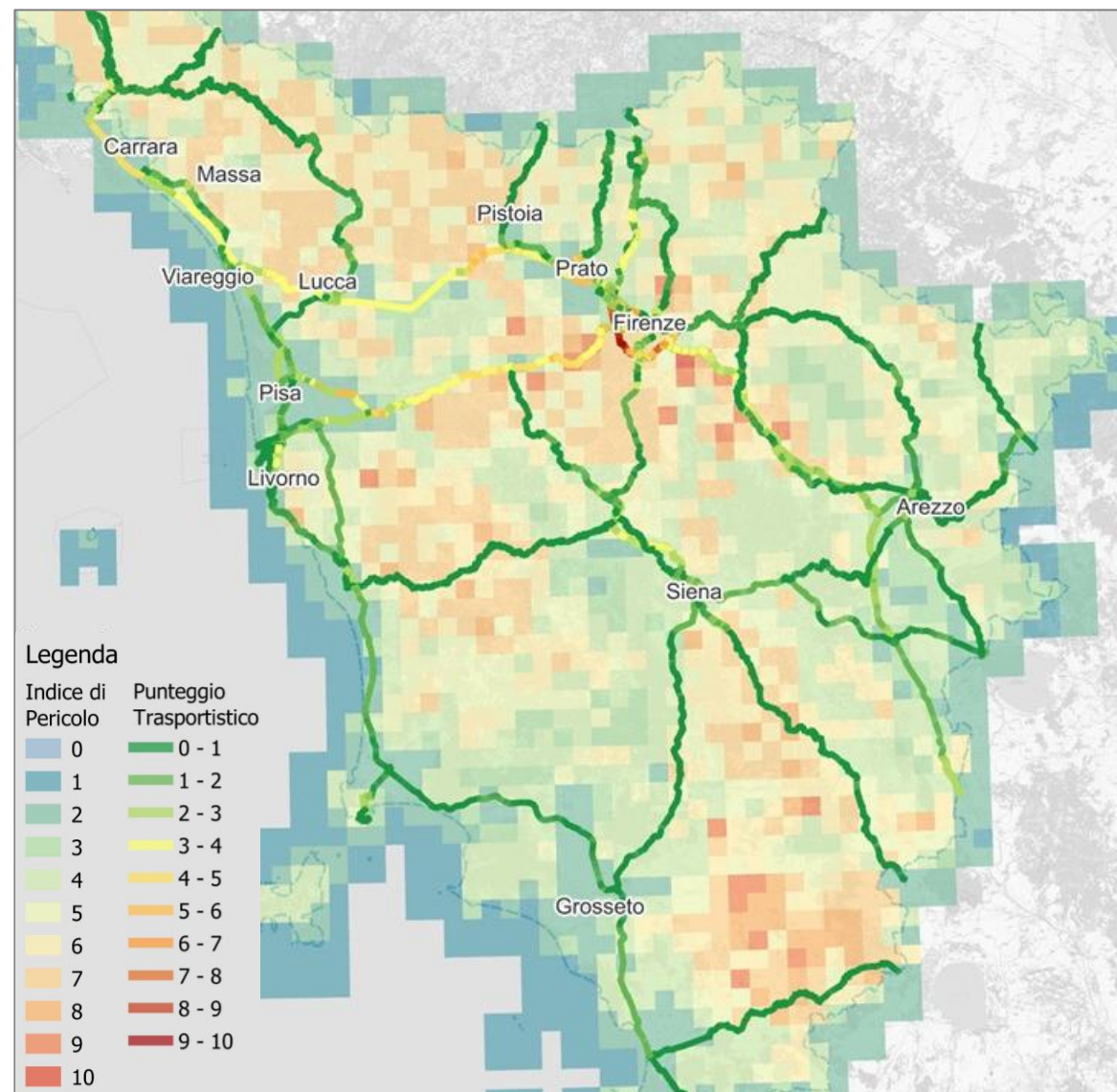


Analisi dei rischi tratte stradali

Intera rete stradale Toscana

Per una **valutazione preliminare** dell'indice di **rischio** sull'intera **rete stradale** della Regione Toscana, l'indice di pericolo considerato è il risultato della **combinazione** dei pericoli **idraulico** e **idrogeologico**.

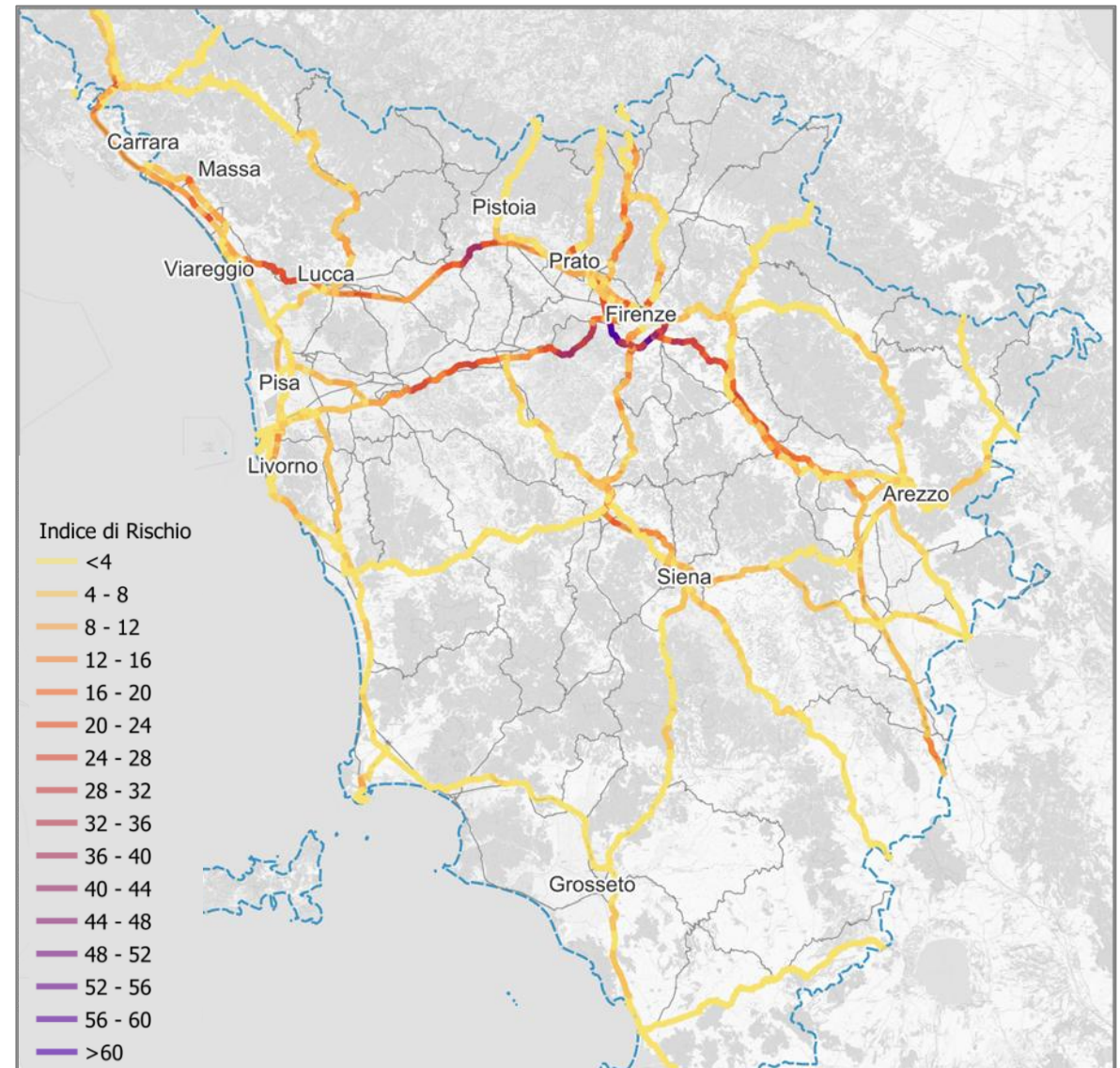
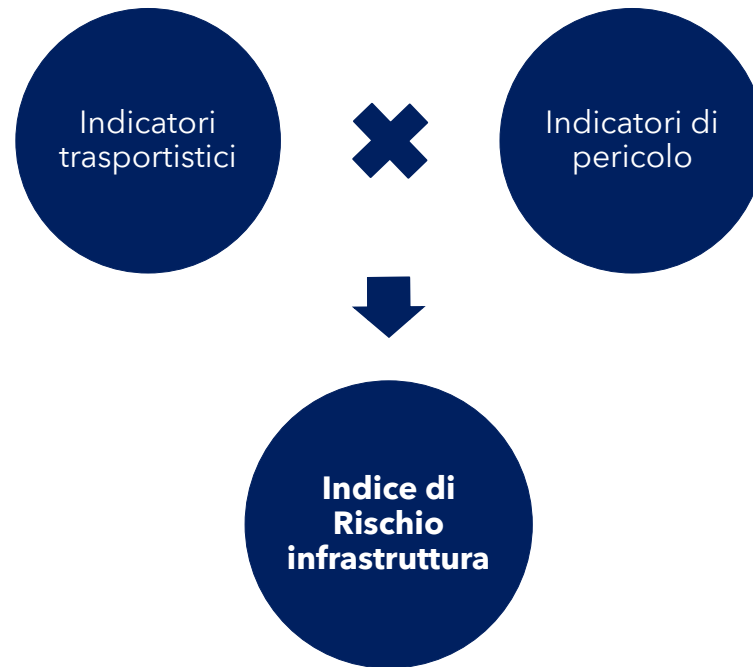
il **punteggio trasportistico** è stato definito in modo **proporzionale** al **flusso di traffico** transitante su ciascuna tratta, derivante dall'assegnazione del **modello macroscopico** di simulazione del traffico, e normalizzato in scala a 10. La normalizzazione basata sull'intera rete mette in evidenza la differenza tra l'entità dei flussi che caratterizzano le viabilità **autostradali** e la **SGC Fi-Pi-Li** (rappresentate in **rosso** e **giallo**) rispetto al resto della viabilità regionale (in **verde**).



Analisi dei rischi tratte stradali

Intera rete stradale Toscana

Il valore dell'indice di rischio è stato quindi calcolato come il prodotto tra il **punteggio trasportistico** (magnitudo) e l'**indice di pericolo** (probabilità).

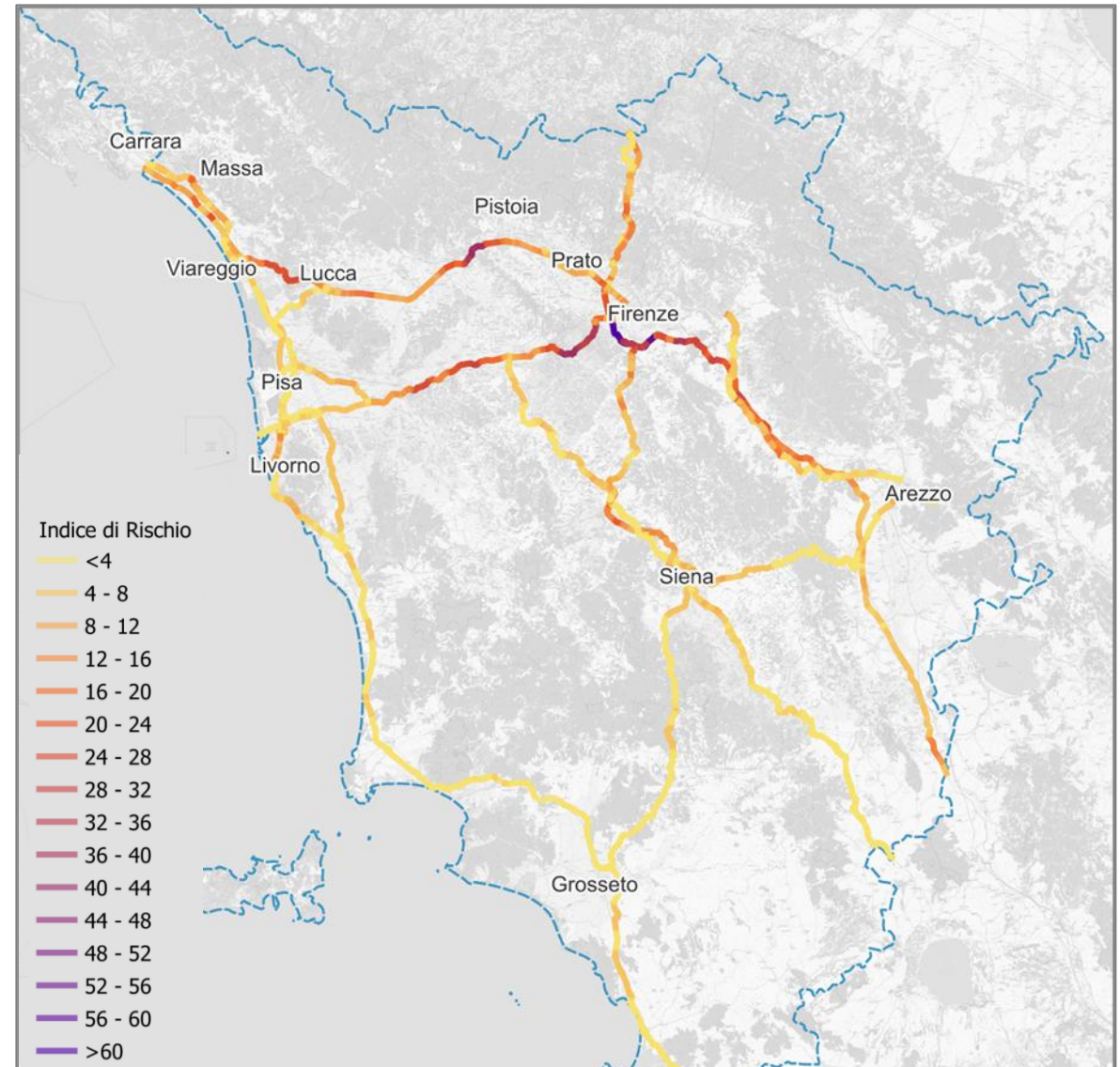


Analisi dei rischi tratte stradali

Intera rete stradale Toscana

Sulla base dell'indice di rischio è stata redatta una lista delle **dieci viabilità** prioritarie da attenzionare, individuate sia in relazione ai flussi veicolari che le interessano, sia ai possibili pericoli a cui risultano esposte, e quindi alla loro **strategicità per la mobilità regionale**. Si riportano di seguito le dieci viabilità individuate, ordinate in base alle loro caratteristiche infrastrutturali.

- A1
- A11
- A12
- RA Firenze-Siena
- FIPILI
- SS1
- E78
- SR69
- SR429
- SS2

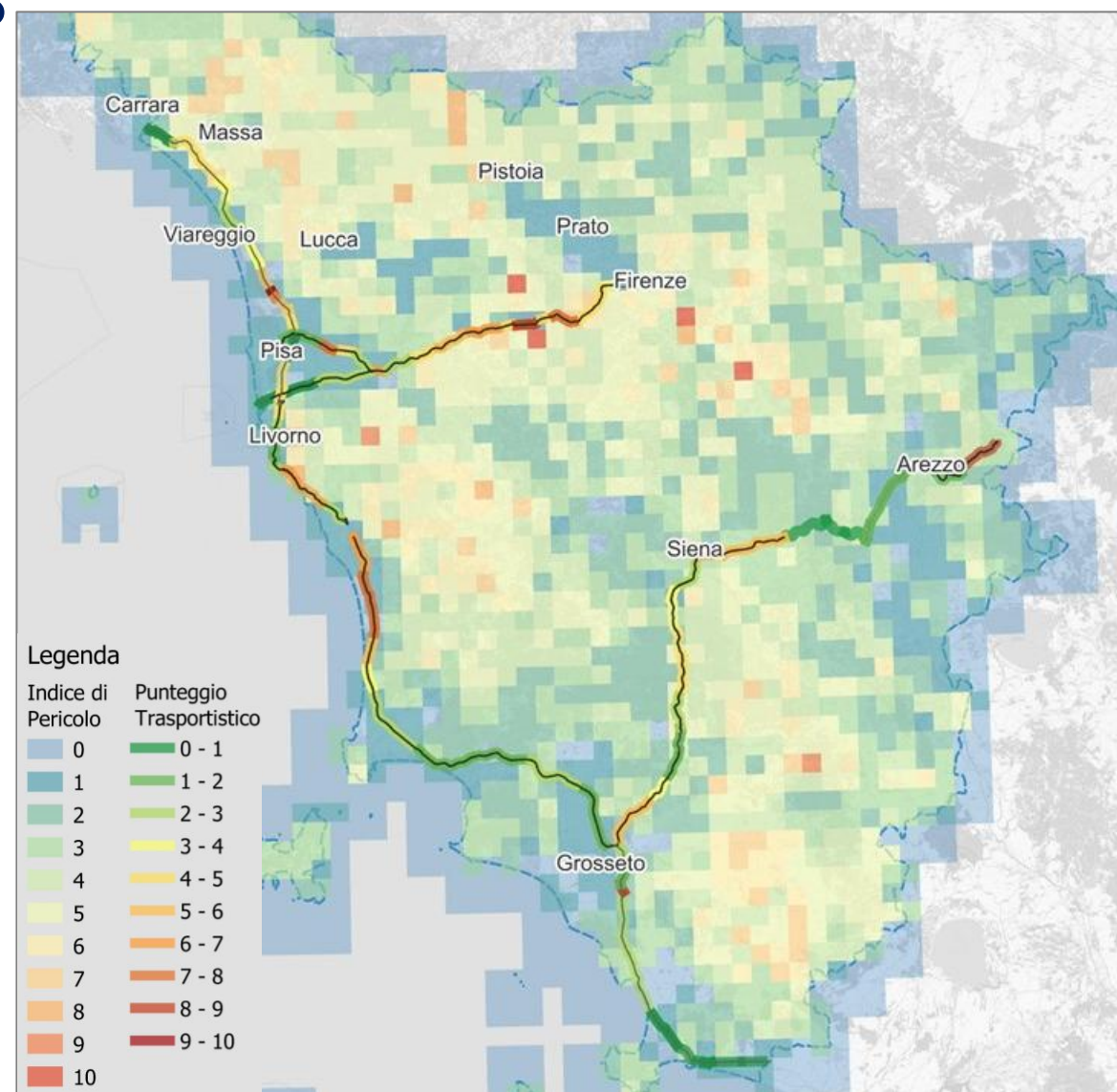


Analisi dei rischi tratte stradali

Focus direttrici - Scenario Effetto Domino

Il calcolo del rischio è stato approfondito per le **tre direttrici** di analisi, considerate in modo indipendente dal punto di vista trasportistico, incrociando i relativi punteggi con ciascuna mappa di pericolosità e i rispettivi indici. Successivamente l'analisi è stata estesa alla **combinazione dei pericoli idraulico e idrogeologico** e, infine, alla valutazione di un **possibile effetto domino**, in cui un singolo evento può innescare altri fenomeni che, altrimenti, si verificherebbero con probabilità minori.

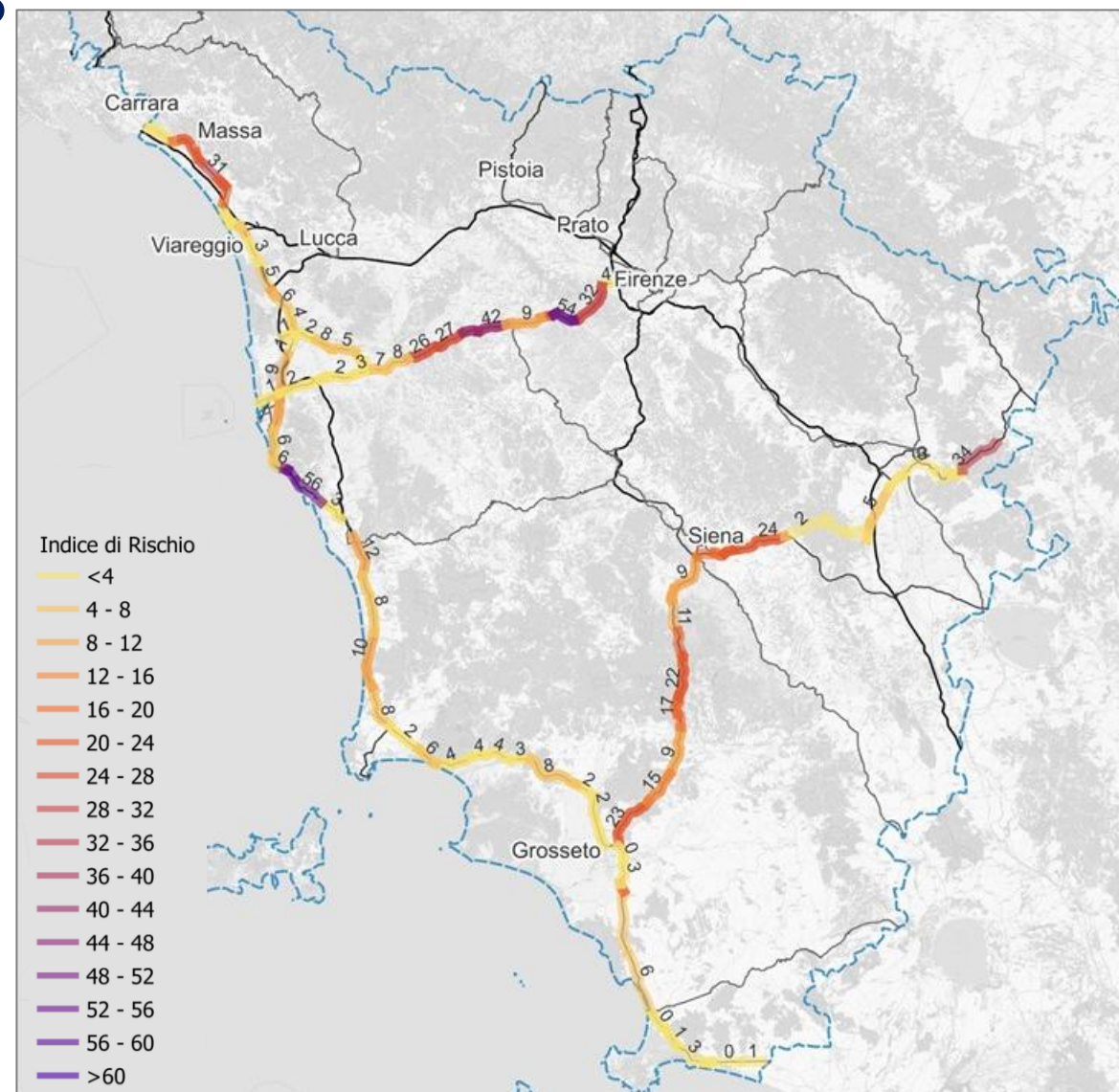
Nell'immagine accanto si riporta la **sovrapposizione** tra i punteggi trasportistici delle 3 direttrici e la **griglia** derivante dall'analisi dell'effetto domino.



Analisi dei rischi tratte stradali

Focus direttrici - Scenario Effetto Domino

Il risultato ottenuto consiste nella caratterizzazione di ogni tratta omogenea attraverso un indice di rischio espresso su una scala da 1 a 100, che consente di individuare, per ciascuna direttrice, le tratte da attenzionare in quanto localizzate in aree esposte a uno o più dei pericoli analizzati e, al tempo stesso, strategiche dal punto di vista trasportistico. Di seguito sono riportate una serie di tabelle che sintetizzano i risultati ottenuti per ciascuna tratta omogenea, con il dettaglio dei punti di inizio e fine, in relazione a ogni singolo rischio considerato e alle rispettive combinazioni. Le tabelle sono organizzate per direttrici, così da evidenziare le tratte più critiche all'interno di ciascun corridoio di mobilità. Si evidenziano in viola le tratte con *Indice di Rischio* più elevato.



Analisi dei rischi Tratte Stradali

Fi-Pi-Li

Svincolo inizio	Svincolo fine	Rischio idraulico	Rischio idrogeologico	Rischio incendi e meteo	Rischio impianti critici	Rischio costiero	Rischio Totale	Rischio Idr+Idrg	Rischio Domino
Scandicci	Lastra a Signa	22	4	33	33		30	11	4
Lastra a Signa	Ginestra Fiorentina	27	45	41	41		36	41	32
Ginestra Fiorentina	Montelupo Fiorentino	46	77	15	69		39	69	54
Montelupo Fiorentino	Empoli Est	25	17	13	38		21	21	21
Empoli Est	Empoli	54	9	54	54		45	27	9
Empoli	Empoli Ovest	22	17	26	26		22	17	9
Empoli Ovest	San Miniato	21	70	14	49		28	49	42
San Miniato	Santa Croce sull'Arno	34	68	14	48		34	48	41
Santa Croce sull'Arno	Montopoli in Val d'Arno	32	37	11	27		27	32	27
Montopoli in Val d'Arno	Pontedera	26	43	9	34		22	34	26
Pontedera	Ponsacco	17	11	6	14		11	11	8
Ponsacco	Diramazione Pisa-Livorno	35	7	35	41		35	14	7
Diramazione Pisa-Livorno	Lavoria	13	3	13	16		13	5	3
Lavoria	Vicarello	7	2	9	15		7	4	2
Vicarello	Collesalveti	8	3	5	18		8	5	3
Collesalveti	Stagno	8	3	8	6		7	3	2
Stagno	Livorno	7	1	7	6	2	6	3	1
Diramazione Pisa-Livorno	Cascina	7	2	12	14		10	5	2
Cascina	Navacchio	24	5	14	33		19	9	5
Navacchio	Pisa Nord-Est	40	8	16	55		32	16	8
Pisa Nord-Est	Pisa ovest	10	2	14	14		10	4	2
Pisa ovest	Pisa centro	7	1	9	7		7	3	1



Analisi dei rischi Tratte Stradali

SS1

Svincolo inizio	Svincolo fine	Rischio idraulico	Rischio idrogeologico	Rischio incendi e meteo	Rischio impianti critici	Rischio costiero	Rischio Totale	Rischio Idr+Idrg	Rischio Domino
Chiarone	Capalbio	3	1	1	4	6	4	2	1
Capalbio	Ansedonia	1	0	0	1	2	1	0	0
Ansedonia	Orbetello	3	4	1	5	9	5	4	3
Orbetello	Manciano	2	1	1	4	7	4	1	1
Manciano	Albinia	1	0	0	2	2	2	1	0
Albinia	Montiano	6	8	2	15	21	11	8	6
Montiano	Grosseto sud	9	36	18	62		27	36	18
Grosseto sud	Grosseto est	1	6	11	10		7	6	3
Grosseto est	Grosseto centro	3	3	24	21		15	6	0
Grosseto nord	Braccagni	10	2	10	13		8	4	2
Braccagni	Giuncarico	9	2	2	12		7	3	2
Giuncarico	Gavorrano Scalo	13	10	3	18		10	10	8
Gavorrano Scalo	Gavorrano	5	7	2	12		5	7	3
Gavorrano	Scarlino	5	7	2	11		5	7	4
Scarlino	Follonica est - Massa Mar.	2	8	2	14		4	8	4
Follonica est - Massa Mar.	Follonica nord	10	8	2	13	10	10	8	4
Follonica nord	Vignale-Riotorto	10	8	2	14	20	12	8	6
Vignale-Riotorto	Piombino - Venturina	7	2	10	17	24	14	5	2
Piombino - Venturina	San Vincenzo sud	8	10	20	18		13	10	8
San Vincenzo sud	San Vincenzo nord	10	13	3	22		10	13	10
San Vincenzo nord	Donoratico	31	20	5	5		15	10	10
Donoratico	Cecina sud - La California	46	8	8	54	69	31	23	8
Cecina sud - La California	Genova - Rosignano	37	25	12	43	25	25	25	12



Analisi dei rischi Tratte Stradali

SS1

Svincolo inizio	Svincolo fine	Rischio idraulico	Rischio idrogeologico	Rischio incendi e meteo	Rischio impianti critici	Rischio costiero	Rischio Totale	Rischio Idr+Idrg	Rischio Domino
Genova - Rosignano	Rosignano Solvay	15	3	21	21	15	21	6	3
Rosignano Solvay	Chioma	35	70	49	49	56	56	56	56
Chioma	Quercianella	35	70	42	49	35	56	56	56
Quercianella	Livorno Antignano	15	12	3	3	15	9	9	6
Livorno Antignano	Livorno sud - Salviano	8	6	9	12	8	12	8	6
Livorno sud - Salviano	Livorno centro	15	12	23	23	15	23	15	12
Livorno centro	Collesalveti	44	4	44	35		40	18	9
Stagno sud	Via del Viadotto	43	4	43	34		39	17	9
Via del Viadotto	Pisa	2	1	3	3		2	1	1
Pisa	Viale delle Cascine	23	5	32	23		23	9	5
Viale delle Cascine	Madonna dell'acqua	20	4	28	28		20	8	4
Madonna dell'acqua	Migliarino	29	6	6	46		23	11	6
Migliarino	A11	29	10	10	77		29	19	10
A11	Marina di Torre del Lago	16	5	5	42		16	10	5
Marina di Torre del Lago	Cotone - Bicchio	3	3	6	25		6	6	3
Cotone - Bicchio	Viareggio	10	12	3	9		7	9	7
Viareggio	Viareggio - Camaiore	21	3	5	10	21	16	8	3
Viareggio - Camaiore	Pietrasanta	20	34	3	24	34	24	24	24
Pietrasanta	Querceta	26	31	9	31	18	22	31	31
Querceta	Massa	23	46	41	23		32	32	23
Massa	Carrara	3	4	5	3	2	4	3	3



Analisi dei rischi Tratte Stradali

E78

Svincolo inizio	Svincolo fine	Rischio idraulico	Rischio idrogeologico	Rischio incendi e meteo	Rischio impianti critici	Rischio costiero	Rischio Totale	Rischio Idr+Idrg	Rischio Domino
Grosseto	Montorsaio	29	23	12	41		23	23	23
Montorsaio	Paganico	19	15	4	30		15	15	15
Paganico	Civitella Marittima	5	15	2	11		6	11	9
Civitella Marittima	Casale di Pari	9	29	3	17		12	20	17
Casale di Pari	Casciano	13	30	4	30		17	26	22
Casciano	San Rocco a Pilli	11	14	4	32		14	14	11
San Rocco a Pilli	Siena	7	15	7	20		9	11	9
Siena	Siena est	18	24	12	43		24	24	18
Siena est	Taverne d'Arbia	14	32	9	32		18	23	18
Taverne d'Arbia	Colonna del Grillo	18	41	12	53		24	30	24
Colonna del Grillo	Rialto	3	4	1	5		2	3	2
Rialto	Pieve al Toppo	8	5	3	13		7	7	5
Pieve al Toppo	Arezzo	4	1	3	14		6	4	1
Arezzo	Palazzo del Pero	9	4	2	11		7	6	3
Palazzo del Pero	Le Ville	42	59	8	84		42	50	34



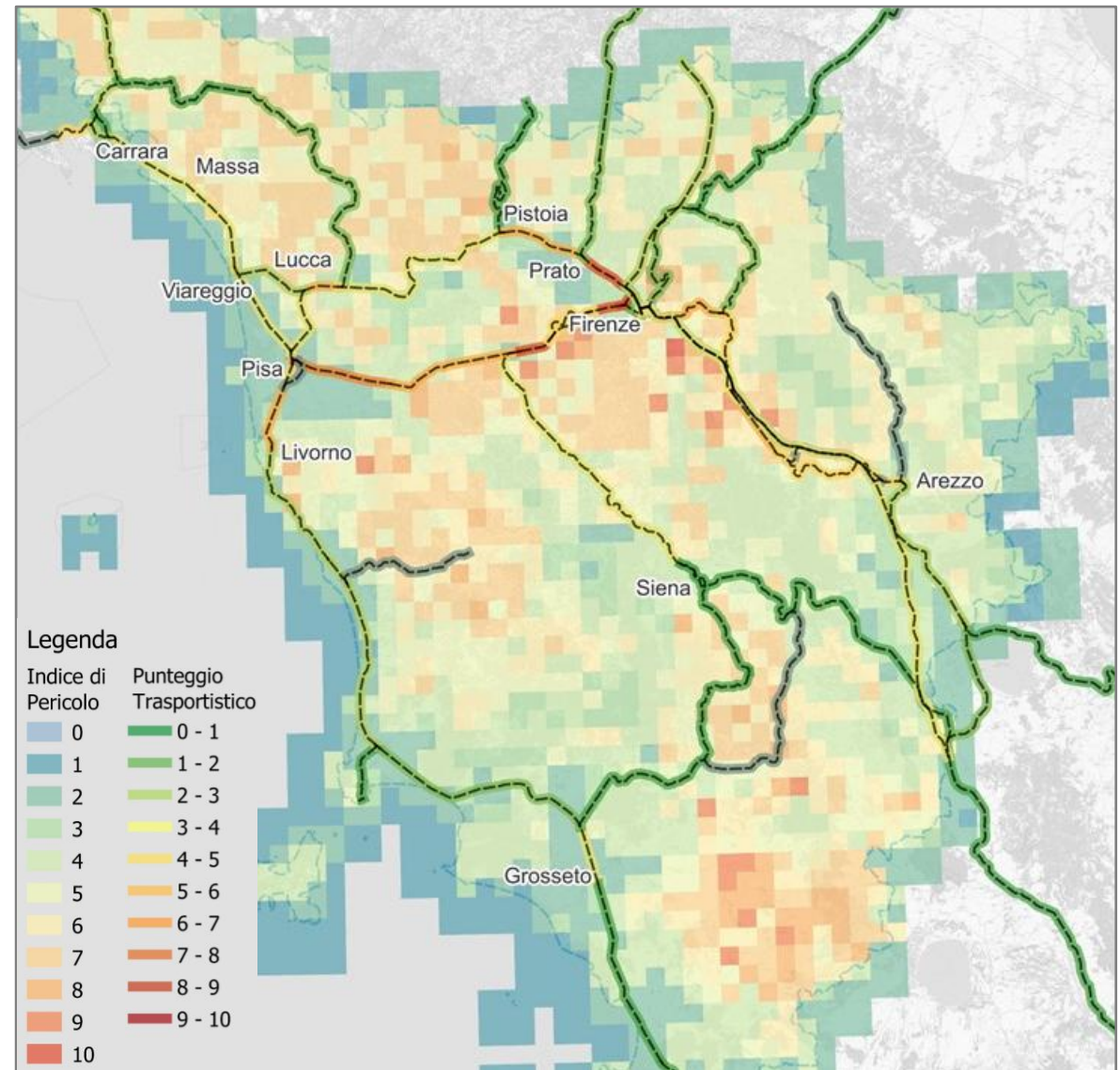
Analisi dei rischi Tratte Ferroviarie

Intera rete ferroviaria Toscana

Per una valutazione preliminare dell'indice di rischio sull'intera rete ferroviaria della Regione Toscana, l'indice di pericolo considerato è il risultato della combinazione dei pericoli idraulico e idrogeologico.

Il punteggio trasportistico è stato definito in modo proporzionale alla numerosità dei servizi ferroviari giornalieri su ciascuna tratta, derivante dall'implementazione dei dati GTFS di Trenitalia nel modello macroscopico, e normalizzato in scala 0-10.

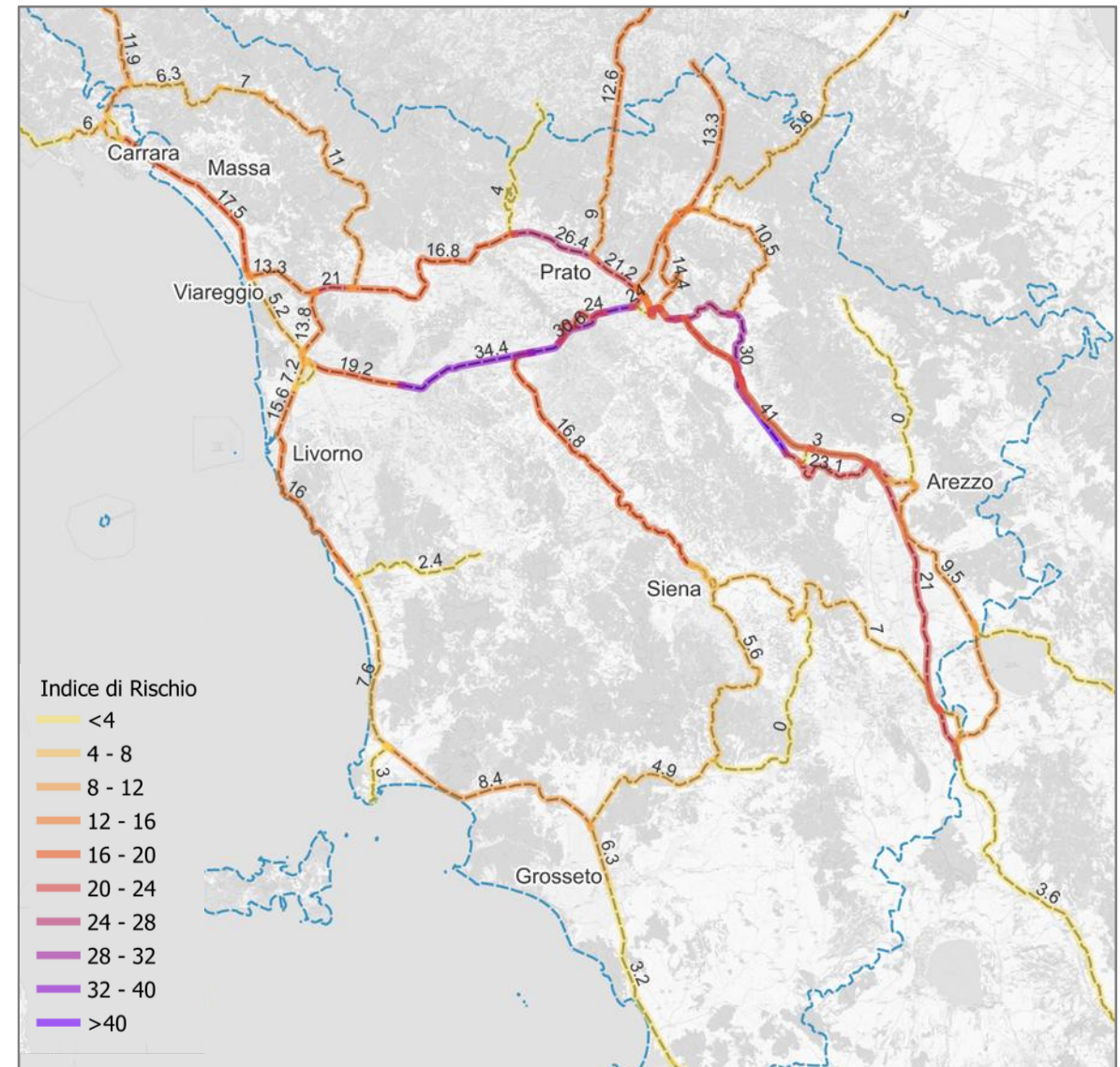
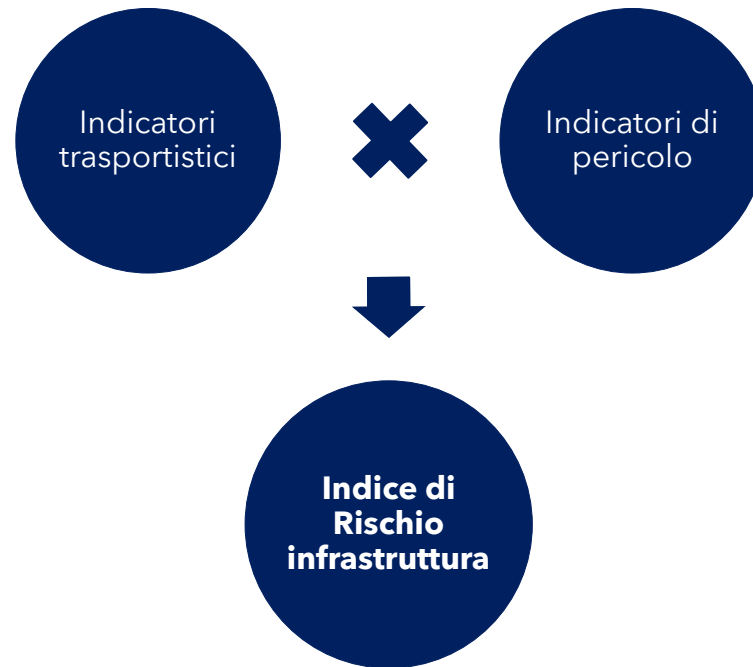
La normalizzazione basata sull'intera rete mette in evidenza la differenza tra l'entità dei servizi che caratterizzano le principali direttrici ferroviarie regionali/nazionali (in rosso e giallo) rispetto alle tratte secondarie (in verde).



Analisi dei rischi Tratte Ferroviarie

Intera rete ferroviaria Toscana

Il valore dell'indice di rischio è stato quindi calcolato come il prodotto tra il **punteggio trasportistico** (magnitudo) e l'**indice di pericolo** (probabilità).



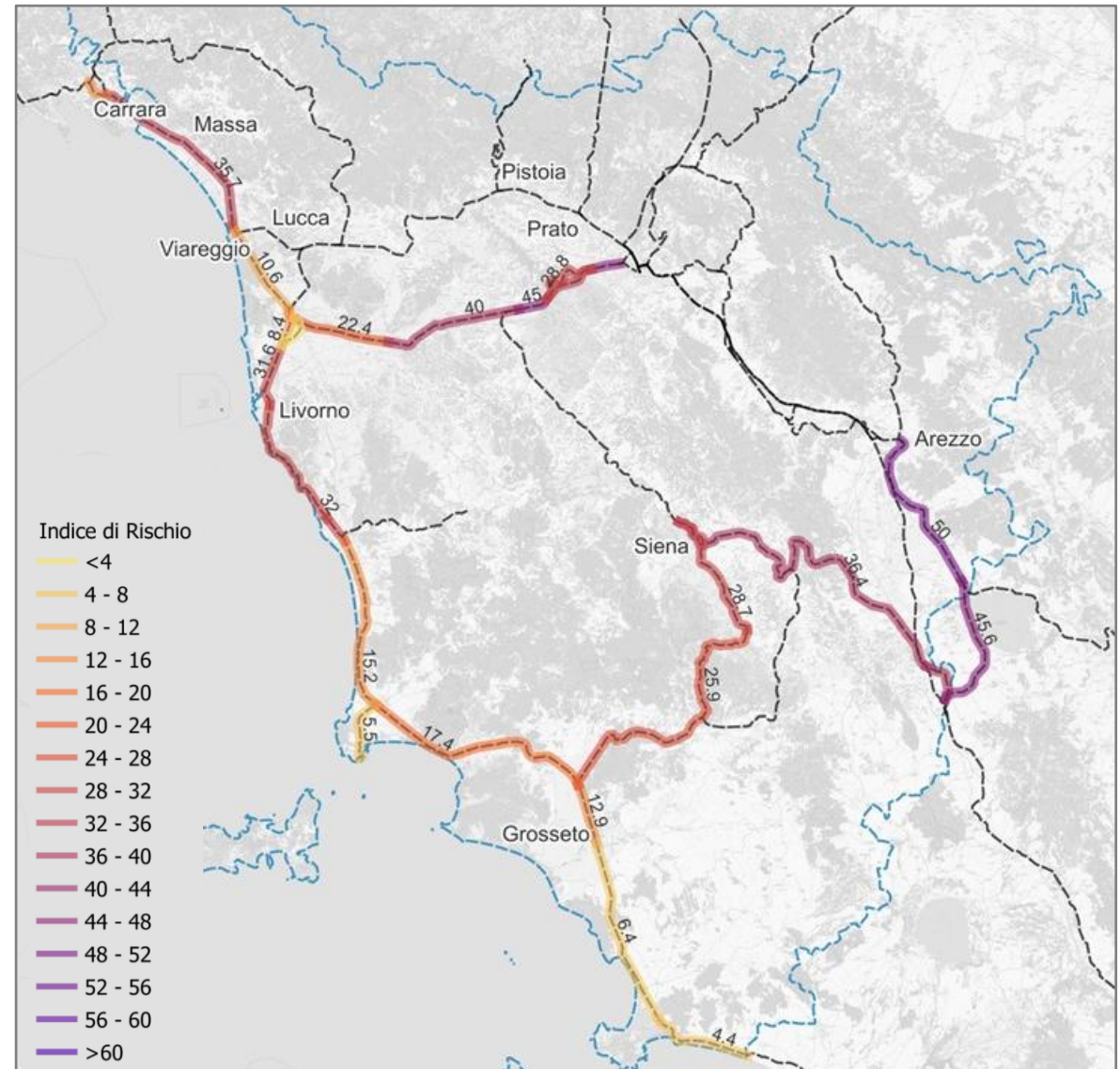
Analisi dei rischi Tratte Ferroviarie

Focus direttrici strategiche

In coerenza con la metodologia adottata per l'analisi dell'infrastruttura stradale nelle tre direttrici strategiche, anche per l'**infrastruttura ferroviaria** è stato utilizzato il **punteggio trasportistico normalizzato per direttrice**.

Tale valore è stato moltiplicato per l'indice di pericolo massimo tra quelli delle celle attraversate, assumendo come riferimento l'**indice di rischio più elevato** tra quello derivante dallo **scenario combinato** e quello dello **scenario effetto domino**.

Nella mappa a fianco sono riportati i valori di rischio così ottenuti.



Analisi dei rischi Tratte Ferroviarie

Focus direttrici strategiche

Direttrice	Stazione Inizio	Stazione Fine	Rischio max (*)
Firenze-Costa	Le Piagge	Lasta a Signa	45
Firenze-Costa	Lasta a Signa	Montelupo Capraia	36
Firenze-Costa	Montelupo Capraia	Empoli	45
Firenze-Costa	Empoli	Pontedera	40
Firenze-Costa	Pontedera	Pisa C.le	22.4
Tirrenica	Capalbio	Albinia	4.4
Tirrenica	Albinia	Grosseto	6.4
Tirrenica	Grosseto	Montepescali	12.9
Tirrenica	Montepescali	Campiglia Mar.	17.4
Tirrenica	Campiglia Mar.	Cecina	15.2
Tirrenica	Cecina	Livorno C.le	32
Tirrenica	Livorno C.le	Pisa C.le	31.6
Tirrenica	Pisa C.le	Viareggio	10.6
Tirrenica	Viareggio	Carrara Avenza	35.7
Grosseto-Arezzo	Grosseto	Buonconvento	25.9
Grosseto-Arezzo	Buonconvento	Siena	28.7
Grosseto-Arezzo	Siena	Chiusi	36.4
Grosseto-Arezzo	Chiusi	Terontola	45.6
Grosseto-Arezzo	Terontola	Arezzo	50

(*) indice di rischio più elevato tra quello derivante dallo scenario combinato e quello dello scenario effetto domino.

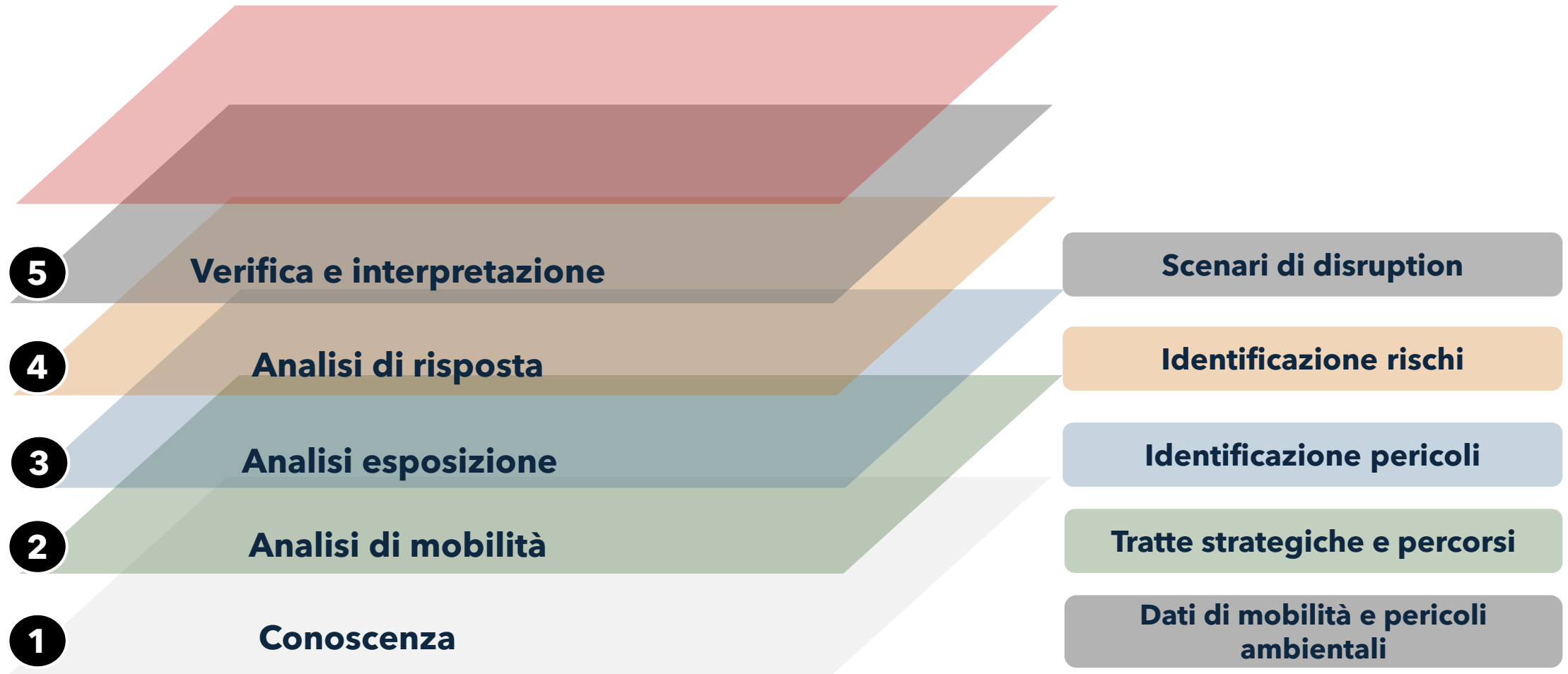


06

Gli scenari di disruption
ATTIVITA' D

I livelli delle analisi

Quadro complessivo



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



ENGINEERING

Scenari di disruption

Sono stati identificati gli scenari di disruption da analizzare

- Sono state considerati le tratte con Indice di Rischio con valore superiore a 30 considerando i punteggi derivanti dalle analisi relative sia al pericolo combinato idraulico e idrogeologico sia all'effetto domino
- È stata valutata la chiusura contemporanea di più tratte sulla base della loro vicinanza
- È stata valutata la chiusura delle viabilità alternative più prossime



UNIONCAMERE
TOSCANA

Gli scenari individuati sono stati valutati utilizzando il modello macroscopico di simulazione del traffico

- Nel modello di simulazione sono state implementate la chiusura delle tratta o la chiusura contemporanea di più tratte vicine;
- Sono state valutate le variazioni di flusso in riduzione (in verde) e in incremento (in rosso) sulle tratte oggetto di chiusura e sugli itinerari alternativi;
- Sono stati valutati indicatori sintetici di rete relativi ai tempi di percorrenza e alle distanze percorse



UNIONTRASPORTI

Le valutazioni di scenario

- Gli scenari di disruption sono stati analizzati con focus sulle aree produttive potenzialmente colpite.
- L'analisi ha considerato il numero di addetti per comune (ISTAT), la cui destinazione ricade tra gli spostamenti che subiscono ritardo a causa delle chiusure.
- Tale indicatore può essere utilizzato come proxy per valutare l'esposizione delle aree produttive e stimare le possibili ricadute anche sul traffico pesante diretto verso tali aree.



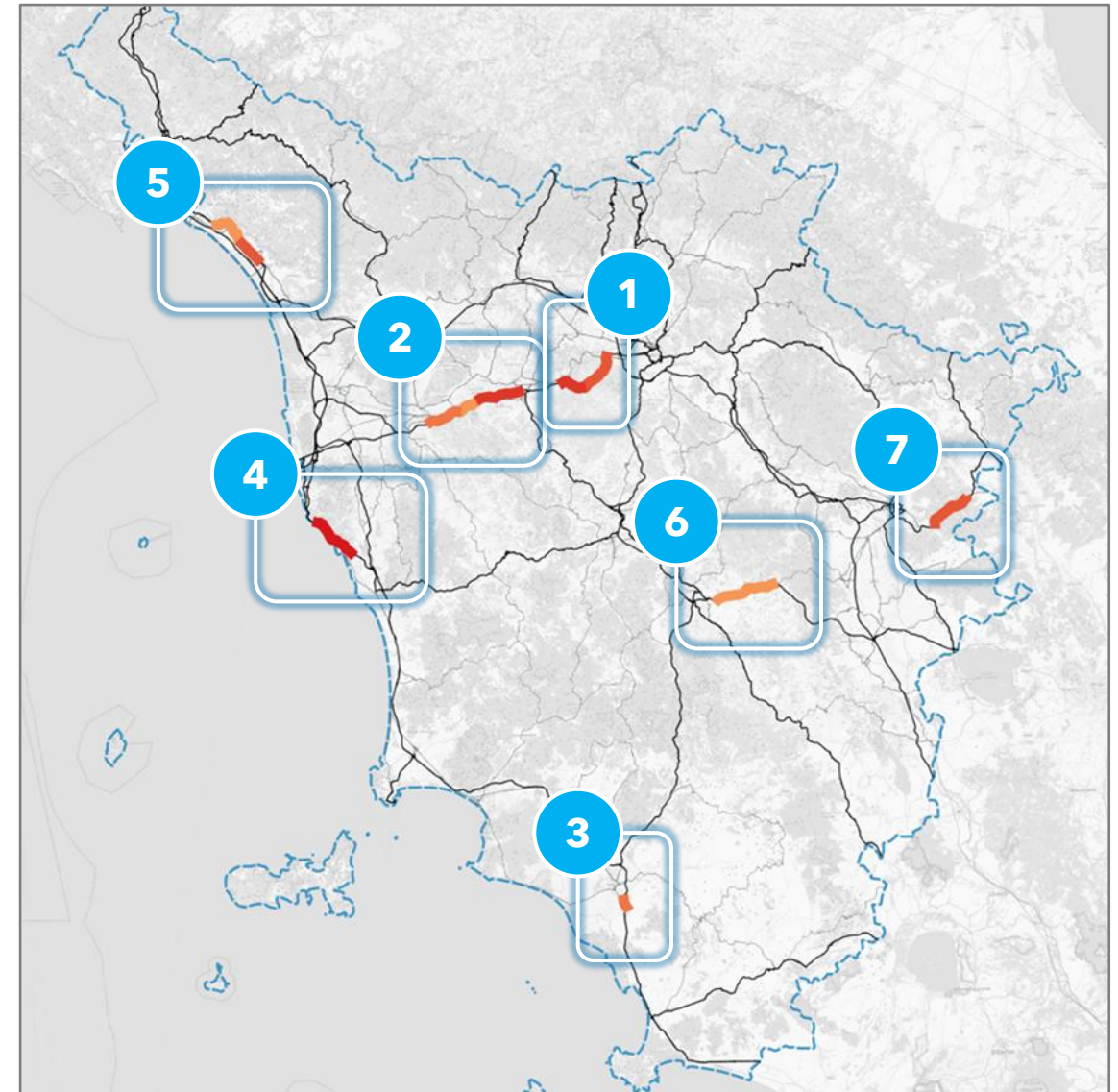
ENGINEERING

Scenari di disruption

Definizione scenari

Il criterio adottato per l'individuazione delle tratte è stato il **superamento del valore soglia pari a 30** (valore intermedio rispetto al fondo scala) in almeno uno dei due indici di rischio. Una volta selezionate, le **tratte consecutive** sono state **aggregate**, assumendo come ipotesi il caso più critico in cui si verifichi la loro **chiusura simultanea**.

Direttore	Inizio	Fine	Rischio (Idr+Idrg)	Rischio Domino	
FiPiLi	Lastra a Signa	Ginestra Fiorentina	41	32	1
FiPiLi	Ginestra Fiorentina	Montelupo Fiorentino	69	54	
FiPiLi	Empoli Ovest	San Miniato	49	42	
FiPiLi	San Miniato	Santa Croce sull'Arno	48	41	2
FiPiLi	Santa Croce sull'Arno	Montopoli in Val d'Arno	32	27	
FiPiLi	Montopoli in Val d'Arno	Pontedera	34	26	
SS1	Montiano	Grosseto sud	36	18	3
SS1	Rosignano Solvay	Chioma	56	56	4
SS1	Chioma	Quercianella	56	56	5
SS1	Pietrasanta	Querceta	31	31	
SS1	Querceta	Massa	32	23	
E78	Taverne d'Arbia	Colonna del Grillo	30	24	6
E78	Palazzo del Pero	Le Ville	50	34	7



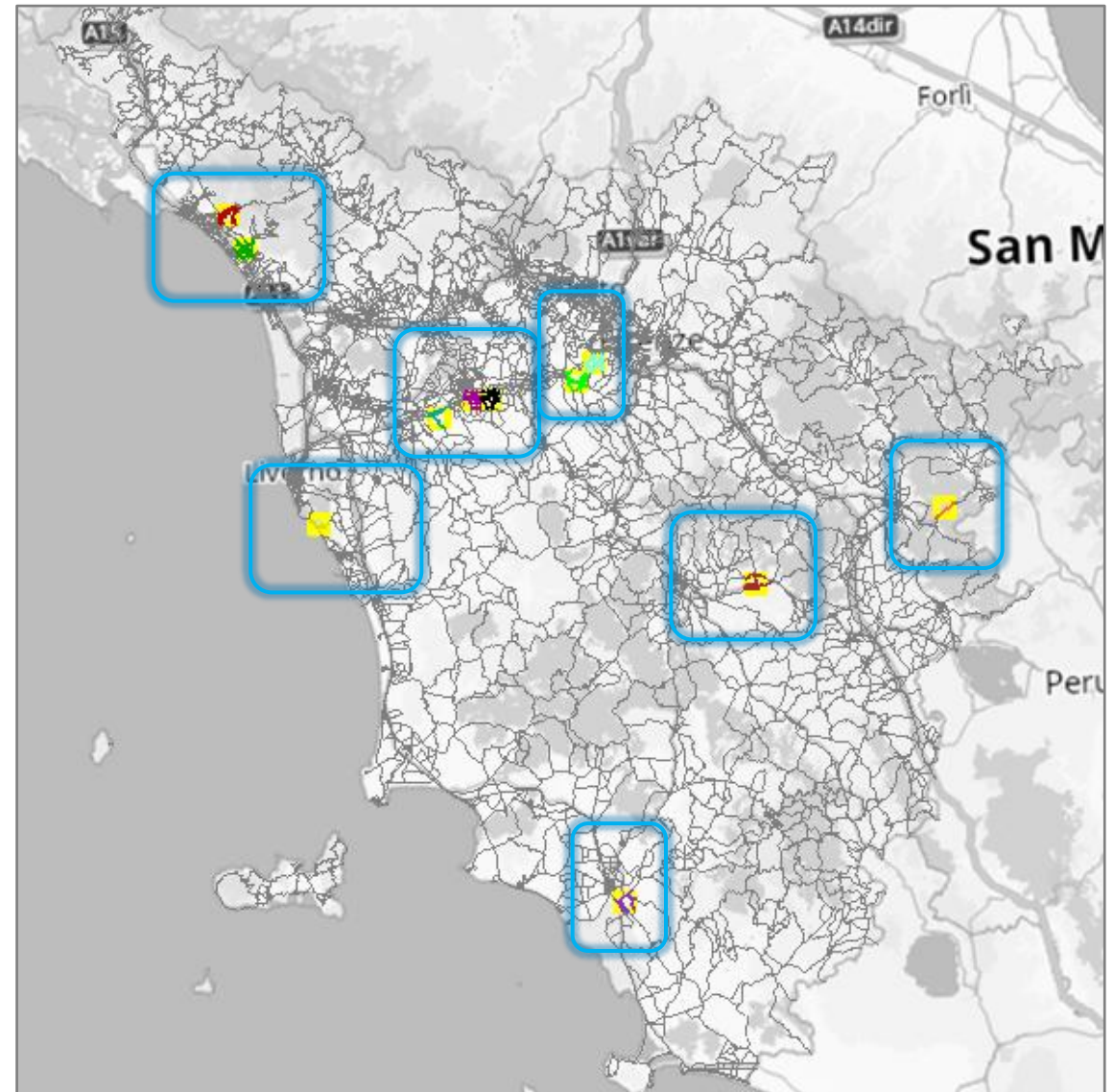
Scenari di disruption

Definizione scenari

Da questa procedura sono stati definiti **sette scenari** da analizzare, successivamente implementati nel modello di traffico per valutarne l'impatto sull'intera rete.

Per rendere gli **scenari di simulazione** quanto più aderenti a un possibile evento **reale**, oltre all'**interruzione del traffico lungo le tratte individuate**, in ciascuno scenario sono state **chiusure** anche le **viabilità alternative più prossime**, ricadenti all'interno della medesima cella "critica" della griglia utilizzata per la valutazione del pericolo.

Nell'immagine a fianco sono evidenziati gli archi della rete, all'interno del modello di simulazione, chiusi per rappresentare l'interruzione della viabilità.

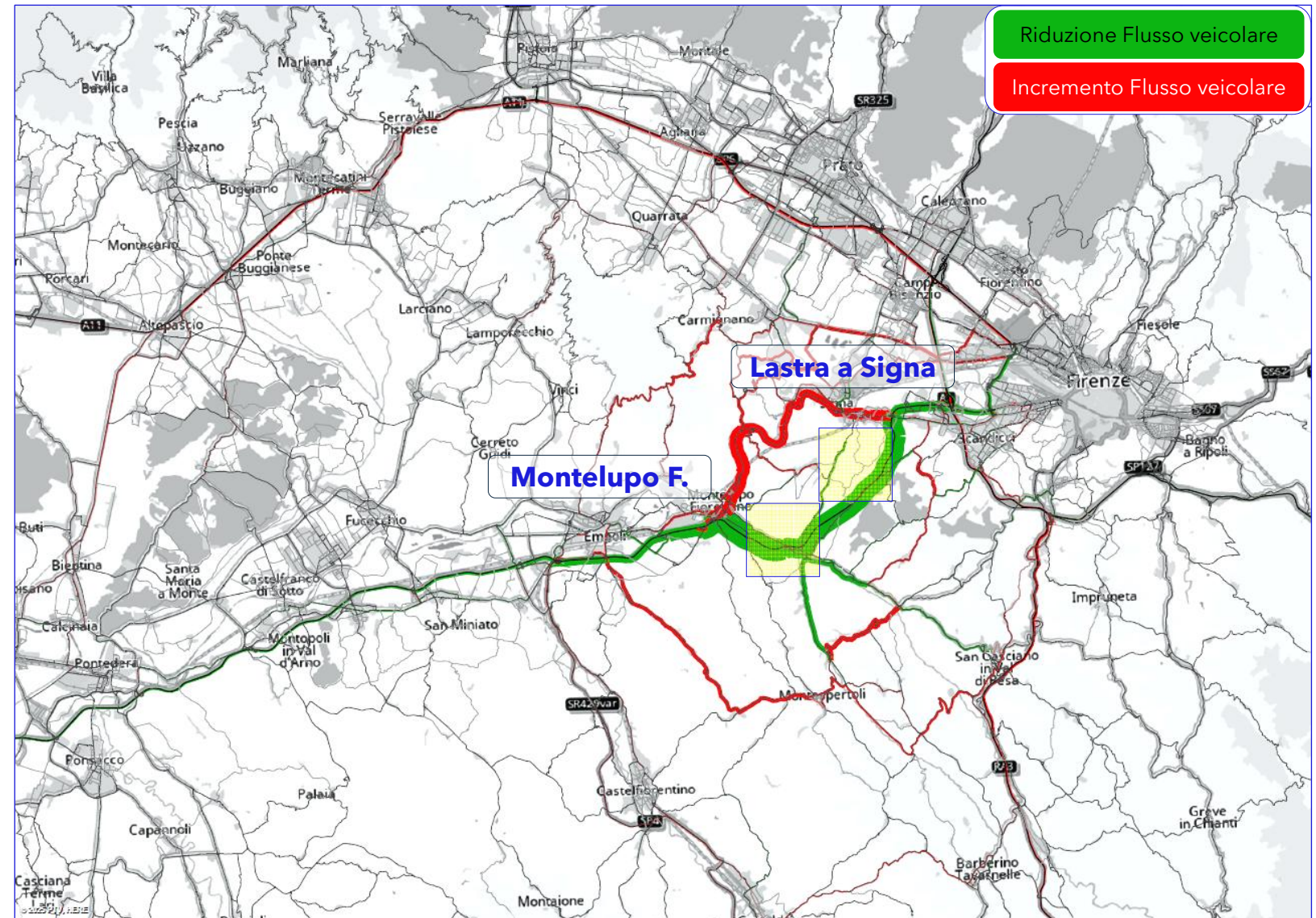


Scenario 1

Rete di differenza

Chiusura Fi-Pi-Li tra Lastra a Signa e Montelupo Fiorentino

La chiusura della tratta comporta lo spostamento di buona parte del flusso veicolare lungo la **SS67**, che costituisce un itinerario alternativo di lunghezza simile e caratteristiche infrastrutturali adeguate. La restante quota di spostamenti di medio-lungo raggio si distribuisce su viabilità meno prossime.

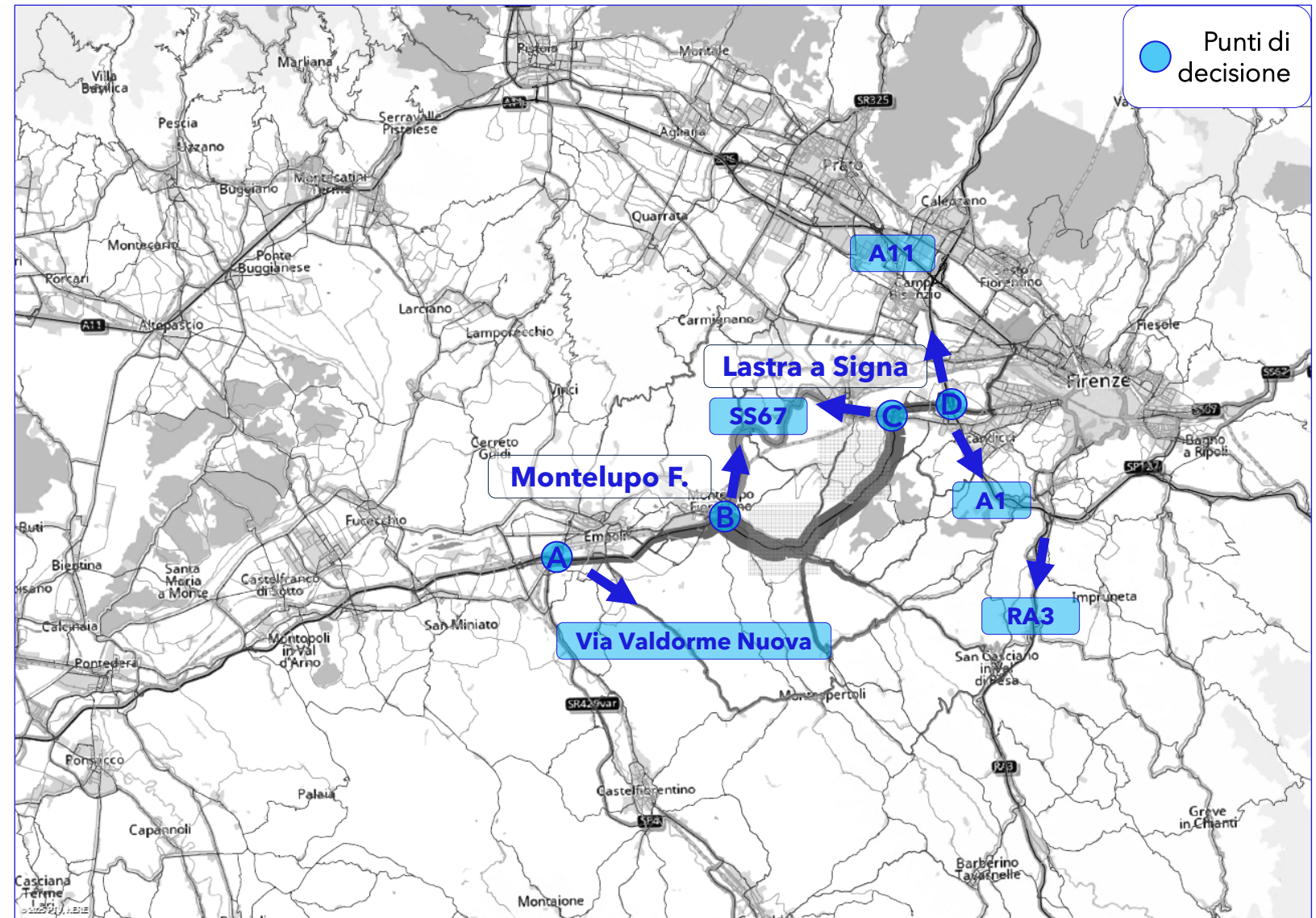


Scenario 1

Punti di decisione

Chiusura Fi-Pi-Li tra Lastra a Signa e Montelupo Fiorentino

- A. Svincolo Fi-Pi-Li di Empoli per deviazione verso gli abitati a sud della chiusura
- B. Svincolo Fi-Pi-Li di Montelupo F. con deviazione verso la SS67
- C. Svincolo Fi-Pi-Li di Lastra a Signa con deviazione verso la SS67
- D. Svincolo Fi-Pi-Li di Scandicci con deviazione verso A11 o A1

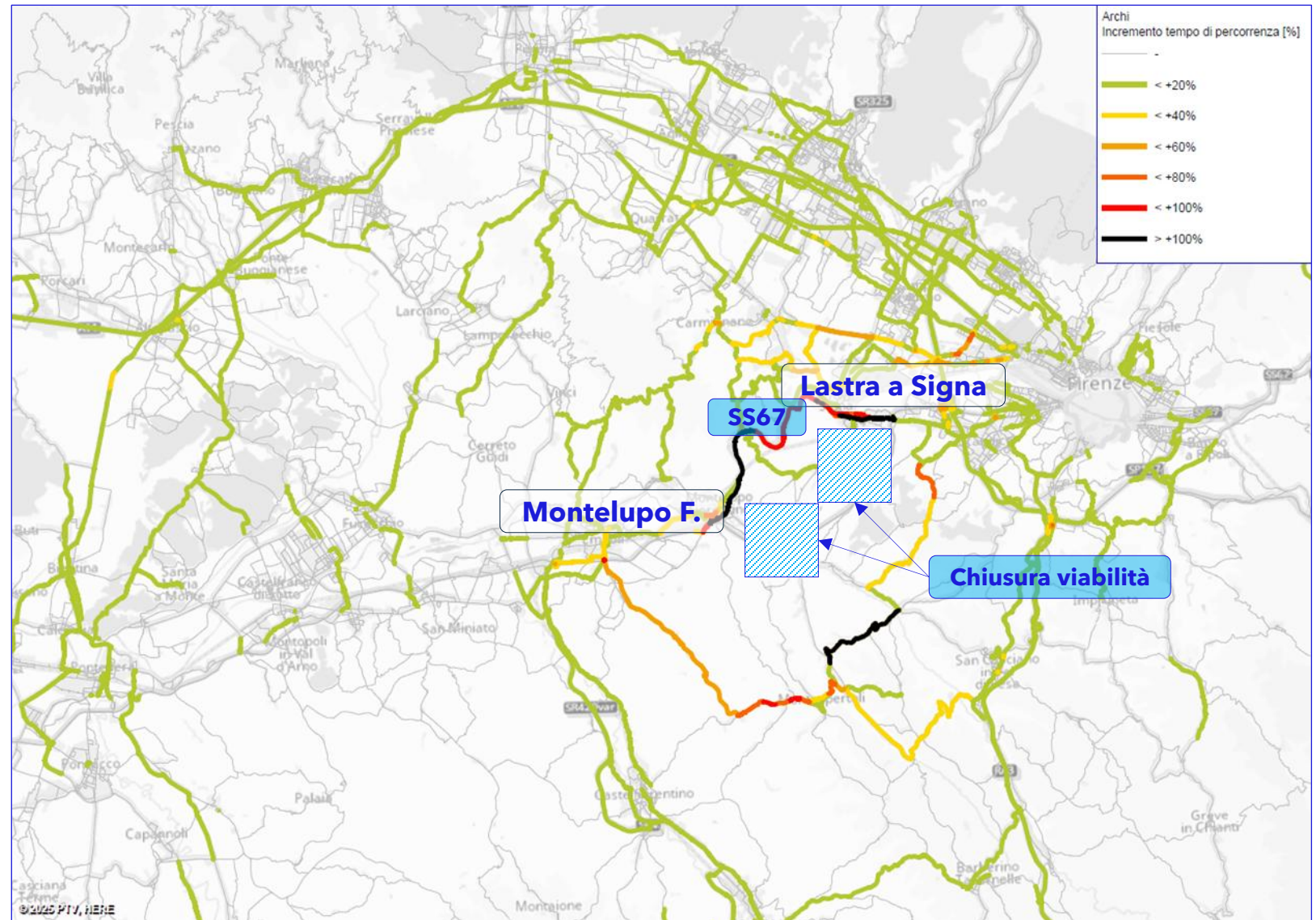


Scenario 1

Analisi tempi di viaggio

Chiusura Fi-Pi-Li tra Lastra a Signa e Montelupo Fiorentino

La mappa evidenzia come, in caso di chiusura della Fi-Pi-Li, il tratto di SS67 utilizzato come alternativa presenti un tempo di percorrenza pari a circa il doppio, se confrontato con le normali condizioni di deflusso. Nonostante ciò, esso rimane l'itinerario preferito per gli spostamenti di corto-medio raggio, in assenza di altre viabilità alternative.

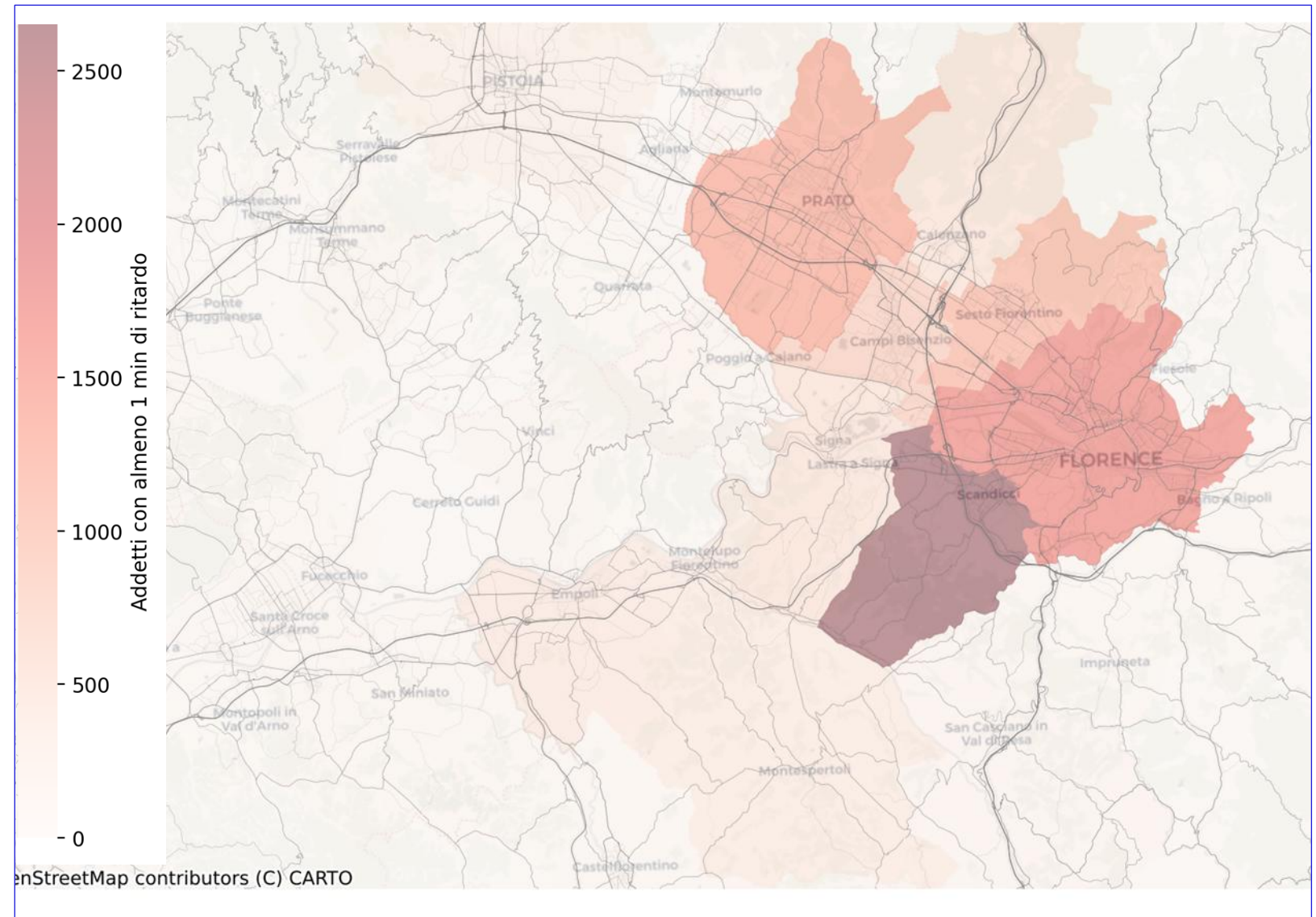


Scenario 1

Analisi addetti industrie

Chiusura Fi-Pi-Li tra Lastra a Signa e Montelupo Fiorentino

L'analisi evidenzia che, assumendo come indice il numero di addetti che subiscono ritardo negli spostamenti a seguito della chiusura, i comuni maggiormente interessati risultano essere, nell'ordine, Scandicci, Firenze, Prato, Sesto Fiorentino e Campi Bisenzio.

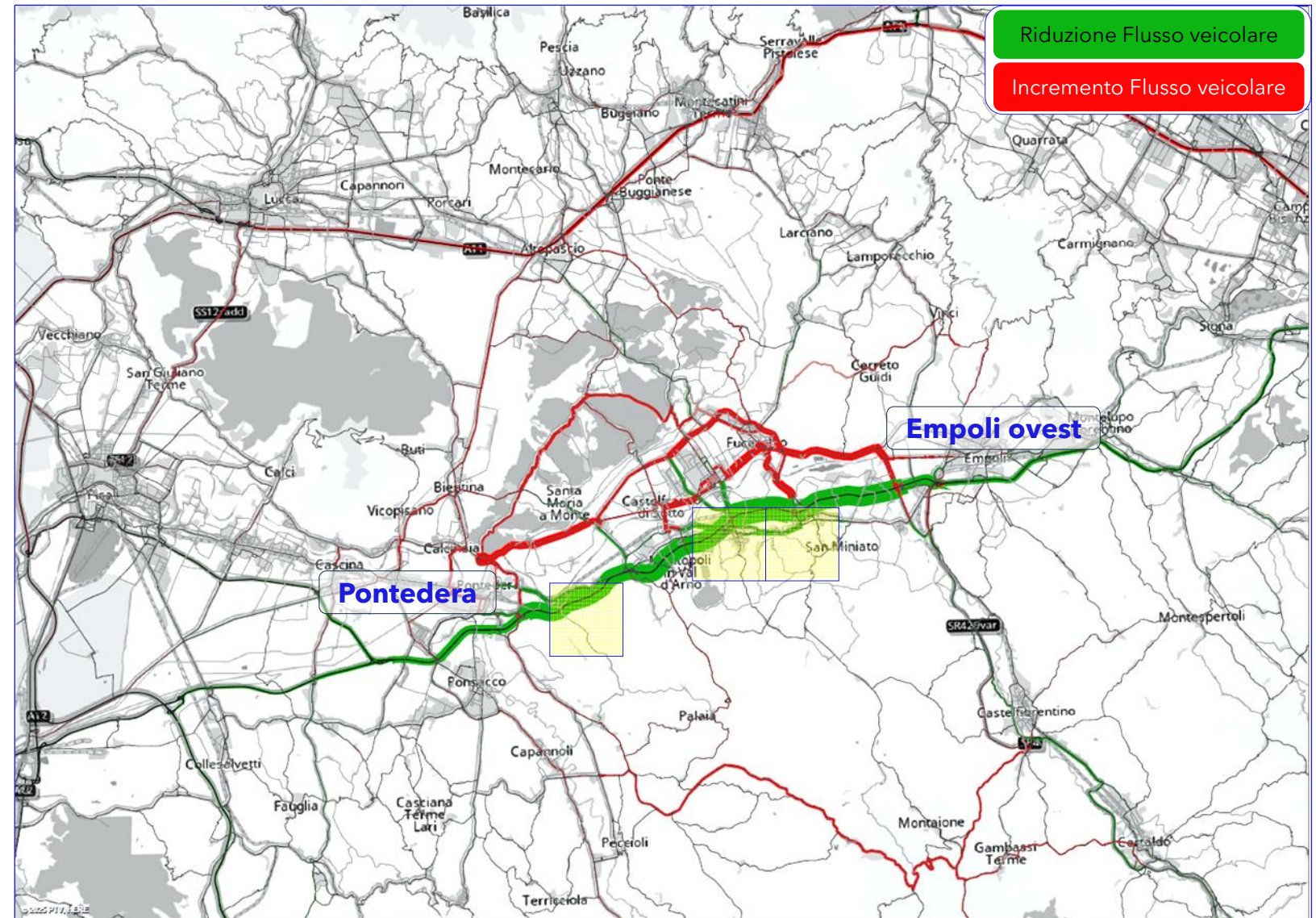


Scenario 2

Rete di differenza

Chiusura Fi-Pi-Li tra Empoli Ovest e Pontedera

La chiusura della tratta, per una lunghezza di circa 20 km, provoca lo spostamento della maggior parte del flusso veicolare sulle viabilità provinciali a nord della Fi-Pi-Li, che attraversano anche alcuni centri abitati. Data l'importanza della tratta interrotta, una parte degli utenti che percorre l'intera Fi-Pi-Li si dirige utilizzando l'autostrada Firenze-Mare come itinerario alternativo.



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



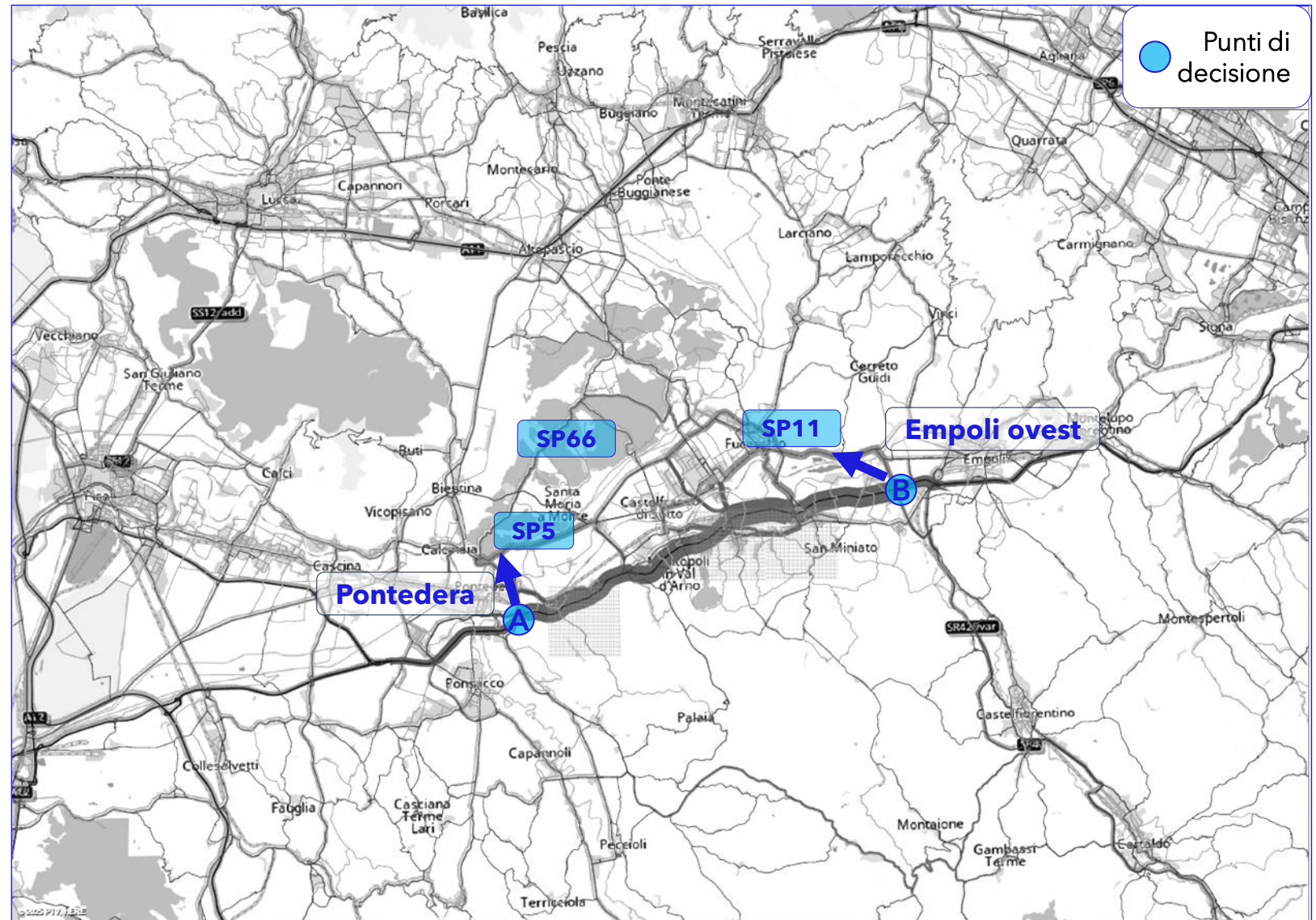
NETENGINEERING

Scenario 2

Punti di decisione

Chiusura Fi-Pi-Li tra Empoli Ovest e Pontedera

- A. Svincolo Fi-Pi-Li di Pontedera per deviazione verso la SP5 o SP66
- B. Svincolo Fi-Pi-Li di Empoli ovest per deviazione verso la SP11 o SP66

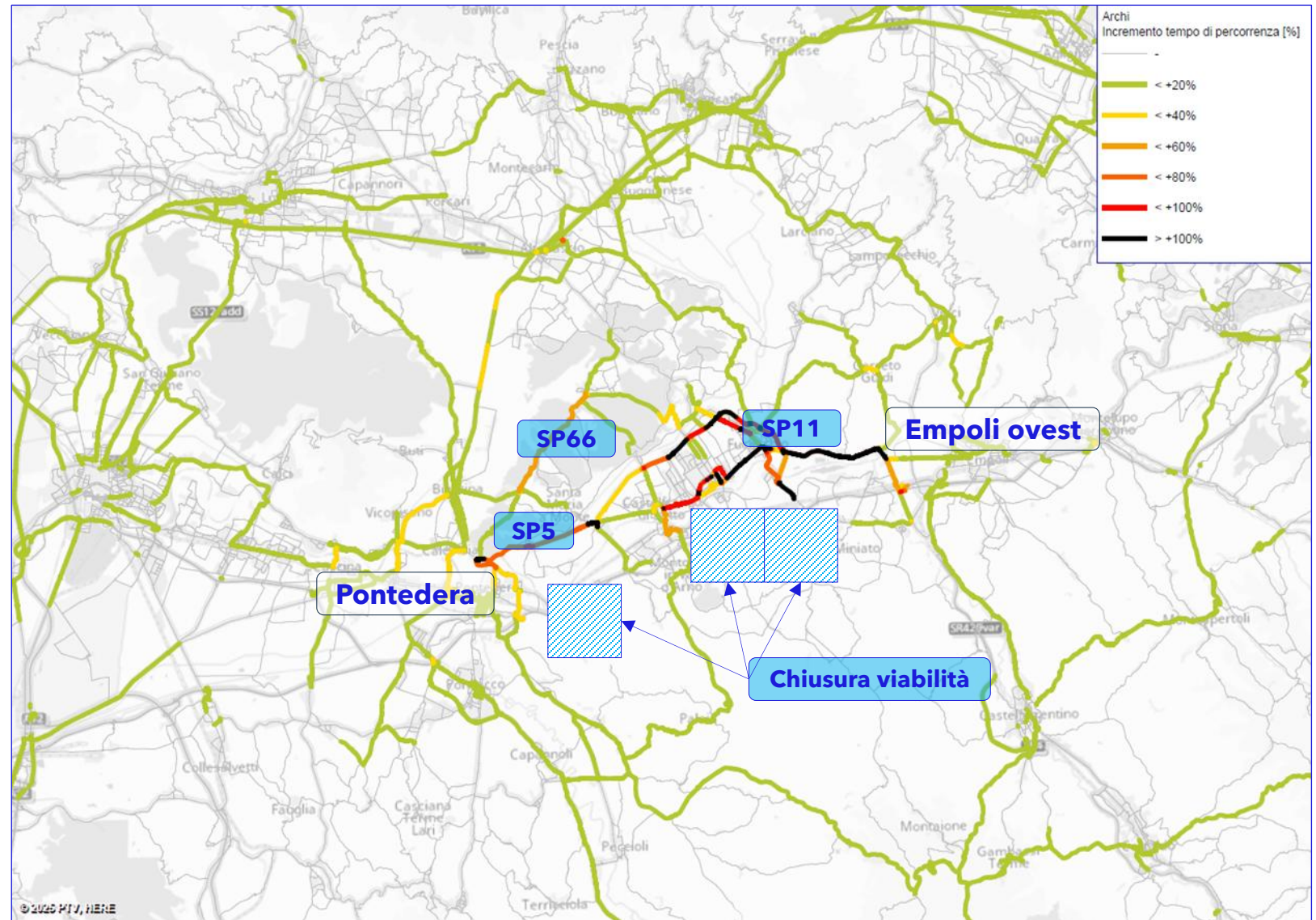


Scenario 2

Analisi tempi di viaggio

Chiusura Fi-Pi-Li tra Empoli Ovest e Pontedera

La mappa evidenzia che, in caso di chiusura della Fi-Pi-Li in questa tratta, le viabilità maggiormente interessate da un incremento del tempo di percorrenza a causa del maggiore flusso veicolare sono la SP11 tra Empoli e Fucecchio e i tratti di SP5 e SP66 nei pressi di Fucecchio, a nord e a sud dell'abitato.

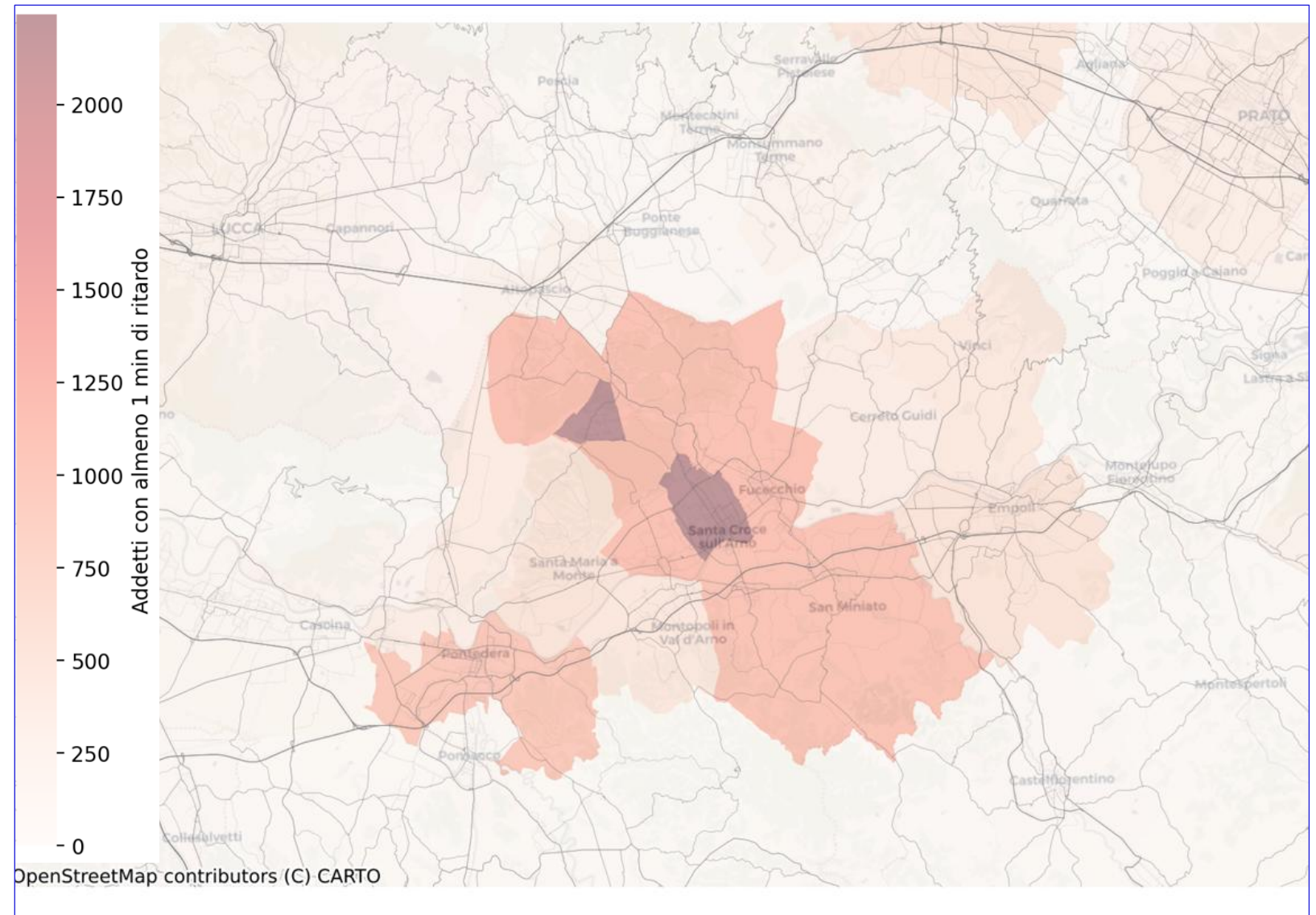


Scenario 2

Analisi addetti industrie

Chiusura Fi-Pi-Li tra Empoli Ovest e Pontedera

L'analisi evidenzia che, assumendo come indice il numero di addetti che subiscono ritardo negli spostamenti a seguito della chiusura, i comuni maggiormente interessati risultano, nell'ordine, Santa Croce sull'Arno, San Miniato, Fucecchio, Castelfranco di Sotto e Pontedera.



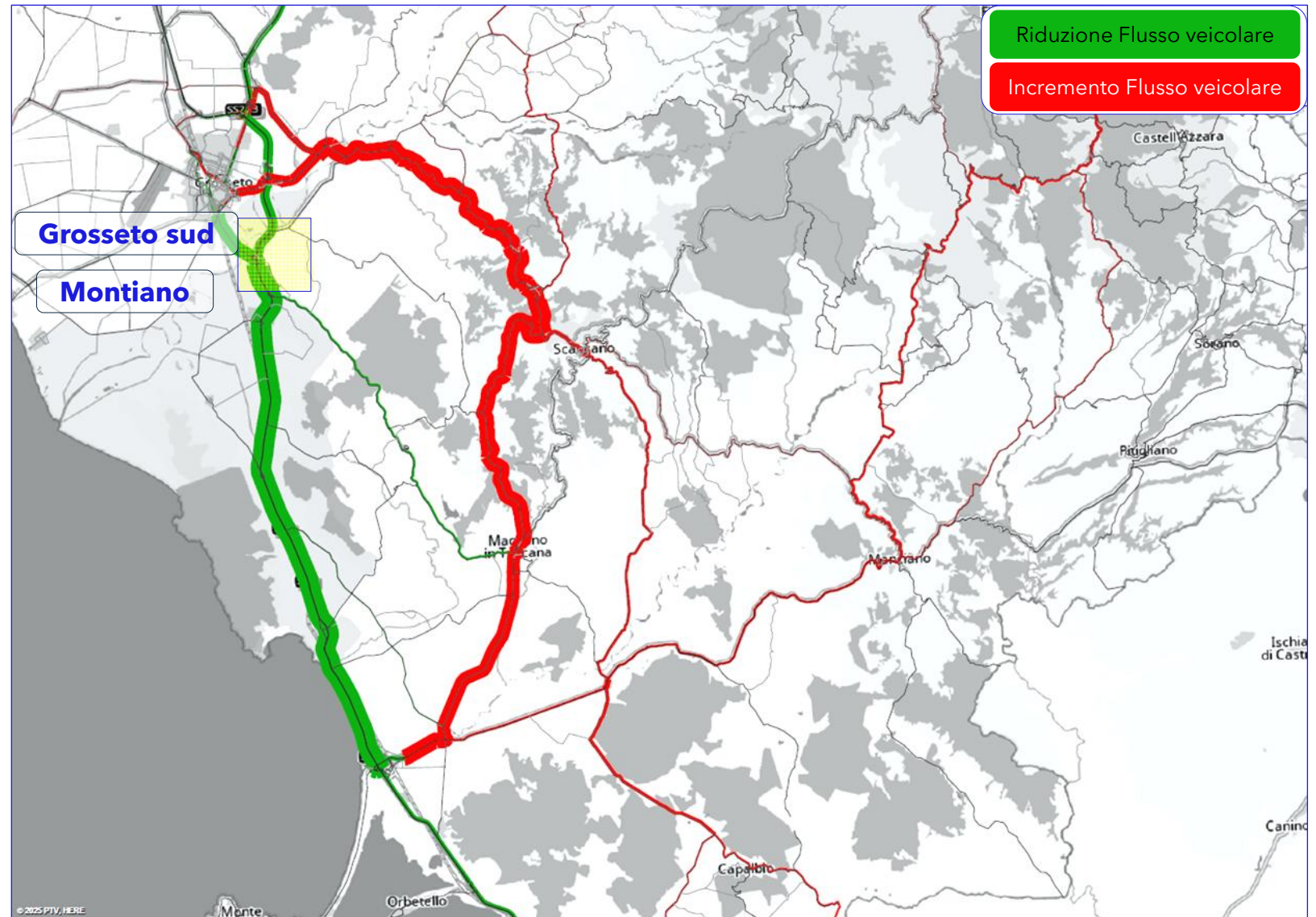
Scenario 3

Rete di differenza

Chiusura SS1 tra Montiano e Grosseto Sud

La chiusura di questa tratta di circa 2 km a sud dello svincolo di Grosseto Sud determina, in **assenza di viabilità alternative prossime**, una sensibile modifica dell'itinerario.

In particolare, per gli spostamenti tra Grosseto e lo svincolo tra la SS1 e la SR74, il **percorso alternativo**, che si sviluppa lungo la SS323 e successivamente la SP159, comporta un **allungamento di circa 30 km** rispetto al tracciato ordinario.

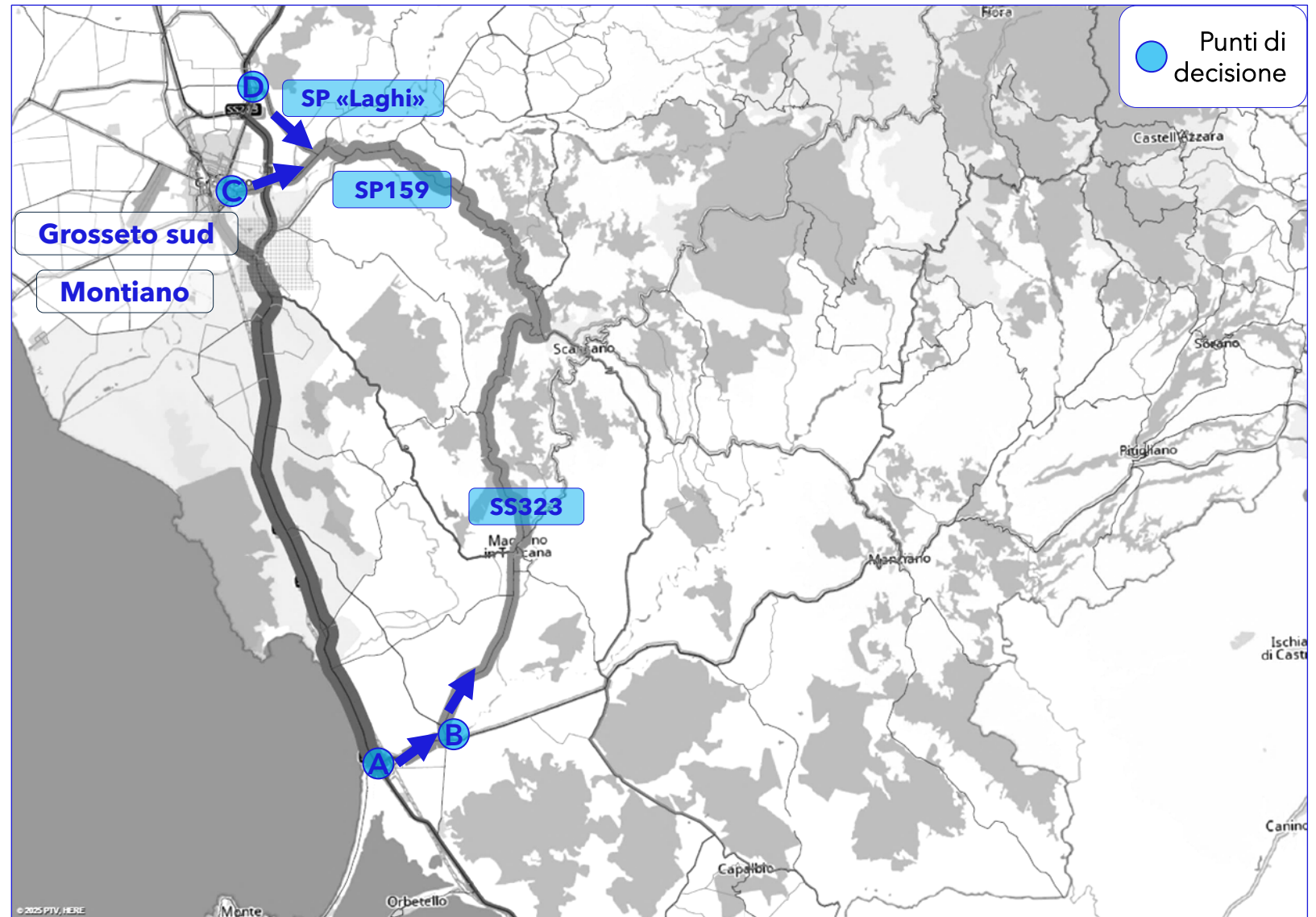


Scenario 3

Punti di decisione

Chiusura SS1 tra Montiano e Grosseto Sud

- A. Svincolo SS1 di Albinia per deviazione verso la SS323
- B. Intersezione tra la SR74 e la SS323 per deviazione verso la SS323
- C. Intersezione tra SP159-Via Liri-Via Mascagni per deviazione verso la SS323
- D. Svincolo SS223 di Roselle per deviazione verso la SP159 e SS323

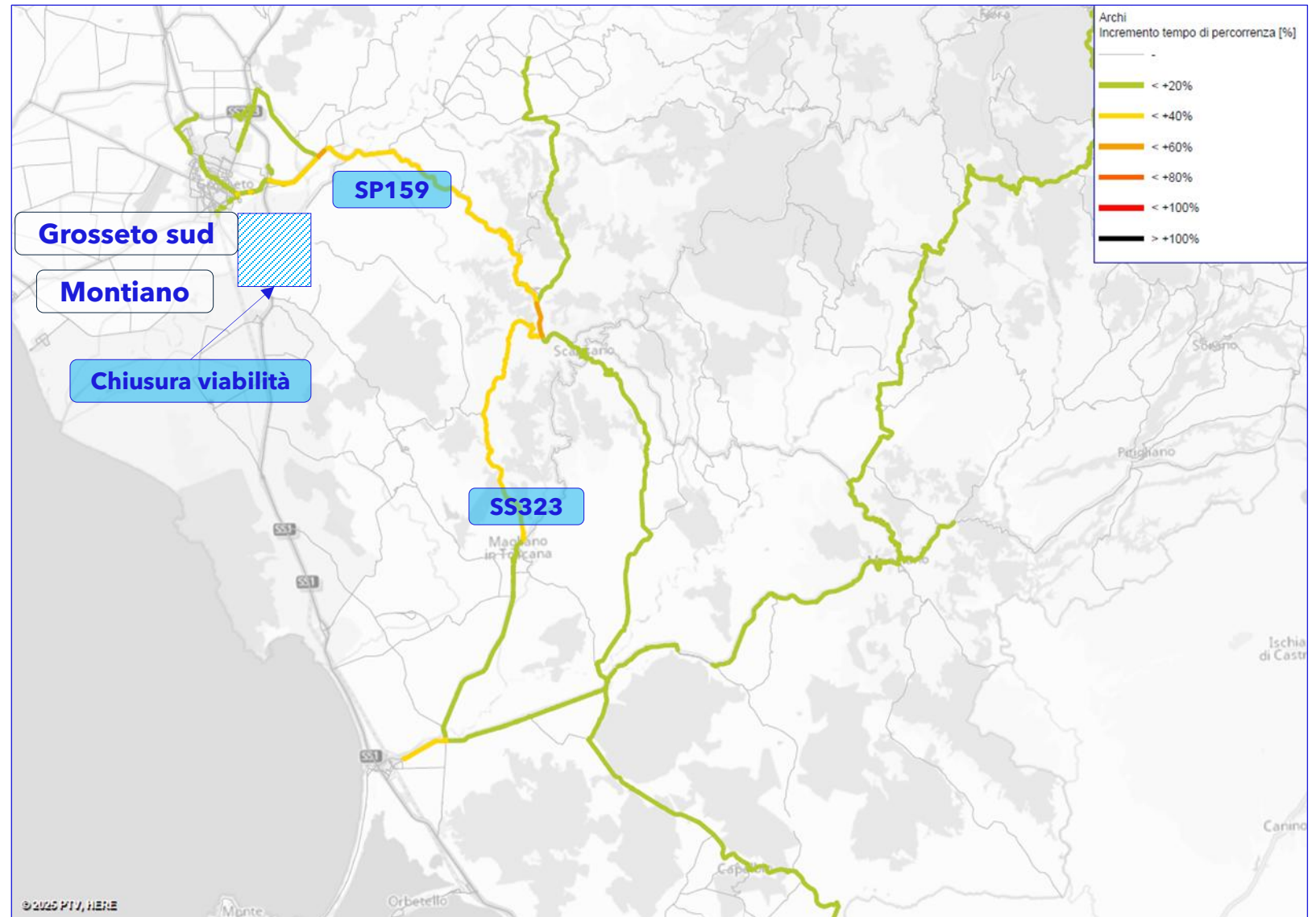


Scenario 3

Analisi tempi di viaggio

Chiusura SS1 tra Montiano e Grosseto Sud

La mappa evidenzia come l'impatto della chiusura sulle viabilità alternative risulti contenuto, a conferma della presenza di una buona riserva di capacità e di un basso livello di saturazione in condizioni ordinarie. Tali caratteristiche consentono a queste infrastrutture (SS323 e SP159) di assorbire efficacemente il flusso deviato dalla SS1.

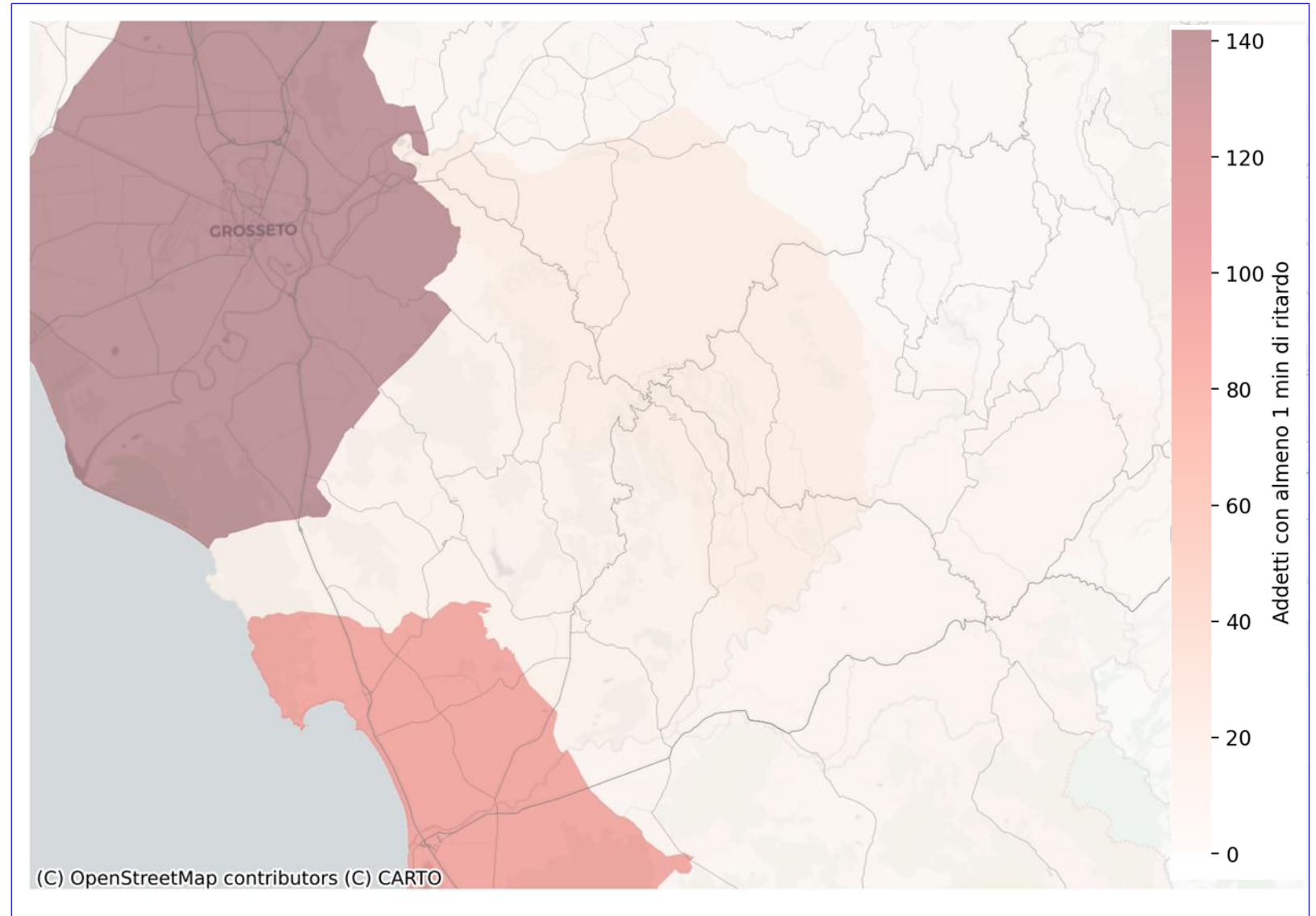


Scenario 3

Analisi addetti industrie

Chiusura SS1 tra Montiano e Grosseto Sud

L'analisi evidenzia un **impatto limitato sulle attività produttive**, in quanto il numero di addetti che subiscono ritardo risulta contenuto e circoscritto ai soli comuni di **Grosseto** e **Orbetello**.

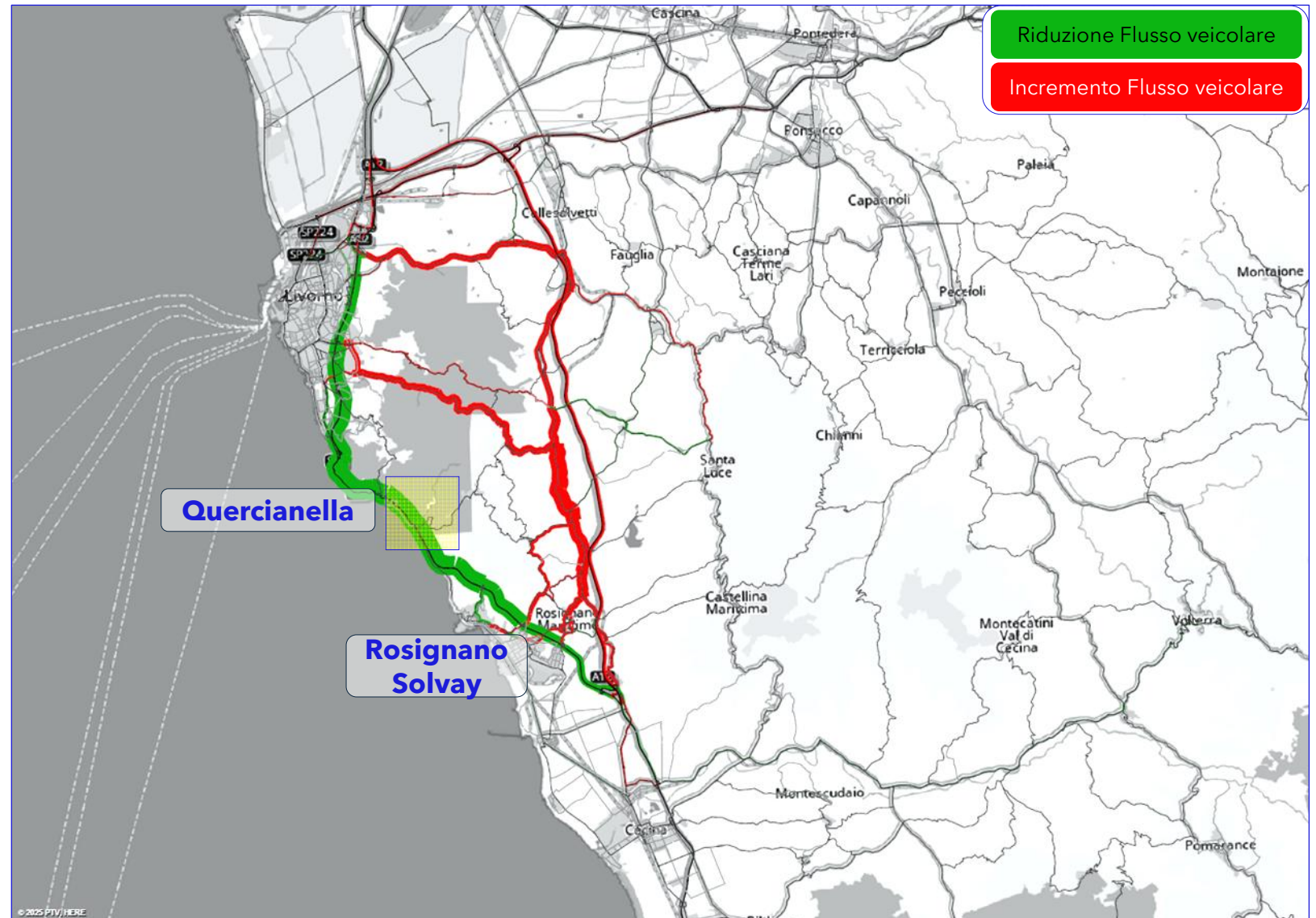


Scenario 4

Rete di differenza

Chiusura SS1 tra Rosignano e Quercianella

La chiusura di questa tratta della SS1 comporta la deviazione del traffico dalla SS1 verso la SR206 e, successivamente, lungo viabilità secondarie quali la SP8 e la SP4, per rientrare sulla SS1 o raggiungere Livorno. L'incremento di distanza risulta contenuto, mentre si registra un aumento dei tempi di percorrenza dovuto all'utilizzo di strade minori, caratterizzate da velocità più ridotte.

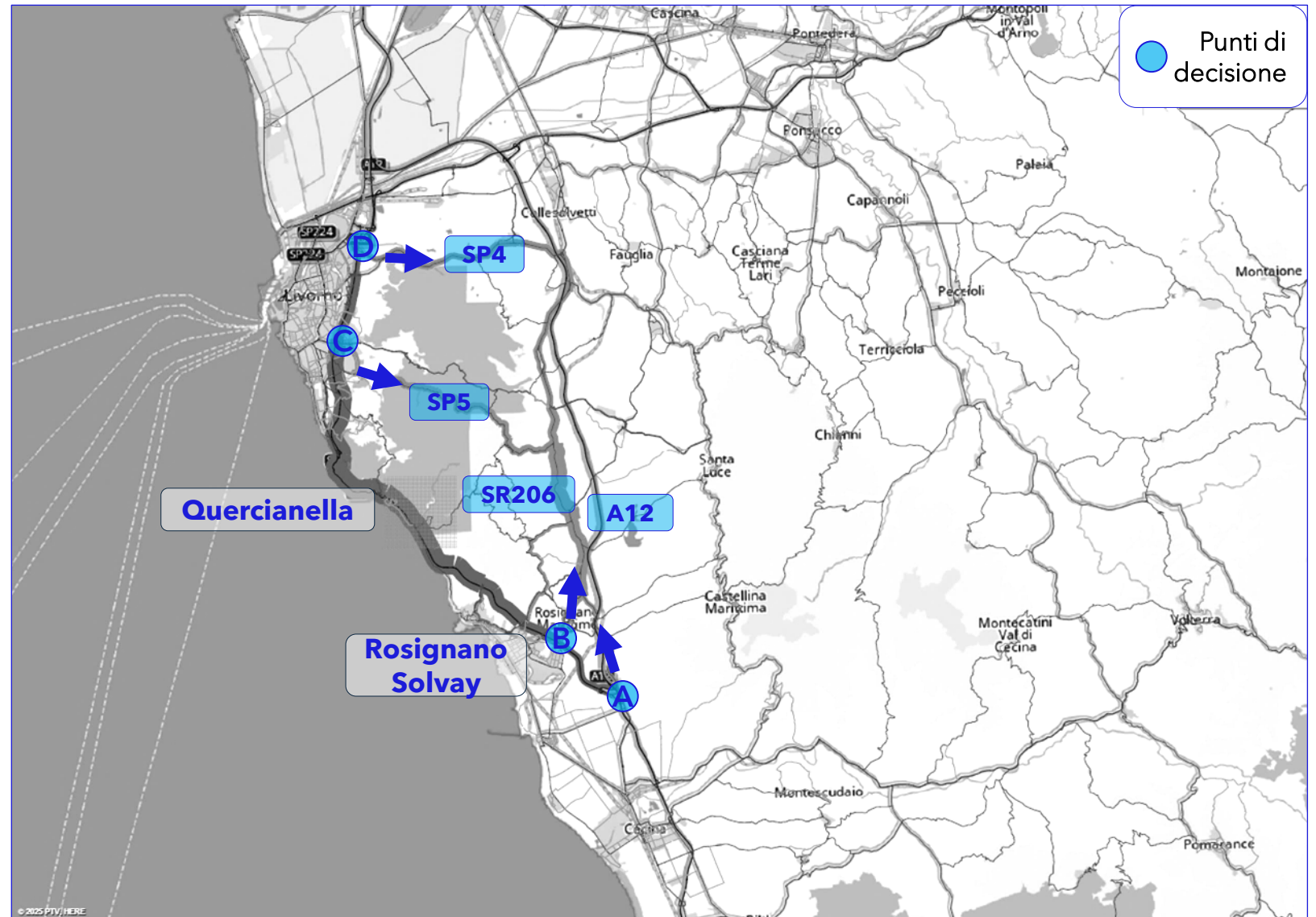


Scenario 4

Punti di decisione

Chiusura SS1 tra Rosignano e Quercianella

- A. Casello A12 di Rosignano per deviazione verso la A12
- B. Svincolo SS1 di Rosignano Marittimo per deviazione verso la SP10 e SR206
- C. Svincolo SS1 di Livorno Sud per deviazione verso la SP5 e SR206
- D. Svincolo SS1 di Per con deviazione verso la SP4 e SR206



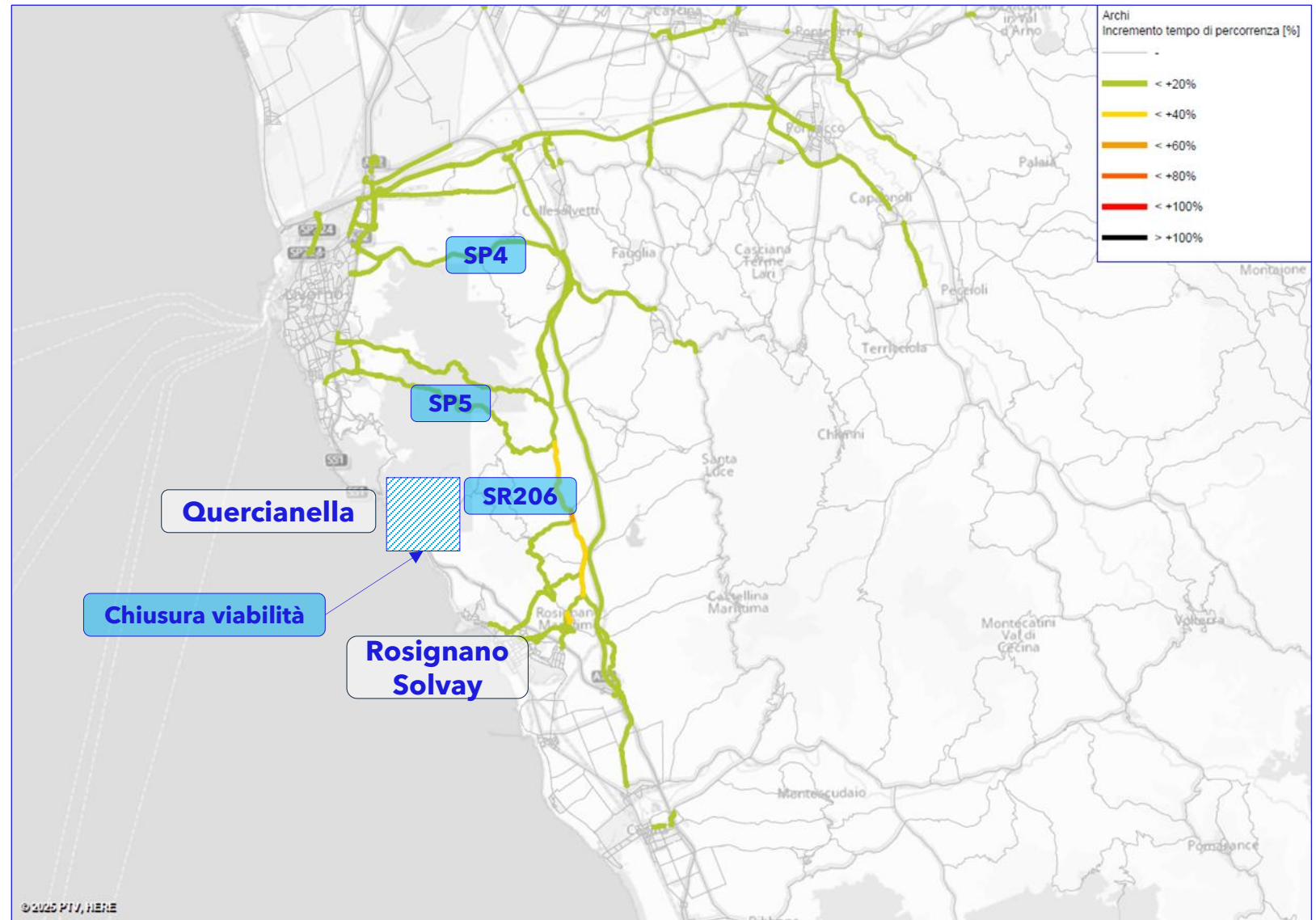
Scenario 4

Analisi tempi di viaggio

Chiusura SS1 tra Rosignano e Quercianella

La mappa evidenzia che l'interruzione della SS1 in questa tratta genera un **impatto contenuto sulle viabilità alternative**, rivelando una capacità residua adeguata dell'infrastruttura e un basso livello di saturazione in condizioni ordinarie.

Tali caratteristiche consentono l'assorbimento del flusso deviato senza compromettere l'efficienza del sistema viario.

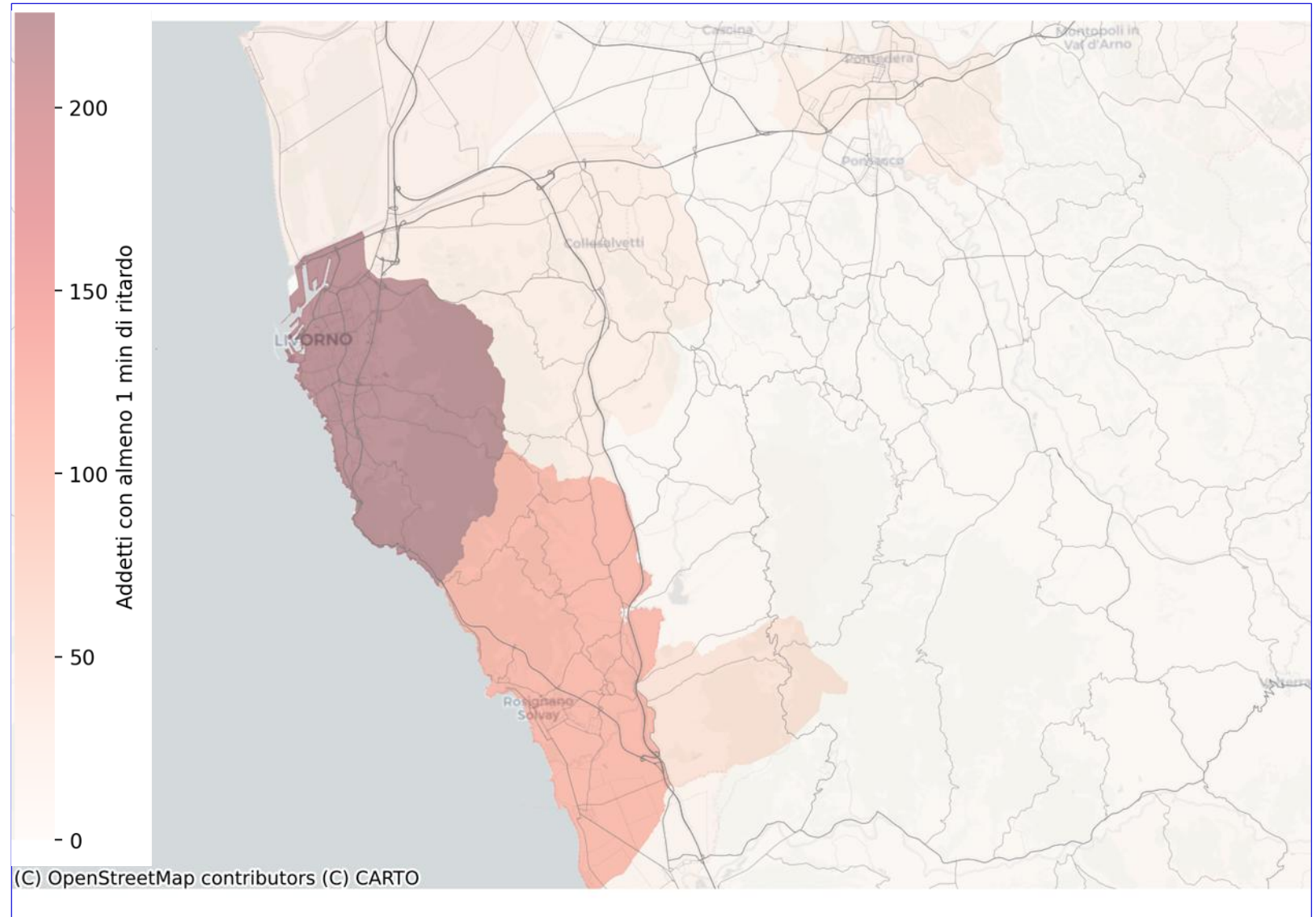


Scenario 4

Analisi addetti industrie

Chiusura SS1 tra Rosignano e Quercianella

L'analisi mostra che le attività produttive dell'area risentono di un **impatto relativo**, poiché la chiusura incide su un **numero limitato di addetti**, concentrati esclusivamente nei comuni di **Livorno** e **Rosignano Solvay**.

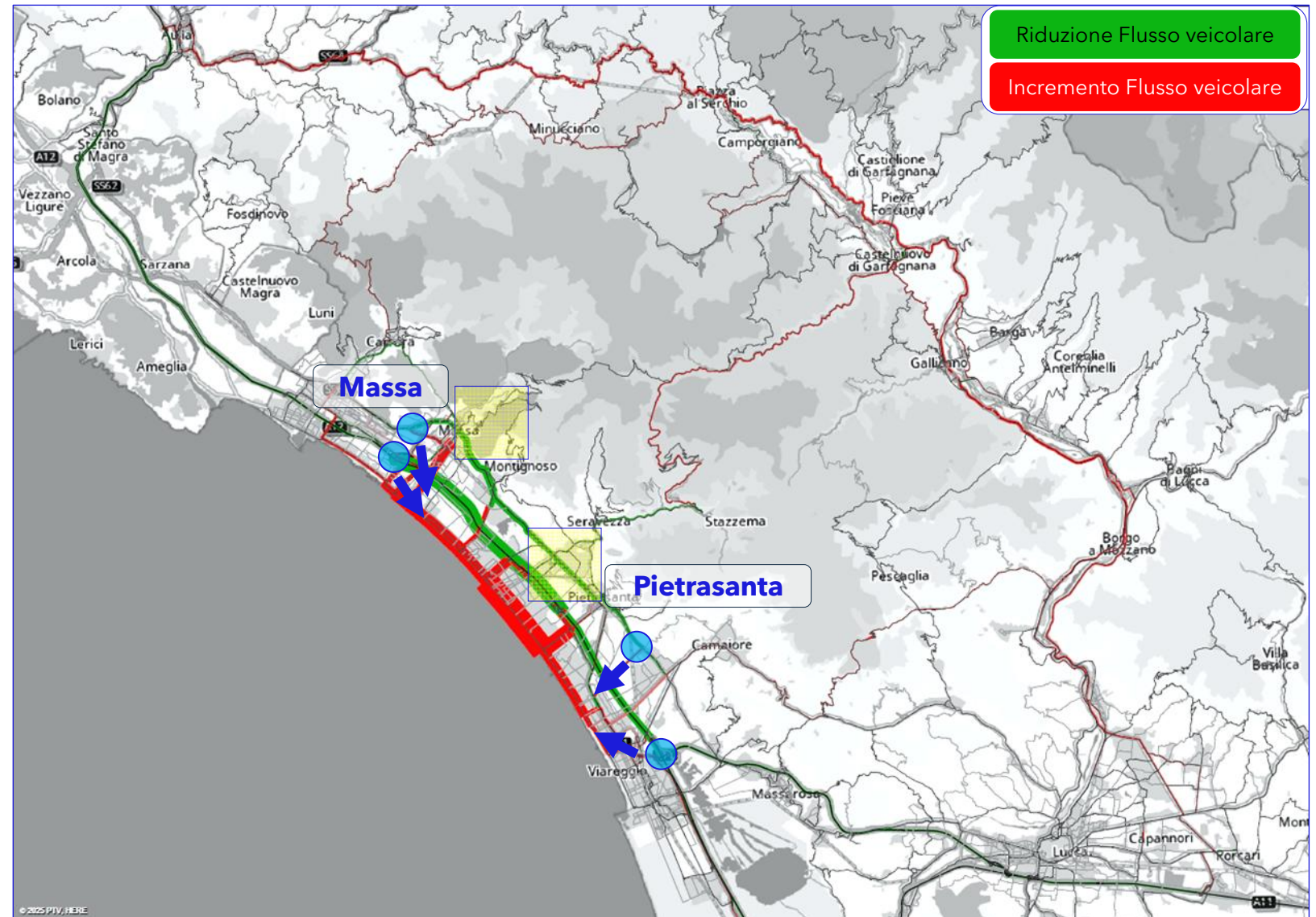


Scenario 5

Rete di differenza

Chiusura SS1 tra Pietrasanta e Massa

La chiusura della tratta della SS1 tra Pietrasanta e Massa, unitamente all'interruzione del tratto autostradale parallelo, comporta la deviazione della maggior parte dei flussi veicolari sulla viabilità costiera. L'analisi evidenzia la **carenza di alternative a nord della SS1**: la SR445 risulta infatti utilizzabile solo per spostamenti di lungo raggio, senza rappresentare una soluzione efficace per la mobilità locale.

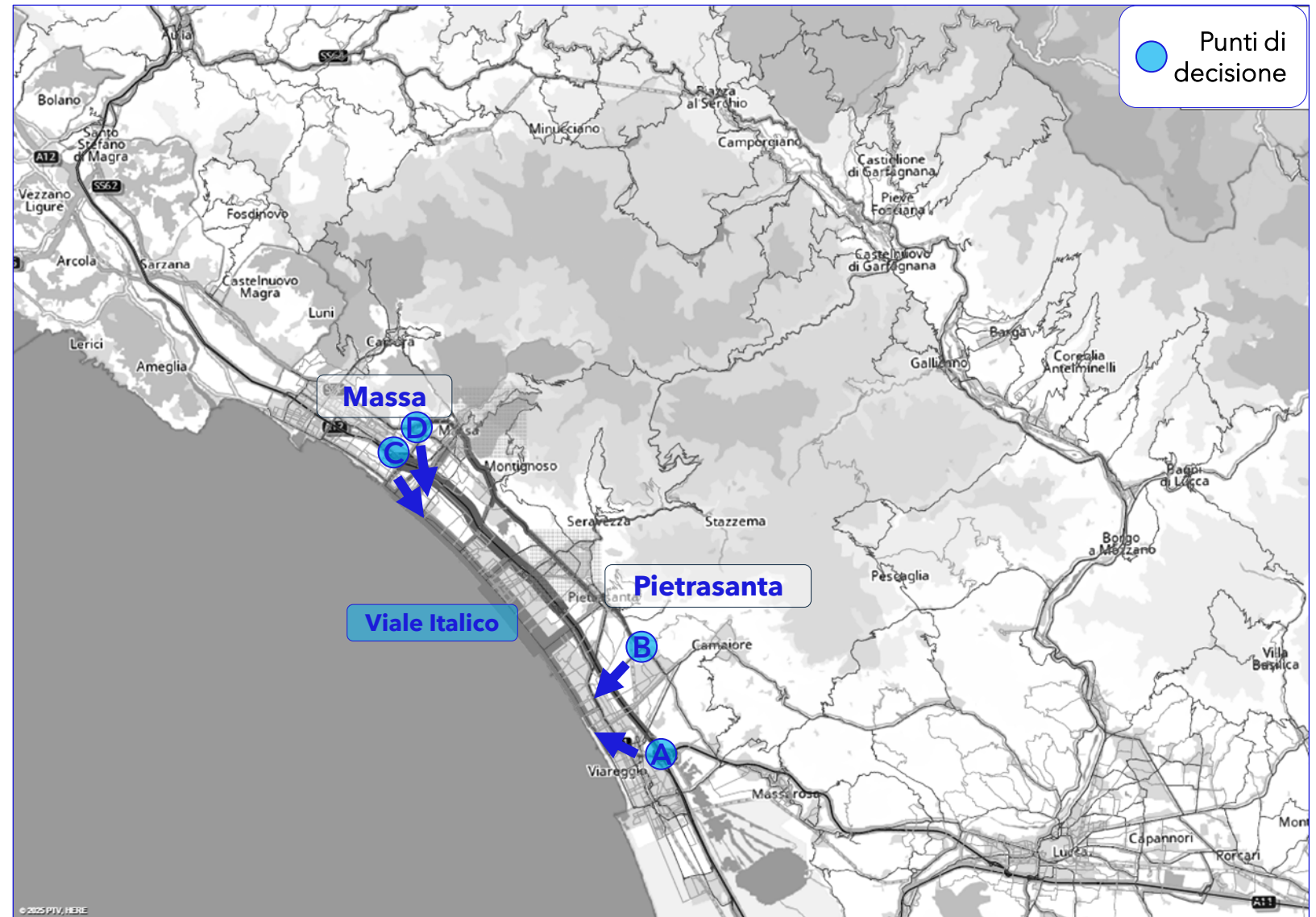


Scenario 5

Punti di decisione

Chiusura SS1 tra Pietrasanta e Massa

- A. Casello A11 di Viareggio-Camaioere per deviazione verso Viale Roma
- B. Intersezione SS1-Viale Apua per deviazione verso Viale Apua
- C. Casello A11 di Massa per deviazione verso Via Massa Avenza
- D. Intersezione SS1-Via Catagnina per deviazione verso Via Catagnina

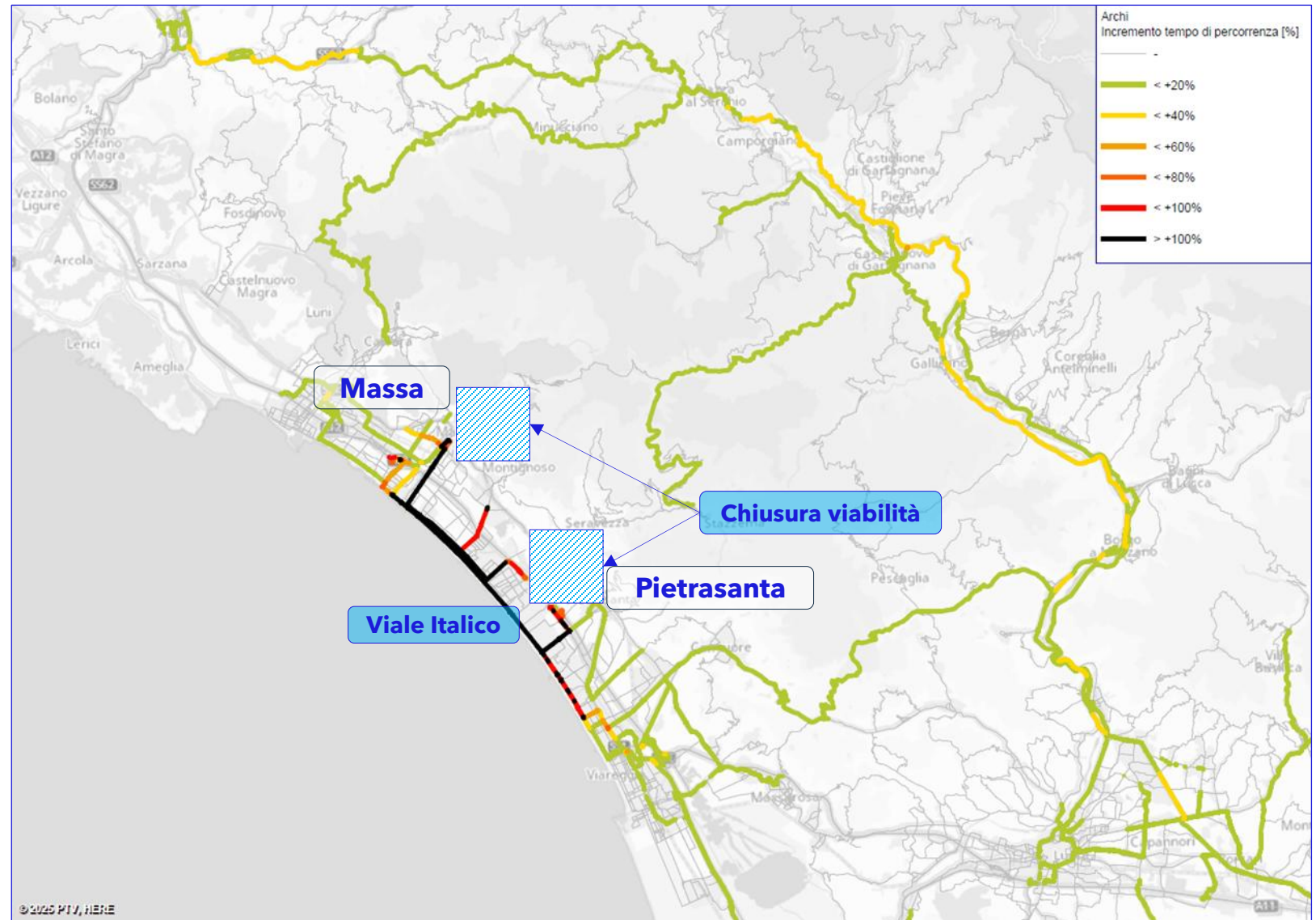


Scenario 5

Analisi tempi di viaggio

Chiusura SS1 tra Pietrasanta e Massa

La mappa mostra una condizione di **sovrasaturazione** lungo le **viabilità alternative**, con una conseguente riduzione delle velocità medie di percorrenza. I tempi di viaggio risultano superiori a oltre il doppio rispetto alle condizioni ordinarie. Tale situazione conferma come l'assenza di ulteriori alternative, unita alla **capacità limitata delle infrastrutture disponibili**, non consenta di assicurare un regolare deflusso del traffico.

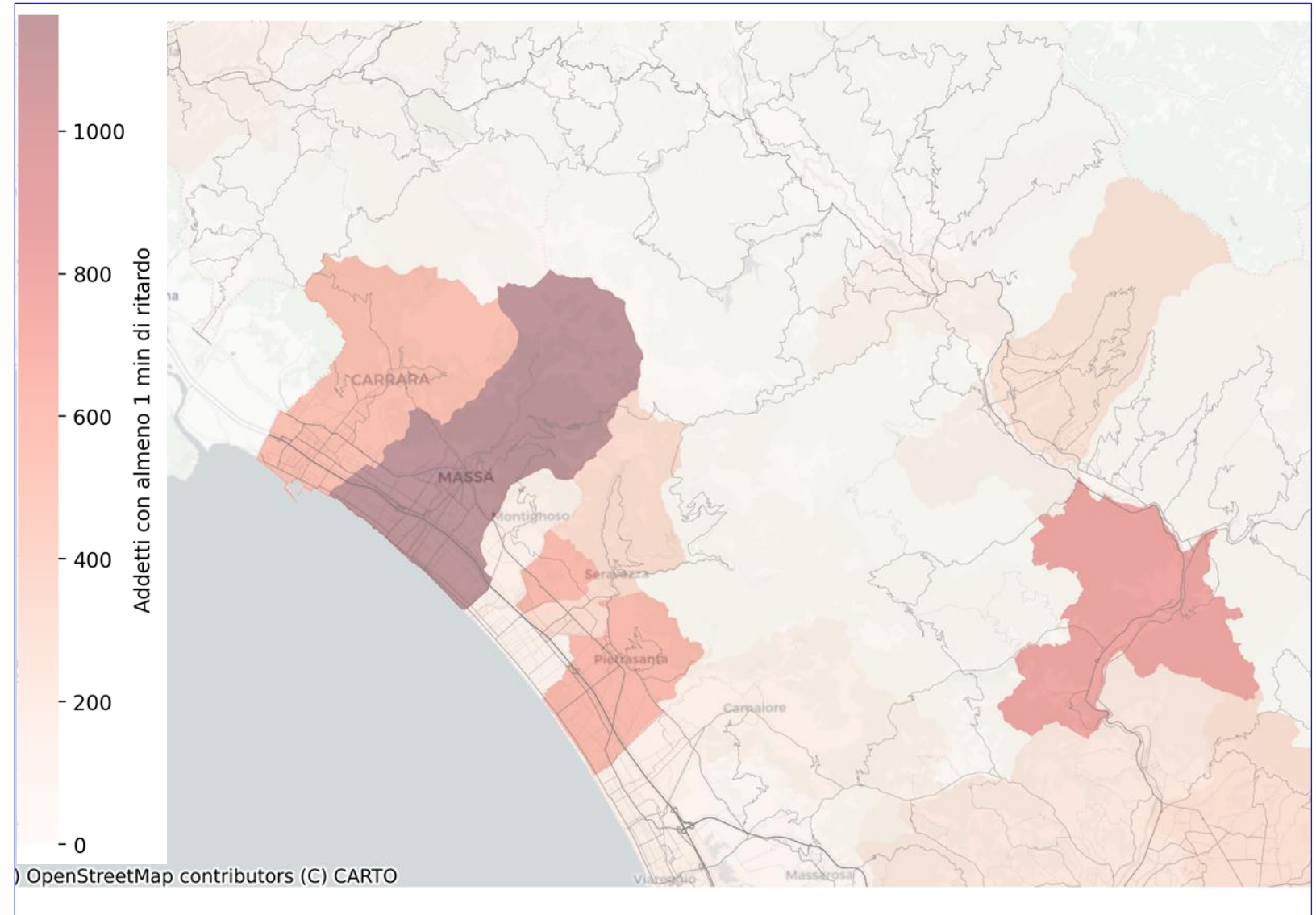


Scenario 5

Analisi addetti industrie

Chiusura SS1 tra Pietrasanta e Massa

L'analisi mostra che la chiusura delle viabilità considerate nello scenario di simulazione genera un impatto significativo sulle attività produttive, come evidenziato dal rilevante numero di addetti soggetti a ritardo, in particolare nei comuni di **Massa**, **Carrara**, **Pietrasanta** e **Borgo a Mozzano**.



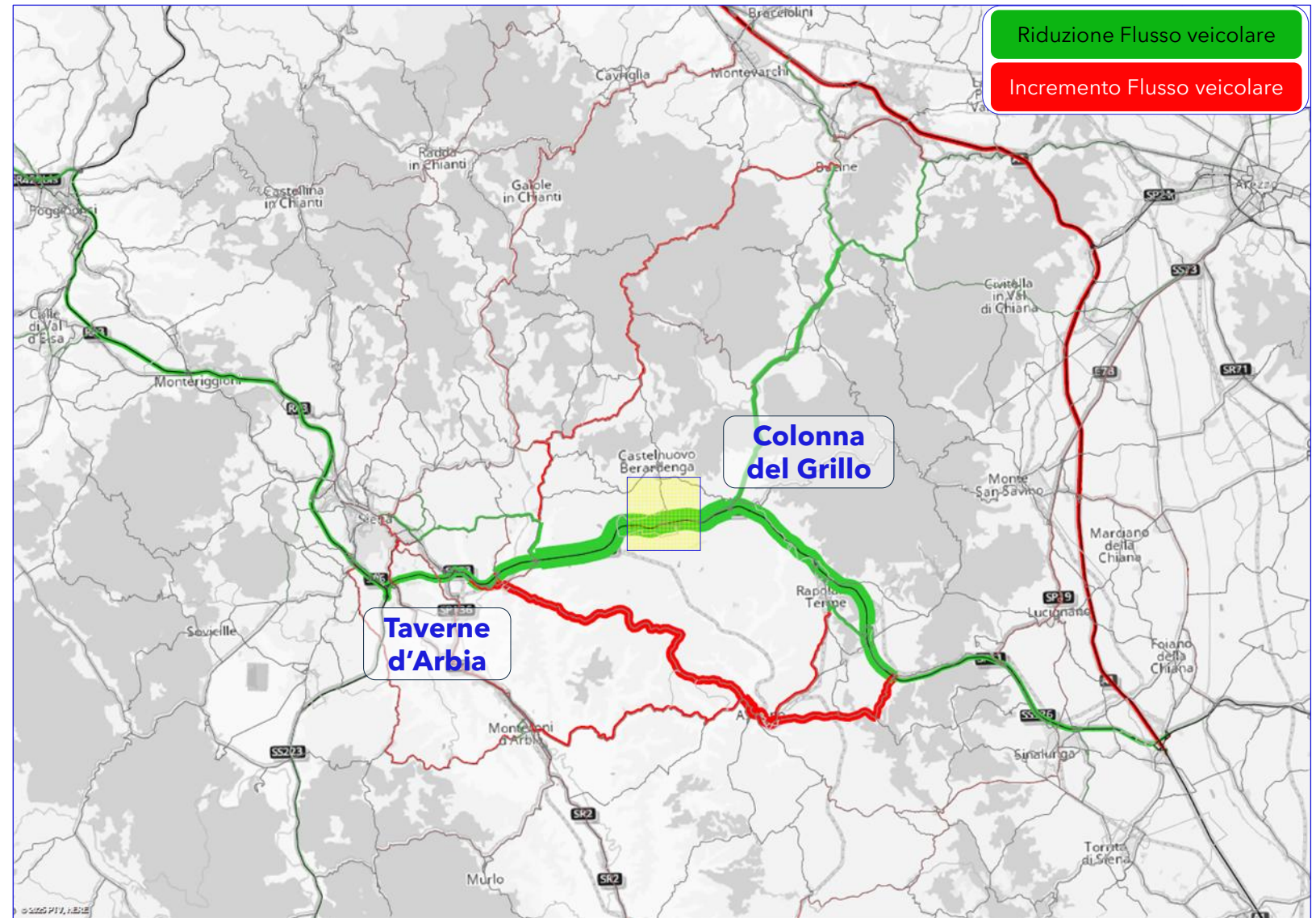
Scenario 6

Rete di differenza

Chiusura E78 tra Taverne d'Arbia e Colonna del Grillo

La chiusura della tratta della SS715 interrompe il principale collegamento tra Siena e Arezzo, determinando lo spostamento dei flussi veicolari sulla SP438, la quale offre un'alternativa di lunghezza simile, ma tempi di percorrenza più elevati.

Gli spostamenti di lungo raggio, invece, tendono a redistribuirsi lungo l'autostrada A1 fino al casello Bettole-Valdichiana.

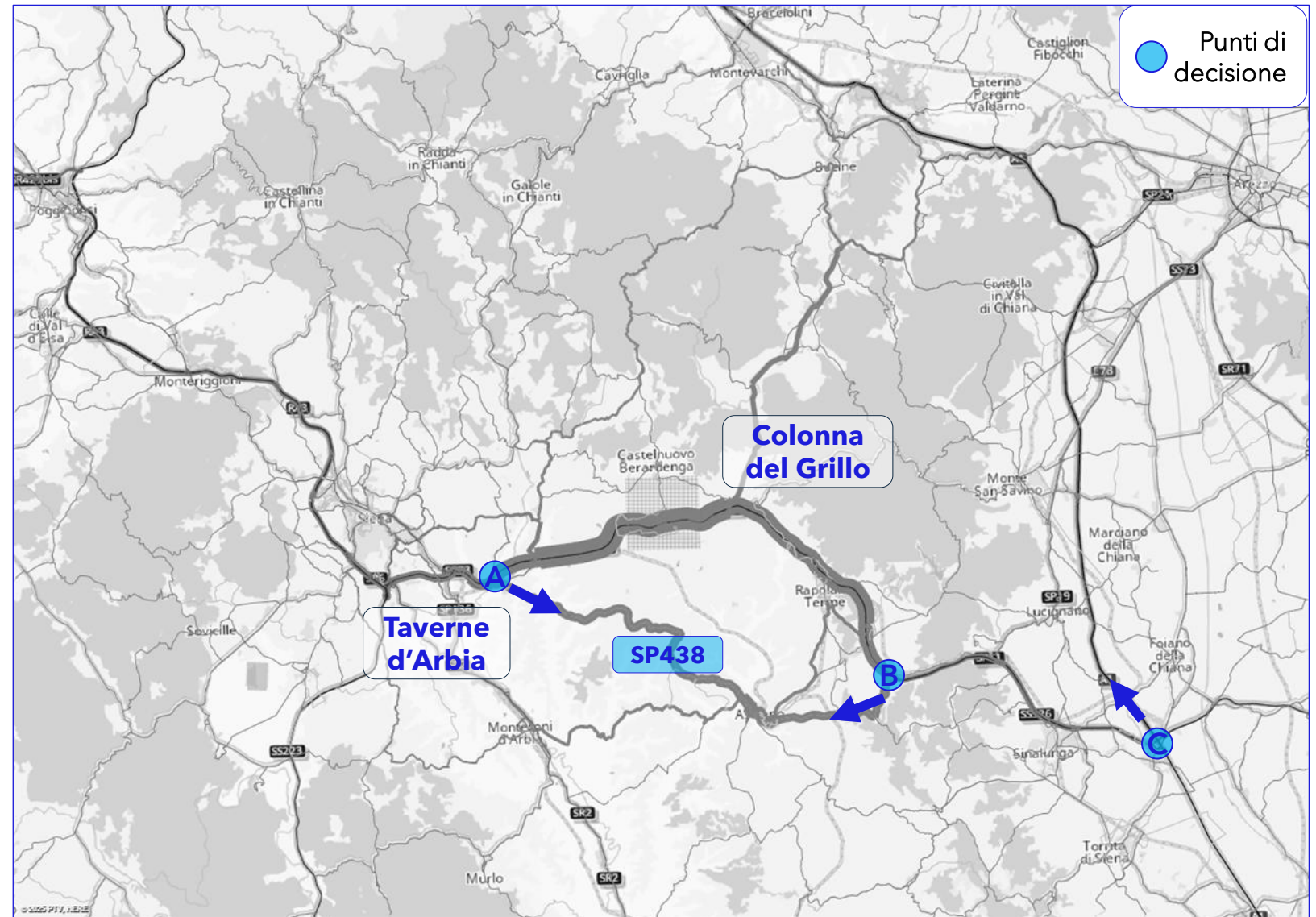


Scenario 6

Punti di decisione

Chiusura E78 tra Taverne d'Arbia e Colonna del Grillo

- A. Svincolo SS715 di Taverne d'Arbia per deviazione verso SP438
- B. Svincolo SS715 di Asciano per deviazione verso SP438
- C. Intersezione a rotatoria Casello di Bettole-Valdichiana per deviazione verso l'A1

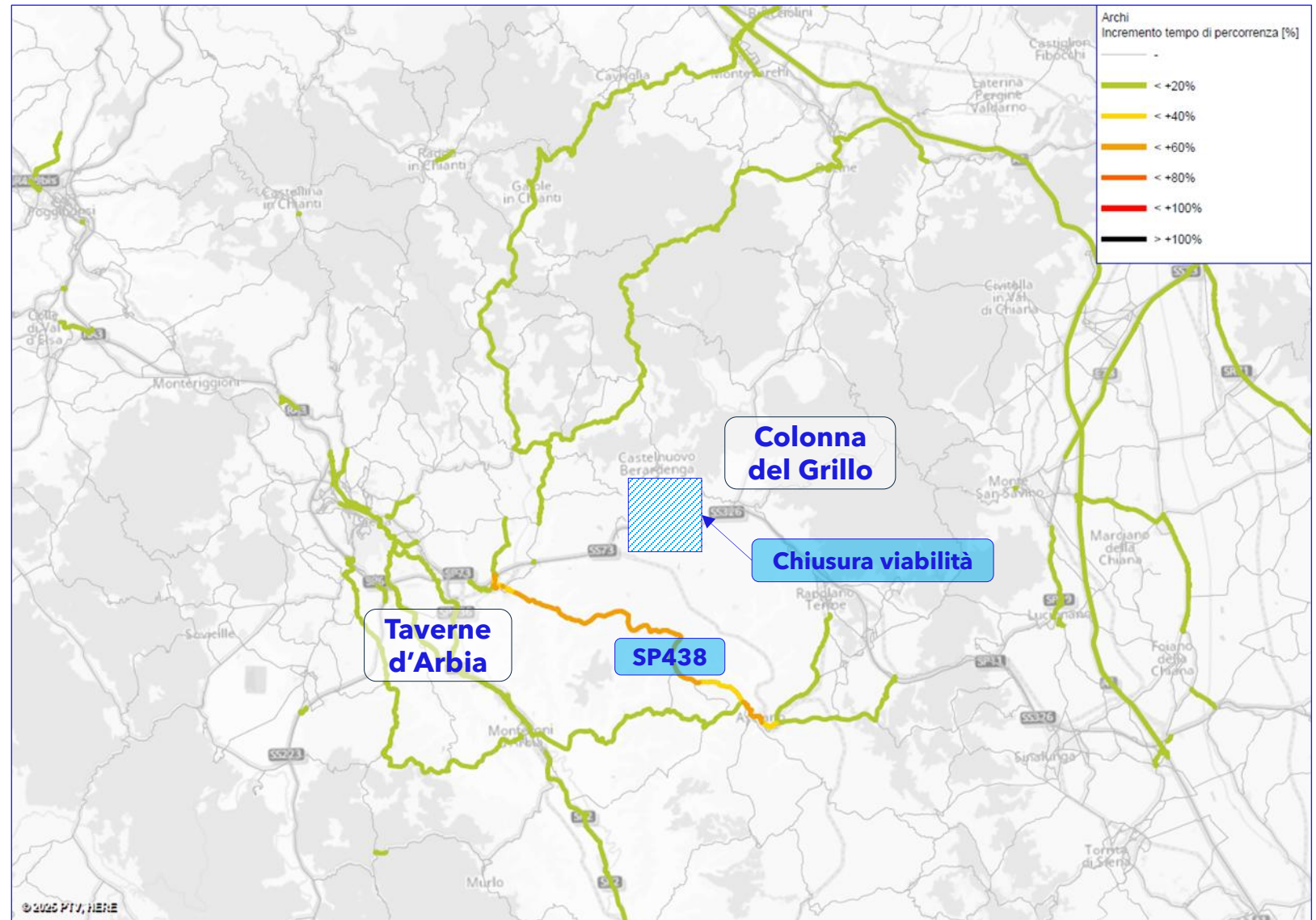


Scenario 6

Analisi tempi di viaggio

Chiusura E78 tra Taverne d'Arbia e Colonna del Grillo

La mappa evidenzia che l'impatto della chiusura della SS715 sulla viabilità alternativa è limitato, grazie alla presenza di una capacità residua sufficiente e a un basso livello di saturazione in condizioni ordinarie. Queste caratteristiche consentono alla SP438 di assorbire buona parte del flusso deviato, pur con tempi di percorrenza superiori al 50% rispetto al tempo di viaggio ordinario.

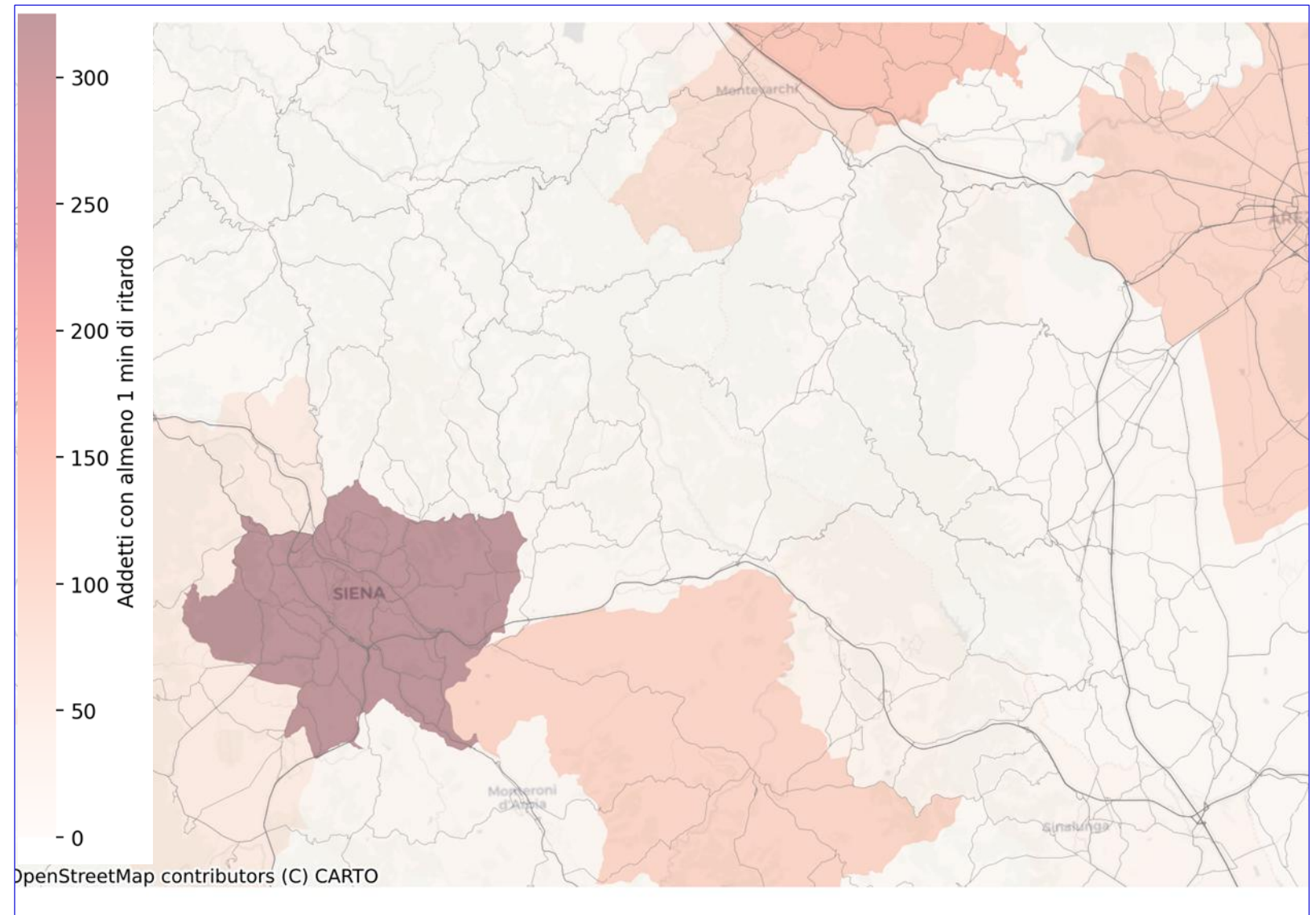


Scenario 6

Analisi addetti industrie

Chiusura E78 tra Taverne d'Arbia e Colonna del Grillo

Per quanto riguarda il collegamento tra Siena e Arezzo, l'analisi evidenzia che il maggior numero di addetti e, di conseguenza, di attività produttive impattate dalla chiusura della SS715 si concentra nel comune di Siena, mentre si registra un impatto minore sui comuni limitrofi.

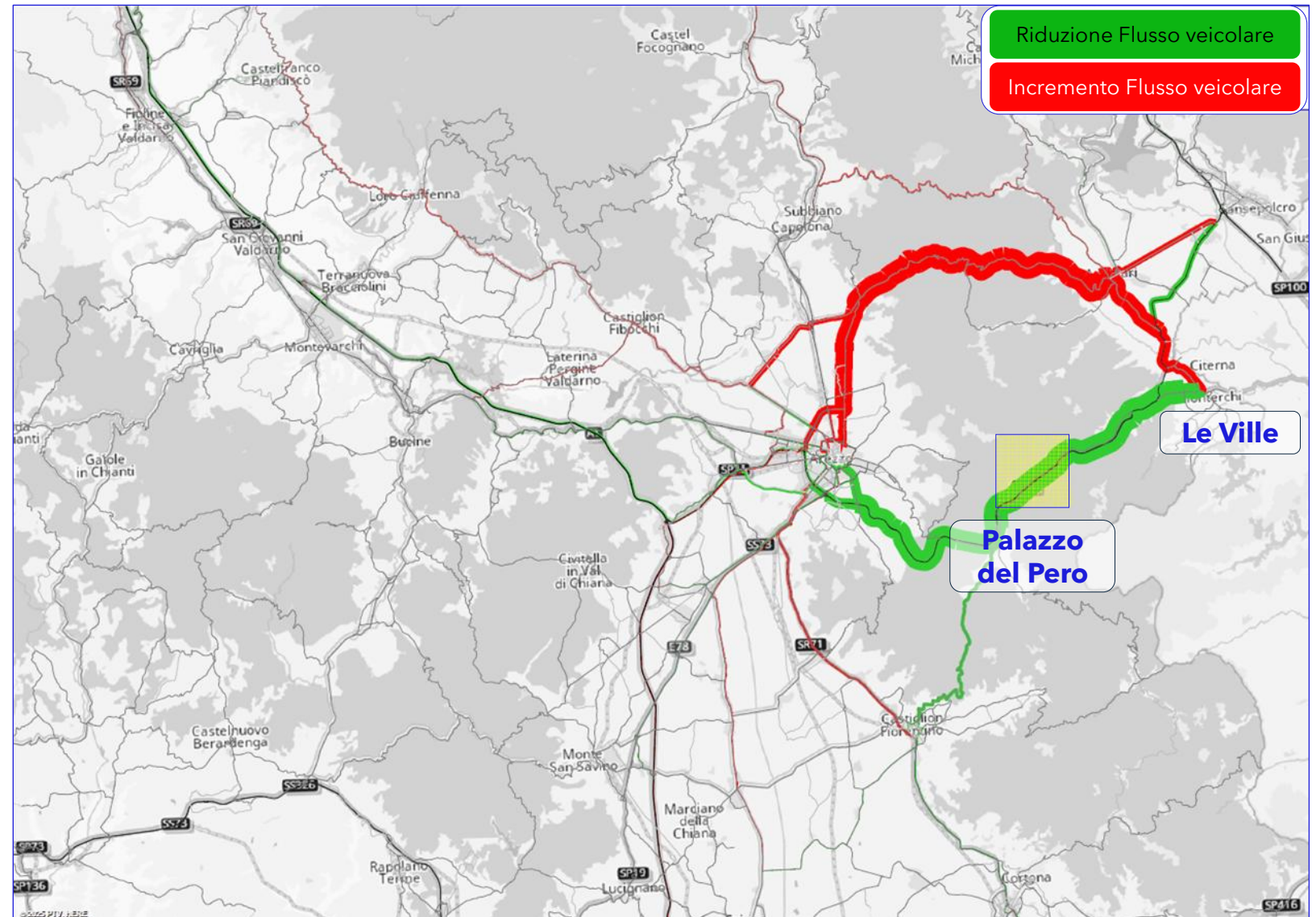


Scenario 7

Rete di differenza

Chiusura E78 tra Palazzo del Pero e Le Ville

La chiusura della tratta comporta la deviazione sulla SP43 della quasi totalità dei flussi veicolari normalmente transitanti sulla SS73, con un incremento della distanza percorsa di circa 8 km e un ritardo stimato di circa 15 minuti nei collegamenti tra Toscana e Umbria nell'area di analisi.

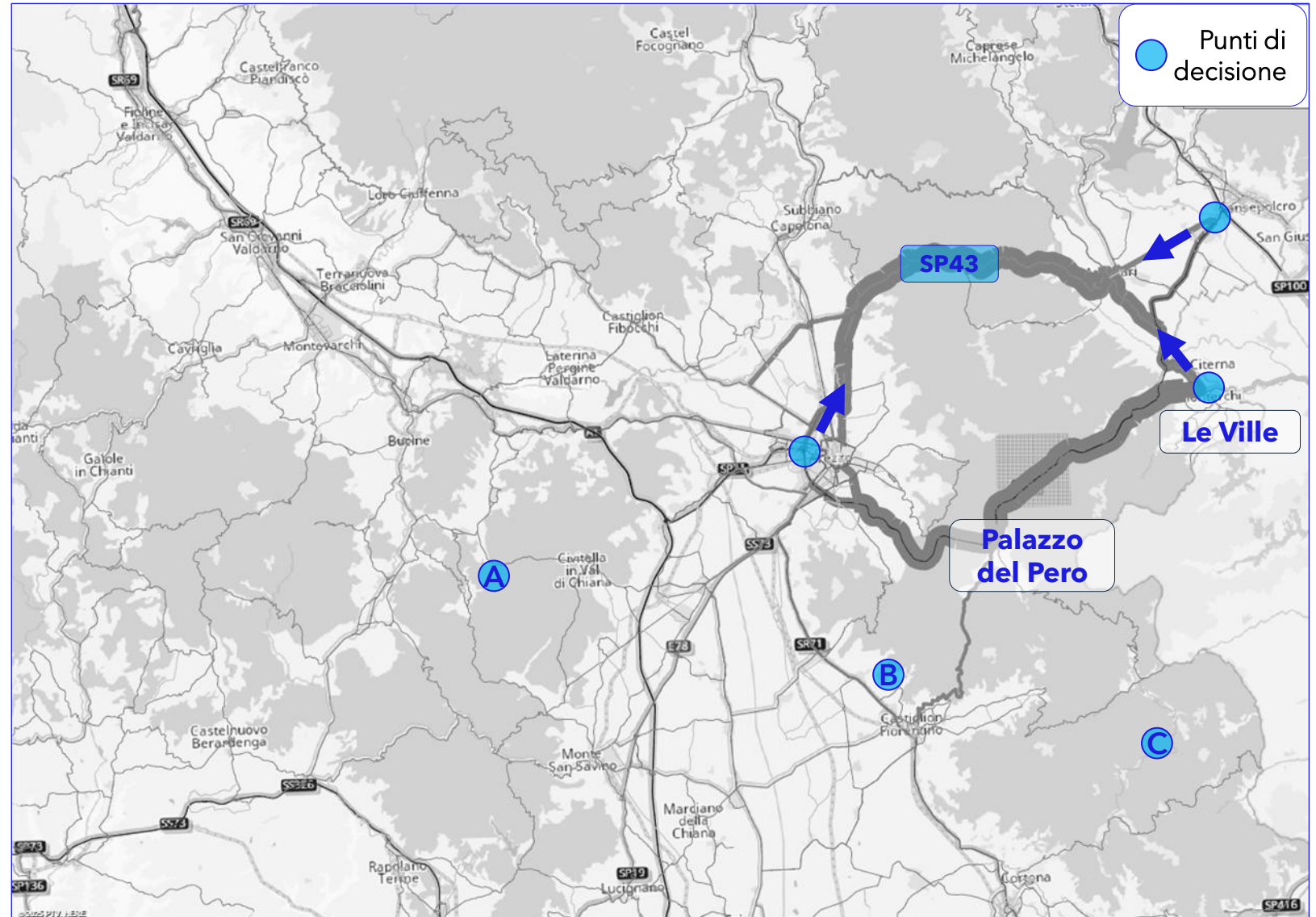


Scenario 7

Punti di decisione

Chiusura E78 tra Palazzo del Pero e Le Ville

- A. Intersezione SS679-SR12 per deviazione verso la SP43
- B. Intersezione SS73-SP49 per deviazione verso la SP43
- C. Intersezione SS73-SP221 per deviazione verso la SP43

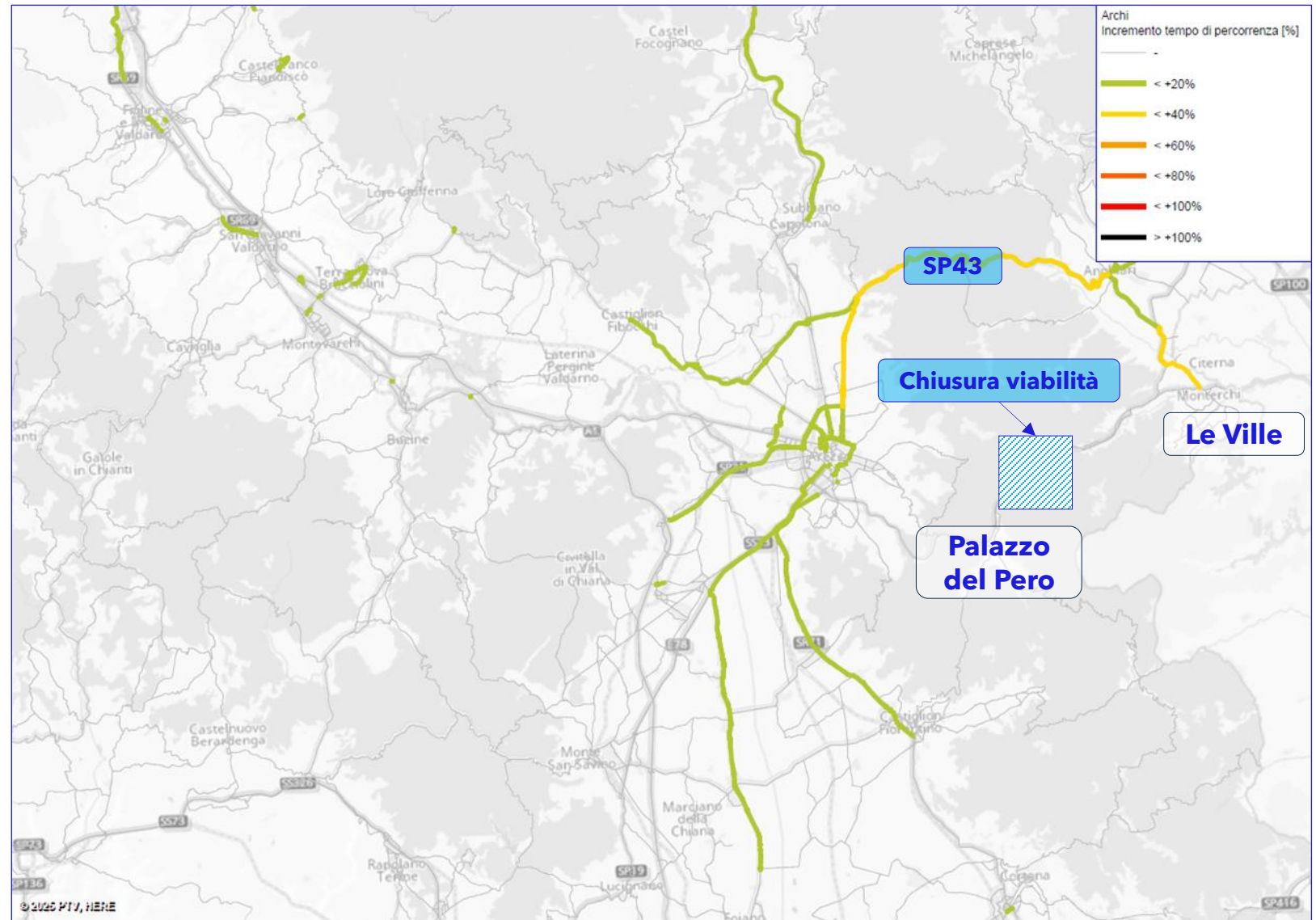


Scenario 7

Analisi tempi di viaggio

Chiusura E78 tra Palazzo del Pero e Le Ville

Come si evidenzia dalla mappa, lo spostamento del traffico sulla SP43 determina un impatto contenuto sui tempi di percorrenza, ad indicare la presenza di una buona riserva di capacità e di caratteristiche infrastrutturali adeguate a gestire il flusso veicolare deviato in caso di chiusura.

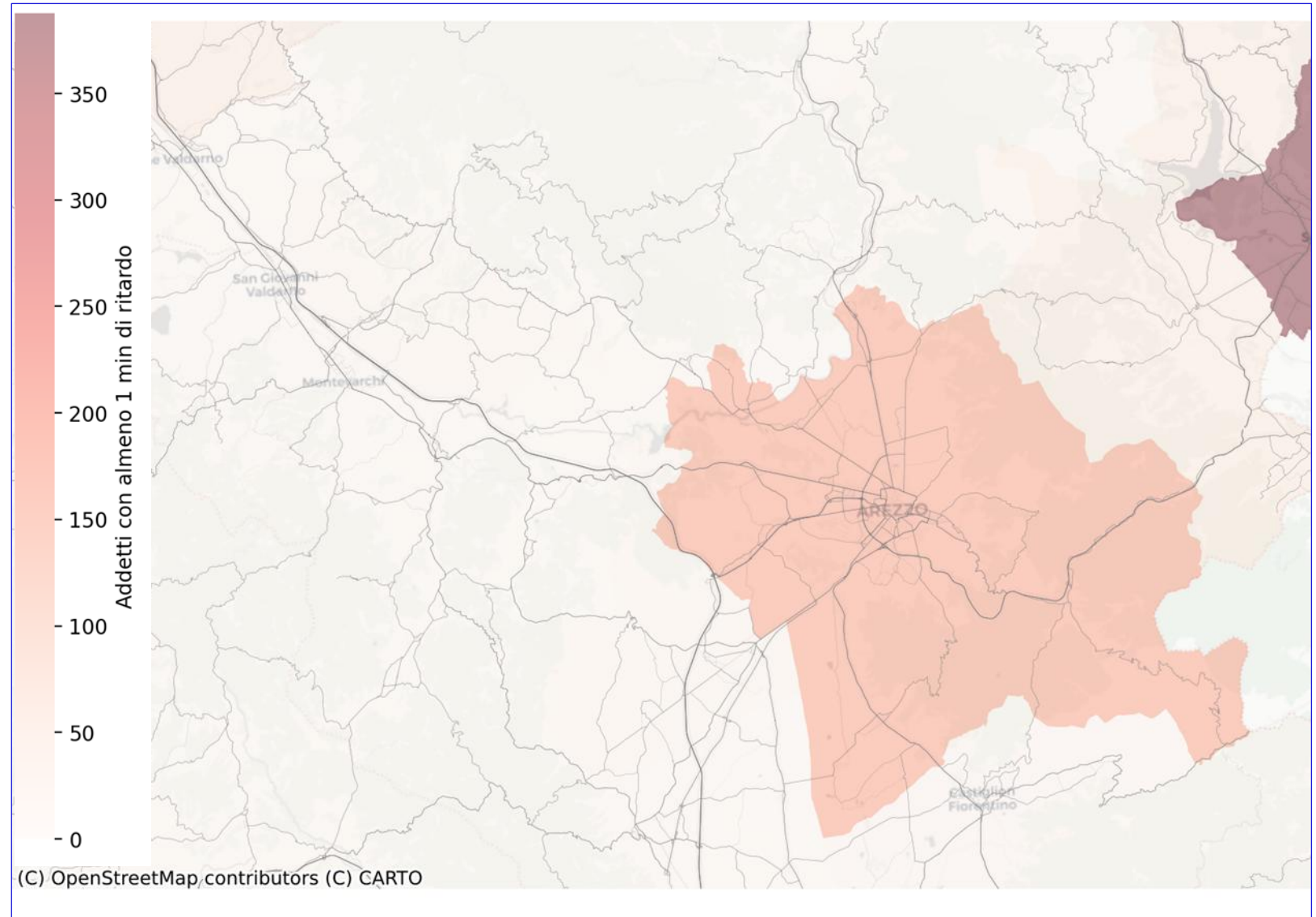


Scenario 7

Analisi addetti industrie

Chiusura E78 tra Palazzo del Pero e Le Ville

L'analisi evidenzia che l'impatto sulle attività produttive dell'area risulta contenuto, in quanto la chiusura interessa un numero ridotto di addetti, localizzati prevalentemente nei comuni di Arezzo e San Sepolcro.



Considerazioni finali – Scenari disruption

I risultati emersi dagli scenari di *disruption* possono in prima istanza essere *clusterizzati* in relazione ai diversi profili considerati: configurazione delle alternative viarie, livello di impatto sui tempi di percorrenza, grado di saturazione delle infrastrutture sostitutive e ricadute sulle attività produttive. In tal modo è possibile mettere in evidenza analogie e differenze tra i diversi casi, con l'obiettivo di fornire un supporto alle decisioni per ambito.

1. Chiusure con alternative dirette e capacità adeguata

- *SS1 tra Montiano e Grosseto Sud*
- *SS1 tra Rosignano e Quercianella*
- *E78 tra Taverne d'Arbia e Colonna del Grillo*
- *E78 tra Palazzo del Pero e Le Ville*

In questi scenari le viabilità alternative risultano relativamente prossime e dotate di buona capacità residua. L'impatto sui tempi di percorrenza è presente ma gestibile, e l'effetto sulle attività produttive è limitato a un numero contenuto di addetti o a pochi comuni direttamente interessati.

2. Chiusure con deviazioni su viabilità locali e attraversamento di centri abitati

- *Fi-Pi-Li tra Empoli Ovest e Pontedera*

In questo scenario, la mancanza di un'alternativa viaria principale comporta una dispersione dei flussi su più strade provinciali, spesso prossime a centri urbani. Tale configurazione determina un aumento generalizzato dei tempi di percorrenza e produce un impatto rilevante su un sistema produttivo che coinvolge una pluralità di comuni.



Considerazioni finali – Scenari disruption

3. Chiusure con forte impatto per densità produttiva

- *Fi-Pi-Li tra Lastra a Signa e Montelupo Fiorentino*

Pur in presenza di un'alternativa valida lungo la SS67, la chiusura di questa tratta determina un impatto elevato in termini di addetti coinvolti, particolarmente rilevante nell'area di Scandicci, con ricadute estese anche su Firenze e l'area metropolitana circostante.

4. Chiusure con elevata criticità per mancanza di alternative adeguate

- *SS1 tra Pietrasanta e Massa*

Questo caso rappresenta la condizione più critica dal punto di vista della mobilità, poiché l'unica viabilità alternativa disponibile non dispone di adeguata capacità per assorbire i flussi deviati. Si osserva un forte incremento dei tempi di viaggio e un impatto rilevante su un ampio bacino produttivo, con numerosi addetti penalizzati.



07

**Inquadramento climatico
ATTIVITA' E**

Inquadramento Climatico, Regione Toscana

Il quadro climatico della Regione Toscana è caratterizzato da condizioni di tipo mediterraneo, con variabilità significativa legata all'orografia e alla distanza dal mare. Le zone costiere e collinari presentano inverni miti ed estati calde e secche, mentre le aree interne e montane mostrano inverni più rigidi, con più frequenti precipitazioni nevose in quota, ed estati relativamente più temperate. Le precipitazioni sono distribuite in maniera disomogenea, con massimi stagionali in autunno e primavera e tendenza a eventi intensi e concentrati, responsabili di criticità idrauliche e idrogeologiche.

Negli ultimi decenni si osservano aumento delle temperature medie, riduzione della copertura nivale e maggiore frequenza di ondate di calore, siccità ed eventi estremi, con impatti significativi sulla gestione delle risorse idriche, sulla stabilità dei versanti e sulle infrastrutture di trasporto.



Foto di Fabrizio Conti



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici PNACC

Il cambiamento climatico colpisce in modo particolarmente duro l'Europa meridionale e l'area mediterranea, con aumento di temperature, eventi estremi e riduzione delle precipitazioni.

Per rispondere a questa sfida, l'UE ha adottato nel 2013 una Strategia di Adattamento, promuovendo piani nazionali coerenti. In Italia, dopo la **Strategia Nazionale (SNAC)** del 2015, è stato sviluppato il **Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC)**, frutto di un processo partecipato e pensato come strumento strategico, flessibile e aggiornabile per informare i decisori e gli enti coinvolti nel promuovere iniziative utili alla mitigazione e all'adattabilità dei progetti futuri.

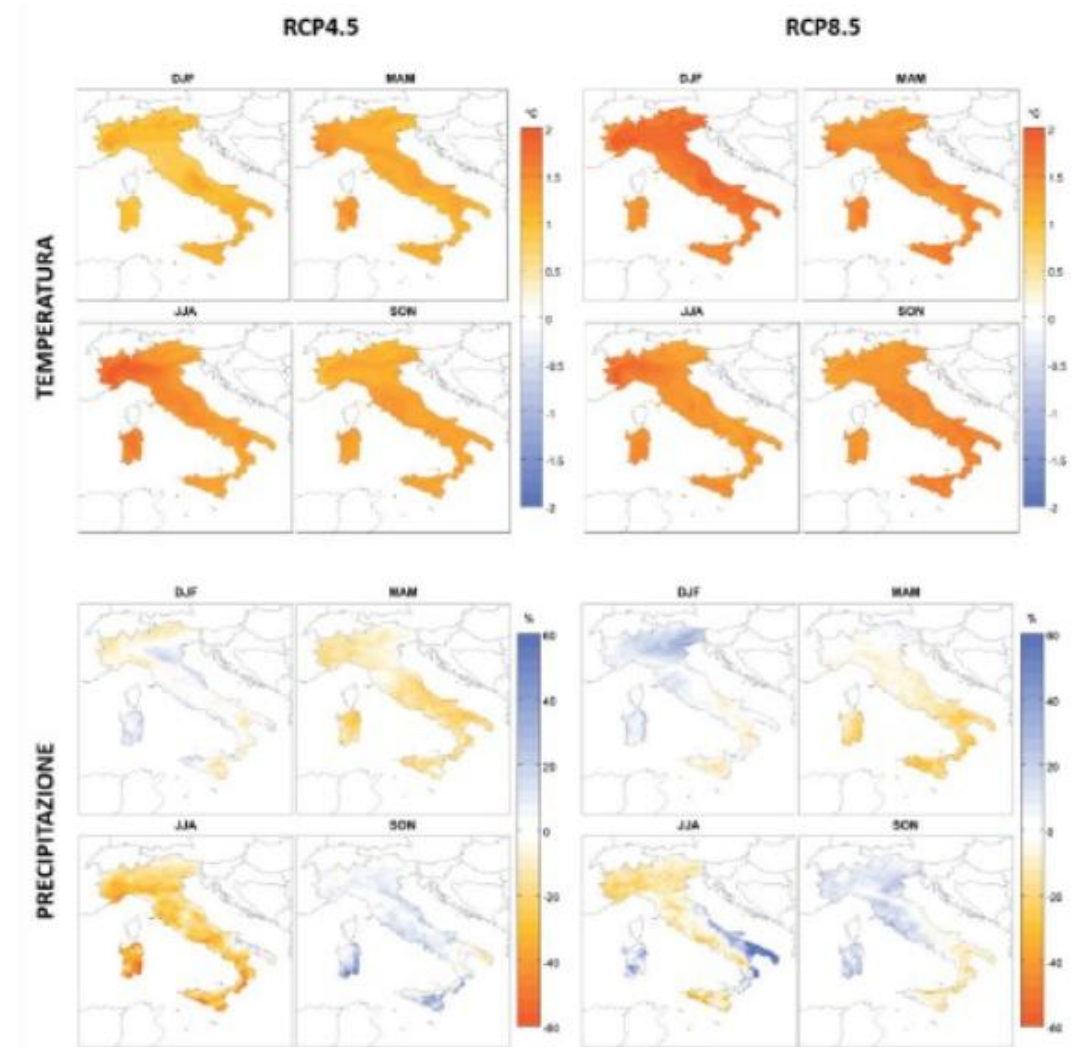


Figura 1.1-2: Proiezioni climatiche stagionali di anomalia delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate medie per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5.



Representative Concentration Pathways

RCP al 2050

In questo studio sono stati utilizzati gli RCP (Representative Concentration Pathways), ovvero scenari di riferimento sviluppati dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) per descrivere possibili evoluzioni future del clima in funzione delle emissioni di gas serra. Gli RCP non rappresentano previsioni, ma traiettorie ipotetiche che indicano diversi livelli di concentrazione atmosferica e di forzante radiativa entro un lasso temporale definito. La loro adozione consente di valutare come i cambiamenti climatici attesi possano incidere sui rischi idraulici e idrogeologici, fornendo un quadro comparabile e scientificamente condiviso per la pianificazione e la gestione delle infrastrutture.

RCP 6

Scenario climatico “intermedio”, che ipotizza una crescita delle emissioni fino a metà secolo seguita da una stabilizzazione. Porta a un aumento della temperatura media globale di circa **+2-3 °C entro il 2100** rispetto all'epoca preindustriale.

RCP 8.5

Scenario “alto” o “pessimistico”, basato su emissioni in costante aumento senza politiche di mitigazione efficaci. Conduce a un incremento della temperatura media globale di circa **+4 °C o più entro il 2100**, con impatti climatici molto gravi e diffusi.



Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici PNACC

RCP 6



Tabella 1.1-3: Valori medi dei cluster individuati (COSMO RCP4.5 2021-2050 vs 1981-2010).

CLUSTER	Tmean (°C)	R20 (giorni/anno)	FD (giorni/anno)	SU95p (giorni/anno)	WP (%)	SP (%)	SC (giorni/anno)	Evap (%)	R95p (%)
A	1.4	-1	-20	18	-4	-27	-12	-6	1
B	1.3	-1	-19	9	-2	-24	-8	-3	3
C	1.2	0	-6	12	-5	-18	-1	-3	4
D	1.2	1	-9	14	8	-25	-1	-2	11
E	1.2	-2	-20	1	-8	-15	-21	1	-1

Figura 1.1-5: Scenario RCP4.5: (a) Mappa dei cluster individuati.

Cluster D (piovoso invernale -secco estivo): il cluster D è interessato da un aumento delle precipitazioni invernali (valore medio dell'aumento pari **all'8%**) e da una riduzione notevole di quelle estive (valore medio della riduzione pari al 25%). In generale si ha un aumento significativo sia dei fenomeni di precipitazione estremi (R95p) sia dei summer days (di 14 giorni/anno).

RCP 8.5



Tabella 1.1-4: Valori medi dei cluster individuati (COSMO RCP8.5 2021-2050 vs 1981-2010).

CLUSTER	Tmean (°C)	R20 (giorni/anno)	FD (giorni/anno)	SU95p (giorni/anno)	WP (%)	SP (%)	SC (giorni/anno)	Evap (%)	R95p (%)
A	1.5	1	-23	1	13	-11	-20	2	5
B	1.6	0	-28	8	7	-7	-18	1	6
C	1.5	1	-14	12	7	3	-1	2	13
D	1.5	0	-10	14	-4	14	-1	-8	6
E	1.5	1	-27	14	16	-14	-9	2	9

Cluster C (piovoso - caldo estivo): il cluster C è interessato da un aumento sia delle precipitazioni invernali che di quelle estive e da un aumento significativo dei fenomeni di precipitazione estremi (valore medio dell'aumento pari al **13%**). Infine, si osserva un aumento rilevante dei summer days (di 12 giorni/anno).

Formule e previsioni per gli scenari di riferimento

Formula per RCP 6 (moderato - tendenza attuale) di esempio per Pericolo Idraulico

Pericolosità da Alluvione	// aumento rischio alluvionale
Permeabilità del suolo	// suolo meno permeabile
Superficie urbanizzata	// +50% superficie artificializzata
Pendenza	// invariato (pendenza)
Flash floods	// flash flood più frequenti
Pericolosità prossimità fluviale	// prossimità fluviale più critica
Effetto «ristagno»	// effetto ristagno invariato
Alluvioni aree in depressione	// flash flood amplificati in trincea

Riflette un aumento contenuto ma evidente di pericolosità idraulica, coerente con i modelli RCP 6 (AR6 IPCC): più eventi intensi ma distribuiti nel tempo.

Formula per RCP 8.5 (estremo - business as usual) di esempio per Pericolo Idraulico

Pericolosità da Alluvione	// aumento significativo rischio alluvionale
Permeabilità del suolo	// ulteriore perdita di permeabilità
Superficie urbanizzata	// +80% superficie artificializzata
Pendenza	// invariato (pendenza)
Flash floods	// flash flood molto più frequenti
Pericolosità prossimità fluviale	// prossimità fluviale con marcate criticità
Effetto «ristagno»	// effetto ristagno accentuato
Alluvioni aree in depressione	// flash flood estremi in trincea

Riflette una forte amplificazione del rischio idraulico, coerente con RCP 8.5: urbanizzazione costante, aumento delle superfici impermeabili, e eventi meteo estremi più intensi e ravvicinati.

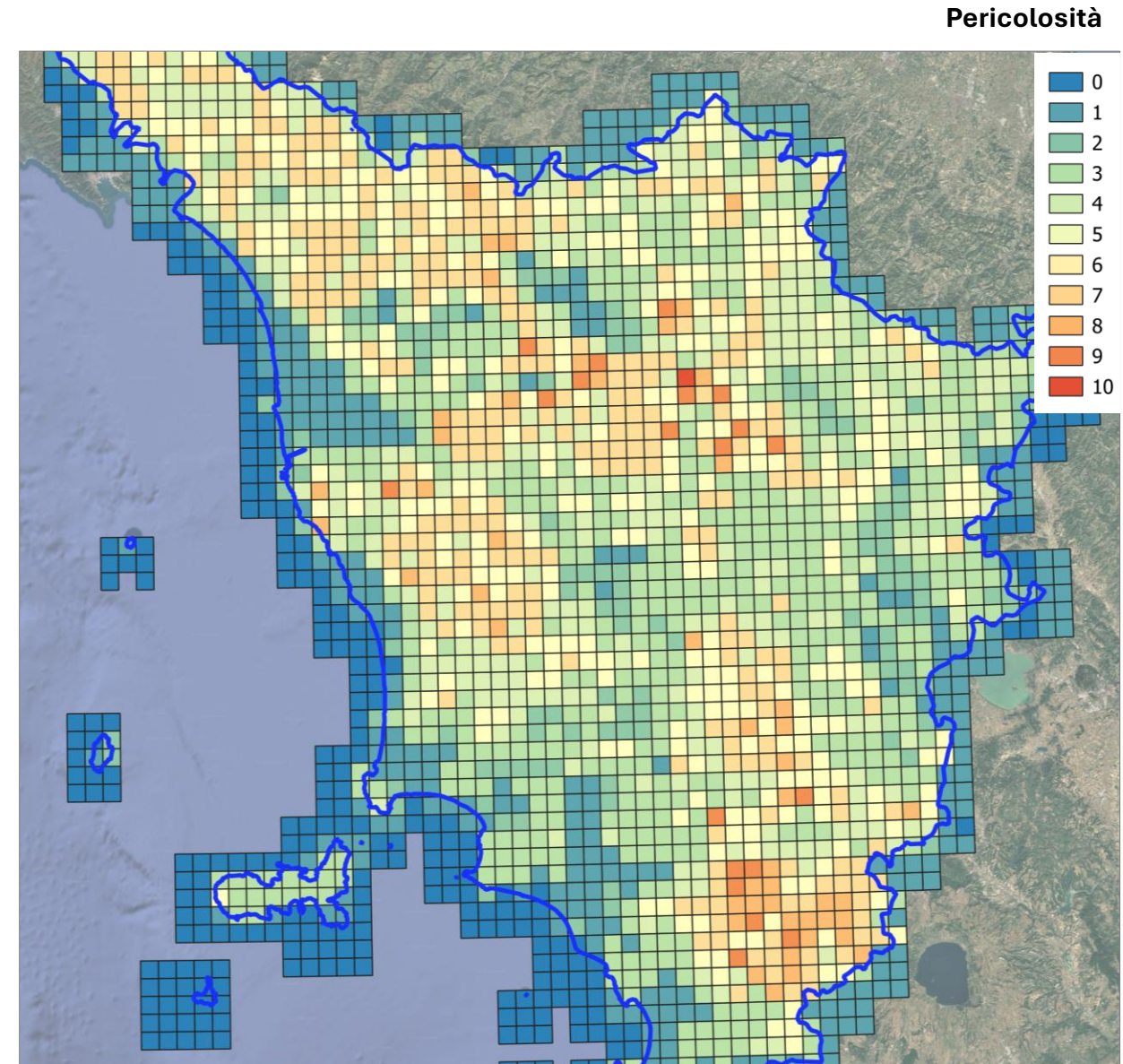


Situazione Attuale

Scenario di Pericolo Combinato P1+P2

Ad oggi, la regione Toscana è soggetta a fenomeni di alluvioni, frane e smottamenti, innescati da precipitazioni intense e distribuite in maniera irregolare. Le aree collinari e montane risultano particolarmente vulnerabili, con ripercussioni frequenti su infrastrutture e centri abitati.

Il pericolo combinato appare generalmente disomogeneo, con concentrazioni medio-alte soprattutto nelle aree interne centrali e in alcuni tratti meridionali. Le criticità sono presenti ma circoscritte, con prevalenza di valori medio-bassi sul resto del territorio.

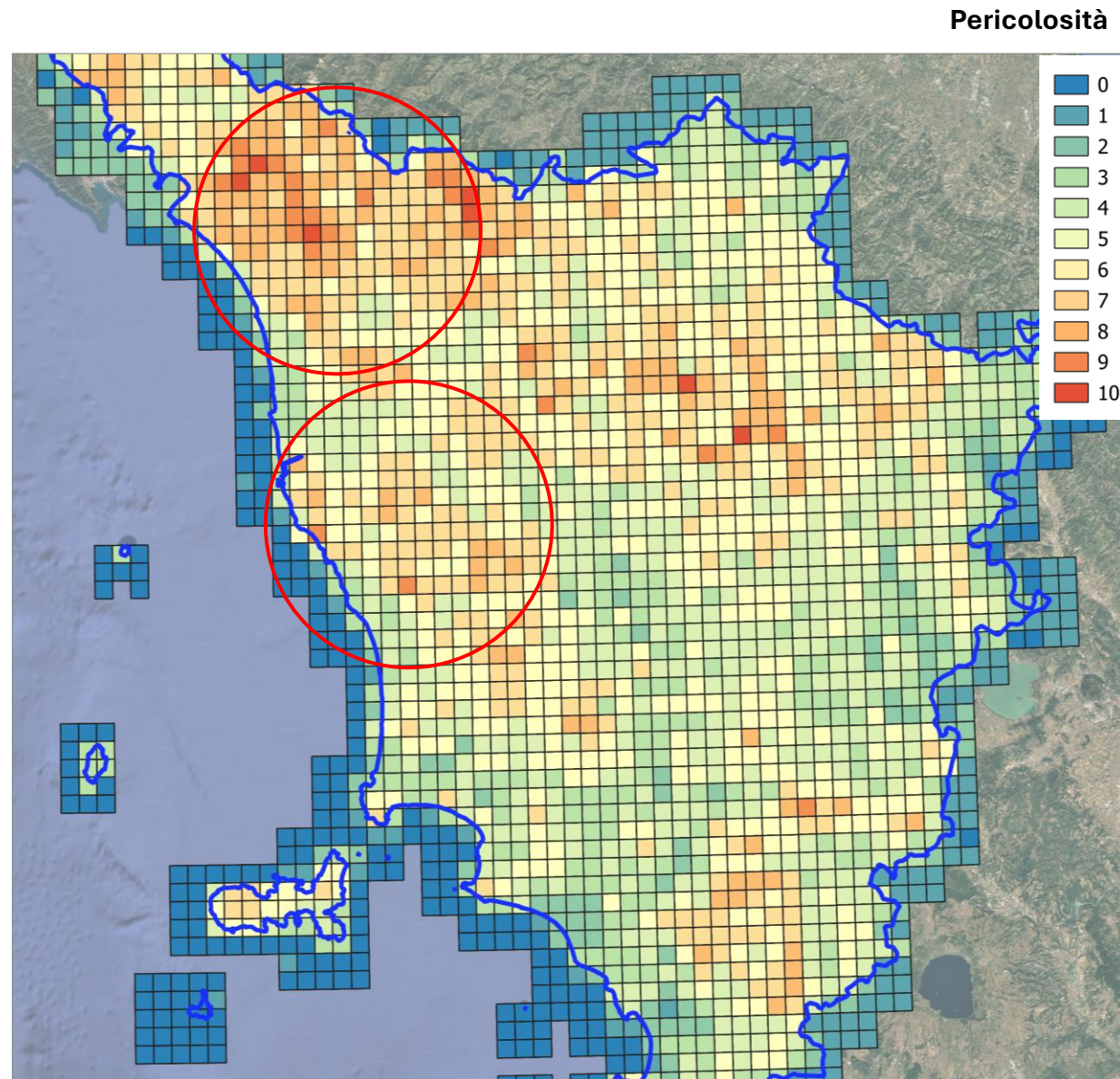


RCP 6 - 2050

Scenario di Pericolo Combinato P1+P2

L'aumento delle temperature e delle piogge concentrate determina un incremento del rischio idraulico e idrogeologico. Eventi estremi più frequenti e localizzati mettono sotto pressione la gestione del territorio e la sicurezza delle reti di trasporto.

Dalle proiezioni si evidenzia un incremento delle aree a **criticità medio-alta**, soprattutto nella fascia settentrionale e in parte della pianura costiera. Le zone centrali restano vulnerabili, con una maggiore concentrazione di celle in giallo-arancio, indice di rischi più diffusi e meno episodici. L'andamento riflette una combinazione di precipitazioni più concentrate e aumento delle condizioni predisponenti a frane.

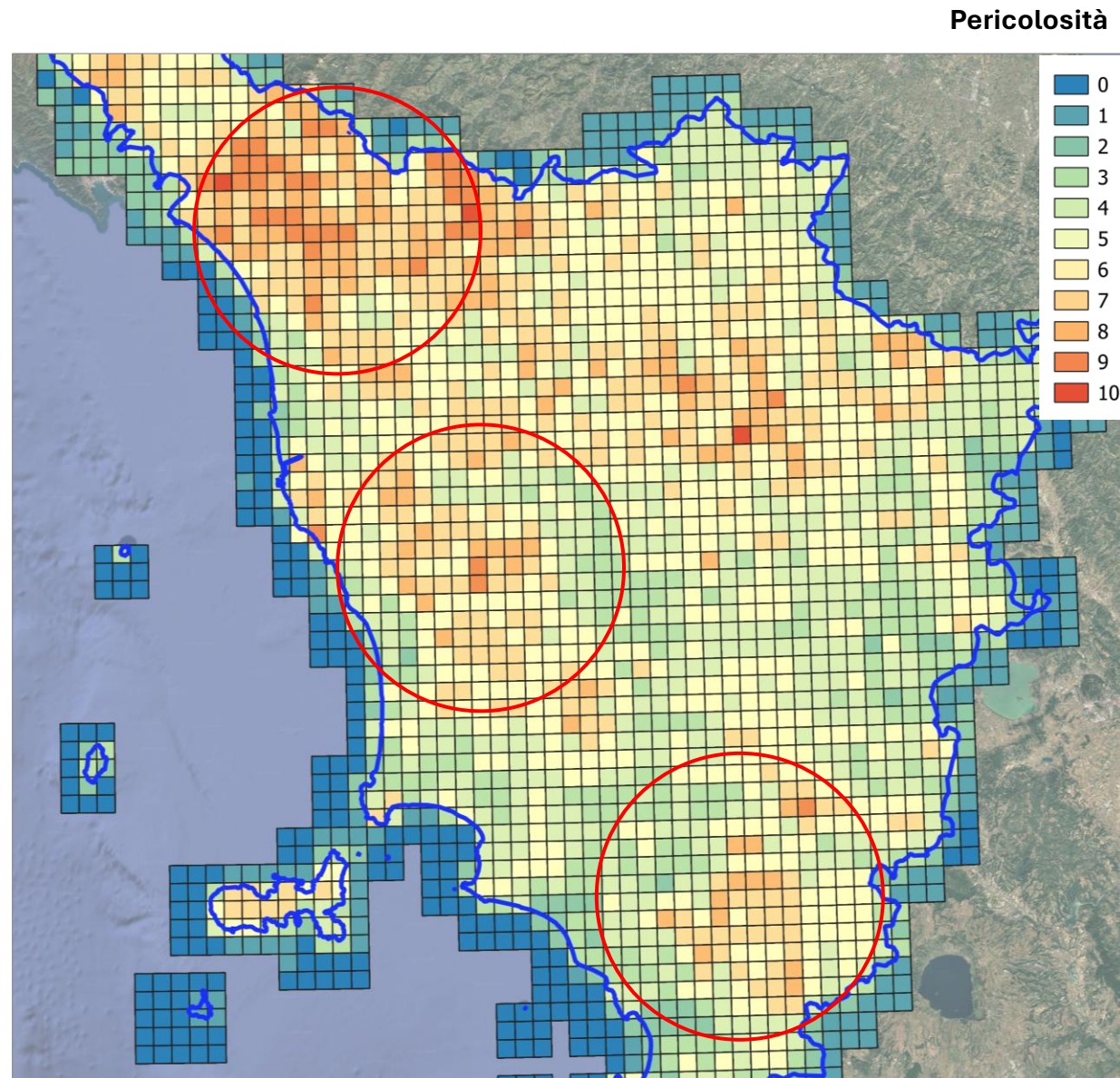


RCP 8.5 - 2050

Scenario di Pericolo Combinato P1+P2

L'accentuarsi del cambiamento climatico porta a fenomeni alluvionali e franosi più diffusi e gravi; i quali effetti compromettono la stabilità dei versanti, aggravano la pressione sulle risorse idriche e amplificano i danni alle infrastrutture strategiche.

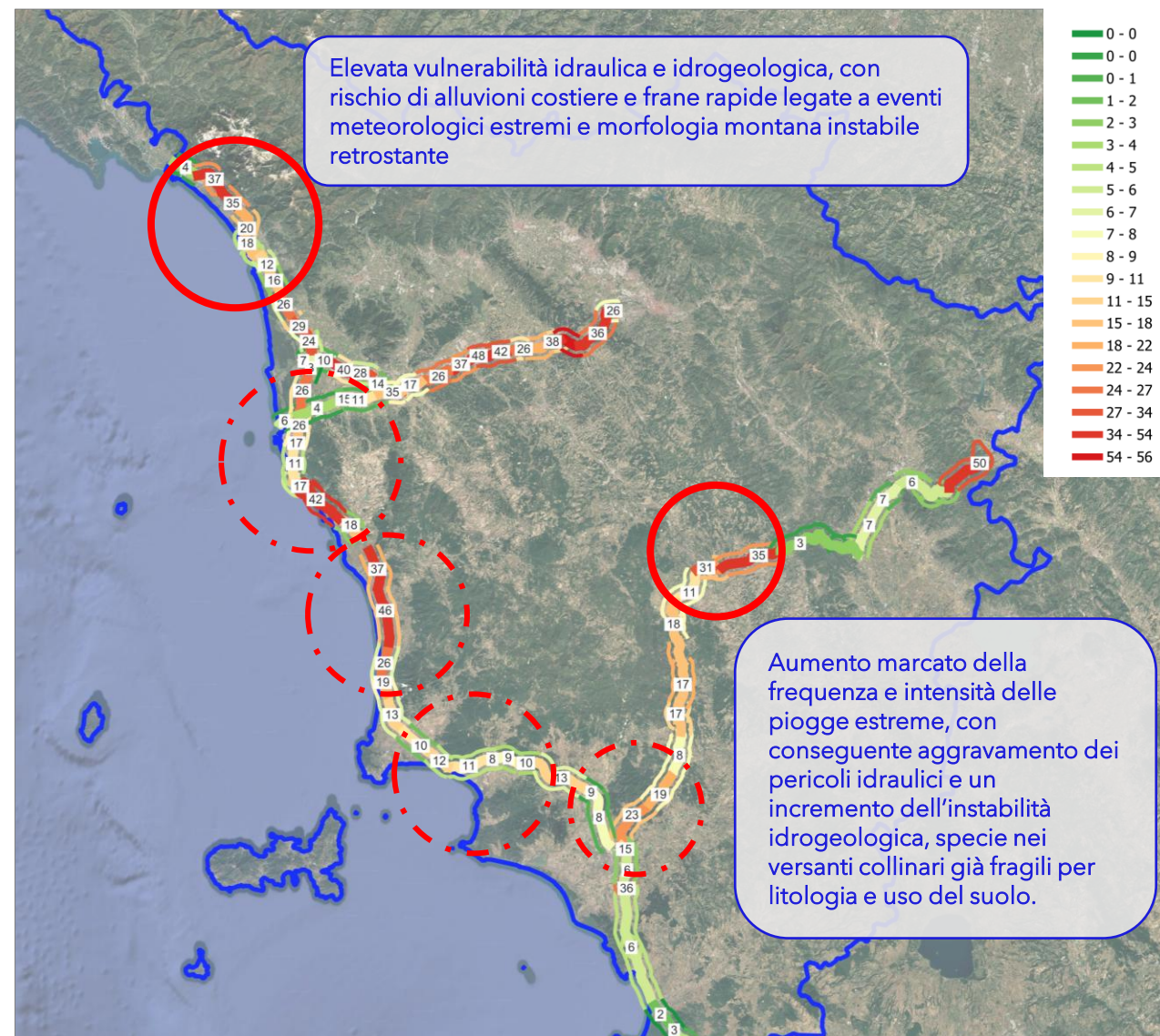
Il pericolo combinato idraulico+idrogeologico diventa più marcato e sistemico, con una maggiore presenza di celle in arancio-rosso. Le aree costiere al Nord e collinari risultano particolarmente esposte, mentre le aree centrali e settentrionali mostrano un'elevata e più continua intensità. Lo scenario evidenzia un aggravamento generalizzato, con rischi idraulici e idrogeologici che si rafforzano e si sommano, rendendo il territorio più vulnerabile nel complesso.



Pericolo combinato

Scenari RCP6 e RCP 8.5

In sintesi, il confronto tra lo stato attuale e gli scenari futuri mette in evidenza un chiaro **trend di peggioramento**: dalle criticità circoscritte e localizzate di oggi si passa, nello scenario RCP6, a un'estensione più diffusa delle aree vulnerabili, fino a giungere nello scenario RCP8.5 una condizione di pericolo combinato **sistemico e generalizzato**. Questo andamento conferma come l'evoluzione climatica prevista aumenti progressivamente l'esposizione del territorio toscano a fenomeni idraulici e idrogeologici, rendendo necessarie strategie di adattamento e gestione più integrate e proattive per le infrastrutture coinvolte.

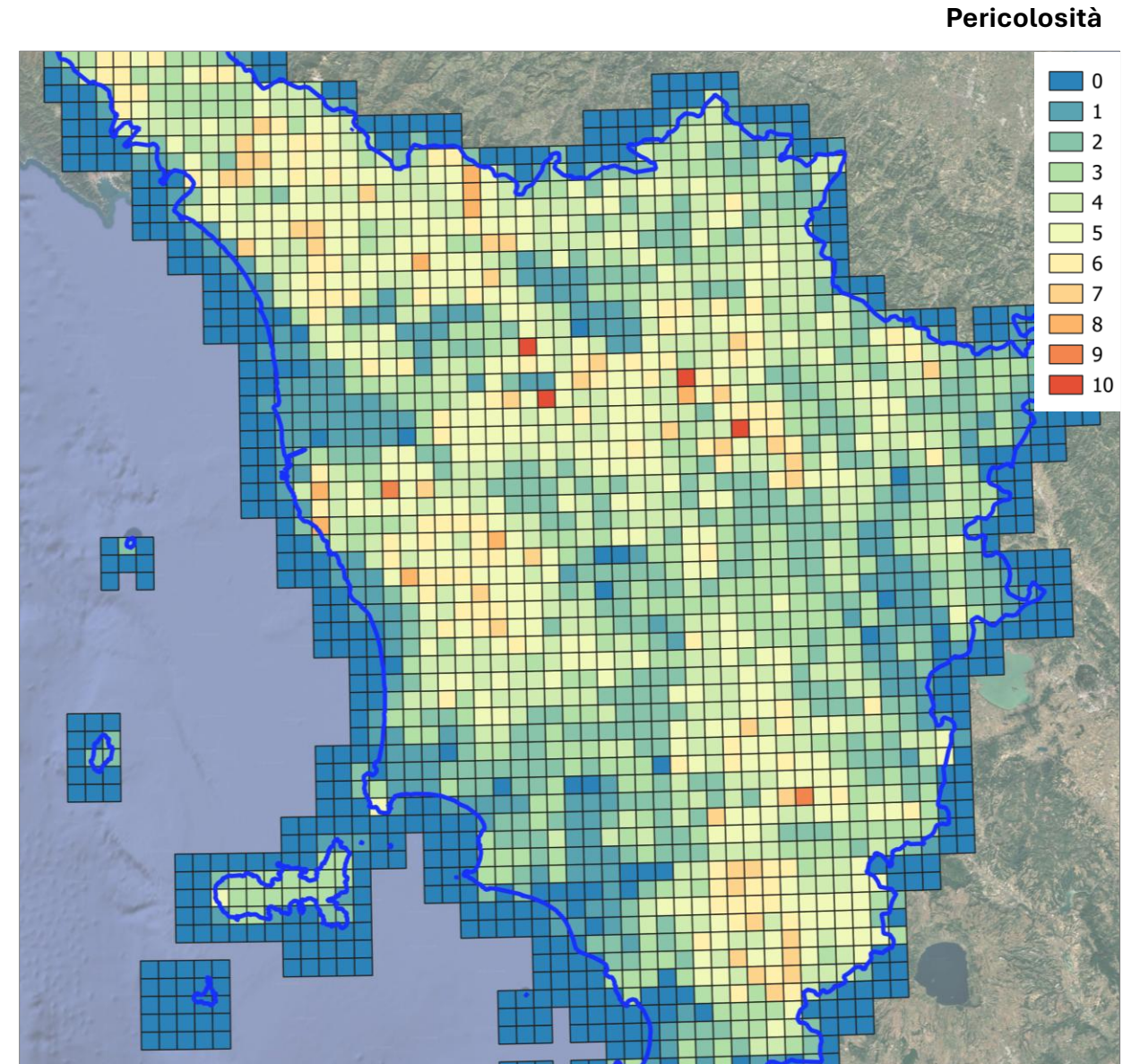


Situazione Attuale

Scenario di Pericolo Domino P1+P2+P3

Eventi idraulici intensi, dissesti idrogeologici e incendi boschivi interagiscono già oggi, generando effetti definibili «a catena». Gli incendi riducono la protezione del suolo, favorendo frane e colate in seguito a precipitazioni intense, con impatti su aree collinari e infrastrutture.

L'effetto «domino» è oggi presente ma relativamente contenuto, con criticità concentrate in alcune delle aree interne centrali e meridionali. La maggior parte del territorio si mantiene su livelli medio-bassi, ma con evidenti punti critici nelle zone collinari più vulnerabili.

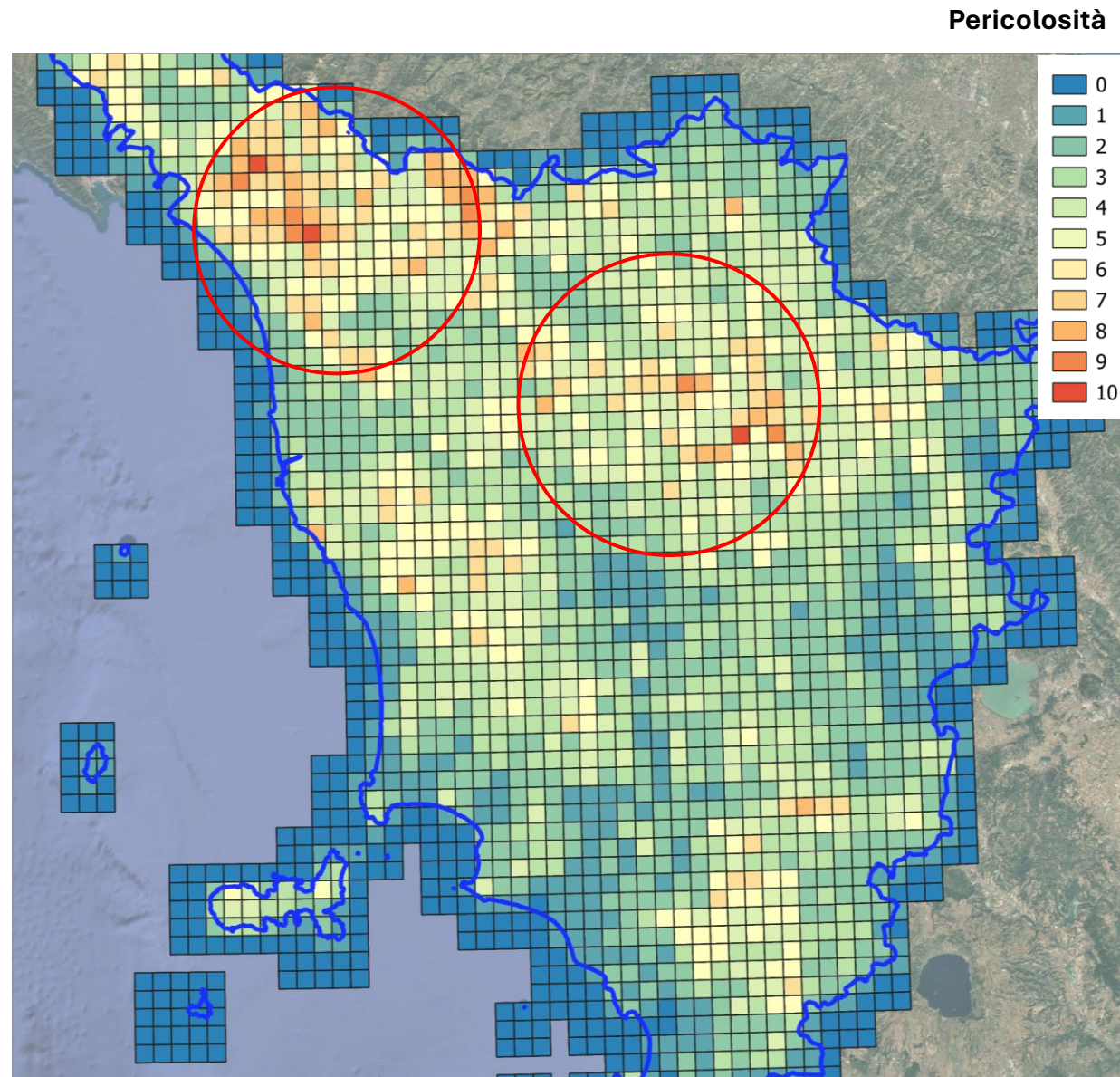


RCP 6 - 2050

Scenario di Pericolo Domino P1+P2+P3

Con l'aumentare delle temperature e delle ondate di calore incrementa anche la frequenza degli incendi, che amplificano la vulnerabilità idrogeologica. Precipitazioni più concentrate innescano un domino di fenomeni che stressa le reti di trasporto e la gestione territoriale.

Si osserva un incremento diffuso delle aree a criticità medio-alta, in particolare nella fascia settentrionale e lungo i principali corridoi collinari. Gli incendi più frequenti, combinati a precipitazioni intense, accentuano l'instabilità del suolo e il rischio a cascata. La distribuzione diventa più omogenea, con meno aree a bassa criticità.

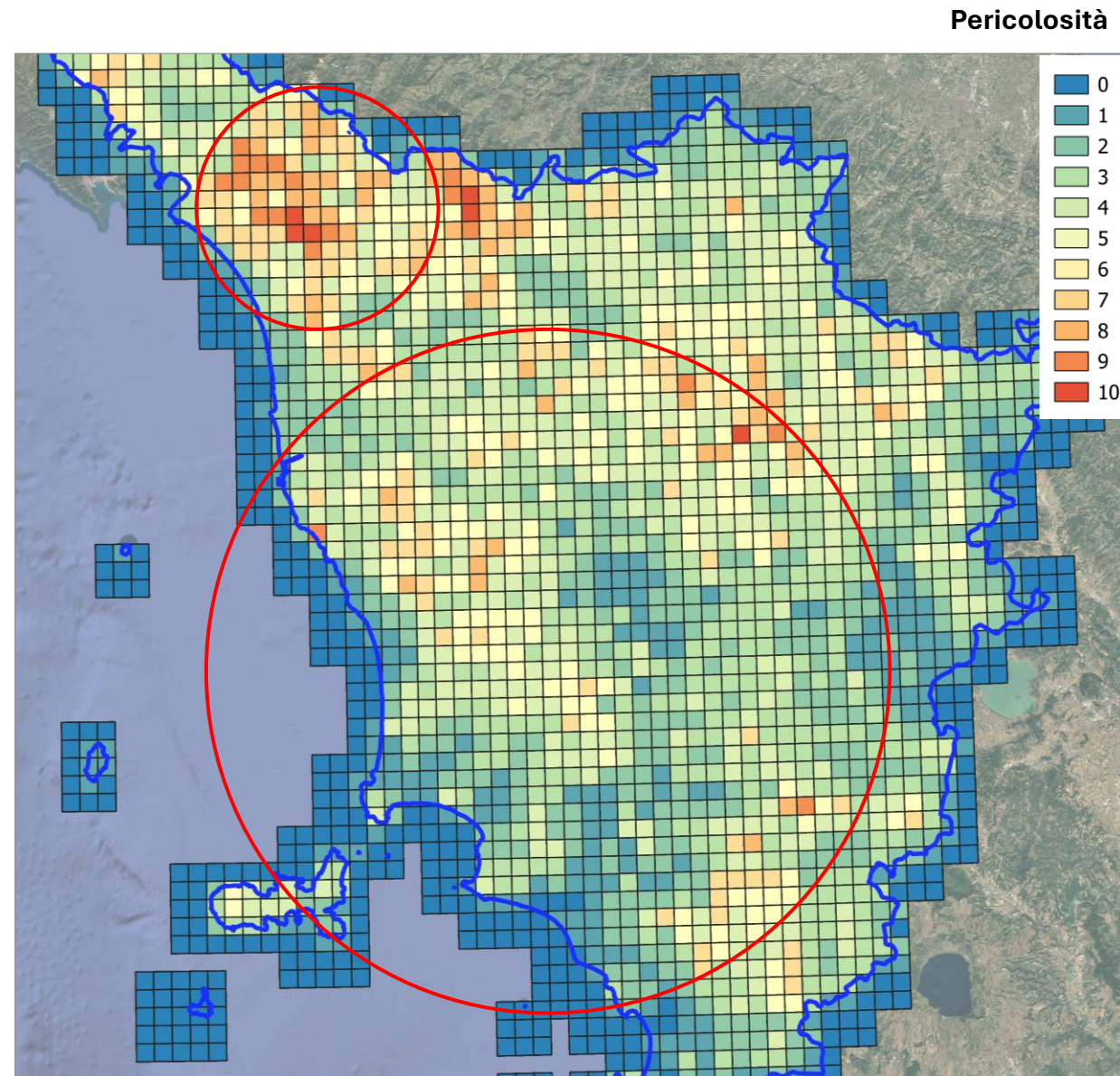


RCP 8.5 - 2050

Scenario di Pericolo Domino P1+P2+P3

La combinazione di incendi estesi, piogge torrenziali e instabilità diffusa produce effetti domino più gravi e sistemici. Gli hazard si moltiplicano, causando alluvioni e frane su larga scala, con danni ingenti e interruzioni prolungate alle infrastrutture strategiche.

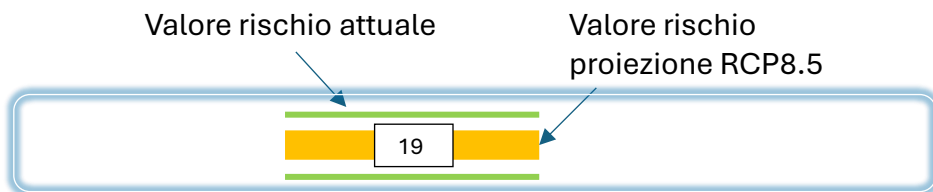
Lo scenario peggiora marginalmente: aree della costa e delle colline interne mostrano criticità elevate (arancio-rosso), con un'estensione maggiore rispetto a RCP6. L'effetto domino tra incendi, alluvioni e dissesti idrogeologici produce un rischio sistemico, diffuso su gran parte del territorio, con impatti attesi più gravi e generalizzati sulle infrastrutture e sulle comunità.



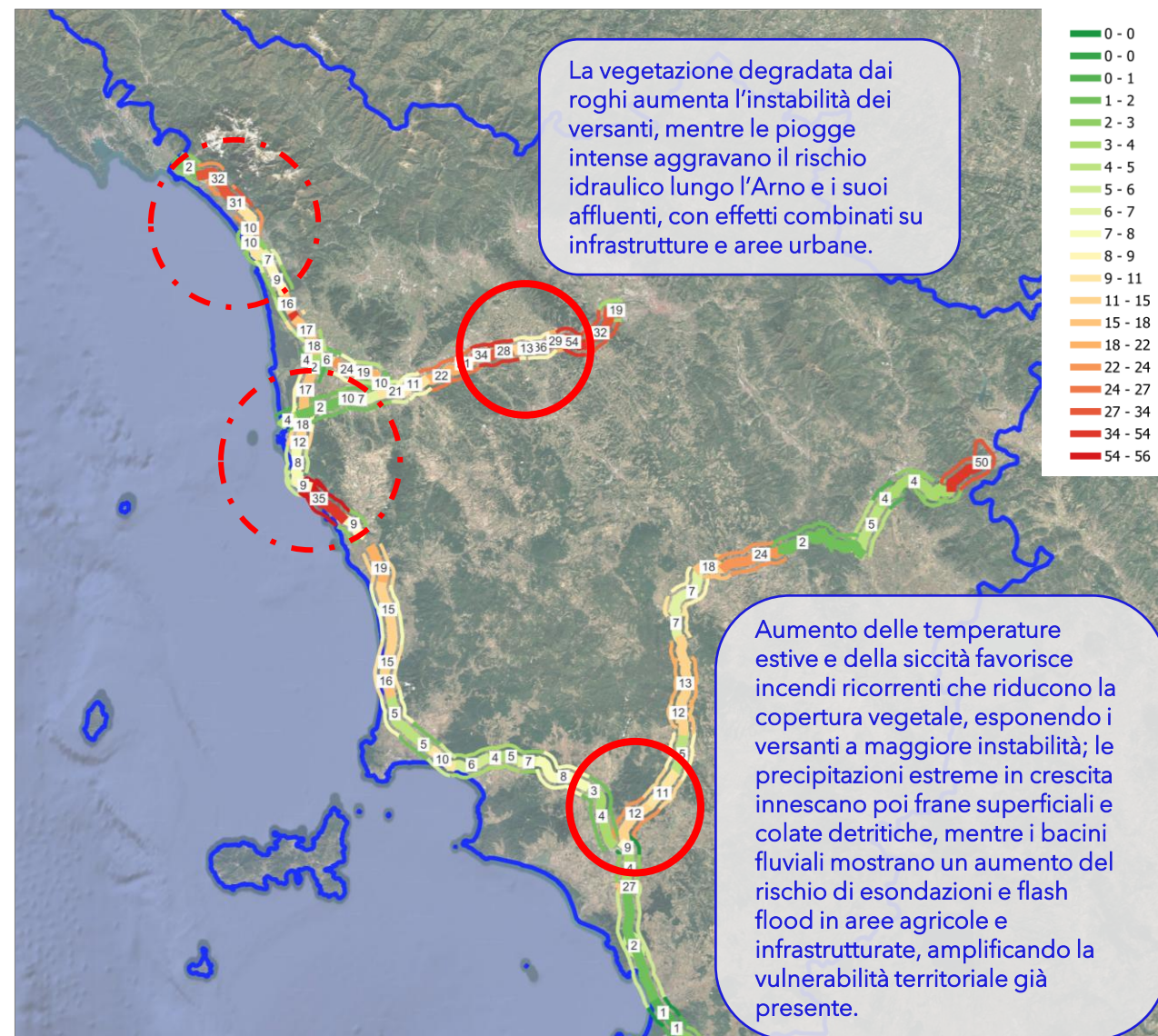
Pericolo effetto «domino»

Scenari RCP6 e RCP 8.5

Il quadro del pericolo da effetto «domino» evidenzia un'evoluzione graduale ma netta: dalle criticità circoscritte che oggi interessano porzioni limitate del territorio, si passa nello scenario RCP6 a un'espansione progressiva delle aree coinvolte, con un innalzamento della **vulnerabilità media** regionale. Nello scenario RCP8.5 il fenomeno assume invece una **portata diffusa e persistente**, con incendi, frane e alluvioni che interagiscono amplificando reciprocamente i loro effetti. Questa dinamica rende il sistema territoriale sempre meno resiliente, ponendo sfide crescenti alla pianificazione e alla protezione delle infrastrutture strategiche.



Rischio (1-100)



Riepilogo analisi tratte - Inquadramento climatico

La tabella evidenzia in azzurro le tratte già individuate come critiche negli scenari di disruption attuali e che, secondo le proiezioni climatiche RCP 8.5 al 2050, presentano un indice di rischio elevato. In viola sono invece indicate le tratte che, pur non risultando oggi critiche, si caratterizzano per una crescente vulnerabilità negli scenari climatici futuri.

Direttrice	Numero tratta	Svincolo Inizio	Svincolo Fine	RISCHIO TOTALE 2025	COMBINATO RCP8.5 2050	DOMINO RCP8.5 2050
FiPiLi	2	Lastra a Signa	Ginestra Fiorentina	X	X	X
FiPiLi	3	Ginestra Fiorentina	Montelupo Fiorentino	X	X	X
FiPiLi	4	Montelupo Fiorentino	Empoli Est		X	X
FiPiLi	5	Empoli Est	Empoli		X	X
FiPiLi	7	Empoli Ovest	San Miniato	X	X	X
FiPiLi	8	San Miniato	Santa Croce sull'Arno	X	X	X
FiPiLi	9	Santa Croce sull'Arno	Montopoli in Val d'Arno	X	X	
FiPiLi	10	Montopoli in Val d'Arno	Pontedera	X	X	
FiPiLi	12	Ponsacco	Diramazione Pisa-Livorno		X	
FiPiLi	19	Cascina	Navacchio		X	
FiPiLi	20	Navacchio	Pisa Nord-Est		X	
SS1	29	Montiano	Grosseto sud	X	X	X
SS1	43	San Vincenzo nord	Donoratico		X	
SS1	44	Donoratico	Cecina sud - La California		X	
SS1	45	Cecina sud - La California	Genova - Rosignano		X	
SS1	47	Rosignano Solvay	Chioma	X	X	X
SS1	48	Chioma	Quercianella	X	X	X
SS1	55	Pisa	Viale delle Cascine		X	
SS1	57	Madonna dell'acqua	Migliarino		X	
SS1	58	Migliarino	A11		X	X
SS1	64	Pietrasanta	Querceta	X	X	X
SS1	65	Querceta	Massa	X	X	X
E78	74	Siena	Siena est		X	
E78	76	Taverne d'Arbia	Colonna del Grillo	X	X	
E78	81	Palazzo del Pero	Le Ville	X	X	X



Considerazioni finali – Inquadramento climatico

In conclusione, l'aumentare di eventi climatici estremi rappresenta per la Toscana una **sfida crescente**, capace di amplificare le criticità idrauliche, idrogeologiche e ambientali già presenti sul territorio. L'aumento delle temperature, la maggiore frequenza di eventi estremi e la pressione esercitata da incendi, alluvioni e frane delineano uno scenario di **vulnerabilità diffusa**, che in prospettiva si avvicina ai quadri più severi delineati dalle proiezioni climatiche, con impatti diretti sulle infrastrutture viarie e ferroviarie, sulle risorse idriche e sulla sicurezza delle comunità.

Di fronte a queste prospettive, diventa imprescindibile adottare strategie di adattamento e pianificazione integrate, capaci di rafforzare la resilienza del sistema territoriale e di orientare lo sviluppo verso una gestione più sostenibile e consapevole dei rischi climatici.



08

Conclusioni

Considerazioni finali

Lo studio ha posto al centro dell'analisi la **resilienza della rete infrastrutturale stradale e ferroviaria della Toscana**, con l'obiettivo di sviluppare uno strumento operativo a **supporto delle valutazioni strategiche e decisionali**. Tale strumento si propone di migliorare la comprensione della capacità della rete di reagire a eventi dirompenti, di supportare le scelte operative e di facilitare il dialogo tra gli enti competenti e i gestori delle infrastrutture.

La metodologia adottata, di natura sperimentale, ha integrato due livelli di analisi complementari:

- da un lato, la **valutazione dell'infrastruttura in termini di domanda di mobilità servita e di offerta disponibile** (capacità e presenza di alternative), con l'obiettivo di individuare i tratti e i collegamenti strategici per l'accessibilità dei territori;
- dall'altro, l'analisi territoriale e dei **pericoli connessi** a fattori morfologici e di uso del territorio, nel più ampio contesto dei cambiamenti climatici.

L'integrazione tra questi due livelli si è rivelata uno **strumento efficace per una lettura sistemica del rischio**, utile sia in fase di pianificazione che nella gestione operativa e ha permesso di definire un indice di rischio per tratta, **individuando le porzioni di rete complessivamente più critiche**.

A partire da tali risultati, sono stati simulati scenari di chiusura di tratti infrastrutturali, valutando gli effetti sulla redistribuzione dei flussi, sulla capacità delle viabilità alternative e sull'impatto per l'utenza in termini di incremento dei tempi e delle distanze di percorrenza.



Considerazioni finali

La scala regionale dell'analisi ha permesso quindi di **ottenere una visione d'insieme**, pur mantenendo un approccio a livello di "corridoio", necessariamente rappresentativo delle principali direttrici di traffico leggero e pesante della regione.

Gli approfondimenti relativi alle singole ipotesi di "disruption" considera d'altro lato la **dimensione locale**, che coinvolge direttamente residenti, addetti e realtà produttive.

Di fatto lo studio costituisce un tavolo di lavoro preliminare dove convergono informazioni utili agli amministratori locali, ai gestori delle infrastrutture (nazionali e locali), alle autorità competenti in tema di gestione delle emergenze per avviare:

- tavoli tecnici specifici di natura strategica, con l'obiettivo di comprendere le priorità di intervento e di messa in sicurezza delle porzioni di infrastruttura più critiche;
- tavoli decisionali di breve termine per supportare la gestione delle emergenze in caso di disruption utili a minimizzare i disagi per il territorio. Le valutazioni preliminari in termini di "wayfinding" costituiscono il risultato concreto di prima istanza, dove si individuano i "punti di decisione" in corrispondenza dei quali l'utente modifica il suo percorso per minimizzare gli impatti della "disruption" sul tempo di percorrenza.



Considerazioni finali

Rimane chiaro che questo studio costituisce un **punto di partenza verso approfondimenti tecnici e gestionali** che possano tener conto:

- degli impatti sulla mobilità locale, per le diverse fasce temporali della giornata, anche in relazione ai segmenti di domanda rilevante – vedasi i mezzi pesanti che spesso si muovono anche durante le ore notturne o comunque off-peak;
- delle situazioni relative alle infrastrutture e alle strutture in termini di **vulnerabilità** e stato di **conservazione** dei manufatti, che chiaramente possono modificare l'ordine delle priorità di allerta;
- della visione dei gestori delle infrastrutture, utili a validare gli scenari di chiusura e definire **strategie operative** condivise, anche attraverso l'identificazione di "aree di rischio" come base per tavoli tecnici;
- della storicità degli eventi naturali, di fondamentale importanza per affinare gli indici di pericolosità e rischio;

D'altro lato, i risultati ottenuti rappresentano un **primo passo verso la costruzione di un approccio sistemico alla resilienza infrastrutturale**, replicabile e adattabile ad altri contesti territoriali, e costituiscono una base solida per ulteriori sviluppi e approfondimenti.



Report realizzato da Uniontrasporti in collaborazione con Net Engineering per Unioncamere Toscana



UNIONCAMERE
TOSCANA



UNIONTRASPORTI



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



Camera di Commercio
Firenze
dal 1770 la casa delle imprese



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST

Settembre 2025