

# INDICATORI DI CENTRALITÀ DELLE RETI INFRASTRUTTURALI DI TRASPORTO – 2° Parte

---

NEW ECONOMIC REGULATION FOR TRANSPORT IN CASE OF EMERGENCY  
EVENTS



*Progetto finanziato dall'Unione Europea attraverso il Programma di sostegno alle riforme strutturali  
e realizzato da CIELI - UniGe in collaborazione con la Commissione Europea*



COMUNE DI GENOVA

# INTRODUZIONE

---

Strade, autostrade e ferrovie formano un sistema di reti i cui nodi sono rappresentati dai caselli di entrata o dalle stazioni ferroviarie.

I network si intersecano gli uni con gli altri sia strutturalmente che funzionalmente.

L'interconnessione funzionale implica l'esistenza di nodi tramite i quali si può «passare» da un network all'altro.



**COMPLEX NETWORK THEORY**

# INTRODUZIONE

---

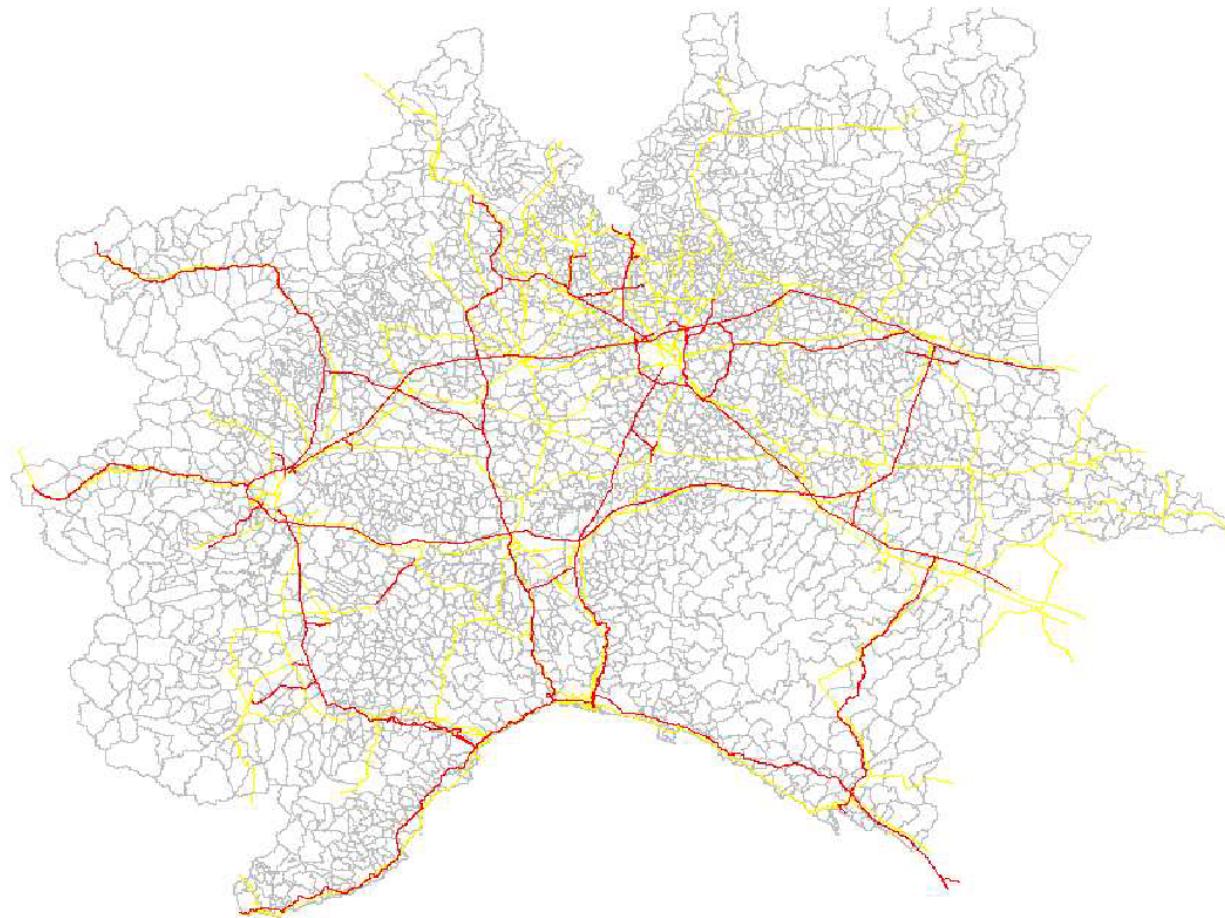
Primo obiettivo dell'analisi: definire le caratteristiche dei network di nostro interesse.

Una volta definiti gli indicatori chiave per comprendere la struttura dei network, l'obiettivo diventa quello di analizzare le reti in modo congiunto, tenendo in considerazione le interdipendenze geografiche e funzionali delle reti → **network multi-livello**

# ANALISI:

---

- ❖ Definire le reti di nostro interesse
  - ❖ Definire nodi, archi e pesi
  - ❖ Rappresentare graficamente le reti
  - ❖ Calcolare indicatori di centralità
- 
- ❖ Definire i punti di intersezione
  - ❖ Studiare le caratteristiche dei due network congiuntamente

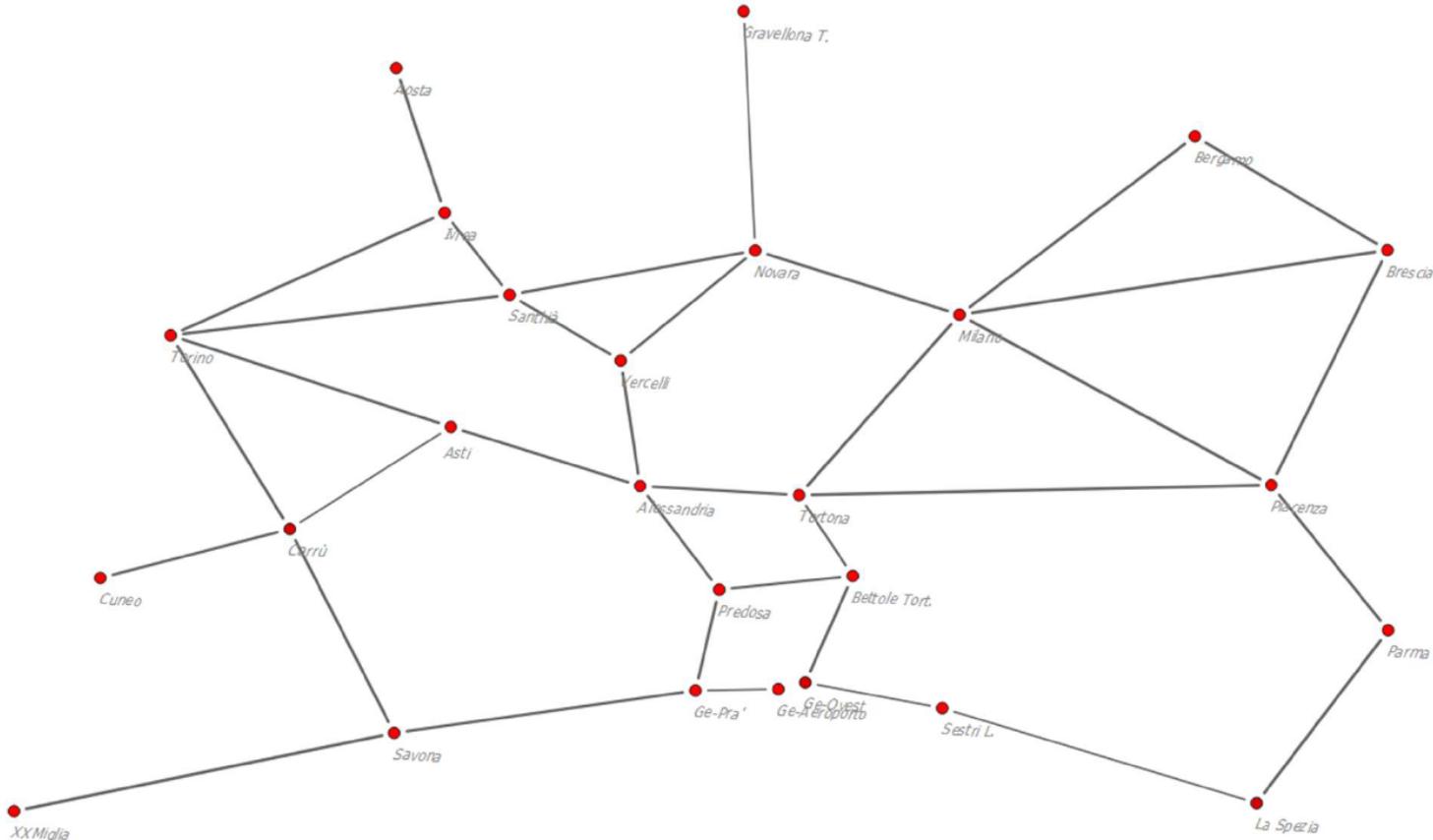


La rete di interesse per il progetto si riferisce:

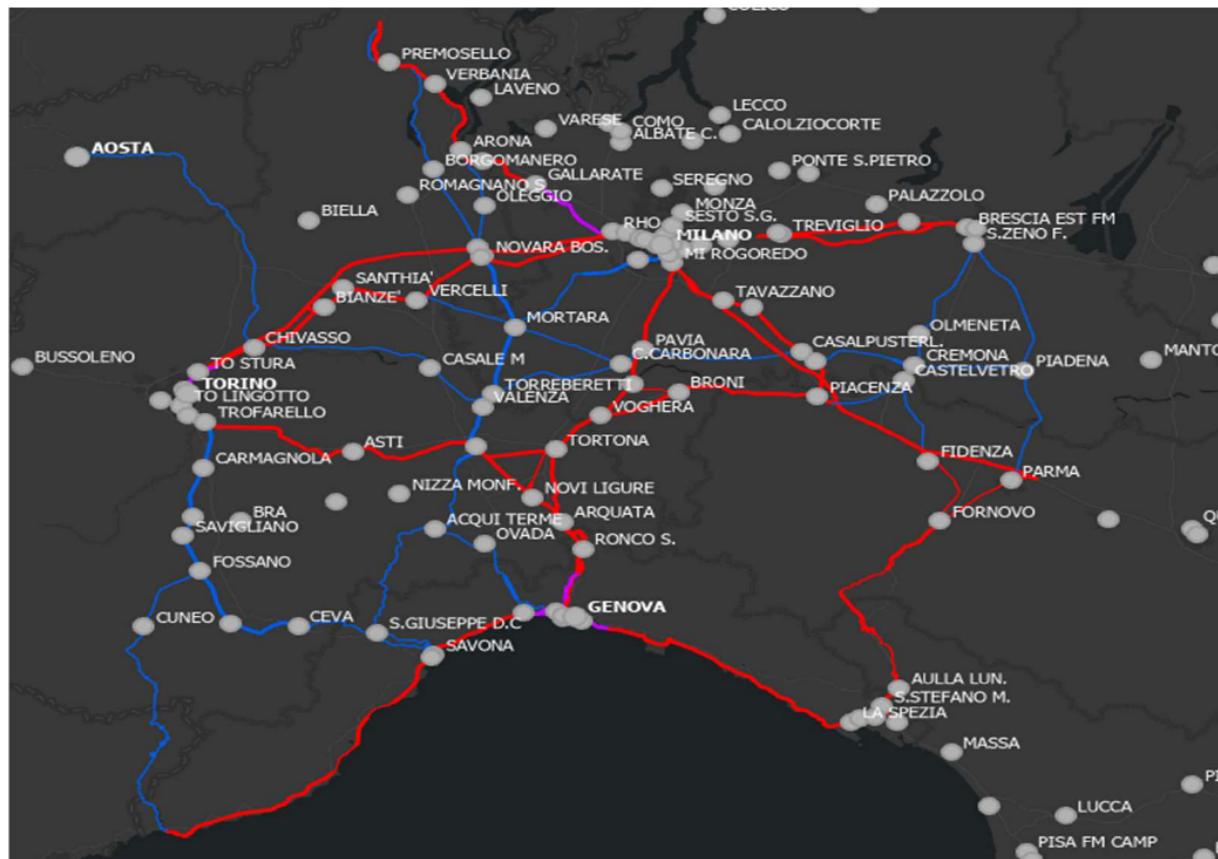
1. alla rete autostradale (in **rosso**)
2. Alla rete ferroviaria (in **giallo**)

del Nord-Ovest.

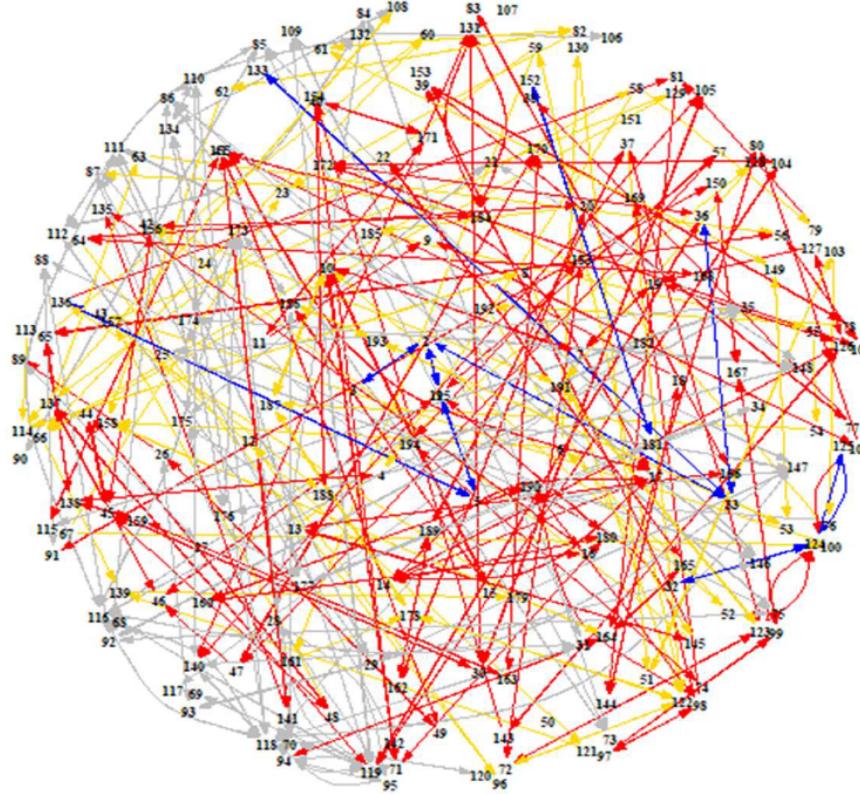
# Rete autostradale



# Rete Ferroviaria



# Rete Ferroviaria



## INDICATORI DELLA RETE

### ❖ CENTRALITÀ DEI NODI

DEGREE

STRENGTH

VERTEX BETWEENNESS CENTRALITY

CLOSENESS CENTRALITY

EIGENVECTOR CENTRALITY SCORE

### ❖ PROPRIETÀ DELLA RETE

DIAMETER

SHORTEST PATH MATRIX

EDGE DENSITY

TRANSITIVITY

EIGENVECTOR CENTRALITY SCORE

EFFICIENCY

# ANALISI:

---

- ❖ Definire le reti di nostro interesse
- ❖ Definire nodi, archi e pesi
- ❖ Rappresentare graficamente le reti
- ❖ Fornire indicatori di centralità
- ❖ Definire i punti di intersezione
- ❖ Studiare le caratteristiche dei due network congiuntamente

# Punti di «Intersezione» tra le due reti

Il punto di partenza fondamentale è definire il modo in cui le reti autostradali e ferroviarie sono interconnesse.

→ a seconda di come sono collegate due infrastrutture, emergono diversi aspetti della rete multi-livello.

In questo studio, sono state utilizzate due diverse definizioni di interconnessione, che servono a scopi diversi:

- ❖ Evidenziare l'interdipendenza geografica delle infrastrutture critiche, evidenziando come un danno che inizialmente colpisce una sola infrastruttura possa propagarsi anche ad un'altra strettamente connessa ad essa, ad esempio per vicinanza geografica.
- ❖ Basandosi sull'interdipendenza funzionale, osservare come la robustezza di una rete possa cambiare se tutti i nodi principali permettono uno cambio intermodale.

# Reti Multi-livello: Approccio 1

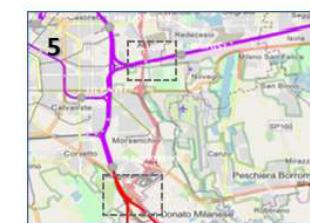
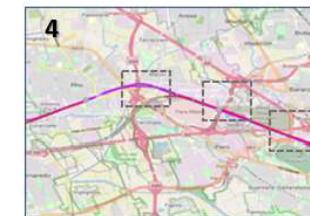
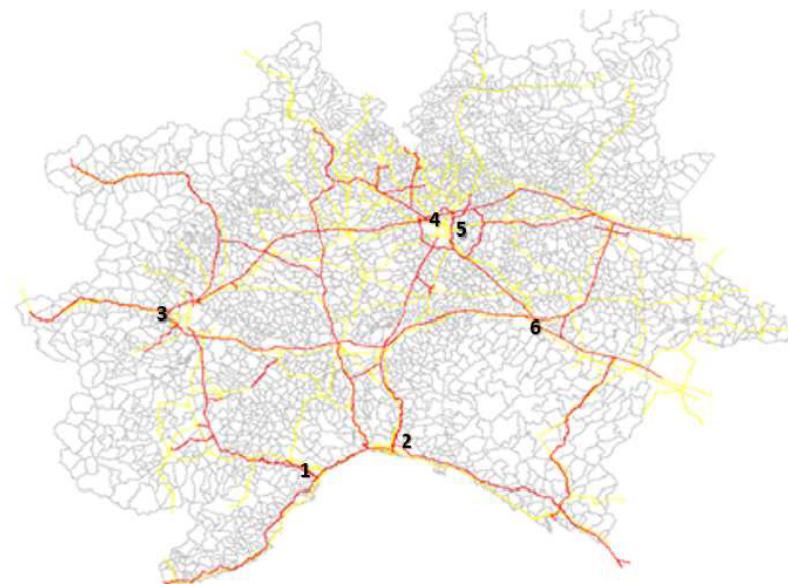
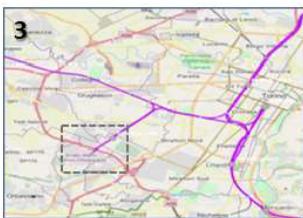
Il punto di partenza fondamentale è definire il modo in cui le reti autostradali e ferroviarie sono interconnesse.

→ a seconda di come sono collegate due infrastrutture, emergono diversi aspetti della rete multi-livello.

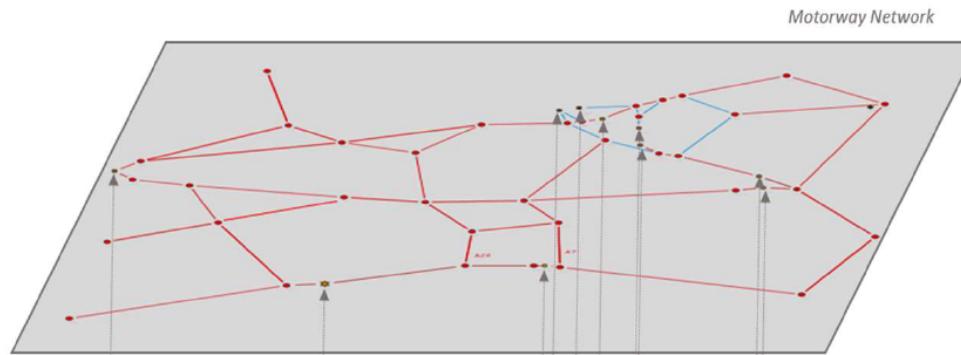
In questo studio, sono state utilizzate due diverse definizioni di interconnessione, che servono a scopi diversi:

- ❖ Evidenziare l'interdipendenza geografica delle infrastrutture critiche, evidenziando come un danno che inizialmente colpisce una sola infrastruttura possa propagarsi anche ad un'altra strettamente connessa ad essa, ad esempio per vicinanza geografica.
  
- ❖ Basandosi sull'interdipendenza funzionale, osservare come la robustezza di una rete possa cambiare se tutti i nodi principali permettono uno cambio intermodale.

# Reti Multi-livello: Approccio 1



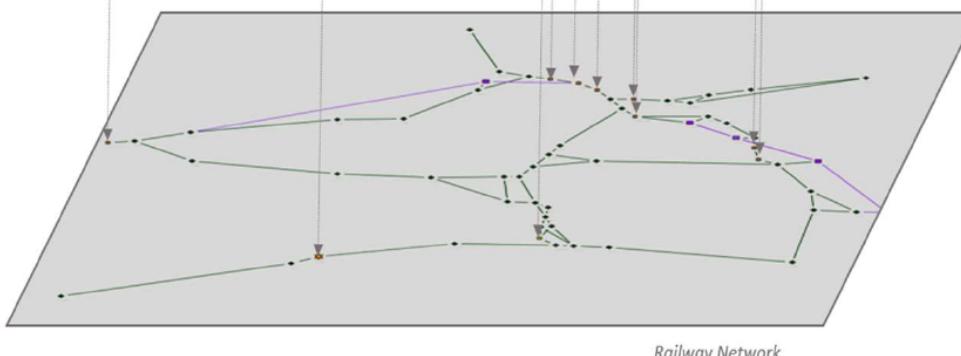
# Reti Multi-livello: Approccio 1



$$Graph_m = (v_m, e_m)$$

Grafo Simmetrico dove:

- ❖  $v_m = 1, \dots, 46$  nodi autostradali o intersezioni
- ❖  $e_m$  rappresenta un collegamento autostradale o una tangenziale, con  $e_m = 1, \dots, 62$

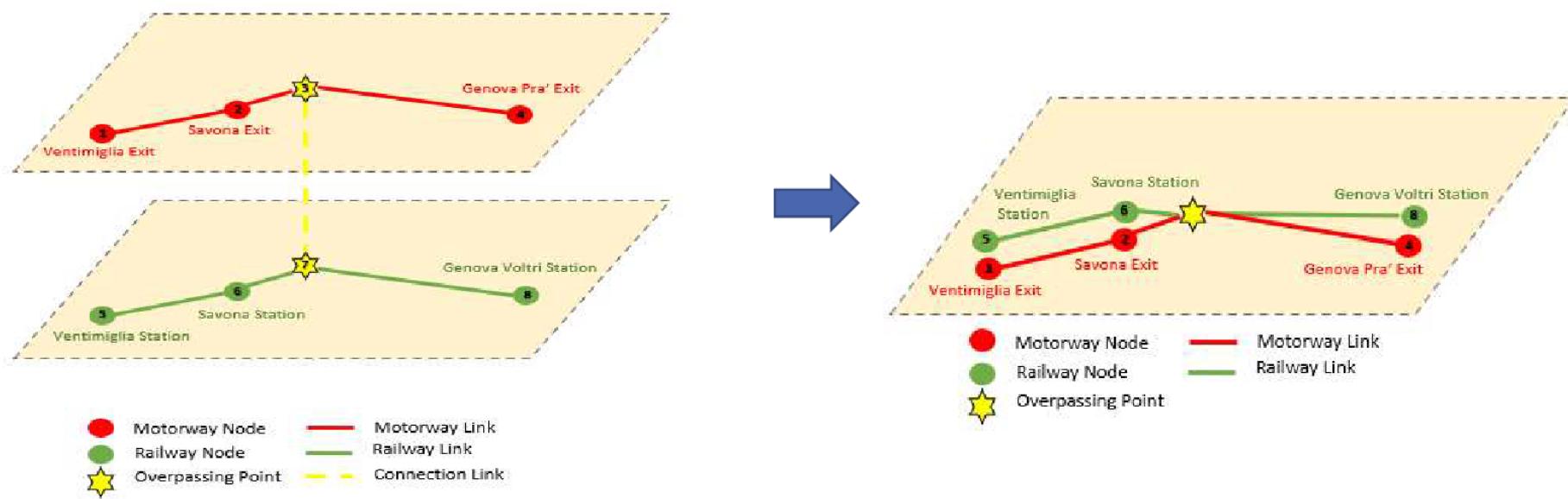


$$Graph_r = (v_r, e_r)$$

Grafo Simmetrico dove:

- ❖  $v_r = 1, \dots, 58$  nodi autostradali o intersezioni
- ❖  $e_r$  rappresenta una linea ferroviaria fondamentale, con  $e_h = 1, \dots, 76$

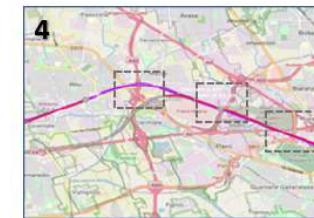
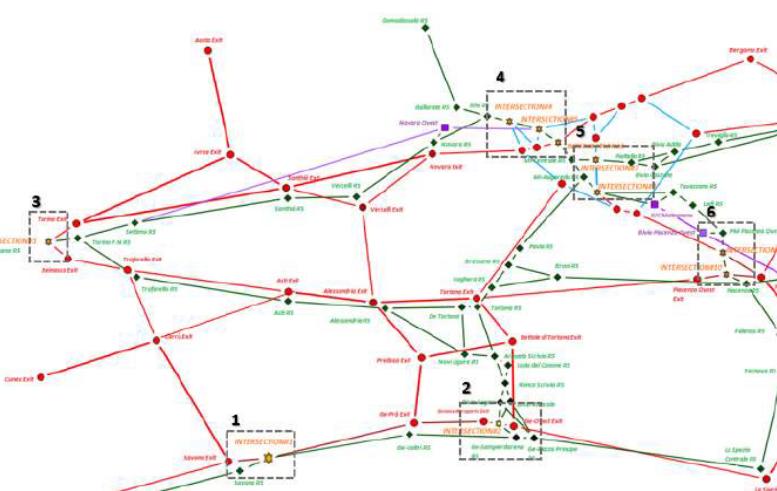
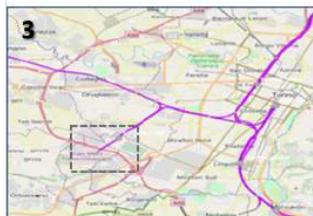
# Reti Multi-livello: Approccio 1



$$Graph_z = (v_z, e_z)$$

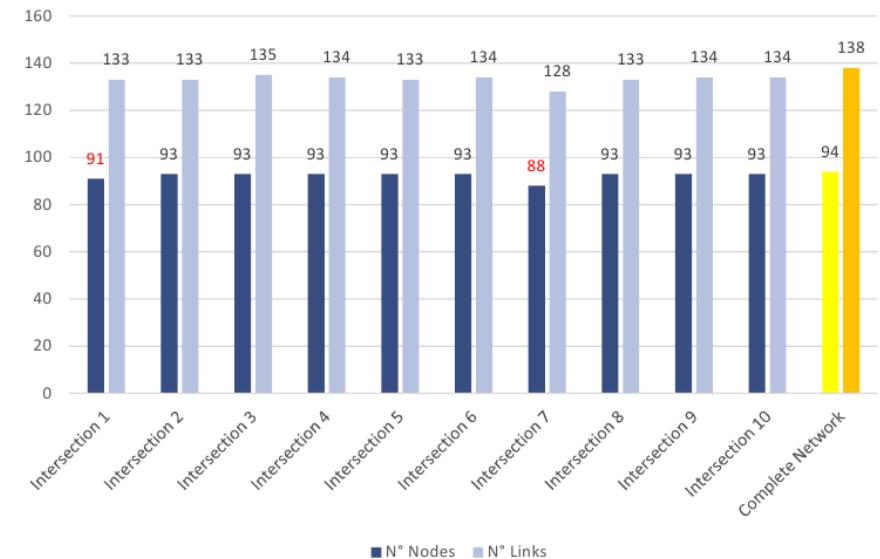
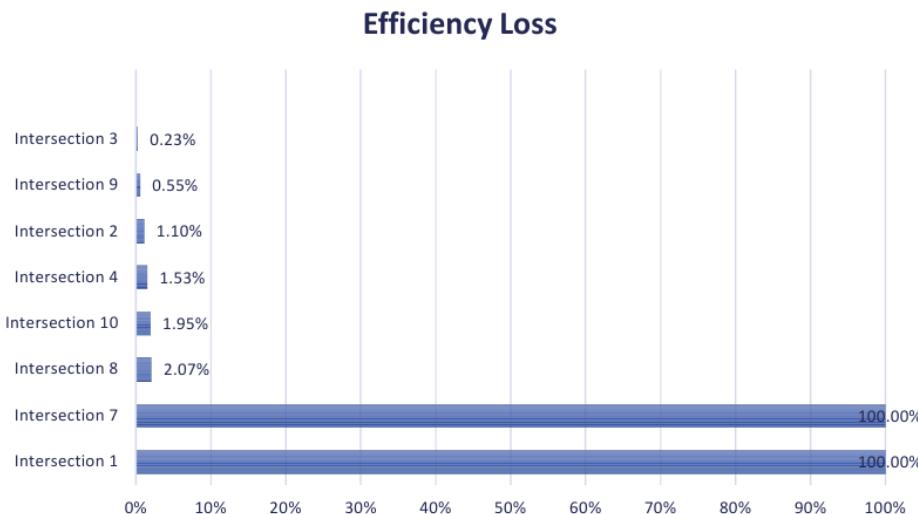
$v_z = 1, \dots, 94$  nodo autostradale, ferroviario o intersezione

$e_z = 1, \dots, 138$  collegamento autostradale o ferroviario



# Reti Multi-livello: Approccio 1

La letteratura suggerisce che gli indicatori di efficienza della rete possono essere utilizzati per misurare la **vulnerabilità** delle reti di trasporto. Tipicamente si osserva come l'efficienza di un network cambia dopo la rimozione di un nodo o di un arco.



# Reti Multi-livello: Approccio 2

Il punto di partenza fondamentale è definire il modo in cui le reti autostradali e ferroviarie sono interconnesse.

→ a seconda di come sono collegate due infrastrutture, emergono diversi aspetti della rete multi-livello.

In questo studio, sono state utilizzate due diverse definizioni di interconnessione, che servono a scopi diversi:

- ❖ Evidenziare l'interdipendenza geografica delle infrastrutture critiche, evidenziando come un danno che inizialmente colpisce una sola infrastruttura possa propagarsi anche ad un'altra strettamente connessa ad essa, ad esempio per vicinanza geografica.
- ❖ Basandosi sull'interdipendenza funzionale, osservare come la robustezza di una rete possa cambiare se tutti i nodi principali permettono uno cambio intermodale.

# Reti Multi-livello: Approccio 2

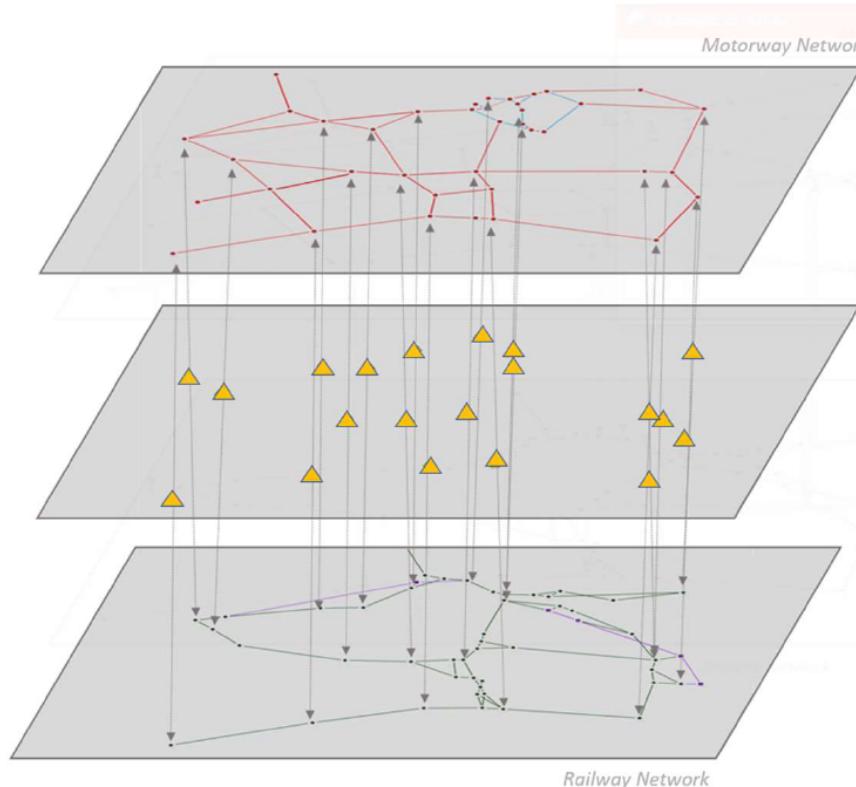
La seconda analisi si basa su un network multi-livello nel quale in ogni principale città del Nord-Ovest italiano sia reso possibile il cambio modale

## → CONNESSIONE FUNZIONALE

→ la stazione ferroviaria è collegata al più vicino casello autostradale (e viceversa) in due modi:

- ❖ Tramite un nodo di interscambio (*Metodo A*)
- ❖ Tramite una strada urbana, senza necessità di una stazione di interscambio (*Metodo B*)

# Reti Multi-livello: Approccio 2.A



$\text{Graph}_m = (v_m, e_m)$   
Grafo Simmetrico dove:  
❖  $v_m = 1, \dots, 39$  nodi autostradali  
❖  $e_m$  rappresenta un collegamento autostradale o una tangenziale, con  $e_m = 1, \dots, 55$

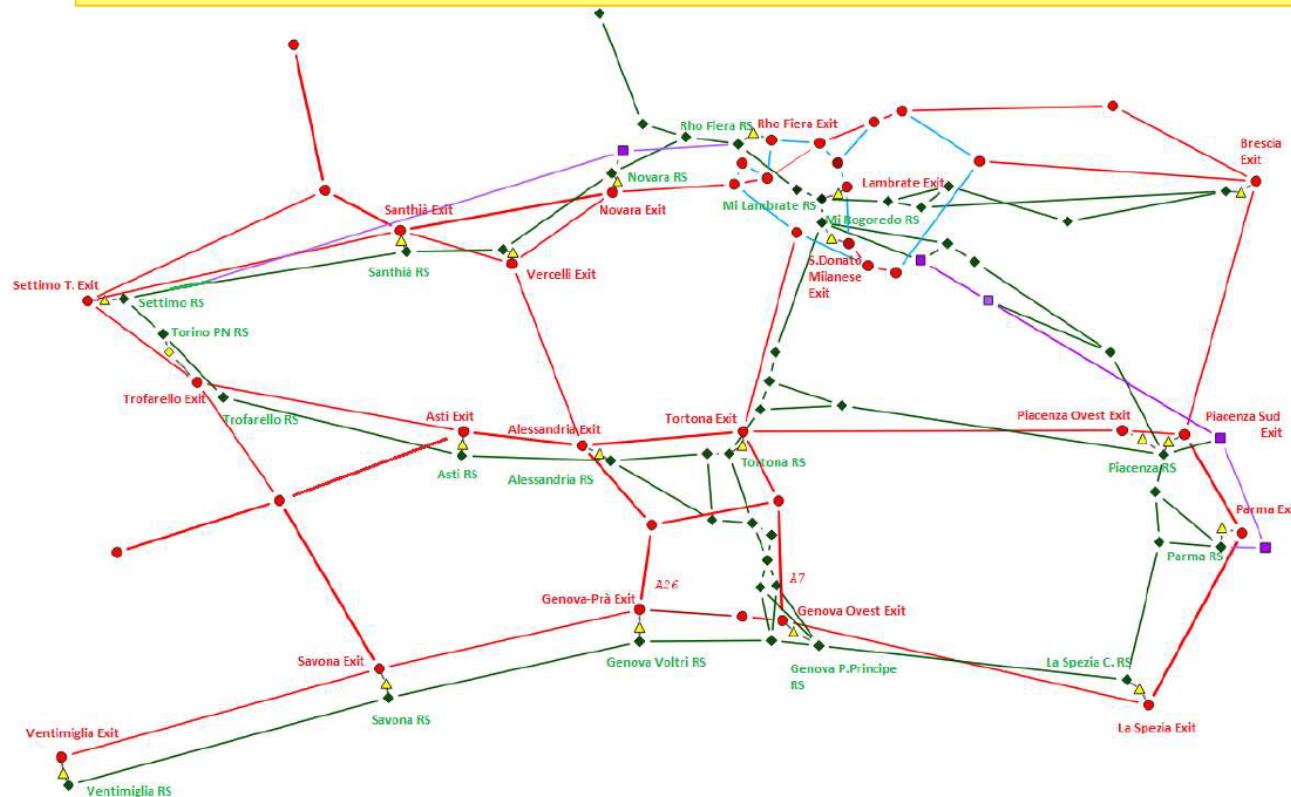
→ **NODI INTERMODALI (N=20)**

$\text{Graph}_r = (v_r, e_r)$   
Grafo Simmetrico dove:  
❖  $v_r = 1, \dots, 50$  nodi autostradali o intersezioni  
❖  $e_r$  rappresenta una linea ferroviaria fondamentale, con  $e_r = 1, \dots, 68$

$$Graph_z = (v_z, e_z)$$

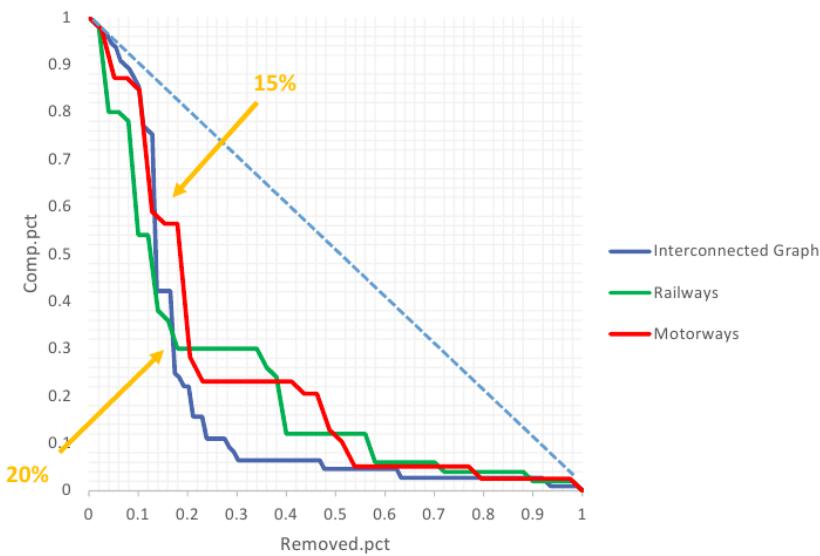
$v_z, = 1, \dots, 109$  nodo autostradale, ferroviario o stazione di interscambio

$e_z = 1, \dots, 163$  collegamento autostradale, ferroviario, o strada urbana

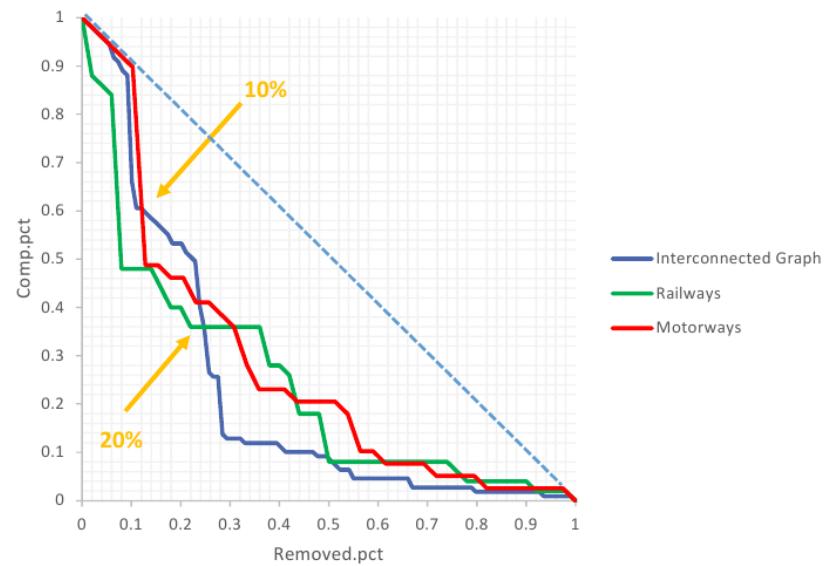


## ROBUSTEZZA DELLE RETI A CONFRONTO → «TARGET» ATTACK PROCEDURE

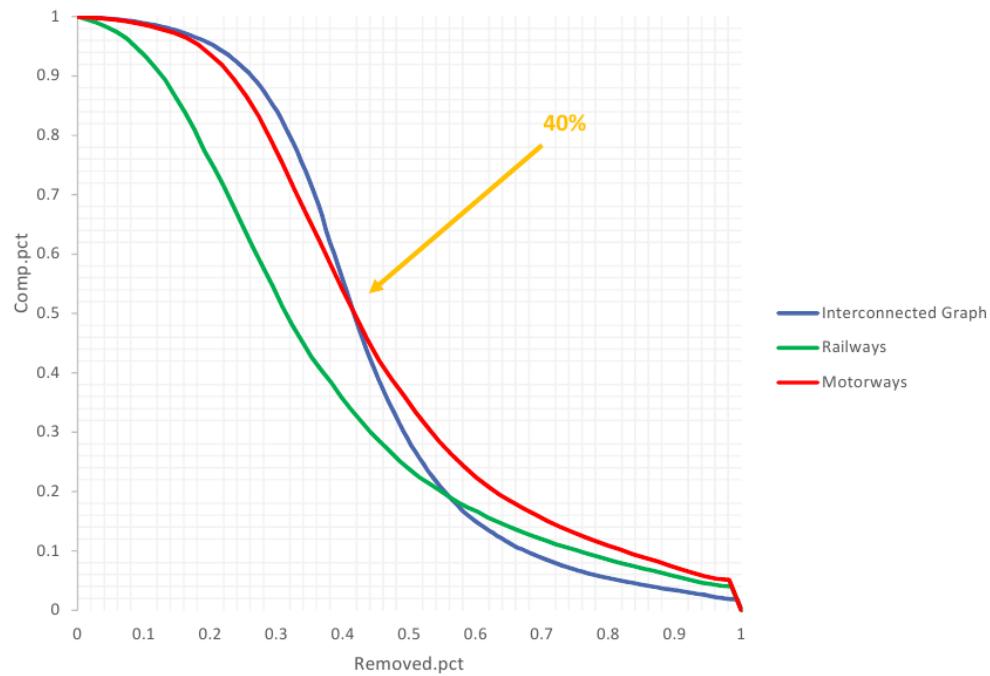
NODE DEGREE



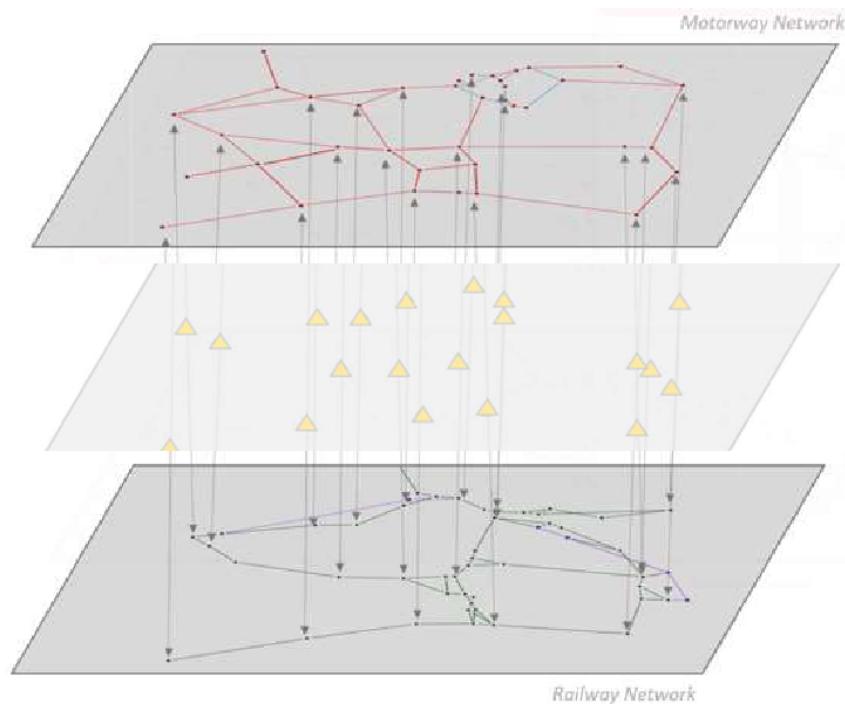
NODE BETWEENNESS



## ROBUSTEZZA DELLE RETI A CONFRONTO → EDGE RANDOM REMOVAL PROCEDURE

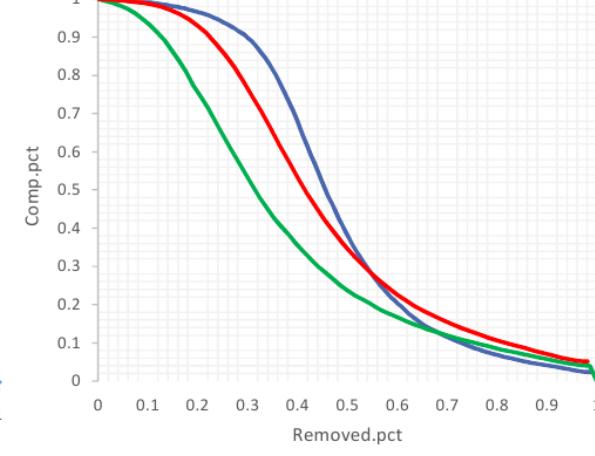
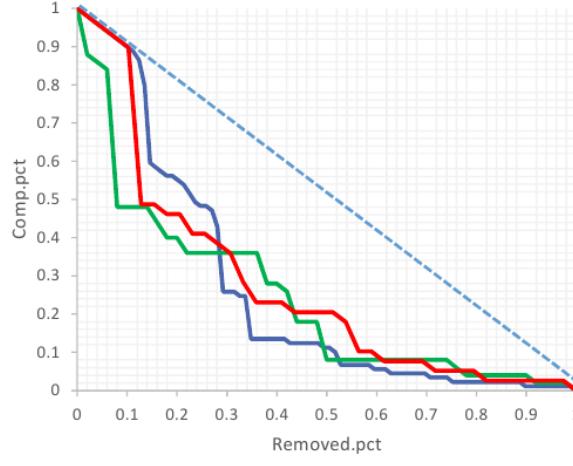
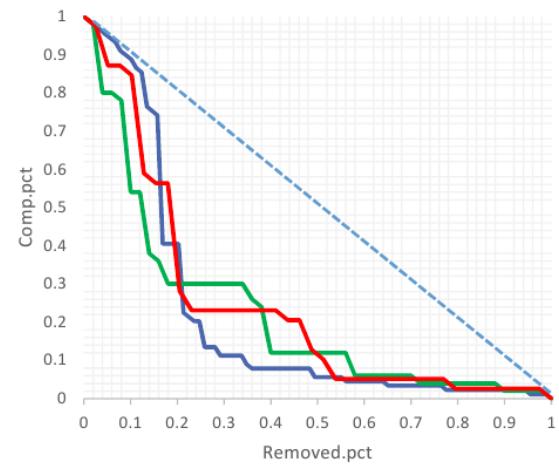
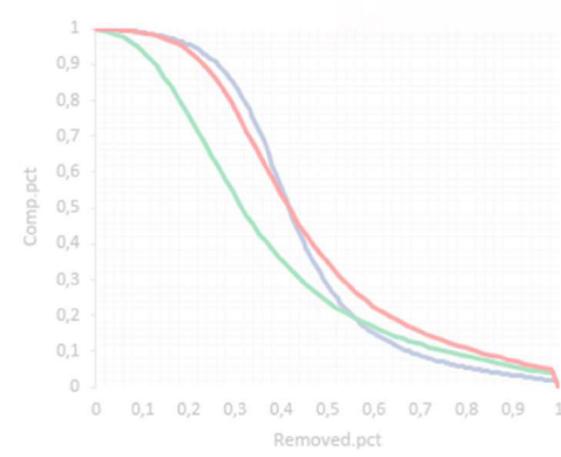
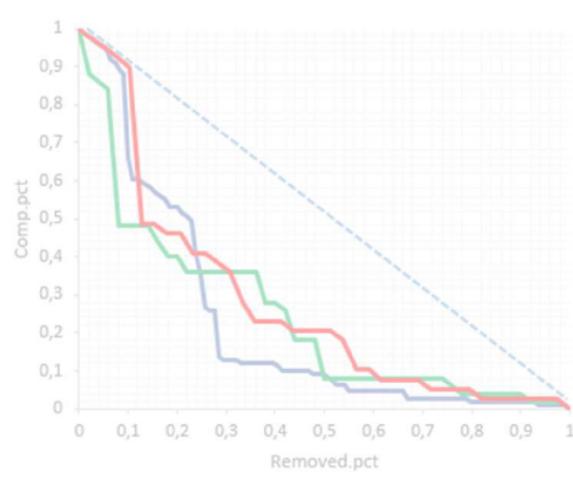
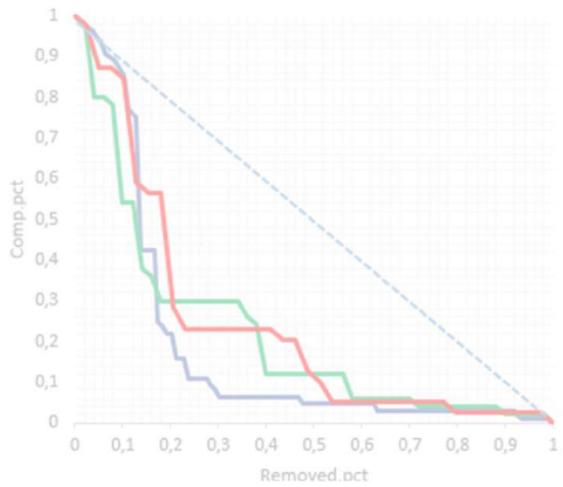


# Reti Multi-livello: Approccio 2.B



Seguendo questo secondo approccio, laddove viene ipotizzato un cambio modale ogni stazione ferroviaria è collegata ad un casello autostradale (e viceversa) tramite una strada urbana.

→ **Assenza di nodi di interscambio**



*NODE DEGREE*

*NODE BETWEENNESS*

*RANDOM EDGE*

# ALCUNE CONSIDERAZIONI

- ❖ In generale, il network multi-livello è più robusto di almeno uno dei due network uni-modali fino a quando il 20% dei nodi viene danneggiato
  - ❖ Il cambio modale è molto complesso per le merci e è più realistico per i passeggeri, ma ciò presuppone la creazione di una terza infrastruttura (nodo intermodale o di interscambio) che riduce la robustezza del network multi-livello
  - ❖ Se l'analisi di robustezza è usata per proporre miglioramenti nel network, considerare una sola modalità di trasporto porta ad una sottostima della vulnerabilità del sistema
  - ❖ All'aumentare delle possibilità di interscambio, il network interconnesso diventa sempre più robusto
- UN NETWORK MULTI-LIVELLO CON POCHE POSSIBILITÀ DI INTERSCAMBIO È VERO SIMILMENTE MENO ROBUSTO DI UN NETWORK UNI-MODALE, MA ALL'AUMENTARE DELLE POSSIBILITÀ DI INTERSCAMBIO, IL NETOWORK MULTI-MODALE DIVENTA PIÙ ROBUSTO DI UNO UNI-MODALE       Quali azioni possono favorire l'interscambio?

GRAZIE  
PER  
L' ATTENZIONE