

# Tecnologie e indicatori per il monitoraggio della qualità del servizio e della resilienza della rete autostradale



PREPARED BY :

Prof. Claudio Ferrari

Prof. Giovanni Satta



# Agenda



Tecnologie e Monitoraggio  
in Tempo Reale per la  
Gestione del Traffico  
Autostradale

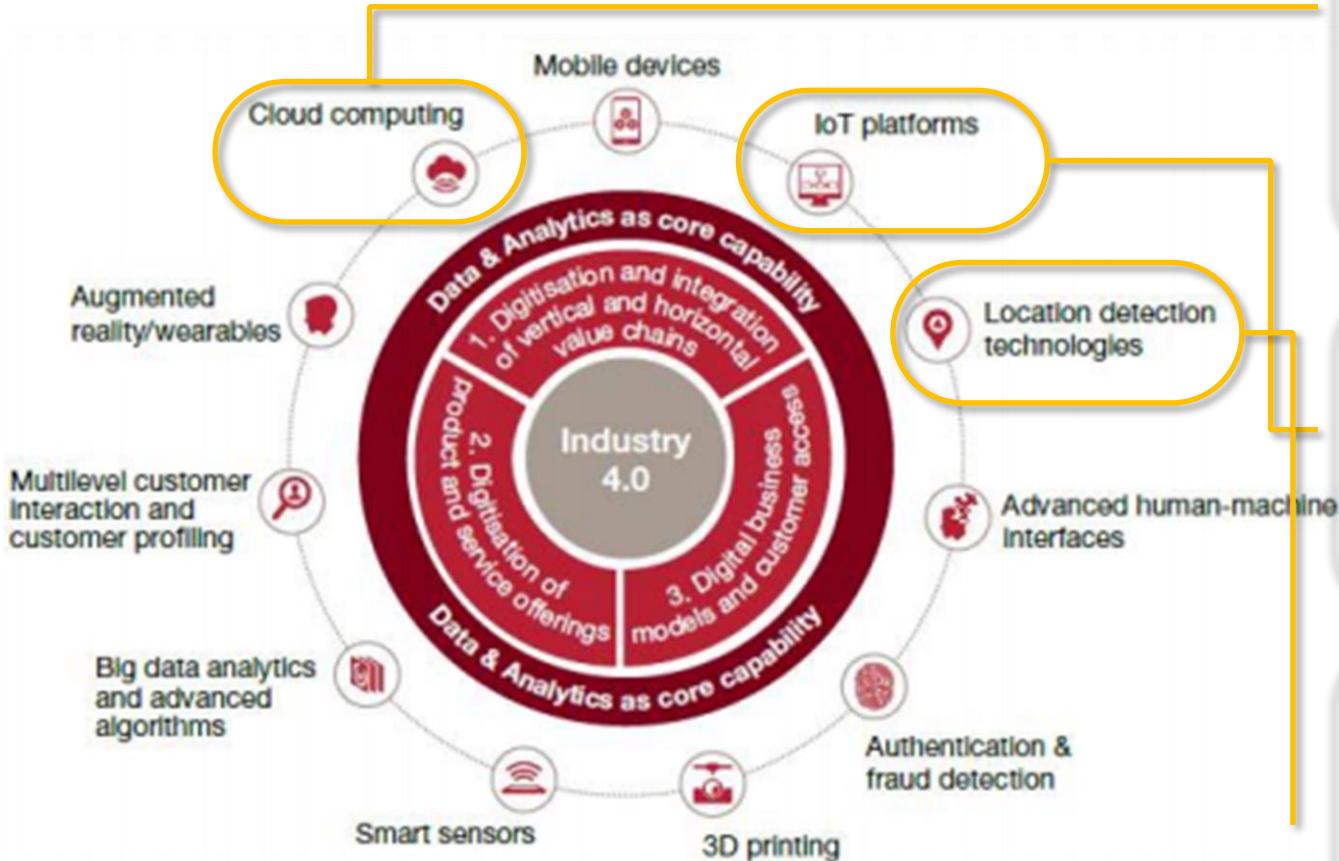
Caratteristiche e Ruolo Strategico del  
Sistema Autostradale in Liguria per il  
Sistema Logistico e Portuale:  
Dotazioni, Domanda, Bilanciamento  
dei Traffici e Connessioni Nazionali

Case Study: Studio sugli effetti  
della caduta del ponte Morandi -  
Progetto finanziato dal Programma  
di sostegno alle riforme strutturali  
della Commissione Europea

Case Study: Proposte per la  
riduzione delle criticità della A7  
nel tratto tra Serravalle e  
Genova e della A15 nel tratto  
lige

# Tecnologie Abilitanti per l'Industria 4.0 (1/5)

## Un Modello Teorico di Riferimento



Source: PwC, 2016

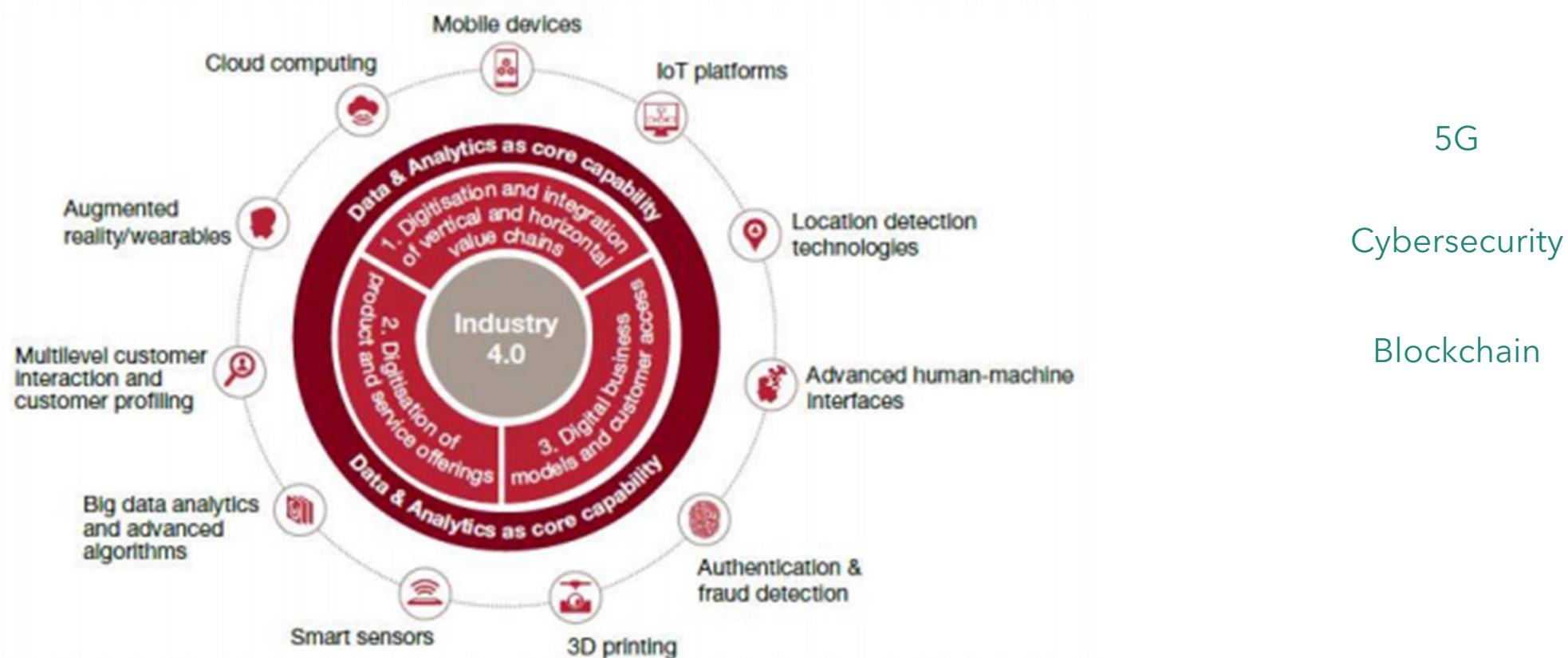
**Applicazioni:** i fornitori di servizi logistici possono sfruttare tecnologie di cloud computing per organizzare efficacemente la movimentazione, il trasporto, la spedizione merci, lo sdoganamento, il magazzinaggio, la distribuzione (Subramanian et al., 2014)

**Applicazioni:** nel campo logistico ogni movimento o processo relativo a flussi passeggeri e merci può essere costantemente controllato o monitorato

**Applicazioni:** servizi *location based*, atti a informare le persone sulle condizioni locali (traffico, meteo); fornire informazioni su beni/servizi nelle loro vicinanze, indirizzare la pubblicità alle persone sulla base della loro posizione (James, 2004)

# Tecnologie Abilitanti per l'Industria 4.0 (2/5)

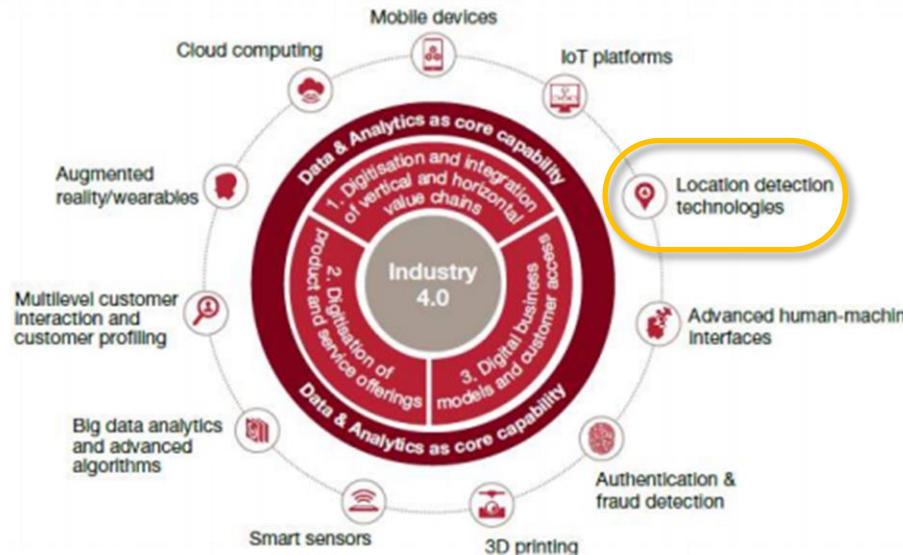
## Un Modello Teorico di Riferimento



Source: PwC, 2016

# Tecnologie Abilitanti per l'Industria 4.0 (3/5)

## Tecnologie di Localizzazione



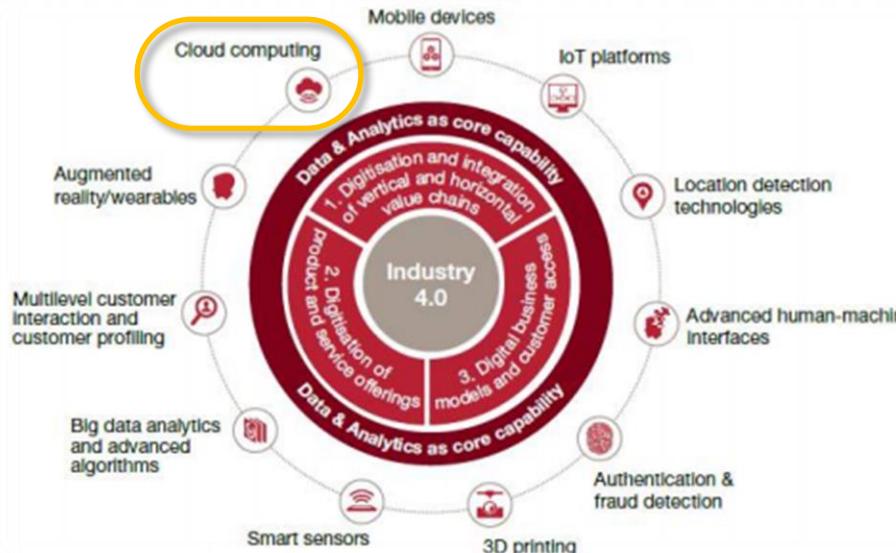
✓ **Applicazioni:** servizi *location based*, atti a informare le persone sulle condizioni locali (traffico, meteo); fornire informazioni su beni/servizi nelle loro vicinanze, indirizzare la pubblicità alle persone sulla base della loro posizione (James, 2004)

## Tecnologie di localizzazione

- I dati di localizzazione sono definiti come "qualsiasi dato trattato in una rete di comunicazione elettronica, che indica la posizione geografica dell'apparecchiatura terminale di un utente di un servizio di comunicazione elettronica disponibile al pubblico" (Australian Communications Authority, 2004).
- Le tecnologie di localizzazione forniscono informazioni in tempo reale sulla posizione dei dispositivi (e quindi sulla **posizione degli utenti**).
- I tipi di dispositivi che possono essere localizzati includono telefoni cellulari, computer portatili e console di gioco (Benford, 2005).
- Significative implicazioni sulla privacy (Commissione australiana per la riforma della legge, 2019).
- Possibilità di fornire servizi «*location based*» alle persone (anche facendo leva sulle informazioni dei clienti in merito alle loro preferenze).

# Tecnologie Abilitanti per l'Industria 4.0 (4/5)

## Cloud Computing



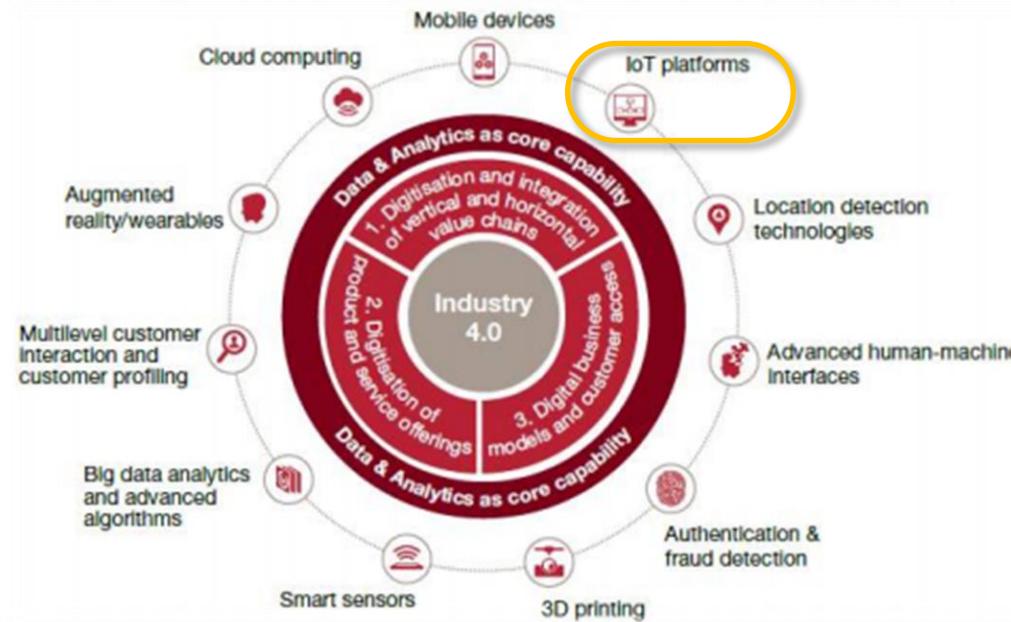
✓ **Applicazioni:** i fornitori di servizi logistici possono sfruttare tecnologie di cloud computing per organizzare efficacemente la movimentazione, il trasporto, la spedizione merci, lo sdoganamento, il magazzinaggio, la distribuzione (Subramanian et al., 2014).

## Cloud computing

- Consente agli utenti autorizzati di accedere a una **piattaforma online** e godere di diversi tipi di servizi in tempo reale, come reti, server, archiviazione, applicazioni e altri (National Institute of Standards and Technology, 2011).
- La tecnologia cloud fornisce strumenti e servizi contemporaneamente a molti dispositivi di utenti diversi (ad esempio, telefoni cellulari, tablet, laptop e workstation).
- L'accesso alla piattaforma può essere **condiviso** in tutto o in parte **con gli altri utenti** dall'amministratore: rende più facile lavorare insieme come un team e condividere documenti e responsabilità.
- Aumenta la capacità delle aziende di controllare e ottimizzare automaticamente l'utilizzo delle risorse analizzando le attività degli utenti.

# Tecnologie Abilitanti per l'Industria 4.0 (5/5)

## Piattaforme IoT



✓ **Applicazioni:** nel campo logistico ogni movimento o processo relativo a flussi passeggeri e merci può essere costantemente controllato o monitorato

## Piattaforme di IoT

- *"L'IoT può essere visto come un'infrastruttura globale che abilita servizi avanzati interconnettendo cose fisiche e virtuali basate su tecnologie dell'informazione e della comunicazione interoperabili. Attraverso lo sfruttamento delle capacità di identificazione, acquisizione, elaborazione e comunicazione dei dati, l'IoT per offre servizi a tutti i tipi di applicazioni." (IoT European Research Cluster, 2012).*
- L'IoT permette una **connessione real time** tra persone e oggetti attraverso internet
- **Oggetti inanimati** (e.g., devices, smartphones e sensori) sono integrati con le persone e l'ambiente circostante
- Le tecnologie di IoT possono rendere i processi aziendali più efficaci ed efficienti.

# Gestione del Traffico Autostradale (1/2)

## Il Ruolo del Monitoraggio

Il monitoraggio in tempo reale della rete autostradale può rivestire un ruolo cruciale nel migliorare l'efficienza e la sicurezza del traffico. L'obiettivo principale è quello di rilevare tempestivamente ogni evento, come incidenti o congestioni, per garantire un flusso veicolare ottimale e ridurre i tempi di percorrenza. Grazie al monitoraggio continuo, le autorità possono intervenire rapidamente in caso di emergenze, migliorando la sicurezza per tutti gli utenti della strada.

Inoltre, le tecnologie avanzate permettono di ottimizzare l'uso delle infrastrutture esistenti, riducendo la necessità di interventi strutturali costosi. Sensori stradali, telecamere di sorveglianza e droni rappresentano strumenti essenziali per ottenere una visione completa delle condizioni del traffico in tempo reale. Questi dati, combinati con sistemi di gestione del traffico intelligenti, consentono di prendere decisioni informate e di gestire al meglio le situazioni critiche, migliorando l'efficienza della rete e, al contempo, riducendo l'impatto ambientale derivante da code e rallentamenti prolungati.

# Gestione del Traffico Autostradale (2/2)

## Il Ruolo del Monitoraggio

Oltre a rispondere in tempo reale, i dati raccolti possono essere utilizzati per effettuare analisi predittive avanzate. Tecniche di **forecasting** basate su modelli di **machine learning** e **big data** consentono di prevedere con maggiore precisione le dinamiche future del traffico, differenziando tra flusso veicolare leggero e pesante. Questo è particolarmente utile **per la pianificazione** a lungo termine, dove è possibile anticipare periodi di maggiore congestione, come durante i picchi stagionali o festività, e prepararsi a gestire meglio i flussi di traffico.

L'**accuratezza** di queste previsioni permette di identificare i **main trends** ricorrenti e di simulare **scenari futuri** in cui è possibile ottimizzare la distribuzione del traffico, proponendo percorsi alternativi o migliorando la gestione dei limiti di velocità in tempo reale. In questo modo, i decisori possono adottare strategie che garantiscono non solo una gestione più dinamica del traffico, ma anche una maggiore sostenibilità ambientale e una riduzione dell'impatto sul trasporto merci e passeggeri.

# Soluzioni Tecnologiche per la Raccolta e il Monitoraggio del Traffico

## ● Sistemi di Gestione del Traffico Intelligenti (ITS)

- Integrazione di dati provenienti da sensori, telecamere e GPS per una visione completa del traffico in tempo reale;
- Utilizzo di intelligenza artificiale per prevedere e gestire il traffico, anticipando potenziali congestioni.



## ● Tecnologie basate su Big Data

- Raccolta e analisi di grandi quantità di dati per individuare pattern di traffico e migliorare la pianificazione a lungo termine.



## ● App e Piattaforme per conducenti

- Navigazione in tempo reale con informazioni su traffico, incidenti e deviazioni;
- Incentivi per utilizzare percorsi alternativi durante gli orari di punta.

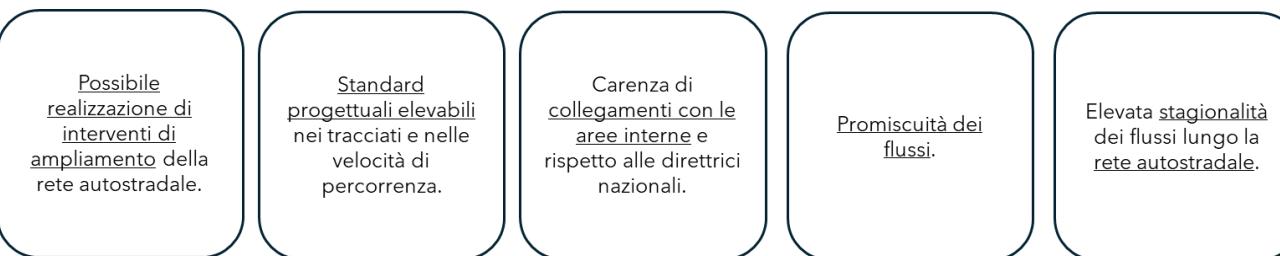


# Le Specificità della Dotazione di Infrastrutture Autostradali in Liguria

## Dotazione Infrastrutturale Ligure

- 3.576 km di rete stradale;
- 378 km di rete autostradale;
- 488 km di linee ferroviarie in esercizio, gestite da RFI, di cui **306 km** classificati come linee fondamentali il **97%** elettrificata (a 3kV CC) e il **68%** a doppio binario;

- 1 aeroporto di Genova inserito nel Core Network europeo;
- 2 porti inseriti nel Core Network europeo (Genova, La Spezia);
- 1 porto inserito nel Comprehensive Network europeo (Savona - Vado);
- 1 terminal intermodale inserito nel Core Network europeo.



RANK	PROV	KPI	# Italia	A			T			B			C			D			SINTESI		
				PROV	KPI	# Italia	PROV	KPI	# Italia												
1°	GE	116,9	22°	GE	134,2	11°	GE	365,8	2°	GE	112,8	34°	SV	124,5	35°	GE	129,9	15°			
2°	IM	111,4	34°	SP	113,0	34°	SP	320,2	5°	SP	56,5	74°	SP	77,1	57°	SP	110,9	40°			
3°	SP	110,0	38°	IM	101,6	55°	SV	290,9	7°	SV	47,5	87°	GE	72,2	59°	SV	109,6	42°			
4°	SV	107,0	42°	SV	99,0	58°	IM	93,7	41°	IM	22,3	100°	IM	50,1	75°	IM	85,1	73°			

Fonte: Camera di Commercio Riviere di Liguria e Camera di Commercio di Genova, «Libro Bianco sulle priorità infrastrutturali della Liguria», 2023

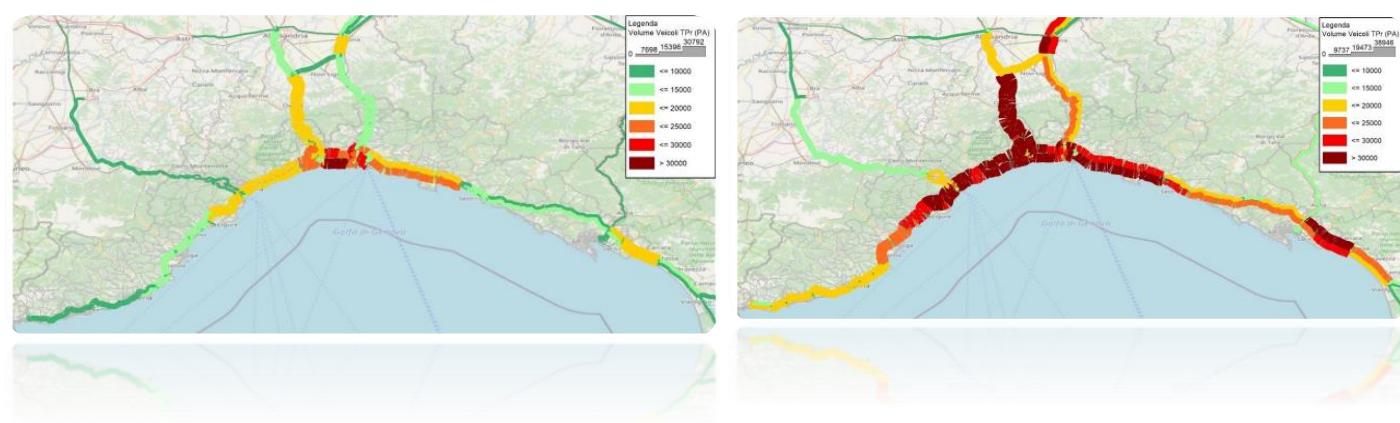
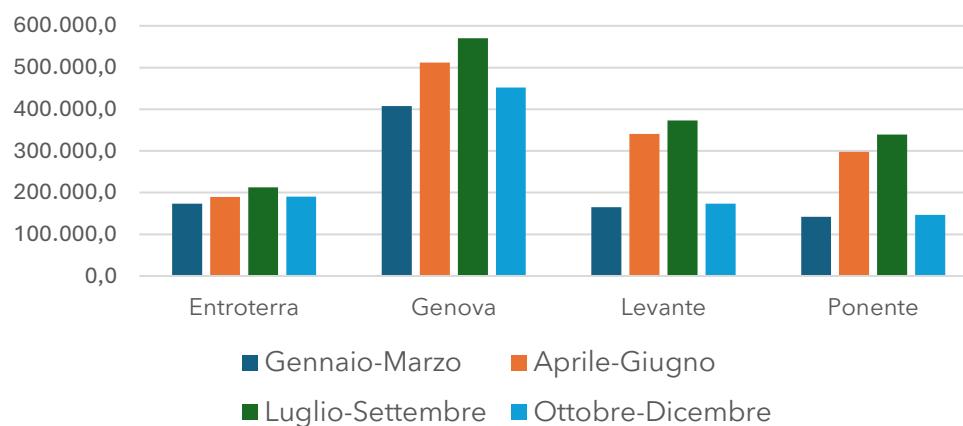
# Le Specificità Della Domanda di Trasporto Autostradale in Liguria: Le Principali Motivazioni di Viaggio

La rete autostradale ligure ha una **valenza strategica** rispetto alla mobilità, al sistema trasportistico e all'intera supply chain della logistica relativi al Nord Italia, in quanto connette i principali centri industriali e commerciali dell'area con i maggiori porti nazionali. La rete autostradale ligure consente il collegamento tra alcune delle maggiori città italiane, come Milano, Torino e Genova. Per tale motivo, la rete autostradale è soggetta a flussi veicolari misti contraddistinti da motivazioni di viaggio eterogenee:

- **Flussi Logistici:** riguardano il trasporto di merci e sono spesso associati alle attività industriali e commerciali della regione. Le autostrade liguri rappresentano arterie vitali per il trasporto di merci tra i centri di produzione e i mercati nazionali e internazionali. In particolare, l'autostrada A7 è una delle principali arterie di collegamento tra il Porto di Genova e le regioni industriali del Nord Italia e dell'Europa, mentre l'autostrada A15 costituisce un fondamentale collegamento da e per il Porto di La Spezia. Di conseguenza, una parte significativa del traffico sulle menzionate arterie autostradali è costituita da veicoli commerciali e mezzi pesanti. Inoltre dette arterie autostradali supportano la competitività e lo sviluppo delle attività di import/export su scala nazionale essendo parte integrante della sea-land logistics nazionale.
- **Flussi per motivi di lavoro/studio:** Il traffico legato a motivi di lavoro coinvolge pendolari che si spostano tra le città e le zone industriali della regione. Tale tipo di traffico risulta particolarmente intenso con riferimento a spostamenti tra Genova e Milano. Questo flusso di traffico può essere particolarmente intenso durante le ore di punta. I flussi di traffico per motivi di studio coinvolgono studenti che percorrono le autostrade liguri per raggiungere istituti di istruzione superiore o università nella regione o nelle vicine città. Tali flussi si concentrano nelle direttive autostradali dirette verso Genova e Milano.
- **Flussi per turismo:** Le autostrade liguri costituiscono direttive fondamentali per i turisti che si dirigono verso la Riviera Ligure o verso altre località turistiche nella regione. Durante i periodi di vacanza e nei fine settimana, il traffico turistico può subire incrementi notevoli, soprattutto verso le località costiere come Portofino, Le Cinque Terre, Alassio e Sanremo.

# Stagionalità dei Traffici & Problematiche di Bilanciamento tra Domanda e Offerta

I flussi di traffico che insistono sul sistema autostradale ligure sono caratterizzati da una elevata stagionalità, fenomeno che implica la rapida saturazione, nei mesi estivi e nei periodi festivi, della capacità complessiva della rete. Ciò genera forti rischi di congestimento su estesi tratti della rete con potenziali severi impatti negativi diretti e indiretti anche sulla viabilità stradale e urbana dei centri limitrofi rispetto alle direttrici autostradali, su cui converge parte dei flussi. Tale condizione può generare significative esternalità negative in termini di viabilità, emissioni, sicurezza e qualità della vita.



# Perché fare un'analisi statica della rete..

Per individuare le criticità della rete

Per impostare la pianificazione infrastrutturale

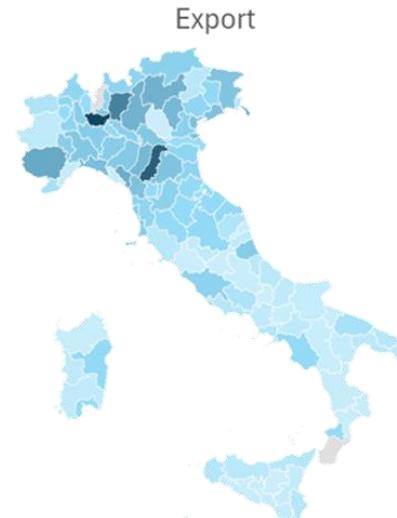
Per predisporre possibili piani di intervento

## Come..

- Attraverso l'applicazione della Complex Network Theory al grafo della rete infrastrutturale è possibile misurare:
- La Centralità e la criticità dei singoli elementi della rete (archi o nodi; nella rete autostradale: tratte elementari, caselli, punti di intersezione)
- La robustezza e l'efficienza della rete
  - Per singola modalità di trasporto
  - Per la rete infrastrutturale nel suo complesso (evidenziando gli effetti di percolazione da una rete all'altra)

# Il Ruolo Strategico del Sistema Autostradale a Supporto del Sistema Logistico e Portuale: O/D dei Traffici Portuali (Focus Sul Container) dei Traffici Dei Porti Liguri

Andamento traffico merci containerizzate via mare che interessano i porti liguri (2019; tonn)

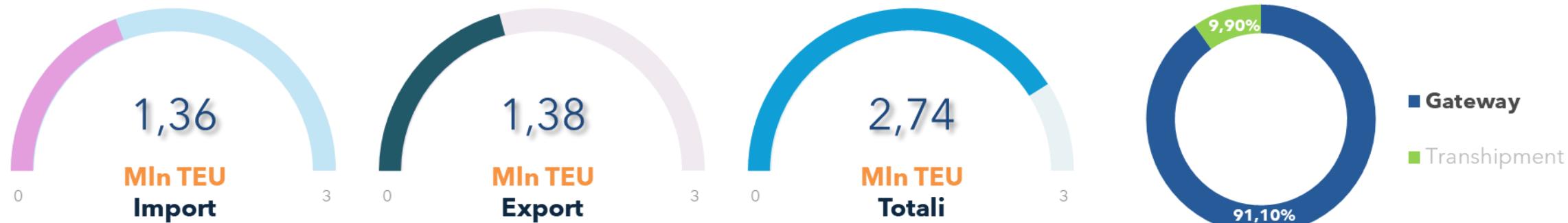


Provincia	Export	Import	Totale
GENOVA	370.734	328.424	699.158
LA SPEZIA	96.206	35.804	132.010
SAVONA	197.475	76.883	274.357
<b>Totale complessivo</b>	<b>664.414</b>	<b>441.111</b>	<b>1.105.525</b>

Fonte: elaborazione CIELI su dati Agenzia delle Dogane.

# Il Ruolo Strategico del Sistema Autostradale Rispetto al Sistema Logistico e Portuale Nazionale (1/2)

## OVERVIEW DEI TRAFFICI CONTAINER RELATIVI AI PORTI DI GENOVA E SAVONA-VADO (2023)



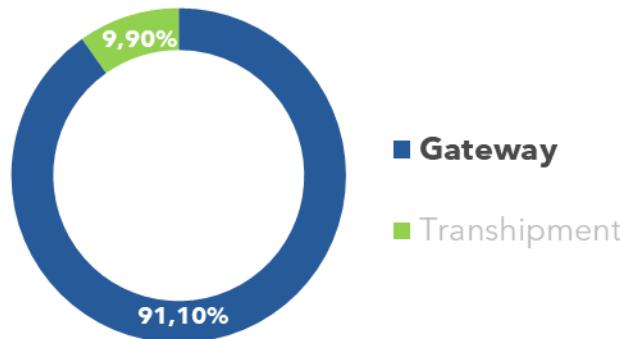
## OVERVIEW DEI TRAFFICI CONTAINER RELATIVI AL PORTO DI LA SPEZIA (2023)



Fonte: Ns elaborazione su dati da AdSP Mar Ligure Occidentale & AdSP Mar Ligure Orientale, 2024.

# Il Ruolo Strategico del Sistema Autostradale Rispetto al Sistema Logistico e Portuale Nazionale (2/2)

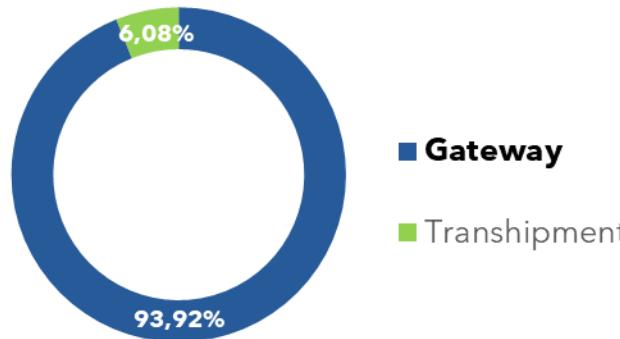
## OVERVIEW DEI TRAFFICI CONTAINER RELATIVI AI PORTI DI GENOVA E SAVONA-VADO (2023)



■ Gateway  
■ Transhipment

- **Incidenza del traffico Gateway nei porti del Mar Ligure occidentale:** i dati relativi ai traffici container nei porti di Genova e Savona - Vado del 2023, mostrano l'incidenza dei traffici Gateway rispetto ai traffici Transhipment. Il principale split modale riguarda la strada ma nel futuro, con la realizzazione del Terzo Valico dei Giovi, una parte del traffico stradale viaggerà via ferro (Cfr. slide scenari).

## OVERVIEW DEI TRAFFICI CONTAINER RELATIVI AL PORTO DI LA SPEZIA (2023)



■ Gateway  
■ Transhipment

- **Incidenza del traffico Gateway nel porto di La Spezia:** anche i dati relativi ai traffici container nel porto di La Spezia del 2023 mostrano l'incidenza dei traffici Gateway rispetto a quelli di Transhipment. La ripartizione di questi traffici è ancora più marcata e gli scenari futuri (come la realizzazione del Terzo Valico) non determineranno un cambiamento modale da strada a ferro significativo.

Fonte: Ns elaborazione su dati da AdSP Mar Ligure Occidentale & AdSP Mar Ligure Orientale, 2024.

## Case Study 1

**Alcuni esempi tratti dallo studio sugli effetti della caduta del ponte Morandi - Progetto finanziato dal Programma di sostegno alle riforme strutturali della Commissione Europea**

# Case Study 1

## Obiettivi

Costruire il grafo della rete infrastrutturale del Nord-Ovest



Analisi statica della rete



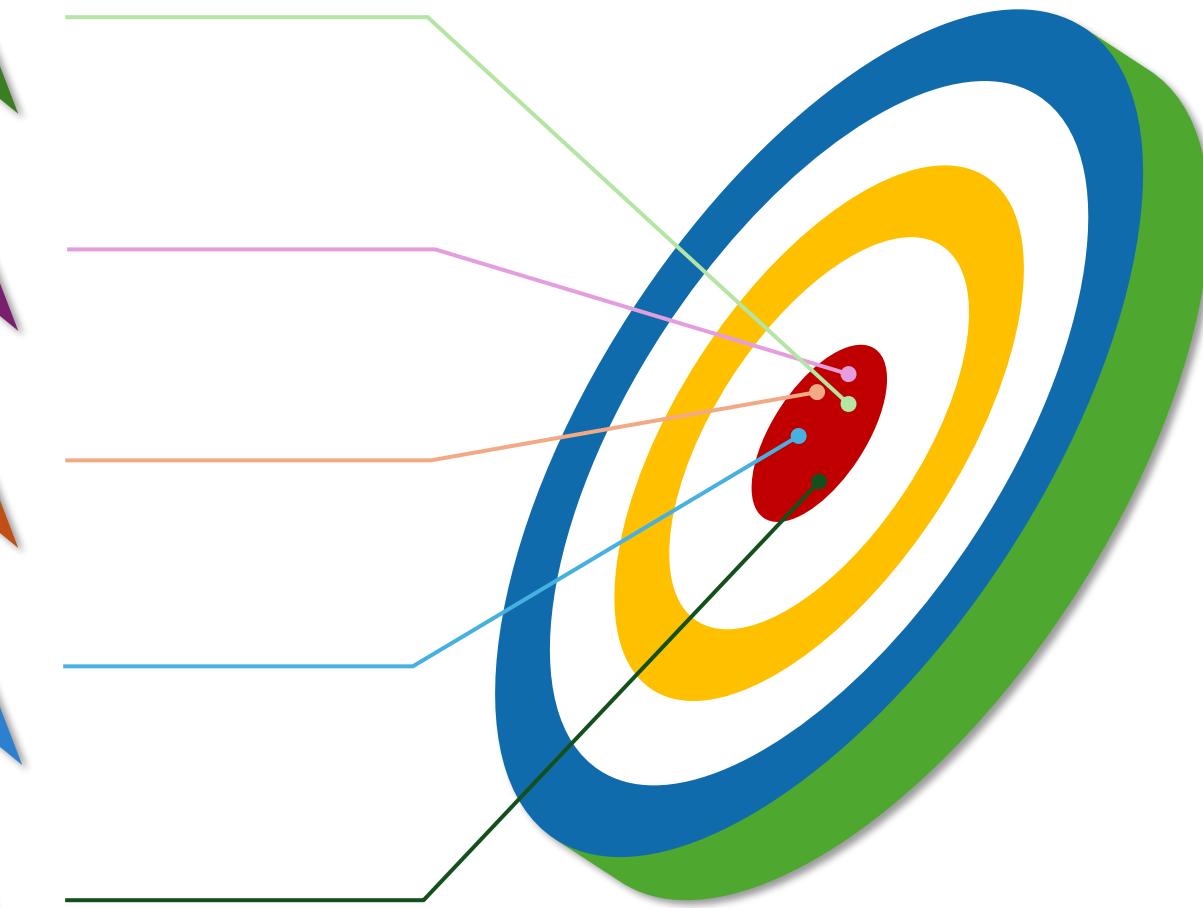
Analisi degli effetti della caduta del ponte Morandi sulla connettività della rete infrastrutturale



Identificazione di misure di robustness e resilience della rete sia per singola modalità che per l'intero sistema infrastrutturale



Proposta di linea guida per la gestione delle infrastrutture in caso di eventi emergenziali con effetti duraturi

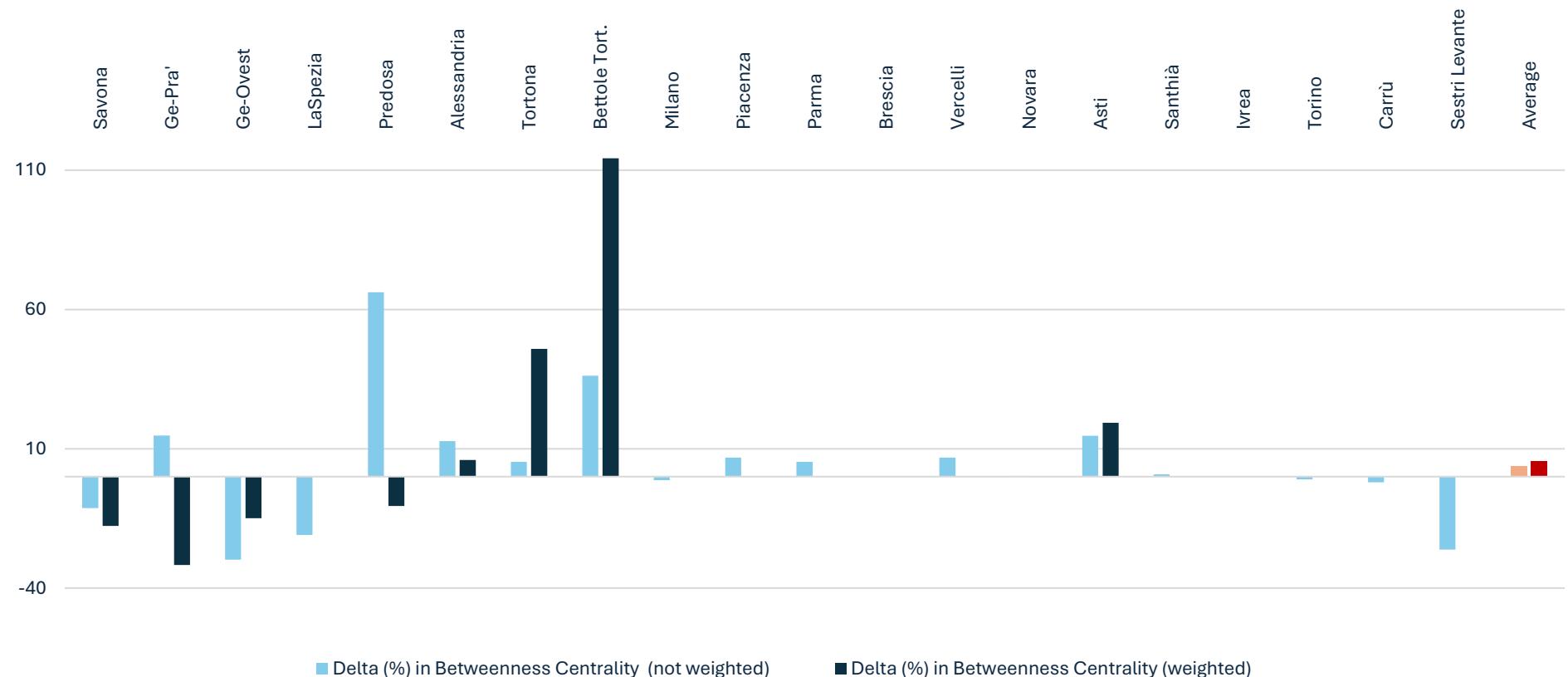


# Case Study 1

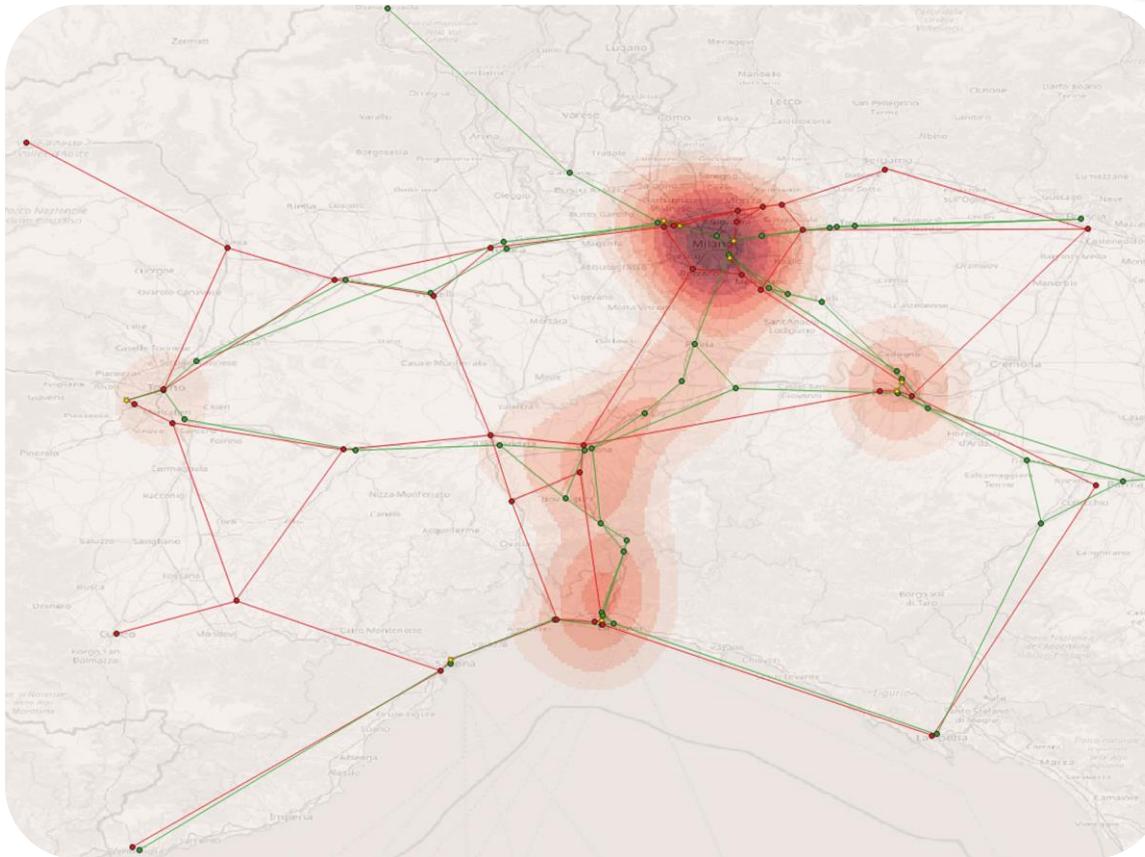
## Variazione della Betweenness Centrality (%) a seguito della caduta del ponte Morandi



*Betweenness centrality: quante volte un nodo si trova lungo il cammino minimo tra altri due nodi della rete.*



# La betweenness centrality della rete autostradale del Nord-Ovest

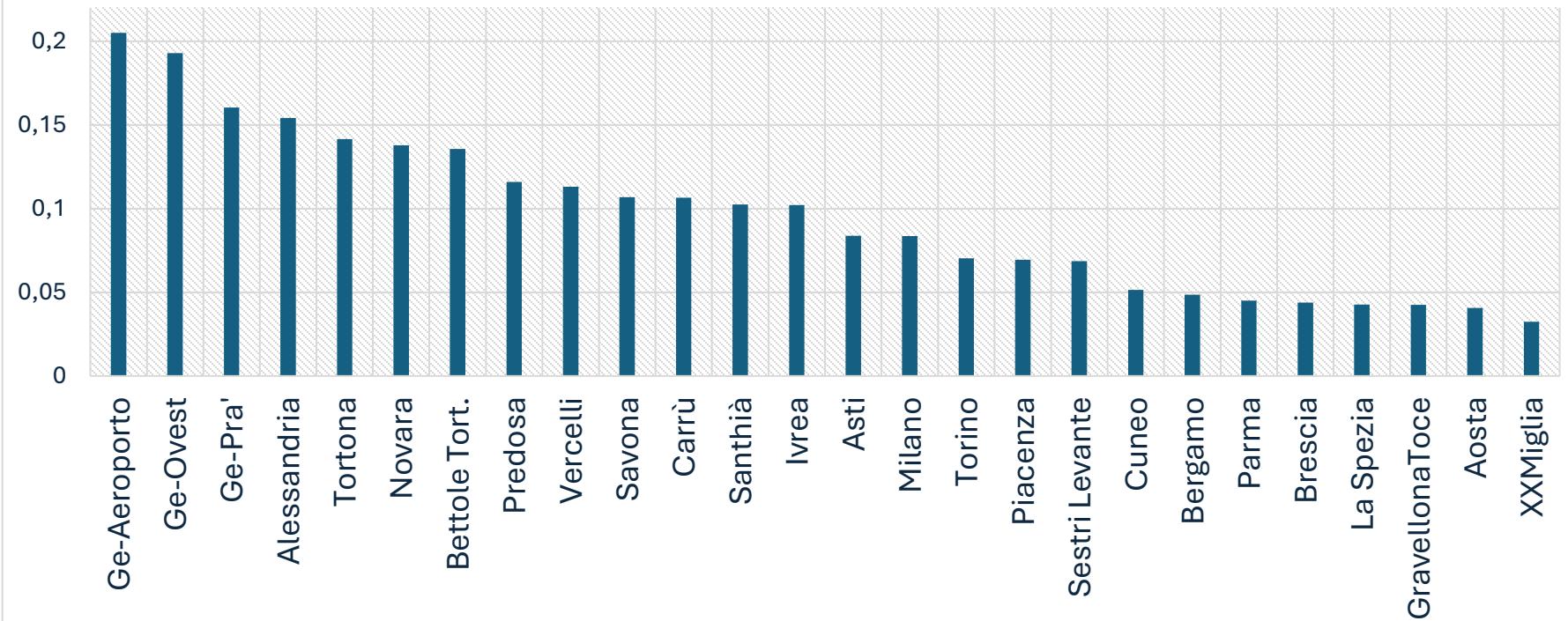


# Come cambia l'efficienza della rete al cadere di ogni singolo nodo

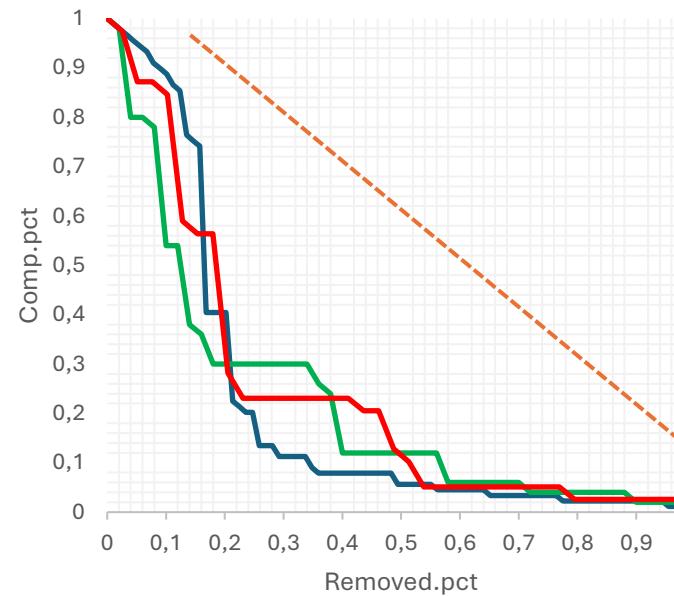


*L'efficienza rientra tra le misure macroscopiche e di accessibilità delle reti. Si basa sulla lunghezza dei cammini minimi tra le coppie di nodi della rete.*

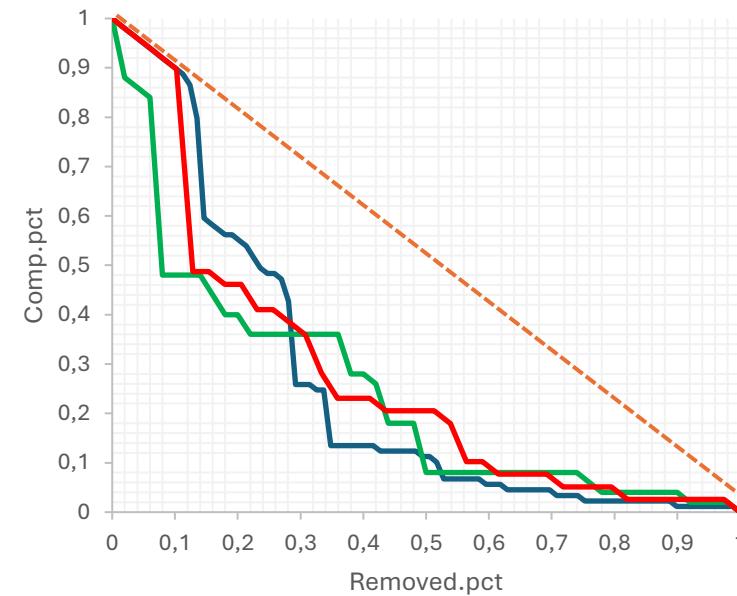
**Efficiency Loss**



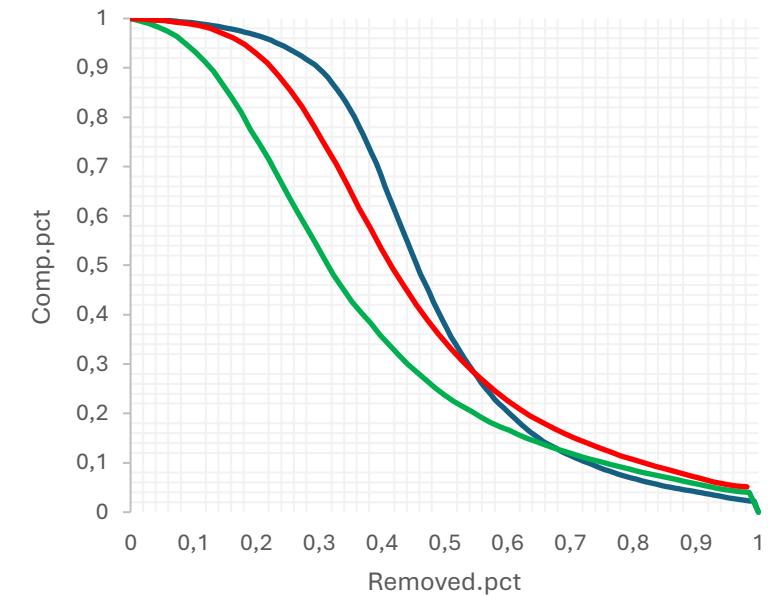
# Robustezza delle infrastrutture terrestri



*NODE DEGREE*



*NODE BETWEENNESS*



*RANDOM EDGE*

Misura la variazione % della dimensione della rete (in ordinata) al progressivo cadere (in %) di nodi o archi (in ascissa)

## Case Study 2

**Proposte per la riduzione delle criticità della A7 nel tratto  
tra Serravalle e Genova e nel tratto ligure della A15**

# Case Study 2

## Obiettivi

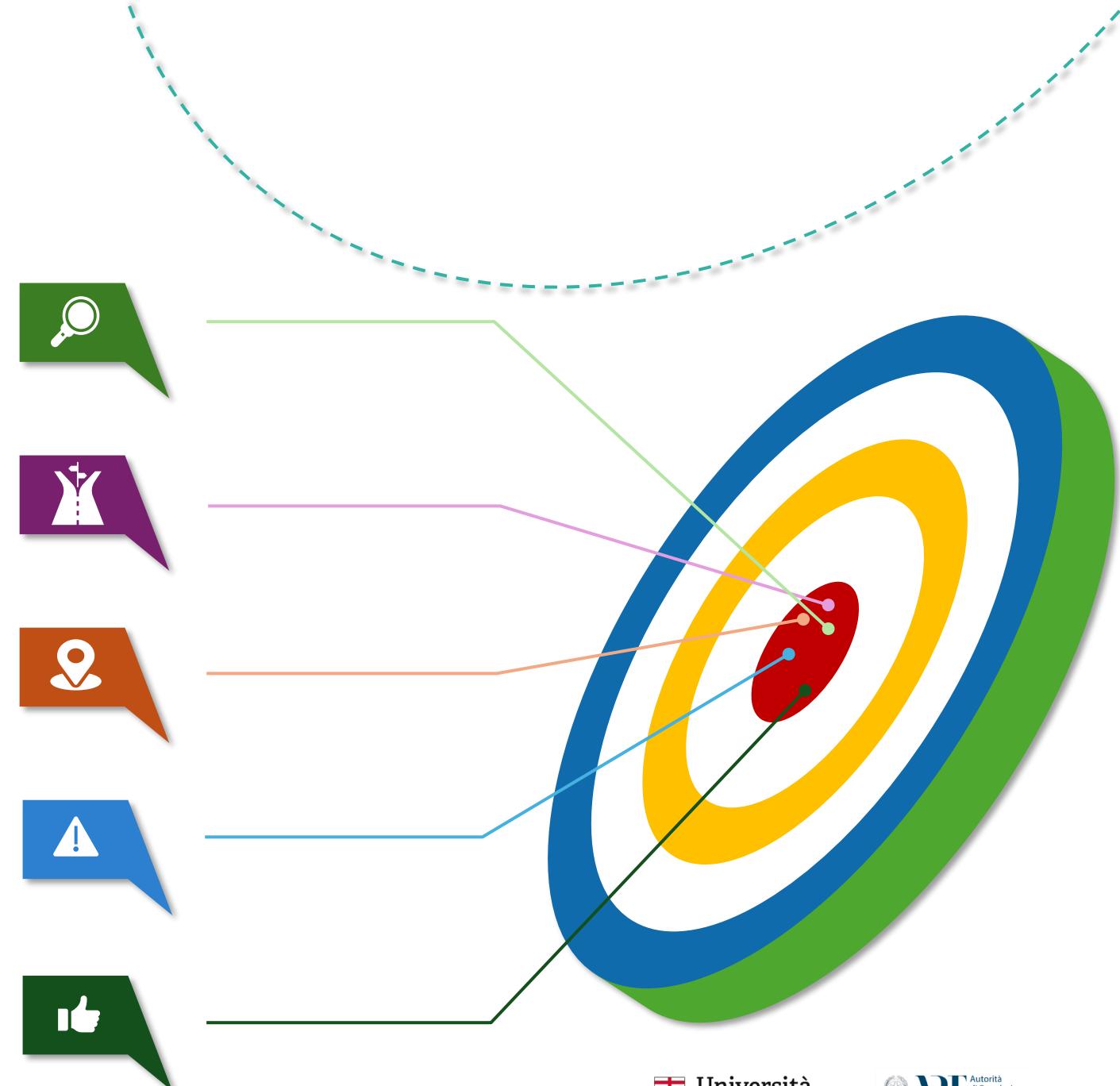
Analizzare lo **stato attuale della rete autostradale ligure** nella tratta autostradale A7 tra Serravalle e Genova e nel tratto ligure dell'A15 (Aulla - La Spezia).

Identificare le **eventuali criticità attuali** che interessano le tratte oggetto di analisi (Scenario AS-IS).

Stimare i presumibili **scenari futuri di traffico leggero e pesante** sugli assi viari di adduzione ai porti liguri in ragione degli **interventi infrastrutturali** in corso di progettazione/realizzazione nell'area oggetto di studio il cui completamento sia previsto entro il 2035 (Terzo Valico dei Giovi, Nuova Diga Foranea di Genova e Gronda di Genova, ecc.).

Identificare **possibili criticità prospettiche** capaci di determinare esternalità negative sulle tratte oggetto di analisi (Scenari al **2030** e al **2035**).

Proporre possibili **interventi** e **soluzioni tecniche** per eliminare o mitigare le suddette criticità



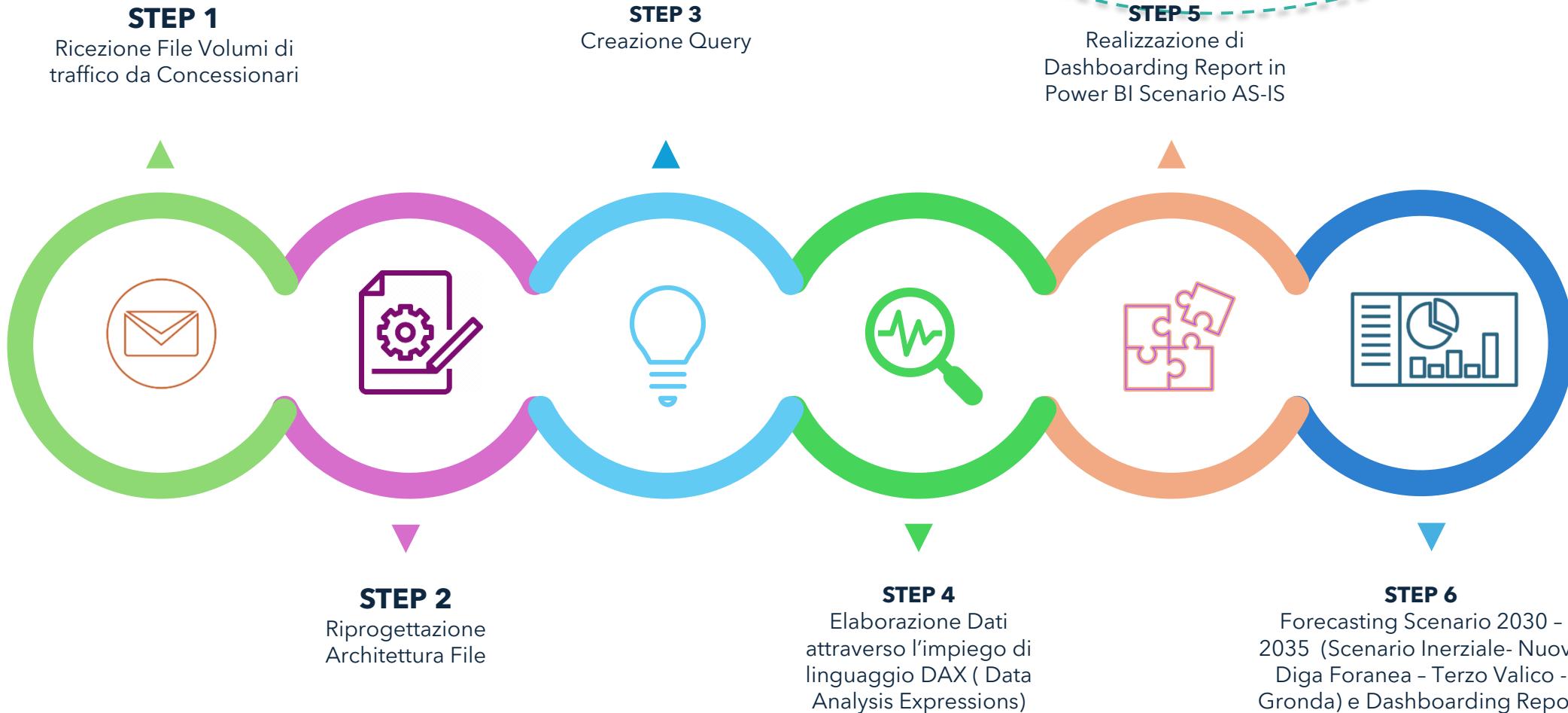
# Case Study 2

## Task

- Analisi dello **stato dell'arte della rete** viaria ligure.
- Implementazione analisi di scenario relative al traffico sulle tratte autostradali A7/A15 nel tratto ligure e confronto con i **parametri prestazionali** per i diversi **livelli di servizio** forniti dall' **Highway Capacity Manual 2000**.
- Identificazione best practices e attività di benchmark a livello nazionale ed europeo
- Short list di interventi proposti (**Soft** & **Hard**) per la riduzione delle criticità anche attraverso in depth interview di esperti del settore.

# Case Study 2

## Step



# Case Study 2: Metodologia

## Data Gathering da Concessionari

### ASPI

- 1 Raccolta Dati e Definizione delle Categorie Veicolari
- 2 Calcolo del Coefficiente di Distribuzione Oraria
- 3 Applicazione della Distribuzione Oraria dei Flussi di Traffico ai Volumi di Traffico Giornaliero

### SALT

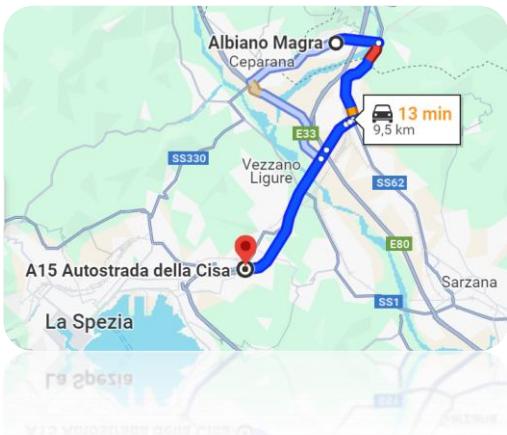
- 1 Raccolta Dati e Re-Design dell'Architettura del Database per Veicoli Leggeri e Pesanti
- 2 Raccolta Dati e Re-Design dell'Architettura del Database per Direzione (Nord-Sud)

# Case Study 2: Metodologia

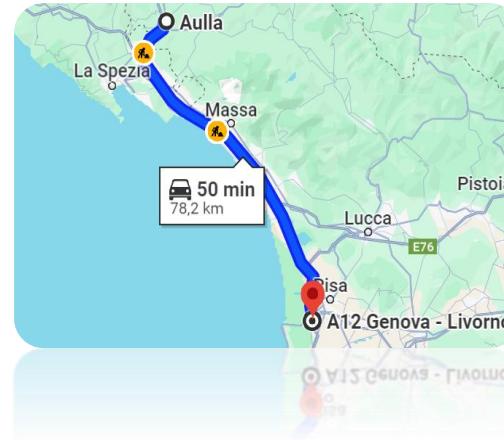
## Tratte Elementari A15 nel Tratto Ligure

Società Autostradale Ligure Toscana (SALT), ente responsabile della gestione in regime di concessione di tre tratte autostradali principali in Italia. Queste tratte includono l'A12 che collega Livorno a Sestri Levante, l'A11 che collega Viareggio a Lucca, e l'A15 che va da Fornola a Parma Ovest. Il percorso attraversa le regioni della Liguria, della Toscana e dell'Emilia-Romagna e si divide in due tronchi principali: il Ligure Toscano e l'Autocisa.

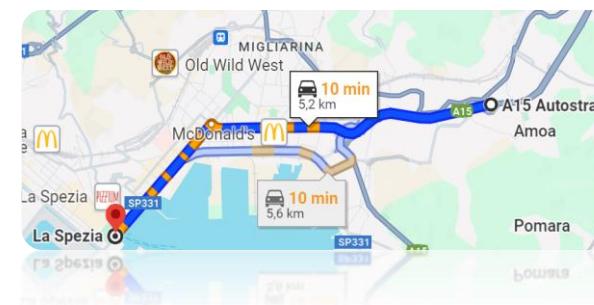
A) Aulla - Santo Stefano di Magra



B) Aulla - Interc. A12 SALT



C) I/C Autocisa - La Spezia



D) La Spezia - Sarzana



# Case Study 2: Metodologia

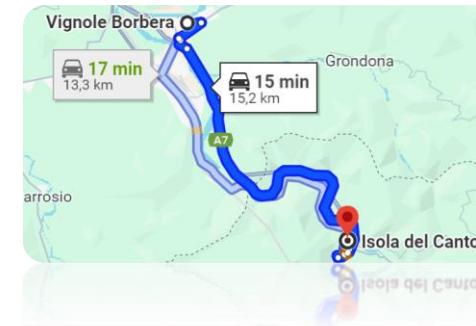
## Tratte Elementari A7 nel Tratto Ligure

Autostrade per l'Italia si posiziona ai primi posti in Europa tra i concessionari con circa 3.000 km di rete gestita in Italia. Alcune delle tratte più importanti gestite da Autostrade per l'Italia includono: Autostrada del Sole (A1) - da Milano a Napoli, passando per Bologna e Firenze; Autostrada Adriatica (A14) - da Bologna a Taranto, costeggiando l'Adriatico e passando per città come Rimini, Ancona e Pescara; Autostrada dei Fiori (A10) - da Genova a Ventimiglia, lungo la costa ligure.

A) Serravalle S. - Vignole



B) Vignole - Isola del Cantone



C) Isola del Cantone - Ronco



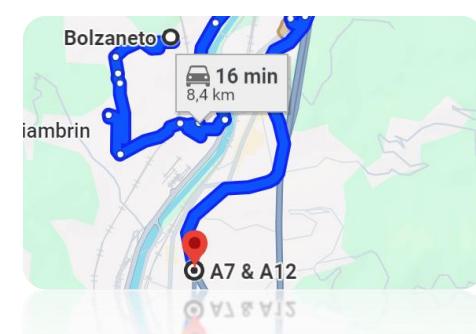
D) Ronco - Busalla



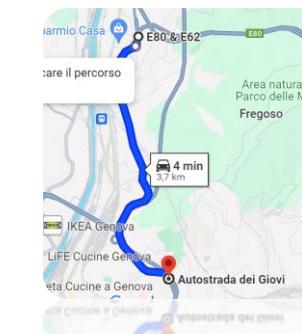
E) Busalla - Bolzaneto



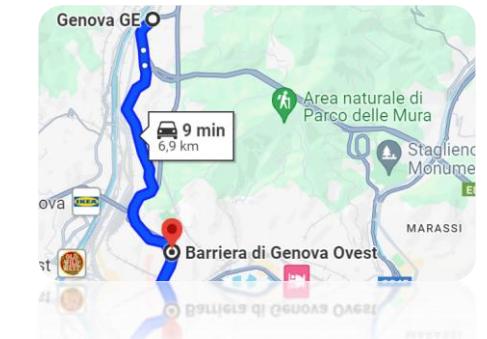
F) Bolzaneto - All. A7/A12



G) All. A7/A12 - All. A7/A10



H) All. A7/A10 - Genova Ovest



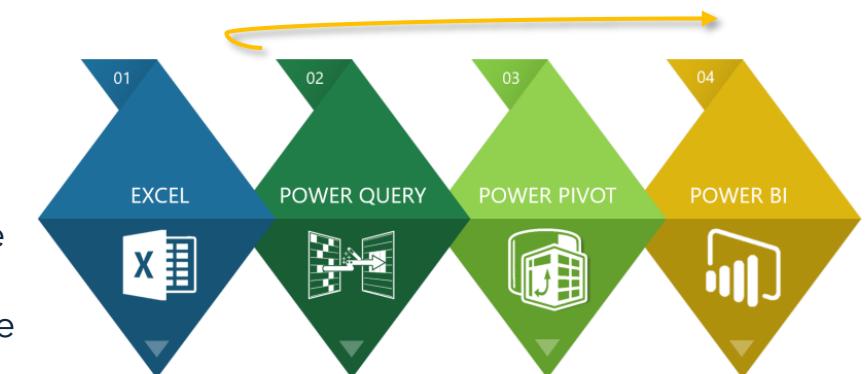
# Case Study 2: Metodologia

## Realizzazione di Dashboarding Report in Power BI

Dopo aver completato le analisi tramite **Power Query**, il dataset è stato caricato in **Power BI** per generare un report interattivo e dinamico mediante dashboard iterativa. **Power BI** è stato selezionato come strumento di reporting per la sua capacità di integrare e visualizzare dati da diverse fonti in un formato visivamente accattivante e facilmente interpretabile.

Il processo di trasferimento dei dati da **Power Query** a **Power BI** ha garantito la continuità e l'integrità delle informazioni, consentendo un'analisi più approfondita e una presentazione più efficace dei risultati ottenuti. Inoltre, l'utilizzo di **Power BI** ha consentito di sfruttare al meglio le funzionalità di visualizzazione e interattività offerte dalla **piattaforma**, permettendo agli utenti di esplorare e analizzare i dati in modo più dettagliato e personalizzato.

Attraverso la creazione di **dashboard** iterativa in **Power BI**, è stato possibile disporre di uno strumento in grado di presentare in modo chiaro e intuitivo le principali conclusioni e tendenze emerse dall'analisi dei dati sul **traffico autostradale**. Le visualizzazioni dinamiche e interattive incluse nel report hanno lo scopo di facilitare la comprensione e l'interpretazione dei dati da parte degli utenti in modo semplice ed intuitivo, fornendo gli strumenti necessari per prendere decisioni informate e guidate dai dati.



# Case Study 2: Metodologia

## Indicatori

- 1 Livello di servizio per tratta elementare.
- 2 Andamento medio volumi di traffico leggero e pesante per fascia oraria.
- 3 Andamento medio volumi di traffico leggero e pesante per fascia oraria e giornaliera.
- 4 Livello di servizio «vissuto» dal traffico leggero e pesante.
- 5 Variazione assoluta e percentuale dei volumi di traffico per il triennio 2021 - 2023.
- 6 % di saturazione giornaliera per tratta elementare a seconda dei diversi livelli di servizio (A, B e C) e direzione (Nord e Sud).
- 7 % di saturazione giornaliera per tratta elementare in base a fascia oraria diurna (07:00 - 19:00) a seconda dei diversi livelli di servizio (A, B e C) e direzione (Nord e Sud).

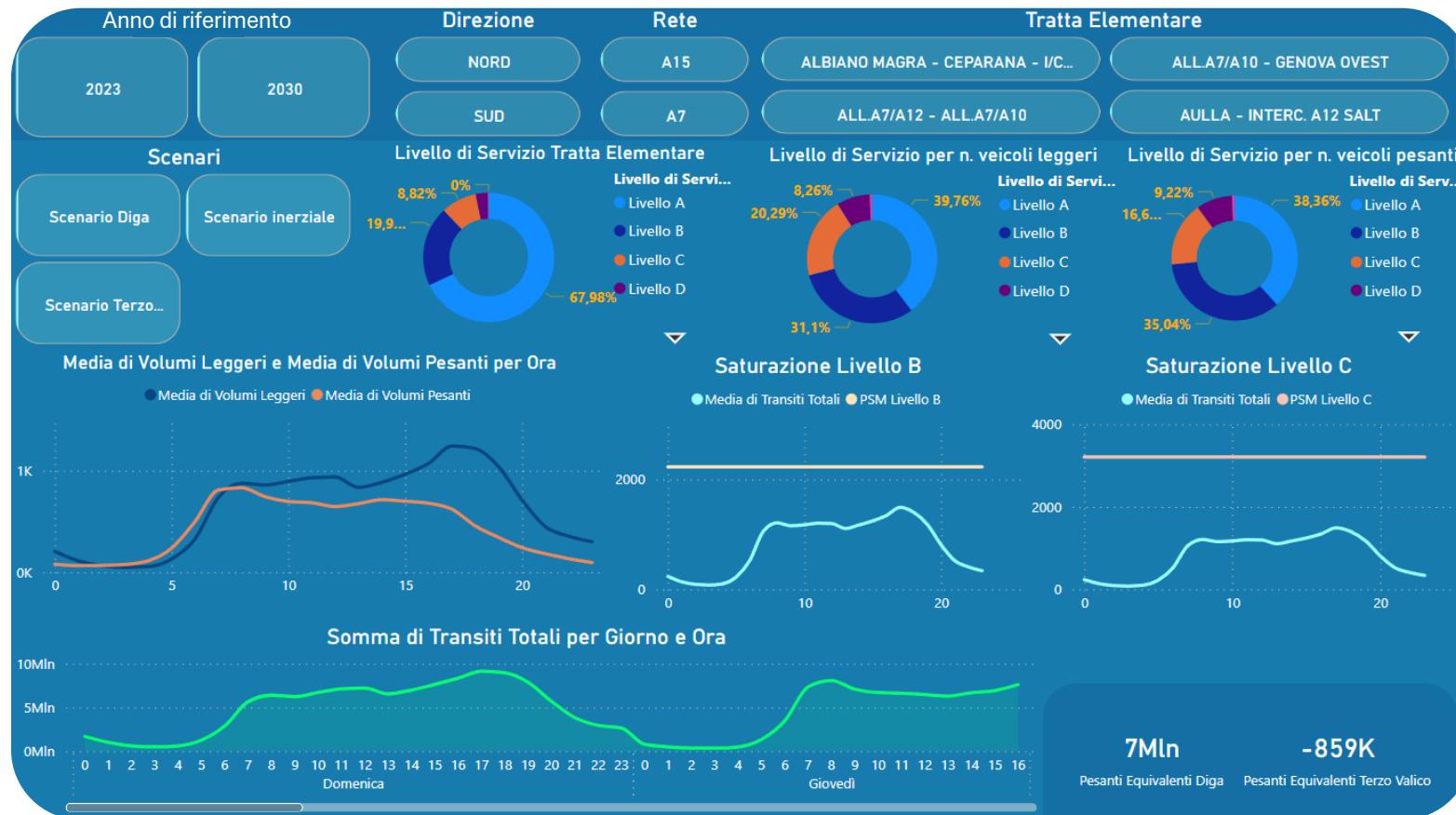
## Case Study 2: Results

## Overview dei Flussi Veicolari nel Triennio 2021 – 2023



# Case Study 2: Results

## Overview dei Flussi Veicolari nel Triennio 2021 – 2023



# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

