



# Strategie di ricerca e innovazione per lo sviluppo dell'infrastruttura AV/CV Napoli-Bari



Unione europea  
Fondo sociale europeo



UniorPress



## **STRATEGIE DI RICERCA E INNOVAZIONE PER LO SVILUPPO DELL'INFRASTRUTTURA AV/AC NAPOLI-BARI**



UniorPress  
Napoli 2021

**UniorPress**

Via Nuova Marina 59, 80133 Napoli



This work is licensed under a Creative Commons  
Attribution 4.0 International License

Questo volume è disponibile in accesso aperto al sito:  
<http://www.fedoabooks.unina.it/index.php/fedoapress>

ISBN 978-88-6719-237-3

# Indice

<b>Presentazione – Linea NA-BA: certificazione di qualità e sostenibilità</b> .....	3
---	---

<b>Il Progetto</b> .....	5
--------------------------	---

## **Alta velocità e condizioni competitive delle imprese della Regione Campania: prospettive ed ipotesi**

<i>Irene Bertucci, Massimiliano Cerciello, Annamaria Sabetta, Francesco Calza, Angela Mariani, Ilaria Tutore, Alessandra Storlazzi, Paola Giordano</i> .....	9
1. L'impatto della linea alta velocità: ipotesi ed esperienze critiche .....	9
2. L'impatto della linea alta velocità: la crescita economica.....	17
3. L'impatto della linea alta velocità: settori di attività e specializzazioni delle imprese presenti nella regione e nei SLL.....	20
4. L'impatto della linea alta velocità: dinamiche strategiche e distributive delle imprese appartenenti ai settori prevalenti nel SLL.....	36
5. Analisi SWOT Dell'impatto Della Linea AV/AC Napoli-Bari (Wip).....	32
Riferimenti bibliografici e sitografici.....	34

## **Analisi socio-economica e delle ricadute attese della linea AV/AC Napoli-Bari**

<i>Giuseppe Marotta, Annamaria Nifo, Marcello Stanco, Roberta Arbolino, Tiffany Louise Lantz</i> .....	38
1. Introduzione.....	38
2. L'analisi socio-economico del territorio.....	39
3. Gli indicatori socio-economici per l'analisi delle ricadute .....	40
4. Lo stato di salute dei sistemi locali del lavoro .....	53
5. Lo scenario di progetto: valutazione dell'impatto sul territorio .....	60
6. Accessibilità e dinamiche territoriali.....	62
7. Conclusioni.....	66
Riferimenti bibliografici e sitografici.....	68

## **Metodi di stima e di valutazione di impatti trasportistici**

<i>Stefano de Luca, Armando Carteni, Vittorio Marzano</i> .....	70
1. Introduzione alla pianificazione dei trasporti .....	70
2. Definizione di sistema di trasporto .....	74
3. Modellazione di un sistema di trasporto.....	75
4. Individuazione di un sistema di trasporto.....	76
5. Specificazione e implementazione del modello di offerta .....	79
6. Stima della domanda di mobilità .....	89
7. Stima delle prestazioni di un sistema di trasporto: gli indicatori di prestazione.....	102
8. Metodi per lo svolgimento del dibattito pubblico per opere condivise alla scala regionale.....	106
Riferimenti bibliografici.....	118

## **Tecnologie e applicazioni per ITS**

<i>Francesco Antonio Bruno, Andrea Cusano, Antonello Cutolo, Pasquale Daponte, Antonio Iele, Francesco Lamonaca, Sabatino Villan, Eugenio Zimeo</i> .....	120
1. Introduzione.....	120
2. Sicurezza .....	124
3. Sostenibilità .....	152
4. Trasporto Merci .....	154
5. Risultati attesi di FTTS .....	158
6. Protocollo ENVISION .....	159
7. Conclusioni.....	167
Riferimenti bibliografici e sitografici.....	168

<b>Conclusioni .....</b>	<b>172</b>
--------------------------	------------

## **Presentazione**

### **Linea NA–BA: certificazione di qualità e sostenibilità**

Il Tavolo CUR Napoli-Bari ha fornito alla Regione Campania conoscenze e competenze di carattere tecnico scientifico al fine di accompagnare lo sviluppo dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari, integrarla nelle reti regionali (mobilità, logistica, sensoristica, elettrica e digitale) e creare sinergie con altri strumenti di intervento per la crescita economica e sociale del territorio regionale.

Al fine di supportare la Pubblica Amministrazione della Regione Campania nell'accompagnare lo sviluppo dell'infrastruttura, è stata condotta un'analisi approfondita del territorio, degli stakeholder coinvolti nonché degli strumenti per definire un efficiente piano dei trasporti integrato e di valorizzazione territoriale.

La definizione degli impatti potenziali derivanti dalla realizzazione dell'infrastruttura, ha interessato l'analisi delle esperienze internazionali di infrastrutture di alta velocità già realizzate, così da fornire indicazioni sui vantaggi che potrebbero derivare in Campania, dalla realizzazione del collegamento con la Puglia. I casi analizzati evidenziano come i sistemi di alta velocità abbiano favorito la crescita della popolazione, dell'occupazione e delle attività economiche soprattutto nelle vicinanze dei punti di accesso alla rete, consentendo anche un rafforzamento del turismo, con conseguenti ricadute sull'economia reale.

Per valutare gli effetti derivanti dal potenziamento dell'accessibilità ferroviaria del sistema campano-pugliese, il tavolo di lavoro, ha realizzato una specifica analisi delle dinamiche demografiche e socioeconomiche delle aree attraversate dalla nuova infrastruttura AV/AC Napoli-Bari.

La ferrovia Napoli-Bari si configura, così come una grande infrastruttura ferroviaria italiana che è stata sottoposta ad una procedura di certificazione di qualità. Il dossier è stato curato da Rfi (Rete Ferroviaria Italiana) del gruppo Ferrovie dello Stato e dalla Regione Campania con il supporto scientifico delle sette Università della Campania attraverso il Tavolo Cur.

La certificazione ha valutato l'impatto dell'infrastruttura sul territorio interessato in termini di apporto allo sviluppo e all'occupazione.

La Regione ha lavorato molto sulla concertazione sociale e istituzionale creando le condizioni di condivisione dell'opera. Sono stati interessati numerosi Comuni della Campania accogliendo l'approvazione al Progetto delle relative Province. Questo dimostra che una grande infrastruttura si può e si deve realizzare con il consenso e che la discussione con i territori non rallenta, ma velocizza l'attuazione dell'opera.

La Napoli-Bari ha ottenuto la certificazione di qualità perché è stata concepita come un'opera che connette e non attraversa i territori, è stata ideata non solo come un'infrastruttura di trasporto, ma come un'infrastruttura multifunzionale di sviluppo, che si integra con la rete elettrica e quella digitale e prevede lungo il tracciato la connessione con le aree industriali e produttive, generando iniziative logistiche nelle aree interne del Sannio e dell'Irpinia che la Regione ha già individuato come aree Zes.

Il lavoro delle Università certifica che la Napoli-Bari, agganciando le aree interne ai grandi corridoi dei trasporti e accorciando notevolmente le distanze tra le grandi aree metropolitane del Sud e riducendo i tempi di percorrenza con Napoli e Roma, avrà l'effetto di frenare il decremento demografico e invertire la tendenza allo spopolamento attraverso una rivitalizzazione e un incremento demografico nei Comuni interessati alla ferrovia.

La certificazione premia la scelta di concepire una ferrovia rispettosa dell'impatto con il territorio e l'ambiente. La tratta certificata attraversa Parchi naturali e zone agricole di vigneti pregiati della Valle Telesina e le soluzioni progettuali adottate, in accordo con i Comuni e gli Organi preposti alla tutela ambientale e paesaggistica, hanno tenuto conto del rispetto del pregio e del valore delle aree interessate. Anzi la ferrovia può portare un valore aggiunto a questi territori, in termini economici e ambientali, attraverso lo spostamento su ferro del trasporto delle merci dalla strada.

I risultati delle attività svolte rappresentano una base di conoscenza che l'amministrazione potrà utilizzare per la programmazione regionale, nell'ottica di supportare le linee generali di sviluppo della Regione.

## Il Progetto

Il progetto si colloca nell'ambito dell'accordo fra Regione Campania e Comitato Universitario Regionale per la collaborazione su attività di interesse comune. Il presente progetto ha come obiettivo generale quello di fornire alla Regione Campania conoscenze e competenze di carattere tecnico-scientifico che supportino l'azione amministrativa nei processi volti ad accompagnare lo sviluppo dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari, integrarla nelle reti regionali (mobilità, logistica, sensoristica, elettrica e digitale) e creare sinergie con altri strumenti di intervento per la crescita economica, sociale, sostenibile del territorio regionale. Inoltre, il progetto mira a supportare l'azione amministrativa della regione Campania nelle procedure di valutazione di sostenibilità degli interventi proposti da Rete Ferroviaria Italiana (RFI) sul corridoio multifunzionale Napoli-Bari, per realizzare una compiuta integrazione dell'itinerario ferroviario con il territorio e con le altre reti di trasporto, energetiche e telematiche e per valutare l'efficacia degli interventi di mitigazione e di valorizzazione territoriale. Ciò al fine di potenziare la capacità amministrativa dell'Ente regionale con riguardo all'implementazione di procedure innovative di certificazione di sostenibilità.

La necessità di avere un progetto dedicato all'itinerario Napoli-Bari discende dalla peculiarità dell'infrastruttura e dalle connesse esigenze di accompagnare lo sviluppo dell'infrastruttura stessa da parte della Regione Campania, che richiedono un'indagine specifica e separata. Il tutto, al fine di esplorare in modo puntuale le caratteristiche e gli interventi da realizzare per integrare l'infrastruttura nelle reti regionali e creare sinergie con altri strumenti di intervento.

Il progetto prevede la realizzazione di studi, analisi di *best practices*, supporto tecnico a tavoli istituzionali e si concretizzerà nell'emanazione di documenti a sostegno delle Pubbliche Amministrazioni campane impegnate nell'accompagnamento dell'infrastruttura.

Il progetto si articola in *work package* (WP), nelle quali si inquadrano le attività per il raggiungimento degli obiettivi del progetto:

1. Impatto sulle potenzialità di sviluppo del business delle imprese del territorio.

Nel presente WP saranno valutati gli effetti positivi dello sviluppo dell'infrastruttura, analizzando la filiera delle principali imprese localizzate nel territorio e tracciando i network relazionali ad essi collegati per fornire evidenze sui potenziali benefici connessi ad un aumento

dell'apertura. L'attività mira ad analizzare la struttura industriale ed economica dei contesti, con particolare riguardo alle imprese che non operano nel settore vitivinicolo, identificando i principali cluster produttivi in esso presenti con particolare attenzione alle imprese di grandi dimensioni. L'obiettivo finale è la mappatura delle relazioni di filiera (clienti-fornitori) delle imprese appartenenti ai diversi cluster e l'identificazione di network relazionali tra imprese a livello inter/intra regionale ed internazionale. L'analisi è sviluppata prendendo anche in considerazione gli effetti economico-finanziari che la nuova infrastruttura determina sulle principali imprese localizzate nel territorio. Le relazioni di filiera (clienti-fornitori) delle imprese appartenenti ai diversi cluster e l'identificazione di network relazionali tra imprese a livello inter/intra regionale ed internazionale non sono neutrali rispetto alla definizione di nuovi assetti patrimoniali economici e finanziari.

2. Analisi delle ricadute demografiche e socio-economiche attese dall'investimento.

Il WP formula un'analisi del profilo socio-economico, investigando le ricadute demografiche e socio-economiche attese dall'investimento. In particolare, lo studio ha come obiettivo l'analisi delle dinamiche socio-economiche e demografiche del territorio attraversato dal corridoio multifunzionale della tratta Napoli-Bari, al fine di cogliere gli effetti che la nuova opera determinerà sui territori interessati.

3. Trasferimento di metodi di stima e di valutazione degli impatti trasportistici.

L'obiettivo del WP è la definizione di una metodologia per la definizione degli impatti trasportistici potenziali riconducibili alla realizzazione di un'infrastruttura ferroviaria, nonché la definizione degli indicatori in grado di misurarne gli effetti. Le attività si articolano nella formulazione di: i) analisi desk dei principali impatti inducibili dalla realizzazione di una nuova linea ferroviaria e degli indicatori in grado di misurarne gli effetti; ii) tecniche e metodi di progettazione di indagini per la stima della mobilità merci e passeggeri alla scala regionale; iii) metodi per la stima degli impatti interni ed esterni alla scala regionale; iv) metodi e modelli per la simulazione del sistema di trasporto merci e passeggeri alla scala regionale; v) metodi per lo svolgimento del dibattito pubblico per opere condivise alla scala regionale; vi) quadro normativo sulla valutazione degli investimenti nel settore dei trasporti (es. analisi costi-benefici).

4. Guida all'applicazione dei metodi di stima e produzione di indicatori alla scala regionale.

L'obiettivo è di verificare con le strutture regionali, sulla base di un'applicazione ad un caso reale i metodi di stima. Le attività forniranno un supporto metodologico con riferimento alle attività «operative» che la Regione intenderà intraprendere nell'ambito della pianificazione anche di altri interventi sul sistema di trasporto. Nello specifico il WP fornirà un supporto metodologico alla: i) individuazione dell'area di studio (bacino di influenza dell'infrastruttura); ii) progettazione delle indagini per la stima dei potenziali impatti sulla domanda di mobilità merci; iii) progettazione delle indagini per la stima dei potenziali impatti sulla domanda di mobilità passeggeri; iv) specificazione dei requisiti modellistici minimi per la simulazione del sistema di trasporto (merci e pax); v) implementazione sistema modelli a un caso studio reale (parte della tratta Na-Ba).

5. Guida alla valutazione degli impatti ed alla pianificazione dei trasporti a scala regionale.

Con riferimento agli impatti regionali della linea Napoli-Bari, saranno validati i metodi di valutazione degli effetti su: i) mobilità passeggeri intra-regionale; ii) mobilità merci nazionale e intra-regionale.

Il WP fornirà supporto metodologico per le seguenti attività: i) acquisizione dati da fonti ufficiali o acquisibili nell'ambito del progetto stesso, inclusa la sistematizzazione ed analisi delle fonti; ii) definizione di una metodologia per lo Stakeholder Engagement (dibattito pubblico) coerente con quanto previsto dall'art. 22 del Nuovo Codice degli Appalti; iii) definizione di scenari economici/sociali/trasportistici (nazionali e regionali); iv) analisi delle potenzialità della Napoli-Bari nell'ambito della mobilità passeggeri regionale; v) analisi delle potenzialità della Napoli-Bari nell'ambito della mobilità merci regionale e nazionale.

6. Reti Ferroviarie Intelligenti.

Il WP è finalizzato a supportare gli uffici regionali competenti nella individuazione e nella classificazione di tecnologie abilitanti ed applicazioni ICT che possono essere, in generale, dispiegate ed integrate nelle reti regionali di trasporto ed, in particolare, nello sviluppo della linea AV/AC Napoli Bari per supportarne, in accordo con le politiche e le definizioni di indirizzo dell'Unione Europea, l'evoluzione in ITS (Intelligent Transport Systems), ovvero sistemi nei quali le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, sono applicate alle infra-

strutture, ai veicoli, agli utenti sia per la crescita dei livelli di qualità dei servizi tradizionali che per lo sviluppo di servizi innovativi. Le tecnologie di riferimento saranno quelle che la Regione Campania ha indicato ed indicherà come tecnologie abilitanti per lo sviluppo di Industria 4.0 - I4.0 (e, da tale punto di vista si opererà in raccordo con il Gruppo di Lavoro sul progetto I4.0 già attivato nell'ambito dello stesso accordo Regione-CUR in cui ricade il presente progetto). Fra tali tecnologie, particolare centralità sarà data a quelle della sensoristica elettronica ed optoelettronica, dell'IoT, delle tecnologie mobili ed indossabili, del cloud e edge computing. Le applicazioni di riferimento saranno quelle relative alla sicurezza (come protezione totale di tutto il sistema in tutte le sue componenti fisse e mobili ed in tutti suoi attori e fruitori), alla sostenibilità (dal dimensionamento al monitoraggio e controllo degli impatti sull'ambiente e sul sistema socio-economico locale coinvolto, sui relativi servizi informativi), alla valorizzazione delle realtà culturali, ambientali e produttive presenti lungo la tratta. In particolare, ricadono in tali applicazioni quelle specificamente progettate e finalizzate agli obiettivi di "smart train, smart station, smart railway", e le piattaforme informatiche specificamente dedicate alla integrazione ed alla gestione di reti di sensori e dati in sistemi e sottosistemi di trasporto.

I risultati di tali attività rappresenteranno una base di conoscenza che l'amministrazione potrà utilizzare per la Programmazione Regionale, nell'ottica di supportare in modo integrato le linee generali di sviluppo: i) incremento dell'opportunità di crescita e sviluppo delle imprese presenti sul territorio interessato dall'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari; ii) aumento della capacità di accesso ai mercati mediante sviluppo o ammodernamento di infrastrutture per la mobilità delle merci e persone; iii) incremento della capacità di accesso a nuovi settori di attività; iv) incremento della capacità di creare e rafforzare nuove iniziative imprenditoriali.

I risultati del progetto supporteranno l'amministrazione regionale e tutte le amministrazioni coinvolte ed in particolare il Tavolo Tecnico Regionale Napoli-Bari-Lecce-Taranto, la Direzione Trasporti, la Direzione Attività Produttive.

# **Alta velocità e condizioni competitive delle imprese della Regione Campania: prospettive ed ipotesi**

Irene Bertucci, Massimiliano Cerciello, Annamaria Sabetta, Francesco Calza, Angela Mariani, Ilaria Tutore, Alessandra Storlazzi, Paola Giordano

## *Abstract*

Confrontando la letteratura economica e osservando note esperienze europee e asiatiche il contributo rileva che è difficile riuscire a identificare empiricamente la misura degli effetti prodotti sull'economia di un territorio da una nuova infrastruttura di trasporto come l'Alta velocità. Per compiere progressi potrebbe essere utile chiarire quale modello di sviluppo deve essere utilizzato e qual è il tipo di sviluppo obiettivo delle politiche pubbliche. Al fine di fornire indicazioni sui potenziali vantaggi che verranno generati in Campania grazie al collegamento diretto e veloce con l'economia pugliese, si considera la composizione settoriale della Regione e delle aree della Campania che saranno direttamente interessate dal passaggio della linea ad alta velocità Napoli-Bari e si analizzano le dinamiche strategiche e distributive delle imprese appartenenti ai settori prevalenti nel SLL.

## **1. L'impatto della linea alta velocità: ipotesi ed esperienze critiche**

La letteratura soprattutto internazionale ha analizzato diversi sistemi ferroviari realizzati in Europa e nel mondo e di cui sono stati individuati gli impatti più significativi soprattutto sul sistema competitivo. La ferrovia veloce, infatti, cambia il modo di spostarsi delle persone in ogni Paese in cui è introdotta, così come influenza la localizzazione delle attività economiche e la crescita urbana delle aree lungo i corridoi che si creano con i collegamenti ferroviari veloci. Tuttavia, affermare che tali effetti siano esclusivamente il risultato della presenza dell'alta velocità è una conclusione non del tutto corretta e, alcune esperienze europee ed internazionali, confermano che l'introduzione di nuove infrastrutture di trasporto è un elemento necessario per lo sviluppo, ma non è detto che costituisca sempre un fattore chiave per la crescita urbana [32]. L'analisi di alcuni casi di alta velocità in Europa e in Giappone ad esempio può contribuire a spiegare le dinamiche che potranno caratterizzare lo sviluppo competitivo dei comuni della Regione Campania interessati dalla linea alta velocità Napoli – Bari.

Considerando il benchmark internazionale la Francia ha svolto un ruolo chiave nello sviluppo dell'alta velocità dopo che il suo governo ha deciso di costruire una nuova e più diretta rotta sul suo principale corridoio di trasporto nord-sud, ovvero il collegamento Parigi e Lione che serve il 40% della

popolazione francese <sup>[39]</sup>. La prima sezione di questa linea passeggeri ad alta velocità lunga 430 km (ligne à grande vitesse) fu aperta nel 1981 e divenne pienamente operativa nel 1983. L'estensione verso il Mar Mediterraneo (le città di Valenza e Marsiglia) è stata completata nel 2001. Altre rotte strategiche dell'alta velocità da Parigi sono state realizzate successivamente: verso ovest nel 1989-90, con l'intenzione di migliorare i servizi verso la Bretagna e il sud-ovest della Francia, rispettivamente attraverso le città di Le Mans e Tours. Lo sviluppo dell'alta velocità è proseguito poi verso nord nel 1992-94 e verso est nel 2007.

A loro volta, Germania e Spagna hanno lanciato i propri progetti di alta velocità. La Germania ha adottato un approccio a doppia politica, con la costruzione dell'alta velocità e l'ammmodernamento della sua ferrovia esistente per consentire la circolazione dei treni ad alta velocità. Dopo l'apertura di nuove sezioni nel 1991, in particolare tra Hannover e Würzburg, sono stati introdotti i primi treni InterCity Express (ICE). Lo sviluppo successivo è avvenuto nel 1998 con la linea Hannover-Berlino, nel 2002 con la prima linea di 300 km/h tra Colonia e Francoforte e, nel 2004, con l'alta velocità tra Amburgo e Berlino.

La Spagna ha elaborato un piano ferroviario nuovo e completo alla fine degli anni '80 e sviluppato ulteriori piani nel 1993 e nel 1997. La prima linea alta velocità lunga 471 km - tra Madrid e Siviglia - fu aperta nel 1992, riducendo il tempo di percorrenza tra le due città, di due terzi. Una nuova linea alta velocità tra la capitale e Barcellona è stata aperta progressivamente tra il 2003 e il 2008, e un'altra da Madrid a Valladolid è stata completata nel 2007. A partire dal 2013, la Spagna è la rete ad alta velocità più lunga d'Europa e la seconda al mondo (dopo quella cinese).

Attualmente, i servizi alta velocità sono offerti in molti altri Stati membri dell'UE, con diverse velocità operative massime: Portogallo, Belgio, Paesi Bassi, Svezia, Finlandia, Polonia e Austria. Il Regno Unito ha aperto nel 2003 il servizio di alta velocità appositamente costruito per la prima sezione del Tunnel del Canale, ora chiamato High Speed 1. In Danimarca, la prima linea di alta velocità tra la capitale Copenhagen e Ringsted è stata completata solo nel 2018 e inaugurata nel 2019.

Secondo l'Unione Internazionale delle Ferrovie, l'organizzazione che raggruppa tutti gli operatori ferroviari a livello globale, l'Italia si colloca in sesta posizione per numero di chilometri alta velocità, dietro Cina, Giappone, Spagna, Francia e Germania. A livello globale, sono stati costruiti oltre 46 mila chilometri di linee alta velocità e altri 12 mila sono in costruzione.

L'Italia vede 896 chilometri di alta velocità completata, mentre sono in costruzione altri 53 chilometri. Vi è da dire che anche grazie alle Olimpiadi

di Milano Cortina 2026, si dovrebbe completare tutta la linea Brescia – Padova ad alta velocità, un’infrastruttura di 147 km entro il 2025. E da un punto di vista di gestione operativa, il nostro Paese è stato un buon esempio proprio nel settore dell’alta velocità: dal 2012 siamo l’unico Paese dove esiste la concorrenza tra due operatori, esempio seguito in maniera simile dalla Corea del Sud a fine del 2016 e, dalla fine del 2020, questa apertura del mercato sarà imposta a livello europeo grazie all’implementazione del quarto pacchetto ferroviario<sup>1</sup>. Grazie a detta concorrenza, abbiamo due operatori: Fs e Italo, che hanno consentito un abbassamento dei prezzi del 40% e il mercato è più che raddoppiato dal 2011 a oggi.

L’Europa rimane quindi un grande protagonista nella costruzione delle linee: in particolare, come già evidenziato, Spagna e Francia hanno sviluppato due network molto grandi con quasi 3.000 chilometri. E il Paese iberico ha in costruzione altri 900 chilometri di linee alta velocità. In questi due Paesi la velocità massima, per alcune tratte, raggiunge i 320 chilometri all’ora, contro i 300 chilometri all’ora della linea italiana. Discorso un po’ diverso per la Germania, che ha visto uno sviluppo più lento nel corso del tempo, ma che comunque presenta un numero di chilometri quasi doppi rispetto al nostro Paese (1.571). Anche in Germania sono in costruzione altri 147 chilometri di linea.

I costi di investimento dell’alta velocità in Europa sono variati ampiamente nel tempo e in base alla posizione geografica. Secondo un esperto <sup>[14]</sup> che ha raccolto dati su 45 progetti di questa tipologia di infrastruttura, i costi per chilometro, esclusi i costi di progettazione e dei terreni, variano da 6 a 45 milioni di euro, con un costo medio di 17,5 milioni di euro. Anche un rapporto di Forum Internazionale dei Trasporti e OCSE giunge a conclusioni simili, con costi leggermente diversi. I costi più elevati sono stati riscontrati in Germania, Italia e Belgio, i più bassi in Spagna e Francia. Inoltre, questi costi mostrano una tendenza crescente: ad esempio, la linea Parigi-Lione del 1981 ha richiesto un investimento di € 4,7 milioni per chilometro mentre i costi per chilometro del TGV Méditerranée aperto nel 2001 sono stati di 12,9 milioni di euro. Un rapporto del 2014 della Corte dei Conti francese ha confermato questa tendenza. Secondo gli esperti <sup>[15]</sup>, il tasso di ritorno sugli in-

---

<sup>1</sup> È utile ricordare come la liberalizzazione delle ferrovie europee è partita in prima battuta con le regole comuni per i trasporti merci. Il Primo Pacchetto (2001) ha stabilito il diritto di accesso all’infrastruttura dei paesi Ue per i servizi internazionali merci di tipo combinato. Il Secondo Pacchetto (2004) oltre a istituire l’Agenzia Ferroviaria Europea ha previsto il diritto di accesso sull’intera rete ferroviaria comunitaria per tutte le tipologie di trasporti merci internazionali. Mentre il Terzo Pacchetto (2007) ha riguardato i passeggeri, il cerchio si è chiuso con il Quarto che arriva alla completa liberalizzazione e ridefinisce ruolo e compiti dell’Agenzia Ferroviaria Europea.

vestimenti in alta velocità, a seconda della domanda di servizi varia notevolmente nel tempo e a seconda del luogo. In Francia, TGV Atlantique mostra un rendimento del 7% ma il TGV Nord registra solo il 2,9%. Il loro tasso sociale di rendimento<sup>2</sup> è più elevato, al 12% e al 5% rispettivamente. Gli specialisti tendono a considerare improbabile che i futuri progetti dell'alta velocità offrano gli stessi profitti di quelli forniti dai primi investimenti.

Il trasporto merci con l'alta velocità resta, invece, un "punto debole" a livello europeo. La Corte dei Conti Europea in un suo Audit del 2016<sup>3</sup> riporta come "nel complesso, la performance del trasporto merci su rotaia nell'UE resta insoddisfacente e, dal 2000, è stato registrato un ulteriore incremento del trasporto merci su strada. Nonostante gli obiettivi strategici dell'UE, stabiliti dalla Commissione, puntino a trasferire il trasporto delle merci dalla rete stradale alla rete ferroviaria e sebbene siano disponibili fondi UE per le infrastrutture ferroviarie, la performance del trasporto merci su rotaia nell'UE è insoddisfacente in termini di volume trasportato e di quota modale. In media, la quota modale di trasporto merci su rotaia, a livello dell'UE, ha di fatto subito una leggera flessione dal 2011". E ancora, lo stesso documento afferma come "nel corso degli ultimi 15 anni, il trasporto merci su rotaia non è riuscito a rispondere in modo efficace alla competitività del trasporto su strada nell'UE. Tuttavia, alcuni Stati membri (come l'Austria, la Germania e la Svezia) sono riusciti a conseguire risultati migliori in termini di quota modale e di volumi trasportati su ferrovia".

Nuovi progetti, però, stanno emergendo in questo settore. Creata nel 2006, EURO-CAREX<sup>4</sup> è un'associazione internazionale che riunisce partner pubblici e privati: locali e regionali, autorità, operatori di infrastrutture aeroportuali e ferroviarie e, soprattutto, operatori del trasporto aereo di merci. L'obiettivo è quello di spostare il trasporto aereo di merci verso l'alta velocità ferroviaria. Il progetto ha il sostegno di diversi corrieri e di quattro aeroporti che potrebbero essere serviti in una prima fase (2015-17): Roissy Charles de Gaulle, Lione Saint Exupéry, Liegi e Amsterdam Schiphol. Successivamente, il sistema collegherà anche l'area di Londra e la Germania (2018-19). Per fornire il servizio, saranno messi in servizio circa 20-25 treni e ciascuno sarà in grado di trasportare circa 100 tonnellate di merci che, altrimenti, richiederebbero 6-7 camion o

---

<sup>2</sup> Il tasso di rendimento sociale è un metodo utilizzato per calcolare il valore non finanziario (ambientale o di beneficio sociale non presi in considerazione dal calcolo finanziario convenzionale) di un investimento.

<sup>3</sup> Su questo tema cfr. Corte dei Conti Europea (2016) Il trasporto delle merci su rotaia nell'UE non è ancora sul giusto binario – Relazione Speciale n. 08 [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR16\\_08/SR\\_RAIL\\_FREIGHT\\_IT.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR16_08/SR_RAIL_FREIGHT_IT.pdf)

<sup>4</sup> <https://www.eurocarex.com/>

3 cargo Airbus A310s. A tal fine, sarà necessario costruire nuovi terminal ferroviari dedicati e produrre materiale rotabile specifico in grado di trasportare pallet e container aerei con tempi di carico / scarico brevi garantiti. Nella futura estensione della rete EURO-CAREX, sono previste anche l'Italia e la Spagna. Proprio nel 2018 si è tenuto un incontro di coordinamento tra EURO-CAREX e la allora neonata Mercitalia Fast<sup>5</sup>.

La linea Madrid-Siviglia può fornire un ulteriore spunto di riflessione. Infatti, per la diversificata tipologia di servizi offerti, ha generato rilevanti effetti sull'organizzazione del territorio. La linea, lunga 471 km, offre al di là del collegamento diretto tra le due stazioni terminali, anche un collegamento con fermata a Cordoba ed uno che effettua fermate a Ciudad Real, Puertollano e Cordoba. Accanto a questi tre servizi che interessano l'intero tratto ferroviario, ne esiste un quarto, denominato Lanzadera AVE, che collega Madrid con Puertollano con fermata intermedia a Ciudad Real. L'attivazione del servizio delle Lanzaderas ha consentito di estendere i benefici di un'infrastruttura dell'alta velocità, realizzata per garantire una riduzione dei tempi di viaggio sulle lunghe distanze, ad una scala geografica minore comportando interessanti ripercussioni sulle dinamiche territoriali in atto.

L'opportunità offerta dal nuovo collegamento ferroviario, di spostarsi da Ciudad Real e Puertollano verso la capitale e viceversa in tempi notevolmente ridotti rispetto al passato, ha generato effetti sul territorio sia in termini di incidenza sulla mobilità con conseguente comparsa di un nuovo bacino di utenti pendolari sia in termini di ridefinizione della "gerarchia" tra le città servite dal collegamento e di avvio di un processo di integrazione territoriale che interessa un'area di 200 kmq<sup>19</sup>. Ciudad Real e Puertollano si comportano come un unico nucleo urbano in cui Ciudad Real, come città terziaria, sta acquisendo una maggiore centralità, mentre Puertollano, città industriale, tende ad occupare una posizione periferica. Tale integrazione funzionale e la stabilità della relazione sono confermate dai risultati di varie indagini: l'incremento dei flussi pendolari giornalieri tra i due nuclei sia sulla rete ferroviaria dell'Alta Velocità sia sul trasporto su gomma; l'elevata percentuale di residenti a Ciudad

---

<sup>5</sup> Mercitalia Fast è il primo servizio al mondo di trasporto merci ad alta velocità. È stato attivato il 7 novembre 2018 sulla tratta Bologna Interporto – Maddaloni-Marcianise (CE) e circola 48 settimane all'anno per 5 giorni a settimana, con una performance di 5 ore da ricezione a consegna merce. Secondo RFI, "Mercitalia Fast offre un servizio su misura per chi deve consegnare merce in modo rapido, affidabile e puntuale, caratteristiche sempre più richieste con il boom dell'e-commerce. Ha alleggerito la principale arteria autostradale italiana (Autostrada A1) di circa 9mila camion all'anno, riducendo dell'80% le emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera rispetto al trasporto stradale e registrando una puntualità del 96% (il restante 4% dei treni è arrivato entro 30 minuti)".

Real (40%) e a Puertollano (30%) che pur non essendo abbonati effettuano due o più viaggi alla settimana tra le due città [25]. Un ulteriore fattore dell'integrazione con l'area metropolitana della capitale è rappresentato dalla promozione di alcuni progetti, connessi con il servizio dell'Alta Velocità, da realizzare in prossimità delle due città con lo scopo di rispondere al meglio alle esigenze crescenti di Madrid. Tra questi, sono state avviate la costruzione dell'aeroporto privato Don Quijote ubicato tra Ciudad Real e Puertollano lungo la linea dell'Alta Velocità ed a soli 45 minuti da Madrid e da Cordoba, e la realizzazione di un grande complesso turistico Reijno de Quijote provvisto di casinò, campo di golf, spazi naturali e circa 3.000 abitazioni, ubicato nelle vicinanze di Ciudad Real, che per la loro posizione strategica rispetto alla linea dell'Alta Velocità consentono di attirare un maggiore bacino di utenti non solo provenienti dalla capitale ma dal resto del mondo.

In Spagna, il potenziamento delle funzioni ha generato ripercussioni più rilevanti nei centri di Ciudad Real e Puertollano piuttosto che nella capitale. Infatti, nei nuclei urbani minori che in genere presentano una situazione di partenza più svantaggiata, l'attivazione di una linea ad Alta Velocità agisce come catalizzatore per la comparsa di nuove funzioni rispetto alle grandi città nelle quali, per la presenza di numerose relazioni con altri territori e di un'offerta di servizi e di opportunità lavorative più diversificata, il servizio più che generare nuove attività tende ad incrementare il volume di quelle esistenti.

Nel continente asiatico, la Cina è stata la grande protagonista nell'ultimo decennio con la costruzione di oltre 31 mila chilometri di linee alta velocità dal 2008, anno dell'inaugurazione della prima linea Pechino – Tiajin, ad oggi. In poco più di dieci anni, il colosso asiatico ha costruito più del doppio delle linee a/v esistenti nel resto del mondo. La Cina è diventata leader tecnologica e per il 2020 è previsto che si abbiano treni in funzione con velocità di 400 chilometri all'ora. Ad oggi la velocità massima è di 350 chilometri all'ora tra Pechino e Shanghai, tanto che gli oltre 1300 chilometri (ben oltre un Milano – Londra) di linea sono percorsi in poco più di 4 ore e mezza. Un'ulteriore novità riguarda i treni autonomi: anche in questo caso la Cina prevede di averne uno già l'anno prossimo.

Ma la prima linea di alta velocità è quella giapponese dello Shinkansen del 1964. La rete si è poi sviluppata fino a raggiungere oggi una lunghezza di oltre duemila chilometri e collega sedici tra le principali città giapponesi. La rete Shinkansen è stata progettata per integrarsi con i diversi modi di trasporto esistenti, in particolare con le altre linee ferroviarie e con il trasporto aereo, e per ridurre i tempi di viaggio necessari per spostarsi tra le varie città. Durante i quarant'anni di esercizio, il servizio ad alta velocità ha avuto

forti ripercussioni sulla struttura urbana giapponese e sulla distribuzione delle attività economiche.

Interessanti sono stati, soprattutto, gli effetti che la rete Shinkansen ha prodotto sulla crescita della popolazione nelle città con una stazione ferroviaria dell'alta velocità, e sui tassi di sviluppo di alcuni tra i principali settori economici. In merito alla crescita della popolazione nelle città dotate di una stazione ferroviaria dell'alta velocità, alcuni autori [28] hanno condotto un'analisi su 33 città con stazioni dell'Alta Velocità allo scopo di spiegare il rapporto tra l'evoluzione demografica e le attività collegate alla rete Shinkansen. Essi sono giunti alla conclusione che la maggiore crescita urbana localizzata intorno alle stazioni è correlata alla presenza di una serie di attività di servizio (quali le attività di supporto alle imprese, i servizi bancari, le attività immobiliari); alla possibilità di accedere all'istruzione superiore (in particolare, all'università) ed all'accessibilità ad una superstrada. Hanno, invece, individuato come condizioni che possono limitare la crescita nelle aree intorno alle stazioni la presenza di una gran quantità di attività manifatturiere e l'esistenza di un numero elevato di persone con età superiore ai 65 anni.

Per quanto riguarda, invece, il secondo aspetto (la crescita di alcuni settori economici laddove si trovano stazioni dell'alta velocità), nel periodo tra il 1972 ed il 1985, nelle città giapponesi in cui è presente una stazione ferroviaria della linea Tokaido Shinkansen, il numero delle aziende è aumentato da 100 a 155, mentre nelle altre città l'incremento del numero delle aziende è stato da 100 a 139 [7]. Inoltre, nei settori del commercio all'ingrosso, del commercio al dettaglio, industriale e delle costruzioni i tassi di crescita medi dell'occupazione sono stati dal 16% al 34% superiori nelle città con una stazione della rete Shinkansen rispetto alle città che ne sono sprovviste [19]. La presenza di un servizio ferroviario veloce ha determinato, quindi, un effetto economico positivo che risulta essere ancor più evidente se si considera che gli indicatori di occupazione citati avevano registrato, nei dieci anni precedenti alla messa in servizio della rete, tassi di crescita inferiori alle medie nazionali.

Invece, lungo la linea Sanyo Shinkansen è stata osservata una forte crescita soprattutto nel settore della ricezione turistica [7]. Per esempio, nella città di Hakata, capolinea della tratta ferroviaria, il numero degli alberghi è raddoppiato (da 20 a 40) ed il numero delle camere è aumentato da 2.060 a 5.320, nel periodo tra il 1972 ed il 1974. Analogamente dal 1975, anno in cui la Sanyo Shinkansen è stata completata, si è rilevato un incremento considerevole del numero di turisti: la città di Okayama ha avuto 236.000 visitatori, con un incremento del 39%; la città di Fukuoka, che condivide la stazione dell'Alta Velocità con la città di Hakata, ha avuto 7,5 milioni di visitatori con

un incremento del 93,5%; la città di Hiroshima ha avuto 7,2 milioni di visitatori con un incremento del 52,3%. Lungo le linee Joetsu e Todoku Shinkansen, nelle aree in cui si è verificata una crescita della popolazione tra il 1981 e 1985 sono state analizzate le relazioni tra la situazione economica e l'andamento demografico, e sono stati rilevati tre principali effetti [28]. Il primo, è l'aumento significativo del reddito pro-capite rispetto alla media nazionale nelle aree con una stazione della rete ad Alta Velocità (2,6%), oppure con una superstrada (6,4%), oppure con entrambe (9,5%). Il secondo effetto si riferisce al numero di addetti nel settore del commercio al dettaglio, che è aumentato rispetto alla media nazionale dello 0,4% in presenza della sola stazione ferroviaria, dell'1,2% in presenza della sola superstrada e del 2,8% in presenza di entrambe. Il terzo effetto, infine, è rappresentato dalla maggiore crescita (67%) del valore del suolo nelle aree commerciali servite dalla rete Shinkansen rispetto alla crescita (42%) di tale valore nelle aree commerciali servite esclusivamente da una superstrada.

Questi dati evidenziano come il servizio ferroviario giapponese dell'Alta velocità abbia favorito la crescita della popolazione, dell'occupazione e delle attività economiche soprattutto nelle vicinanze dei punti di accesso alla rete Shinkansen, dove la crescita è stata più forte quando oltre alla stazione ferroviaria dell'Alta Velocità è presente anche una superstrada.

In effetti, è piuttosto difficile isolare gli effetti dello Shinkansen dalle altre strategie di sviluppo regionale adottate dal governo giapponese (come, ad esempio, la costruzione di una moderna rete autostradale che è quasi andata di pari passo con la realizzazione della rete nazionale di Shinkansen) e imputare direttamente al treno ad Alta Velocità giapponese il merito delle trasformazioni economiche [23]. In generale, l'apertura di una sezione dello Shinkansen ha permesso alle aziende locali di avere accesso diretto ai mercati delle maggiori aree metropolitane, favorendo la centralizzazione delle attività economiche nelle grandi città e i viaggi d'affari [2]. Tutto questo è vero per quanto riguarda il settore terziario dell'economia, in particolare il turismo, per quanto riguarda invece i settori primario e secondario, essi non vengono direttamente influenzati dallo Shinkansen, anche se alcuni studi basati su dati empirici hanno notato come nel caso delle industrie manifatturiere l'alta velocità giapponese abbia in qualche modo favorito una decentralizzazione di tali attività verso aree distanti e di importanza secondaria lungo tutto l'arcipelago giapponese [22].

Per quanto riguarda il turismo, invece, lo Shinkansen ha intensificato sì il numero di hotel e quello dei pernottamenti, ma lo ha fatto soprattutto nelle città capolinea e non nelle stazioni intermedie, vista la maggiore possibilità di

intraprendere gite in giornata, individuando come punto di partenza il centro urbano maggiore, che solitamente coincide appunto con la stazione capolinea [7]. Uno degli esempi più recenti del processo di coordinamento tra linea Shinkansen, trasporti locali e centri di promozione turistica è rappresentato dalle diverse iniziative prese da JR West (società ferroviaria giapponese) a supporto dell'apertura dell'ultima sezione della Hokuriku Shinkansen nel 2015. L'espansione di questa linea rientra nel più ampio piano di rivitalizzazione della regione dell'Hokuriku e per questo motivo JR West ha collaborato a stretto contatto con le comunità locali, promuovendo biglietti e pass speciali per integrare il trasferimento dalla linea Shinkansen a quelle tradizionali dirette nei luoghi turistici delle varie aree interessate (parchi naturali, terme, località d'importanza storica, ecc.), creando inoltre spot tv e siti internet ad hoc (come quello "MY FAVORITE HOKURIKU") e avviando addirittura una collaborazione con il famoso parco di divertimenti degli Universal Studios Japan di Ōsaka (sfruttando in particolare l'attrazione a tema "Harry Potter"). I frutti di queste iniziative si sono già fatti vedere: dal 2015 il numero dei passeggeri è cresciuto del 195% con un incremento del 15% anche sulla tratta già operativa tra Takasaki e Nagano<sup>6</sup> e le attività turistiche nelle prefetture di Toyama, Ishikawa e Fukui sono aumentate rispettivamente del 15,6%, 15,8% e 12,3%; inoltre il numero di turisti stranieri è salito del 41,9% solamente tra il 2015 e il 2016 e gli alberghi nella città di Kanazawa hanno ormai raggiunto la loro capacità massima, costringendo alla costruzione di nuove strutture [24]. In ogni caso, il potenziale della rete Shinkansen viene sfruttato al meglio con la realizzazione di piani di sviluppo che presentano una prospettiva a lungo termine e che prevedono la collaborazione reciproca tra gli operatori ferroviari e le municipalità locali, così da migliorare: (i) l'integrazione tra la ferrovia veloce e gli altri mezzi di trasporto; (ii) il coordinamento tra lo sviluppo ferroviario e quello urbano; (iii) la formulazione di piani per lo sviluppo regionale e la promozione turistica e non turistica del territorio [45].

## 2. L'impatto della linea alta velocità: la crescita economica

In Europa vengono discussi gli effetti generali dell'alta velocità sulla crescita economica. L'aumentata accessibilità delle città servite dall'Alta velocità potrebbe allargare i mercati e rafforzare la produttività delle imprese situate in una regione recentemente connessa. Questo, a sua volta, potrebbe aumentare la specializzazione economica delle regioni interessate nonché l'economia complessiva. Alcuni studi indicano che lo stimolo economico previsto e portato dallo svilup-

---

<sup>6</sup> Changed Passenger Numbers in other Shinkansen-Served Regions, in "Expected Effects of Shinkansen Service", [http://hokkaido-shinkansen-navi.jp/foreign/en\\_effect.html](http://hokkaido-shinkansen-navi.jp/foreign/en_effect.html).

po dell'alta velocità non dovrebbe essere sovrastimato e rientrerebbe nella misura dell'1-3% del PIL [15]. Per UNIFE, la European Rail Industry Association, i risparmi sui costi derivanti dal trasferimento modale nei confronti dell'alta velocità devono anche essere presi in considerazione in termini di guadagni di tempo, di energia e di altre esternalità. Secondo uno studio ADIF<sup>7</sup> citato da UNIFE, la nuova linea alta velocità tra Madrid e Barcellona genera circa 325 milioni di euro di risparmi pubblici all'anno, rispetto alla situazione precedente.

Sono stati condotti studi per valutare il potenziale impatto che gli investimenti in alta velocità potrebbero avere nel ridurre gli squilibri di sviluppo tra aree centrali e periferiche di grandi città, promuovendo investimenti e occupazione regionale / urbana. Studi relativi all'influenza delle linee ad alta velocità Parigi-Lione e sud-est in Francia mostrano che la risposta a queste domande è complessa: alcuni attori economici hanno visto una crescita della domanda (ad esempio, le società di consulenza e gli esercizi alberghieri al di fuori della regione di Lione) e le medie imprese di Lione, in particolare, hanno colto l'opportunità di entrare nel mercato di Parigi [6]. Studi successivi riguardanti la Francia hanno dimostrato che la presenza dell'alta velocità era solo uno dei fattori nel determinare la localizzazione delle imprese e il suo impatto era limitato in termini di creazione di posti di lavoro e persino di trasferimento di attività economiche [15]. Altri contributi incentrati sulla zona di Ashford nel Regno Unito e sul distretto Euralille di recente creazione in Francia suggeriscono che la presenza di nuove linee e stazioni dell'alta velocità non sono sufficienti a garantire il successo della riqualificazione del territorio. Per ottenere questo effetto, l'alta velocità deve essere integrata con misure di sostegno da parte delle Autorità Pubbliche e dalla presenza di efficaci reti di trasporto interno, compresi i collegamenti dei mezzi che fungono da "feeder" per le stazioni di alta velocità.

Alcuni autori sostengono che la presenza dell'alta velocità potrebbe persino aumentare il divario tra centri urbani e le loro periferie. Secondo alcuni studi [10], l'alta velocità può mettere in evidenza i vantaggi competitivi delle grandi città in termini di sviluppo economico e servizi e, quindi, contribuire a rafforzare la frammentazione e la concentrazione urbana dei territori. E inoltre, che il collegamento di luoghi a una rete di alta velocità può anche influenzare i loro mercati immobiliari e dare origine ad operazioni speculative<sup>8</sup>. Inol-

---

<sup>7</sup> [https://www.vialibre-ffe.com/PDF/mas\\_fc\\_menos\\_co2\\_unife.pdf](https://www.vialibre-ffe.com/PDF/mas_fc_menos_co2_unife.pdf).

<sup>8</sup> In base ai dati di RFI, in Italia, "la realizzazione di una stazione dell'alta velocità ha rappresentato un'occasione di sviluppo e di valorizzazione delle aree circostanti che ha portato, in alcuni casi, a un aumento dei valori immobiliari del settore terziario (uffici e attività commerciali). È il caso di Milano dove, secondo i dati di Nomisma, gli uffici intorno alle stazioni di Rogoredo e Porta Garibaldi hanno registrato in dieci anni un aumento dei canoni medi, rispettivamente del 10,1% e del 9,6%, a fronte di un calo medio complessivo del 20,5% nel Capoluogo lombardo. A Roma, nello stesso perio-

tre, le regioni non servite dall'alta velocità possono essere influenzate dall'invecchiamento delle loro linee convenzionali – spesso meno redditizie – e da ritardi nella loro manutenzione e ristrutturazione. Infine, le città attraversate dall'alta velocità, ma non servite da essa, possono vedere rafforzate le disuguaglianze socio-economiche. In presenza di un collegamento ad alta velocità, la posizione geografica perde la sua importanza in favore dell'avvicinamento temporale apportato dalla ferrovia veloce [16]. In altre parole, se la cittadina B, geograficamente vicina alla metropoli A, non presenta alcun collegamento AV che la metta in comunicazione diretta con A, si ritroverà in una posizione svantaggiata rispetto alla città C, spazialmente molto più lontana ma che può raggiungere facilmente A grazie alla sua connessione al network dell'AV.

Si osserva che raramente si verificano processi di sviluppo economico in mancanza di strategie volte all'integrazione del sistema ad alta velocità con l'esistente network dei trasporti [48] e in generale gli effetti positivi si manifestano soprattutto nelle aree collegate al network dell'alta velocità, mentre quelle tagliate fuori tendono a subire gli impatti negativi, dato che l'infrastruttura dell'alta velocità “connects only important cities, but not the space in between them” [13].

Confrontando la letteratura economica e osservando le esperienze europee e asiatiche, la difficoltà maggiore sembra essere quella di riuscire a identificare empiricamente la misura nella quale una nuova infrastruttura di trasporto come l'Alta velocità influenzi un determinato territorio con la sua economia e non viceversa. All'infuori degli effetti immediati sul settore delle costruzioni<sup>9</sup>, infatti, gli studi citati indicano tanto l'esistenza che l'assenza di effetti, sia che si tratti di effetti a breve termine sulla produttività locale e sulla geografia dei consumi (attraverso il turismo o l'estensione dei periodi di permanenza) che a lungo termine con lo spostamento di imprese e famiglie.

Questi risultati mostrano, infatti, una grande variabilità man mano che gli effetti diventano subordinati a una serie di altri fattori come la dimensione della città, dei servizi, della struttura dell'industria locale e della distanza dal centro urbano. La principale difficoltà che emerge è riuscire a discernere fino a che punto l'infrastruttura può influenzare le variazioni osservate sul campo e non il contrario.

---

do, i canoni medi dei negozi sono complessivamente scesi del 24,1%, mentre il calo registrato nelle aree intorno alla stazione Tiburtina è stato dell'ordine del 2%”. (FS Italiane: Dieci Anni di Alta Velocità, *Cambiato il Paese e la Vita delle Persone* – Nota Stampa 3.6.2019).

<sup>9</sup>Il Cresme, infatti, segnala una crescita dei valori dei lavori pubblici messi a bando nel 2018 di quasi l'80 per cento rispetto all'anno precedente, principalmente dovuta ai lavori connessi con l'ammodernamento della linea ferroviaria Napoli-Bari.

A tale riguardo, le autorità pubbliche dovrebbero assicurare la continuità del processo di valutazione, oltre a condurre analisi basate su solide metodologie empiriche e su dati locali dettagliati. A tal fine, le valutazioni dovrebbero essere realizzate non solo ex ante, ma durante le varie fasi della vita del progetto, il che richiede sforzi costanti per la raccolta e il consolidamento dei dati.

Anche per l'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari è fondamentale identificare gli obiettivi di sviluppo del territorio che attraversa e promuovere un continuo monitoraggio degli effetti dell'alta velocità con particolare riguardo alle imprese alle quali, periodicamente, andrebbero somministrati appositi questionari.

Per compiere progressi su questo tema, potrebbe essere utile chiarire quale modello di sviluppo deve essere utilizzato e che tipo di sviluppo è l'obiettivo delle politiche pubbliche. Identificare i potenziali effetti ha senso solo se possiamo chiaramente presentare il tipo di sviluppo desiderato e i meccanismi attraverso cui queste dinamiche dovrebbero essere generate.

Come già evidenziato, il potenziale della rete Shinkansen in Giappone viene sfruttato al meglio con la realizzazione di piani di sviluppo che presentano una prospettiva a lungo termine e che prevedono la collaborazione reciproca tra gli operatori ferroviari e le municipalità locali.

Nel caso della Spagna, Ciudad Real si è distinta rispetto a Puertollano per le strategie che ha messo in atto, quali misure per favorire l'interoperabilità tra i diversi sistemi di trasporto oppure la promozione di attività turistiche o l'incremento dei servizi offerti, che unitamente ai benefici dell'alta velocità, le hanno consentito di acquisire una nuova centralità. Mentre, nelle città collegate alla rete Shinkansen si è verificato un aumento demografico più consistente ed un incremento della domanda nel mercato del lavoro maggiore rispetto a quanto è accaduto nelle aree sprovviste del collegamento. Dal punto di vista economico, si genera una riduzione dei costi di trasporto ed un migliore accesso ad un'elevata varietà di beni di mercato che favoriscono un miglioramento dell'efficienza economica dei territori e delle imprese <sup>[33]</sup>. Sotto l'aspetto urbanistico, sia l'esperienza spagnola che quella giapponese, dimostrano che l'alta velocità favorisce la modernizzazione della struttura delle città, agevolando la comparsa di nuovi poli di sviluppo che attraggono più investimenti in alcuni settori produttivi competitivi, ed influenzano la posizione gerarchica che ogni città riveste rispetto al territorio.

### **3. L'impatto della linea alta velocità: settori di attività e specializzazioni delle imprese presenti nella regione e nei SLL**

Al fine di fornire indicazioni sui potenziali vantaggi che verranno generati in Campania grazie al collegamento diretto e veloce con l'economia pugliese, è importante partire da una panoramica sulla composizione settoriale

della Regione con un focus particolare sulle aree che saranno direttamente interessate dal passaggio della linea ad alta velocità Napoli-Bari.

Per identificare le esternalità positive tra i settori, diversi studi empirici nel campo dell'economia industriale si sono avvalsi di alcuni indici sintetici [1][17]. Gli indici che godono di maggiore popolarità negli studi recenti sono tre: l'indice MAR (Marshall, Arrow, Romer), l'indice di Jacobs e l'indice di Porter [5][12]. L'indice MAR è definito come segue:

$$MAR_i = \max_j (s_{ij}/s_j)$$

dove  $i = 1, 2, \dots, n$  indica il settore e  $j = 1, 2, \dots, m$  indica l'area territoriale di riferimento.  $s_{ij}$  è la percentuale di occupati del settore  $i$  rispetto al totale degli occupati dell'area  $j$  e  $s_j$  rappresenta il rapporto tra il totale degli occupati dell'area  $j$  e gli occupati dell'intera regione considerata. L'idea alla base dell'indice MAR è che le esternalità positive nascono da un processo di diffusione della conoscenza che coinvolge le imprese dello stesso settore. In quest'ottica, la specializzazione settoriale locale rappresenta un motore di crescita per l'economia regionale [8]. L'indice di Jacobs invece è definito come segue:

$$J_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^m (s_{ij} - s_j)}$$

L'intuizione sottesa all'indice di Jacobs è che la varietà settoriale all'interno di un'area geografica rappresenta un terreno fertile per la nascita di tecnologie e idee che migliorano la produttività [3][11][21]. Infine, l'indice di Porter è definito come:

$$P_{ij} = \frac{f_{ij}/s_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f_{ij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij}}$$

dove  $f_{ij}$  rappresenta il numero di imprese attive nel settore  $i$ , all'interno dell'area  $j$ . Valori alti dell'indice di Porter rivelano la presenza di forti esternalità positive. Se l'indice MAR premia la concentrazione e l'indice di Jacobs premia la diversificazione, l'indice di Porter rappresenta una soluzione intermedia tra i due [18].

Per il calcolo degli indici, il dataset di riferimento è composto di osservazioni relative ai bilanci delle imprese campane nel 2018, ottenute dal database AIDA. La composizione settoriale viene definita in base ai codici ATECO

assegnati a ciascuna impresa. In totale, vengono coperti i sei Sistemi Locali del Lavoro (SSL) che verranno direttamente interessati dal passaggio della TAV Napoli-Bari. In particolare, si tratta degli SLL di Ariano Irpino, Benevento, Caserta, Montesarchio, Napoli e Telesse Terme.

### 3.1 L'economia della Campania

La Campania ha una popolazione di circa 5.800.000 abitanti, la maggiore densità di popolazione della Penisola (424 abitanti per km<sup>2</sup>) e l'età media più bassa del paese (41,83 anni). Inoltre, contribuisce più di tutte le altre regioni meridionali al PIL del Mezzogiorno (28,1%).

La grande crisi finanziaria del 2007-2008, tuttavia, ha colpito duramente la Campania producendo una perdita di quasi 15 punti percentuali di PIL tra il 2008 e il 2013. Ciononostante, la regione si mostra particolarmente dinamica, registrando un recupero di oltre il 4% del PIL tra il 2014 e il 2016 rispetto ai livelli pre-crisi. Negli ultimi anni il tasso di occupazione ha subito un forte rallentamento, attestandosi al 42,5%, valore inferiore alla media del meridione (45,3%) e alla media nazionale (61,2%). Il tasso di disoccupazione giovanile ha raggiunto il 54,7%, segnando una continua crescita. La dimensione media delle imprese campane è nettamente inferiore rispetto alla media italiana [4].

La Campania è inoltre un importatore netto: il saldo commerciale normalizzato si attestava nel 2017 intorno a -2,3 miliardi di euro. Tuttavia, la composizione delle esportazioni mostra una specializzazione regionale nel settore manifatturiero [4].

Nel 2018, la Campania ha registrato 488.798 imprese attive, che rappresentano il 28,7% del totale delle imprese attive nel Sud Italia [20]. Nel 2017, per la prima volta nella storia, più di due terzi del tessuto imprenditoriale campano era costituito da imprese del terziario. La Campania è in testa nel Mezzogiorno per numero di start-up: la regione ne conta 779 (2018), mentre Napoli da sola ospita il 3,5% del totale delle start-up in Italia [30].

#### Campania

Settore	Lavoratori	Fatturato	Imprese
Trasporto Terrestre	33.239	30.208	2.664
Ristorazione	31.418	79.118	7.424
Magazzino e Supporto ai Trasporti	26.175	11.300	1.916
Fabbricazione di Prodotti in Metallo	14.533	11.850	1.942
Fabbricazione di Articoli in Pelle	11.430	17.762	1.302

Fonte: nostra elaborazione su dati Aida (2018)

**Tabella 1** – I primi 5 settori dell'economia regionale per fatturato e numero di addetti.

Da ultimo, nel 2018 la Campania era una delle cinque regioni più visitate per itinerari culturali e naturalistici. Il saldo turistico supera, infatti, la media nazionale con un +6% di arrivi rispetto all'anno precedente.

Il settore terziario copre la fetta più cospicua dell'economia regionale. In particolare, i settori del trasporto terrestre (su ruota), della ristorazione e dei servizi di logistica, magazzinaggio e supporto ai trasporti rappresentano le principali aree di specializzazione locali. A livello regionale, comunque, il manifatturiero resta un settore di grande importanza, in particolare, per quanto riguarda la fabbricazione di prodotti in metallo e la fabbricazione di articoli in pelle.

I sistemi locali del lavoro (SLL) rappresentano una griglia territoriale i cui confini, indipendentemente dall'articolazione amministrativa del territorio, sono definiti utilizzando i flussi degli spostamenti giornalieri casa/lavoro (pendolarismo) rilevati in occasione dei censimenti generali della popolazione e delle abitazioni.

Poiché ogni sistema locale è il luogo in cui la popolazione risiede e lavora e dove quindi esercita la maggior parte delle relazioni sociali ed economiche, gli spostamenti casa/lavoro sono utilizzati come proxy delle relazioni esistenti sul territorio [20].



Fonte: Ministero delle Politiche Agricole e Forestali [27]

**Figura 1** – *Mappa dei Sistemi Locali del Lavoro (SLL) in Campania.*

La disponibilità di microdati, organizzati a livello di impresa, permette di portare avanti un'analisi territoriale dettagliata, che si articola aggregando le singole osservazioni sulle imprese in base al SSL a cui appartengono. Di conseguenza, è possibile tracciare una panoramica della composizione settoriale di ogni SLL (Tabella 2).

**SLL Ariano Irpino**

Settore	Lavoratori	Fatturato	Imprese	Concentrazione	MAR	Jacobs	Porter
Trasporto Terrestre	399	53.230	63	0,06	2,14	1,39	1,77
Industria	389	96.720	52	0,27	5,28	0,60	2,34

<b>Alimentare</b>							
Fabbricazione di Prodotti in Metallo	328	70.731	55	0,52	4,56	0,88	1,84
Ristorazione	277	10.767	69	0,07	2,12	1,02	1,02
Fabbricazione di Apparecchiature Elettriche	172	52.890	13	0,66	10,34	0,94	4,7

### SLL Benevento

Settore	Lavoratori	Fatturato	Imprese	Concentrazione	MAR	Jacobs	Porter
Trasporto Terrestre	807	62.172	109	0,04	2,14	0,11	1,01
Ristorazione	745	34.727	377	0,01	2,12	1,95	2,03
Fabbricazione di Prodotti in Metallo	743	120.717	105	0,23	4,56	0,68	1,94
Abbigliamento e Pelletteria	634	31.735	85	0,07	5,5	0,41	2,54
Industria Alimentare	573	128.939	109	0,44	5,28	0,74	2,27

### SLL Caserta

Settore	Lavoratori	Fatturato	Imprese	Concentrazione	MAR	Jacobs	Porter
Magazzino e Supporto ai Trasporti	3.263	338.634	204	0,24	2,19	0,62	0,78
Fabbricazione di Prodotti in Metallo	2.959	642.855	247	0,17	4,56	0,57	1,99
Trasporto Terrestre	2.743	348.546	312	0,04	2,14	0,06	1,03
Ristorazione	2.640	119.915	826	0,01	2,12	1,95	2,03
Fabbricazione di Computer	2.343	608.567	45	0,71	11,28	0,69	5,29

### SLL Montesarchio

Settore	Lavoratori	Fatturato	Imprese	Concentrazione	MAR	Jacobs	Porter
Ristorazione	476	19.172	163	0,04	2,12	1,96	2,04
Fabbricazione di Prodotti in Metallo	436	68.358	58	0,17	4,56	0,19	2,18
Fabbricazione di Altri Mezzi di Trasporto	433	44.637	2	0,99	5,42	0,75	2,34
Industria Alimentare	428	159.300	51	0,46	5,28	0,61	2,33

Fabbricazione di Prodotti in Metallo	380	32.087	18	0,25	3,26	0,41	1,43
--------------------------------------	-----	--------	----	------	------	------	------

### SLL Napoli

Settore	Lavoratori	Fatturato	Imprese	Concentrazione	MAR	Jacobs	Porter
Trasporto Terrestre	28.810	2.753.646	2.063	0,01	5,18	1,96	2,66
Ristorazione	27.046	1.561.168	5.884	0,00	9,22	2,18	2,03
Magazzino e Supporto ai Trasporti	22.121	2.343.308	1.614	0,01	4,31	1,95	2,12
Fabbricazione di Articoli in Pelle	10.439	1.224.768	1.185	0,01	6,19	3,41	2,96
Fabbricazione di Prodotti in Metallo	9.717	1.491.701	1.436	0,01	8,36	2,22	1,80

### SLL Telese Terme

Settore	Lavoratori	Fatturato	Imprese	Concentrazione	MAR	Jacobs	Porter
Fabbricazione di Prodotti in Metallo	350	30.208	41	0,19	4,56	0,29	2,14
Industria Alimentare	285	79.118	54	0,37	5,28	0,76	2,26
Ristorazione	234	11.300	105	0,06	2,12	1,79	1,96
Industria del Legno	161	11.850	8	0,81	17,24	1,02	8,11
Trasporto Terrestre	131	17.762	45	0,12	2,14	0,27	1,21

Fonte: nostra elaborazione su dati Aida (2018).

**Tabella 2** – Composizione settoriale di ciascun SLL.

È importante sottolineare che alcuni settori si presentano come più o meno dominanti in ognuna delle aree di interesse. Similmente a quanto osservato a livello regionale, infatti, emerge un ruolo significativo dei settori del trasporto terrestre, della ristorazione, dei servizi collegati ai trasporti e della fabbricazione di prodotti in metallo e in pelle in quasi tutti i SLL di interesse. Nondimeno, la realtà economica campana si presenta in un certo grado variegata, a causa della dotazione di risorse del territorio, della posizione strategica e delle ricchezze naturali. Per questo motivo, è possibile riscontrare alcune differenze significative nella composizione settoriale a livello locale. Il comparto agro-alimentare ad esempio si distingue per la sua importanza e

per l'impatto occupazionale nella maggior parte degli SLL analizzati: nell'area di Ariano Irpino infatti emerge come secondo settore a più alto impatto occupazionale, così come nell'area di Telese Terme. Tuttavia, resta relegato a un ruolo secondario nei SLL di Napoli e Caserta. I maggiori livelli di spillover si registrano nell'SLL di Napoli, a causa della forte concentrazione territoriale di imprese (sia all'interno dello stesso settore, che tra diversi settori) e di forza lavoro.

## **4. L'impatto della linea alta velocità: dinamiche strategiche e distributive delle imprese appartenenti ai settori prevalenti nel SLL**

### **4.1 Analisi dei Principali Settori Produttivi in Campania**

Sono presenti in Campania i seguenti distretti industriali <sup>[50]</sup>:

- Il distretto dell'agroalimentare, nell'area di Nocera Inferiore-Gragnano;
- Il distretto del conciario, concentrato tra Solofra e Grumo Nevano-Aversa;
- Il distretto del tessile di Sant'Agata dei Goti - Casapulla, San Giuseppe Vesuviano e San Marco dei Cavoti;
- Il distretto del comparto orafa di Napoli, Torre del Greco e Marcianise.

I distretti sono punto di riferimento dell'economia campana, coprendo in maniera integrata la produzione di abbigliamento, calzature, borse e gioielli, eccellenze agroalimentari e includendo realtà imprenditoriali e imprese commerciali e di servizi che svolgono attività strumentali alla specifica filiera.

Per definire il profilo dell'assetto produttivo campano non si può prescindere dalla conoscenza dei distretti industriali e dei sistemi locali del lavoro (SLL).

Nel 1997, la Regione Campania, utilizzando i dati relativi ai Sistemi Locali del Lavoro forniti dall'Istat e, quindi, considerando prioritari i flussi di lavoro giornalieri che intercorrono tra comuni contigui, ha ufficialmente riconosciuto sette distretti industriali, i quali interessano complessivamente 98 comuni, quasi il 18% del totale dei comuni della regione.

### **4.2 Il settore moda (Il comparto Tessile-abbigliamento)**

#### **San Giuseppe Vesuviano**

Il distretto tessile di **San Giuseppe Vesuviano** risulta il più grande distretto tessile del Mezzogiorno; si estende per 109 chilometri quadrati e in-

clude otto comuni della provincia di Napoli. Il distretto conta oltre 4500 aziende, con un totale di 11mila addetti [49].

La tradizione tessile in quest'area nasce negli anni '30; proprio in quegli anni ebbe la sua genesi l'attività commerciale basata sulla vendita ambulante e porta a porta di abbigliamento, prodotti tessili, biancheria per la casa e per la persona e di accessori per abbigliamento che venivano acquistati al Nord.

È solo negli anni '70 che si assiste alla creazione dei primi insediamenti. La nascita di numerose imprese di piccola e media dimensione sul territorio ha fatto sì che si plasmasse una vera e propria organizzazione produttiva in cui si attuano tutte le fasi del processo produttivo, con collegamenti organizzativi intersettoriali e infra-settoriali.

Si trovano lungo la filiera imprese: diffusore/convertitore/produttore di tessuto; di produzione di abbigliamento; di ingrosso abbigliamento e biancheria per la persona; *façonier*; sub-fornitrici; di commercio ambulante; diffusore e produttore di accessori; di servizi alle aziende come autotrasporti, pubblicità, packaging, spedizione etc.

### **Sant'Agata dei Goti-Casapulla**

In un'altra area della Campania, in una zona centrale che comprende la Provincia di Benevento e Caserta, sorge il distretto tessile di **Sant'Agata dei Goti-Casapulla**. In esso sono compresi 20 comuni, 6 della provincia di Benevento e 14 della provincia di Caserta. Il distretto è specializzato sia nel settore tessile-abbigliamento sia nel comparto del confezionamento di abbigliamento per conto di imprese terze o attraverso il sistema del *façon* (legato a importanti griffe della moda italiana) e, in misura più contenuta, nella fabbricazione di macchine tessili.

In tale contesto, va rimarcata una differenza tra le attività realizzate in provincia di Caserta e quelle condotte nel beneventano: nel primo caso, le attività di lavorazione sono concentrate sulla seta e sono di alta qualità: ciò permette la penetrazione nei mercati esteri. Nel beneventano, invece, la produzione trova maggiore spazio nel campo della produzione meccanica e metalmeccanica (macchine tessili).

Nonostante abbia avuto un maggior sviluppo negli anni recenti, il distretto ha origini molto antiche: comprende, infatti, anche il polo serico di San Leucio, luogo di aggregazione industriale sin dal Settecento dei Borboni, complesso famoso in tutto il mondo per la produzione di tessuti in seta di altissima qualità.

Oggi il distretto si configura in gran parte come contoterzista, con alcuni casi di produzione con marchio proprio.

### **San Marco dei Cavoti**

Il distretto di San Marco dei Cavoti si è sviluppato negli anni '70 nella provincia di Benevento. A favorirne l'espansione furono la grande quantità di manodopera disponibile e il basso livello salariale, nonché la trasformazione degli operai più esperti in artigiani. Si producono prevalentemente: capispalla (45% delle imprese), pantaloni (30%) e maglieria (14%) e circa il 19% delle imprese opera per una committenza locale (l'impresa in conto proprio e imprese terziste locali di maggiori "dimensioni").

Le aziende che operano a San Marco dei Cavoti e nell'area limitrofa sono caratterizzate da un'impreditoria di prima generazione. Solo un 5% delle aziende supera il centinaio di addetti, mentre la media è di 20-25 persone.

### **Il polo conciario di Solofra**

In Campania tradizionalmente ci si riferisce a due grandi distretti legati al comparto della pelletteria e delle calzature.

Uno è il polo conciario di Solofra (AV), l'altro quello situato tra Grumo Nevano ed Aversa (province di Napoli e Caserta). Il conciario nell'area di Solofra è caratterizzato da un forte radicamento territoriale: le attività del settore si svilupparono probabilmente già in epoca medioevale, grazie all'abbondanza di acqua, necessaria per i processi produttivi, alla presenza di boschi di castagno da cui si poteva estrarre il tannino e alla collocazione favorevole, da un punto di vista logistico, grazie alla vicinanza dei porti commerciali di Salerno e Napoli e della via Appia che permetteva il collegamento con il Nord Italia.

Il distretto subì un forte sviluppo nel secondo dopoguerra, grazie ai nuovi sbocchi internazionali e al progresso tecnologico. Si è assistito ad una crescita continua, praticamente ininterrotta, anche nel corso degli anni Ottanta e Novanta, quando la crisi dei mercati asiatici (mercati di sbocco delle produzioni di Solofra) costrinse molte aziende a ridimensionarsi.

Il momento di difficoltà fu superato nel giro di qualche anno, con un nuovo aumento dell'export internazionale, grazie ad una profonda riorganizzazione ed innovazione, produttiva e commerciale. Il polo conciario di Solofra si estende su un territorio di circa 115 chilometri quadrati; oltre al Comune da cui prende il nome il distretto, ne fanno parte Montoro Inferiore, Montoro Superiore e Serino. Nel 2018 le imprese del distretto sono 155, con un numero di addetti pari a 1.859 ed un valore della produzione che ammonta a 215,2 milioni di euro <sup>[43]</sup>.

### **Il distretto calzaturiero di Grumo Nevano**

Il distretto di Grumo Nevano-Aversa copre le province di Napoli e Caserta. Il distretto della calzatura si concentra maggiormente nella cosiddetta "cittadella aversana". Oggi si estende su una superficie territoriale di 158,24 chilometri quadrati.

La tradizione calzaturiera in quest'area si diffonde nella prima metà del '900, quando sorgono i primi calzaturifici, sul modello artigianale-manifatturiero.

Oggi la dimensione delle aziende è semi artigianale, le produzioni sono rivolte al segmento medio-alto del settore. La Campania rappresenta una delle nove regioni europee con il maggior numero di dipendenti nella produzione di calzature e prodotti in pelle. La regione, infatti, conta 390 calzaturifici e produttori di calzature a mano e su misura ed è la quarta su territorio nazionale per numero di aziende e la quinta per numero di addetti, pari a 6.461 nel 2017. Le aziende campane salgono a 1.543 se si considerano anche i produttori di parti di calzature <sup>[47]</sup>.

La destinazione principale dell'export è stata senza dubbio l'Unione Europea che si è aggiudicata ben 7 scarpe su 10 prodotte in Italia.

Le due filiere, calzaturiero e tessile-abbigliamento, hanno sviluppato percorsi e dinamiche diversi: il primo si caratterizza per la specializzazione nelle produzioni di qualità medio-alta, con creazione di marchi propri ed una identità di prodotto sul mercato. Le imprese della filiera tessile-abbigliamento invece sono maggiormente destinate ad attività di contoterzismo.

### **4.3 Le eccellenze dell'agroalimentare**

Uno dei pilastri dell'economia regionale campana è il sistema agroalimentare. La Campania vanta un ampio paniere di prodotti, circa 28 denominati DOC, DOCG e DOP, a cui vanno aggiunti oltre 300 prodotti tradizionali delle diverse realtà territoriali. Il numero di imprese che opera in tale comparto nel 2018 è pari a 7.130, la Campania è tra le regioni che hanno registrato il più alto tasso di crescita (+1,3%) <sup>[47]</sup>.

Rilevante è il dato che illustra che l'incremento medio annuo dell'industria alimentare è stato superiore, negli ultimi anni, a quello registrato dal settore manifatturiero. La maggiore concentrazione delle industrie alimentari si riscontra nella provincia di Napoli. La attività di trasformazione di frutta e ortaggi si svolgono principalmente nelle province di Avellino, Salerno e Napoli. È tipico, poi, il settore lattiero-caseario, le cui maggiori produzioni hanno sede nel casertano e nel salernitano.

#### 4.4 Le produzioni in metallo

Disseminate su tutto il territorio regionale sono le aziende specializzate nelle produzioni in metallo. Una vasta concentrazione si riscontra nel napoletano, dove tali attività sono fortemente legate al settore dell'*automotive* e dell'*aerospazio*, al quale sono indirizzate le produzioni, nonché strettamente interrelate con il comparto della metallurgia (in quanto settore fornitore) e con quello dei macchinari e delle costruzioni (settori utilizzatori).

Le aziende specializzate in questa branca dell'area napoletana coprono in totale 27 comuni. Si tratta di un'area molto estesa, a forte densità demografica e sede di aree ASI e di interporti.

Anche nella provincia di Caserta la fabbricazione di prodotti in Metallo si rivela l'attività più rappresentativa dell'economia locale: circa il 46% della popolazione è occupata in questo settore. A differenza della provincia di Napoli, le produzioni del casertano sono destinate principalmente all'edilizia, soprattutto porte e finestre e *strutture metalliche*.

La fabbricazione di prodotti in metallo caratterizza anche 29 comuni della provincia di Avellino, con una diffusione su tutto il territorio provinciale.

Gli addetti nel settore di specializzazione sono oltre 1.700 e rappresentano il 7% degli addetti a livello regionale. Il settore è legato all'edilizia e le attività consistono prevalentemente nella produzione di strutture metalliche e di porte e finestre come per la Provincia di Caserta [52].

Per quanto attiene alla Provincia di Benevento, la realizzazione di prodotti in metallo è di gran lunga la specializzazione più diffusa sul territorio e coinvolge un numero elevatissimo di addetti.

#### 4.5 Altre specializzazioni prevalenti (o potenziali)

Finora, abbiamo analizzato i settori produttivi che generano un valore considerevole per l'economia della Regione, facendo riferimento alle singole specializzazioni degli SLL. In questa sede, ci preoccupiamo di fare un accenno anche a:

- I settori che più propriamente attengono al terziario e che sono il *turismo* e i servizi di *alloggio e ristorazione*;
- I settori *science-based* che, pur non risultando tra le prime specializzazioni in termini di valore aggiunto, costituiscono delle eccellenze e danno vita a due cluster tecnologici regionali: il settore dell'*aerospazio* e quello *farmaceutico*.

Il settore del **turismo** è un settore di grande interesse per l'economia della Campania, sia in termini il valore aggiunto sia di diffusione imprenditoriale.

La Campania vanta uno dei più vasti patrimoni culturali al mondo: basti pensare che ben sei siti sono stati dichiarati patrimonio mondiale dell'umanità dall'UNESCO, senza considerare tutti i siti cosiddetti minori che non sono adeguatamente promossi.

La Campania è la prima regione del Mezzogiorno per flussi turistici: nel triennio 2016-2018, infatti, gli arrivi sono cresciuti ad un tasso medio annuo pari al 5,17%, più elevato rispetto al medesimo valore riferito all'intero Paese che si è attestato sul 3,1%. Negli ultimi tre anni, infatti, le unità locali delle imprese di tutto il sistema turistico campano hanno avuto un incremento di circa il 10,6% il che ha generato una crescita del numero di addetti passati da 140.235 a 173.456 <sup>[51]</sup>.

La ricchezza e la varietà delle risorse naturali e culturali, la tradizione gastronomica e il clima mite che caratterizzano la regione, consentono alla Campania di essere una delle Regioni maggiormente interessate dai flussi turistici. Questo consente di comprendere anche gli elevati numeri di addetti e aziende nei settori di **Ristorazione e Alloggi**.

Per quanto riguarda invece i settori ad alto contenuto scientifico in cui la Campania eccelle (si sottolinea che la Regione è prima al Sud e settima in Italia per spesa in R&S <sup>[38]</sup>), si distinguono:

- La **filiera produttiva aerospaziale** che riveste un ruolo di rilievo e rappresenta un forte elemento di sviluppo del territorio sia a livello industriale (si pensi a tutte le Pmi che producono parti o componenti disseminate su tutto il territorio) sia a livello tecnologico-scientifico. Il settore è tra i principali in Italia per dimensione e per intensità di R&S (affermandosi su livelli superiori a quelli della manifattura ad alta tecnologia dei principali Paesi europei) e si concentra su ricerca di base e applicata all'avanguardia – come Internet of Things, smart city, cybersecurity –. Si rileva la presenza di grandi operatori, al fianco dei quali si trova un tessuto di Piccole e Medie Imprese subfornitrici in grado di sviluppare tecnologie all'avanguardia, implementare i processi produttivi e garantire gli standard tecnici di qualità e di precisione richiesti dall'industria aerospaziale.
- Il **settore farmaceutico** che ha un peso significativo nell'economia regionale. La Campania, infatti, è la prima regione del Mezzogiorno per numero di imprese biotecnologiche (34), per investimenti in Ricerca & Sviluppo intra-muros biotech (5%) e per numero di addetti impiegati nell'industria farmaceutica (4.064). Inoltre, l'industria farmaceutica rappresenta il 23% delle esportazioni manifatturiere ad alta tecnologia <sup>[38]</sup>.

## 5. Analisi SWOT Dell'impatto Della Linea AV/AC Napoli-Bari (Wip)

Spingendo lo sguardo oltre i confini regionali, estendendo l'area di analisi anche alle province della Puglia, è facile rinvenire dei *trait d'union* tra le specializzazioni campane e quelle pugliesi. Infatti, guardando ai distretti caratterizzanti delle due regioni, numerosi sono i punti di congiunzione tra le due aree. Anche per la Puglia, i settori economici che risultano maggiormente fruttuosi sono quello del tessile e dell'abbigliamento, il calzaturiero, e l'agroalimentare.

Non risulta difficile operare una riflessione riguardo alle implicazioni che la connessione diretta dei Sistemi Locali del Lavoro che sorgono ai margini della futura installazione ferroviaria potrebbe avere.

La tabella 3 mostra una panoramica degli indicatori più rilevanti:

	Campania	Puglia
PIL	97.138 mln €	68.144 mln €
Imprese	483.358	328.830
Export	10.083 mln €	7.936 mln €
Import	12.344 mln €	8.196 mln €
Occupati	1.703 mila	1.218 mila
V.A. del Secondario	10.676 mln €	7.342 mln €

Fonte: SRM, 2017 [40]

**Tabella 3** – Indicatori Economici di Campania e Puglia.

Le due regioni presentano numerose similitudini, sia sociali sia produttive. Congiuntamente hanno un peso significativo sull'economia nazionale, tant'è che accorpando la produzione di Campania e Puglia si ottiene un PIL paragonabile alle dimensioni di interi Stati, come il Portogallo e la Romania.

Emerge una certa complementarità delle due regioni in termini di **filiera produttive**, di **logistica** e di **turismo e cultura**. In effetti, condividono le stesse specializzazioni produttive: alimentare, abbigliamento, automotive, aerospazio e farmaceutico.

È interessante sottolineare le forti interconnessioni tra le filiere di Campania e Puglia. Un collegamento ferroviario rapido può rendere più forte l'integrazione economica. Come sottolinea l'ultimo report prodotto da Srm, l'aumento della crescita del Mezzogiorno e la riduzione del divario con il resto del Paese passano per l'integrazione fra i settori produttivi trainanti di

Campania e Puglia. È necessario, cioè, cominciare a pensare ad una macroarea che ponga al centro l'obiettivo della coesione [40].

Numerosi sono, infatti, gli scambi interregionali che avvengono sistematicamente, come possiamo notare dalla Tabella 4 (dati 2018):

	Campania→Puglia	Puglia→Campania
Alimentare	17,8%	32,7%
Abbigliamento	16,4%	24%
Automotive	11,3%	21%
Aerospazio	16,3%	33,7%
Farmaceutico	18,7%	28,5%

Fonte: SRM, 2017 [40]

**Tabella 4** – Scambi Interregionali tra Campania e Puglia.

Anche i poli tecnologici presenti nelle due regioni sono simili. Una precisazione su aerospazio e farmaceutico va fatta: l'interconnessione nel comparto ad alta tecnologia dell'aerospazio era già stata avviata mediante un protocollo di intesa tra i due enti regionali per la realizzazione di un «Distretto dell'industria aeronautica e aerospaziale del Mezzogiorno».

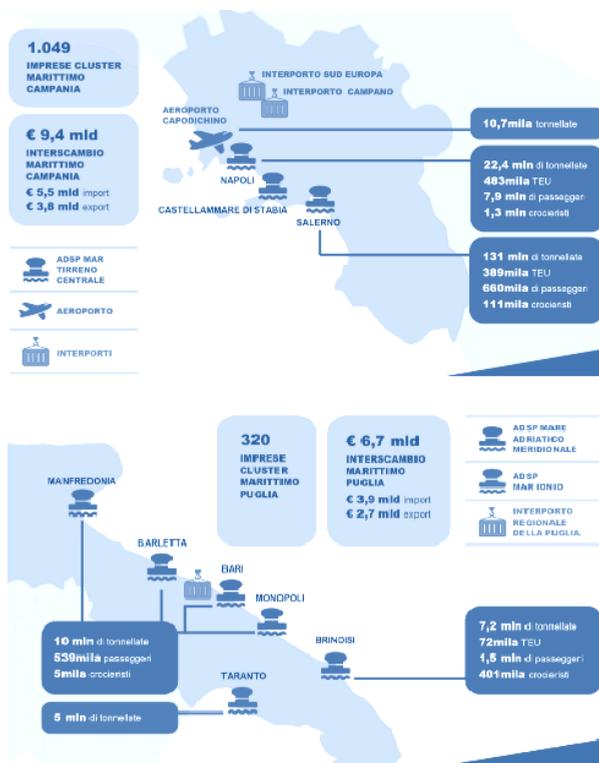
Nel settore farmaceutico inoltre si osserva una spiccata integrazione che consente forti spillover. Si stima che 100 euro di investimento attivano una domanda endogena in media pari a 51,3 euro nei settori 4°+Pharma delle due regioni [40].

Il secondo pilastro che condividono è quello della **logistica**.

Come già accennato, la Campania è la più grande piattaforma logistica del Sud-Italia. Anche la Puglia presenta delle caratteristiche interessanti, insieme potrebbero accelerare la crescita e gli scambi dell'intero Mezzogiorno: Il trasporto marittimo copre la metà dell'interscambio sia in Campania che in Puglia (36% per l'Italia). Gran parte del commercio estero della Campania avviene con i paesi occidentali (45,1%), cioè Nord America (13%), UE (12,8%), Nord-Africa (10,1%) e America Latina (9,2%).

Maggiore è la proiezione della Puglia verso i paesi dell'Est (42%): Asia orientale (16%), Europa non UE (20%), Asia Centrale (7,1%) e Medio Oriente (6%).

Una panoramica sulla struttura degli apparati logistici di Campania e Puglia viene mostrata nella **Figura 2**.



Fonte: SRM, 2017 [40]

**Figura 2** – Infrastrutture Logistiche di Campania e Puglia.

## Riferimenti bibliografici e sitografici

- [1] M. Agovino, A. Rapposelli, "Agglomeration externalities and technical efficiency in Italian regions", *Quality and Quantity*, 49 (5): 1803-1822, 2015.
- [2] D. Albalade, G. Bel, "High-speed rail: Lessons for policy makers from experiences abroad". *Public Administration Review*, 72 (3): 336-349, 2012.
- [3] D.B. Audretsch, "Innovation and spatial externalities", *International Regional Science Review*, 26(2): 167-174, 2003.
- [4] Banca d'Italia, *Economie regionali, L'economia della Campania*, 2018, disponibile all'indirizzo: [https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/economie-regionali/2018/201800\\_39\\_/1839-campania.pdf](https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/economie-regionali/2018/201800_39_/1839-campania.pdf).

- [5] C. Beaudry, A. Schiffauerova, "Who's right, Marshall or Jacobs? The localization versus urbanization debate", *Research policy*, 38(2): 318-337, 2009.
- [6] A. Bonnafous, "The regional impact of the TGV", *Transportation* 14(2): 127-137, 1987.
- [7] J. F. Brotchie, M. Batty, P. Hall, P. Newton, *Cities of the 21st Century: New Technologies and Spatial Systems*, 25-37, New York (NY), 1991.
- [8] G. Cainelli, R. Leoncini, "Esternalità e sviluppo industriale di lungo periodo in Italia. Un'analisi a livello provinciale", *L'industria*, 20(1): 147-166, 1999.
- [9] C. Calenda e L. C. Travascio, "Gli effetti socio-economici e spaziali del servizio Alta Velocità: due casi a confronto", *Trimestrale del Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente – TeMALab Napoli*, 1 (1): 91-100, 2008.
- [10] S. Dubois, "TGV: un quart de siècle de bouleversements géoéconomiques et géopolitiques", *Geoeconomie*, (1): 89-104, 2010.
- [11] G. Duranton, D. Puga, "Diversity and specialisation in cities: why, where and when does it matter?", *Urban studies*, 37(3): 533-555, 2000.
- [12] D. Galliano, M. B. Magrini, P. Triboulet, "Marshall's versus Jacobs externalities in firm innovation performance: The case of French industry", *Regional studies*, 49(11): 1840-1858, 2015.
- [13] M. Givoni, "Development and Impact of the Modern High-speed Train: A Review", *Transport Reviews*, 26 (5): 593 – 611, 2006.
- [14] S. D. Gleave, "Air and rail competition and complementarity", Case study report prepared for European Commission – DG Energy and Transport, 1-149, 2006.
- [15] T. Gourvish, "The High speed rail revolution: history and prospects", *Report of High Speed*, 2, 2010.
- [16] J. Gutiérrez Puebla, "El Tren de Alta Velocidad y Sus Efectos Espaciales", *Investigaciones Regionales*, 5: 210-212, 2005.
- [17] K. E. Haynes, "Labor markets and regional transportation improvements: the case of high-speed trains - An introduction and review", *The Annals of Regional Science*, 31 (1): 57-76, 1997.
- [18] V. Henderson, "Externalities and industrial development", *Journal of urban economics*, 42(3): 449-470, 1997.
- [19] R. Hirota, "Present situation and effects of the Shinkansen", *Transport Policy and Decision Making*, 3(3): 255-327, 1985.
- [20] ISTAT, *Sistemi Locali del Lavoro. Nota Metodologica*, 2013, disponibile all'indirizzo: [https://www.istat.it/it/files//2014/12/nota-metodologica\\_SLL2011\\_rev20150205.pdf](https://www.istat.it/it/files//2014/12/nota-metodologica_SLL2011_rev20150205.pdf).
- [21] J. Jacobs, *The economy of cities*, New York (NY): Random House, 1969.
- [22] Z. Li, H. Xu, "High Speed Railroad and Economic Geography: Evidence from Japan", *ADB Economics Working Paper Series*, n. 485, 2016.
- [23] R. Leclerc, *A Geographical Study Of The Emergence Of The High-Speed Train And His Effects On Land Management And Regional Economic Development In Japan*, Institute of Geoscience, University of Tsukuba, 2002.
- [24] T. Matsubara, *The Fast Train to Kanazawa*, Highlighting Japan April 2017, disponibile all'indirizzo: [https://www.govonline.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/201704/201704\\_04\\_en.html](https://www.govonline.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/201704/201704_04_en.html).
- [25] J. M. Menendez, J. M. Coronado, A. Rivas. "El AVE en Ciudad Real y Puertollano. Notas sobre su incidencia en la movilidad y el territorio", *Cuadernos de Ingeniería y Territorio*, 2: 53-69, 2002.
- [26] Meunier, J. *On the fast track: French railway modernisation and the origins of TGV, 1944-1983*, Greenwood Publishing Group, 2002.

- [27] Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. *Atlante Nazionale del Territorio Rurale. Lo sviluppo rurale nella prospettiva dei sistemi locali del lavoro*, 2018, disponibile all'indirizzo <https://www.rete-rurale.it/downloads/atlante/index.html>.
- [28] H. Nakamura, T. Ueda, "The Impacts of the Shinkansen on Regional Development", in *15th World Conference on Transport Research*, Yokohama, 1989.
- [29] Regione Campania, "Analisi territoriale del sistema delle imprese in Campania", Nucleo di valutazione e verifica degli investimenti pubblici, 2015, disponibile all'indirizzo: <http://regione.campania.it/assets/documents/nvvip-analisi-territoriale-delle-imprese.pdf>.
- [30] ORTI, Osservatorio Relazioni Territori Imprese. *L'economia delle Regioni Italiane e i Rapporti tra le Amministrazioni Territoriali e le Imprese*, 2018.
- [31] Osservatorio Economico di Unioncamere Campania, (2018), *Andamento congiunturale delle imprese campane IV trimestre 2018*, 2019, disponibile all'indirizzo: [https://www.unioncamere.campania.it/sites/default/files/iv\\_trimestre\\_2018.pdf](https://www.unioncamere.campania.it/sites/default/files/iv_trimestre_2018.pdf).
- [32] J. Parker, "Does transportation finance influence urban form", *Transportation Urban Form and the Environment*, Special Report (n. 231), Transportation Research Board, Washington DC, 43-62.
- [33] Red de Ciudades (2005) El Tren de Alta Velocidad Espanola: Análisis, Evaluación y Perspectivas Futuras, in Actas de I Congreso Nacional de la Red de Ciudades AVE, 115-118.
- [34] Regione Campania, *Distretto Agroalimentare Campano*, Assessorato alle Attività Produttive AGC 12 Sviluppo Economico, 2012, disponibile all'indirizzo: <http://www.regione.campania.it/assets/documents/brochure-agroalimentare-cmpj6q6f9e0th0.pdf>.
- [35] Regione Campania, *I Distretti Campani: Calzature, Pelletterie, Abbigliamento*, Assessorato alle Attività Produttive AGC 12 Sviluppo Economico, 2012, disponibile all'indirizzo: <http://www.regione.campania.it/assets/documents/brochure-calzature-pelletteria-abbigliamento-vrxsj7h8uffpf02w.pdf>.
- [36] Regione Campania, *I Distretti Campani. Calzature Pelletterie, Abbigliamento*, "Azione di Sistema per l'Accompagnamento ed il Sostegno delle Reti di Imprese dei Distretti Produttivi Campani nel processo di sviluppo di "Reti di Imprese", Assessorato alle Attività produttive, 2018, disponibile all'indirizzo: [http://regione.campania.it/assets/documents/calzature\\_pelli\\_abbigliamento.pdf](http://regione.campania.it/assets/documents/calzature_pelli_abbigliamento.pdf).
- [37] Regione Campania, *Strategia Regionale di Innovazione per la specializzazione Intelligente*, RIS3 Campania, 2013, disponibile all'indirizzo: [http://www.onlines3.eu/wp-content/uploads/RIS3\\_strategy\\_repository/IT\\_documento\\_RIS3\\_Regione\\_Campania.pdf](http://www.onlines3.eu/wp-content/uploads/RIS3_strategy_repository/IT_documento_RIS3_Regione_Campania.pdf).
- [38] Regione Campania, *La Campania verso il futuro: opportunità e sfide dell'ecosistema dell'innovazione e della ricerca*, The European House Ambrosetti, 2018, disponibile all'indirizzo: Repubblica, *Ristorazione, in Campania 30mila imprese. Una ricerca della Bocconi: "Pasta e pizza sono prodotti iconici*, 2017, disponibile all'indirizzo: [https://napoli.repubblica.it/cronaca/2017/09/25/news/ristorazione\\_in\\_campania\\_30mila\\_imprese\\_una\\_ricerca\\_bocconi\\_pasta\\_e\\_pizza\\_sono\\_prodotti\\_iconici\\_-176470870/](https://napoli.repubblica.it/cronaca/2017/09/25/news/ristorazione_in_campania_30mila_imprese_una_ricerca_bocconi_pasta_e_pizza_sono_prodotti_iconici_-176470870/).
- [39] D. Scordamaglia, "High-speed rail in the EU", EPRS European Parliamentary Research Service, 2015.
- [40] SRM, Studi e Ricerche per il Mezzogiorno. *Il ruolo dell'Economia e della Cultura per la crescita del territorio*, 2017, disponibile all'indirizzo: <https://www.sr-m.it/wp-content/uploads/2018/01/Campania-Puglia-Deandrei-14-dicembre-2017.pdf>.
- [41] SRM, Studi e Ricerche per il Mezzogiorno, *Check up Mezzogiorno*, 2019, disponibile all'indirizzo <https://www.sr-m.it/cp/check-up-mezzoigiorno>.
- [42] Treccani, *L'Italia e le sue Regioni. Distretti industriali e imprese nel Mezzogiorno*, 2015, disponibile all'indirizzo: [http://www.treccani.it/enciclopedia/distretti-industriali-e-imprese-nel-mezzoigiorno\\_%28L%27Italia-e-le-sue-Regioni%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/distretti-industriali-e-imprese-nel-mezzoigiorno_%28L%27Italia-e-le-sue-Regioni%29/).

- [43] Unic, *Concerie Italiane, Servizio Capitolati, Ricerca, Ambiente e Sicurezza*, 2018, disponibile all'indirizzo: <http://www.unic.it/servizi-associativi/servizio-capitolati>.
- [44] <https://www.eurocarex.com/>
- [45] IHRA, International High-Speed Rail Association, *Shinkansen Fact book*, 2016, disponibile all'indirizzo: [https://www.ihra-hsr.org/\\_pdf/factbook\\_2016\\_E\\_for\\_web\\_all.pdf](https://www.ihra-hsr.org/_pdf/factbook_2016_E_for_web_all.pdf).
- [46] UNIFE, the European Rail Industry, *More Rail = Less CO<sub>2</sub>*, UNIFE contribution to the Future of Transport, 2009, disponibile all'indirizzo: [https://www.vialibre-ffe.com/PDF/mas\\_fc\\_menos\\_co2\\_unife.pdf](https://www.vialibre-ffe.com/PDF/mas_fc_menos_co2_unife.pdf).
- [47] Unioncamere, *Natalità e mortalità delle imprese italiane registrate alle camere di commercio*, 2018, Comunicato stampa, disponibile all'indirizzo [http://www.infocamere.it/do\\_cuments/10193/114876492/Imprese%252C+%252B32.000+nel+2018+%2528%252B0%252C5%2525%2529%252C1+su+4+nel+turismo/4f73e224-7ab4-4336-85bc-86eee3c096e2](http://www.infocamere.it/do_cuments/10193/114876492/Imprese%252C+%252B32.000+nel+2018+%2528%252B0%252C5%2525%2529%252C1+su+4+nel+turismo/4f73e224-7ab4-4336-85bc-86eee3c096e2).
- [48] R. Vickerman, "Can high-speed rail have a transformative effect on the economy?", *Transport Policy*, 62: 31-37, 2018.
- [49] P. Falco, "L'oro di San Giuseppe Vesuviano, dalla bardinella al boom tessile", *Corriere del Mezzogiorno (Campania)*, 2018, disponibile all'indirizzo: <https://www.pressreader.com/italy/corriere-del-mezzogiorno-campania/20180122/281556586246103>.
- [50] ISTAT, *I Distretti Industriali*, Report, 2015, disponibile all'indirizzo <https://www.istat.it/it/files/2015/02/Distretti-industriali.pdf>.
- [51] ANSA, *Turismo CNR-Iriss, Campania prima nel Sud*, 2019, disponibile all'indirizzo: [http://www.ansa.it/campania/notizie/2019/03/20/turismocnr-irisscampania-prima-del-sud\\_d6f6ff7f-2361-47ee-af0c-8864b317e990.html](http://www.ansa.it/campania/notizie/2019/03/20/turismocnr-irisscampania-prima-del-sud_d6f6ff7f-2361-47ee-af0c-8864b317e990.html).
- [52] ISTAT, "Rapporto Annuale 2018, La situazione del Paese", 2018, disponibile all'indirizzo: <https://www.istat.it/storage/rapporto-annuale/2018/Rapportoannuale2018.pdf>.

## Note

Università degli Studi Suor Orsola Benincasa, (Italy), [alessandra.storlazzi@unisob.na.it](mailto:alessandra.storlazzi@unisob.na.it)  
 Università degli Studi di Napoli Parthenope, (Italy), [francesco.calza@uniparthenope.it](mailto:francesco.calza@uniparthenope.it)

# Analisi socio-economica e delle ricadute attese della linea AV/AC Napoli-Bari

Giuseppe Marotta, Annamaria Nifo, Marcello Stanco, Roberta Arbolino, Tiffany Louise Lantz

## *Abstract*

Lo studio condotto ha come obiettivo l'analisi delle dinamiche socio-economiche e demografiche del territorio attraversato dal corridoio multifunzionale della tratta Napoli-Bari, al fine di cogliere gli effetti che la nuova opera determinerà sui territori interessati. L'analisi ha riguardato i comuni di Campania e Puglia combinando 73 indicatori suddivisi in dieci ambiti tematici.

L'analisi ha mostrato una relazione tra accessibilità ferroviaria e indici di vivacità demografica marcata per i comuni della prima fascia di attraversamento classificati come in spopolamento, declino demografico e in invecchiamento strutturale. In particolare, i primi registrano un incremento dell'indice di vivacità demografica del +5,2%, i secondi del +3,3% ed i terzi del +3,5%. Incremento che si traduce in un guadagno netto di popolazione, per Campania e Puglia, di quasi 90 mila persone. Dal punto di vista dello sviluppo economico, i risultati non si differenziano da quelli misurati per il pilastro demografico. L'impatto positivo è pari a un +1,6% di incremento medio tra tutti i comuni di Campania e Puglia.

Lo studio realizzato mira a rafforzare e migliorare le conoscenze e le competenze della Regione Campania così da accompagnare lo sviluppo dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari, integrarla nelle reti regionali e creare sinergie con altri strumenti di intervento per la crescita economica, sociale e sostenibile del territorio regionale.

## **1. Introduzione<sup>1</sup>**

Il progetto "Consultazione per la revisione e il consolidamento delle linee strategiche di Ricerca e Innovazione nell'ambito di sviluppo dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari" si colloca nell'ambito dell'accordo fra Regione Campania e Comitato Universitario Regionale (Delibera di G.R. n.513 del 27/09/2016 e Decreto Dirigenziale n.54 del 24/03/2017) per la collaborazione su attività di interesse comune.

L'obiettivo generale del progetto è quello di operare a supporto del rafforzamento e miglioramento del livello delle prestazioni erogate dalla Pubblica Amministrazione, mettendo a disposizione della Regione Campania le conoscenze, le competenze e gli strumenti tecnico-scientifici necessari al dispiegamento dell'azione regionale. Il progetto, infatti, ha co-

---

<sup>1</sup> L'analisi è stata condotta congiuntamente dal Dipartimento di Economia, Management e Metodi Quantitativi dell'Università degli studi del Sannio, dal Cresme e dal Dipartimento di Scienze Umane e Sociali dell'Università degli studi di Napoli L'Orientale.

me obiettivo quello di fornire alla Regione Campania elementi di conoscenza e competenze di carattere tecnico-scientifico che supportino l'azione amministrativa nei processi volti ad accompagnare lo sviluppo dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari, integrarla nelle reti regionali e creare sinergie con altri strumenti di intervento per la crescita economica, sociale e sostenibile del territorio regionale. Tale lavoro mira altresì a supportare l'azione amministrativa della regione Campania nelle procedure di valutazione di sostenibilità degli interventi proposti da Rete Ferroviaria Italiana (RFI) sul corridoio multifunzionale Napoli-Bari, per favorire l'integrazione dell'itinerario ferroviario con il territorio e con le altre reti di trasporto, energetiche e telematiche e per valutare l'efficacia degli interventi di mitigazione e di valorizzazione territoriale.

Il contributo al progetto "Consultazione per la revisione e il consolidamento delle linee strategiche di Ricerca e Innovazione nell'ambito di sviluppo dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari" si esplicita nell'analisi del profilo socio-economico, investigando le ricadute demografiche e socio-economiche attese dall'investimento. In particolare, lo studio ha come obiettivo l'analisi delle dinamiche socio-economiche e demografiche del territorio attraversato dal corridoio multifunzionale della tratta Napoli-Bari, al fine di cogliere gli effetti che la nuova opera determinerà sui territori interessati.

## **2. L'analisi socio-economico del territorio**

L'analisi è stata condotta su 808 comuni di Campania e Puglia ed affronta gli effetti che la nascente infrastruttura avrà sui Sistemi Locali del Lavoro<sup>2</sup> (SLL) e sul sistema di connessione territoriale (accessibilità, flussi pendolari ecc.). Nell'area interessata dalla prima fascia di attraversamento (l'area intersecata direttamente dal tracciato ferroviario) ricadono 214 comuni (i.e. 164 campani e 50 pugliesi) appartenenti a 12 SLL. La seconda fascia, invece, risulta costituita da 235 comuni raggruppati in 27 SLL. Infine, la terza fascia di attraversamento è rappresentata da 359 comuni ricadenti in 55 SLL (Tabella 1).

---

<sup>2</sup>I Sistemi Locali del Lavoro (SLL) sono aggregazioni comunali che tengono conto delle relazioni economiche che si instaurano tra i singoli comuni partendo dai flussi di pendolarismo. Gli SLL rappresentano la più piccola struttura economica territoriale completa (luogo di produzione e impiego).

Fascia di attraversamento	Comuni		Superficie territoriale		Popolazione 2016	
	No.	%sul totale	% sul totale	Ettari	No.	% sul totale
Totale I fascia	214	26,6	26,5	883.951	4.775.020	48,2
Campania I fascia	164	9,5	20,3	316.756	3.205.644	32,4
Puglia I fascia	50	17,1	6,2	567.195	1.569.376	15,8
Totale II fascia	235	31,5	29,1	1.046.984	1.816.593	18,3
Campania II fascia	187	13,7	23,1	454.426	1.165.984	11,8
Puglia II fascia	48	17,8	5,9	592.558	650.609	6,6
Totale III fascia	359	41,8	44,4	1.389.042	3.311.359	33,4
Campania III fascia	199	17,9	24,6	595.161	1.467.456	14,8
Puglia III fascia	160	23,9	19,8	793.881	1.843.903	18,6
Totale						
Campania	550	41,2	68,1	1.366.343	5.839.084	59,0
Puglia	258	58,8	31,9	1.953.634	4.063.888	41,0

**Tabella 1** – Fasce di attraversamento e numeri di sintesi.

Dal punto di vista della popolazione residente, prevalgono i comuni della prima fascia grazie alle aree metropolitane di Napoli e Bari. In questa area, infatti, risiede il 48% del totale della popolazione delle due regioni (circa 4,8 milioni di abitanti) e 1,8 milioni di famiglie. Nella seconda fascia si concentra il 18% della popolazione residente, pari a 1,8 milioni di persone e 685.800 famiglie; mentre, nei comuni di terza fascia si osserva un peso rilevante in termini di popolazione con circa 3,3 milioni di abitanti.

### 3. Gli indicatori socio-economici per l'analisi delle ricadute

La prima fase dell'analisi socio-economica è stata quella di definire specifici indicatori capaci di sintetizzare ed individuare i fenomeni presenti sul territorio. La combinazione di molteplici variabili statistiche selezionate da diverse fonti (Istat, Agenzia delle Entrate, Banca d'Italia, Ministeri competenti, Agcom) ha permesso di individuare 73 indicatori, suddivisi in dieci ambiti tematici (Tabella 2):

1. Agricoltura (livello di sviluppo agricolo)
2. Demografia (vivacità demografica)
3. Economia (tessuto imprenditoriale e livello di ricchezza della popolazione)
4. Dotazione di infrastrutture sociali (offerta di servizi)

5. Istruzione (incidenza di diplomati e laureati)
6. Sviluppo del mercato abitativo (livello dei prezzi, vivacità del mercato)
7. Infrastrutture economiche e mobilità (dotazione di infrastrutture, stradali, telecomunicazioni e idriche)
8. Condizione del patrimonio abitativo (stato di conservazione degli edifici)
9. Vulnerabilità sociale (condizione dei più giovani e delle famiglie)
10. Vulnerabilità del territorio (presidio del territorio, rischio naturale)

Quindi, per ognuno dei citati ambiti tematici è stato determinato un indice in grado di sintetizzare l'informazione fornita dai singoli indicatori e agevolare la successiva fase di analisi. La metodologia utilizzata per la determinazione dell'indice è l'analisi multivariata. Gli indici sintetici ottenuti consentono un'analisi del territorio più agevole ed immediata, permettendo di evidenziare, per ognuno degli ambiti tematici, i punti di forza e debolezza dei comuni campani e pugliesi interessati dall'infrastruttura.

<b>Ambito tematico</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Definizione</b>
Indice di sviluppo agricolo	Livello di utilizzazione superfici agricole	Percentuale superficie agricola utilizzata (SAU) su superficie agricola totale (SAT).
	Livello di giovinezza aziende agricole	Percentuale di aziende con capo azienda di età inferiore a 35 anni su aziende con capo azienda di età superiore a 54 anni.
	Produttività azienda agricola (euro per ettaro di SAU)	Produzione standard (PS) per ettaro di superficie agricola utilizzata (SAU).
	Diffusione biologico	Percentuale di aziende con superfici a coltivazione biologica sul totale.
	Diffusione produzioni di qualità	Percentuale di aziende con coltivazioni DOP/IGP sul totale delle aziende.
	Conduzione diretta	Percentuale di aziende a conduzione diretta sul totale delle aziende agricole.
Indice di vivacità demografica	Indice di vecchiaia	Rapporto percentuale tra la popolazione residente di 65 anni e più e la classe 0-14 anni.
	Incidenza residenti stranieri	Rapporto percentuale tra la popolazione straniera residente e la popolazione totale.
	Incidenza 0-14 anni	Rapporto percentuale tra popolazione 0-14 anni e la popolazione complessiva.
	Incidenza giovani 15-34	Rapporto percentuale tra popolazione 15-34 anni e la

<b>Ambito tematico</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Definizione</b>
	anni	popolazione complessiva.
	Indice di movimento naturale	Saldo naturale 2012-2016 per 100 abitanti (popolazione media 2011-2015).
	Indice di movimento migratorio	Saldo migratorio 2012-2016 per 100 abitanti (popolazione media 2011-2015).
	Indice di dipendenza strutturale	Rapporto percentuale tra popolazione in età non lavorativa (0-14 anni, + 65 anni e più) e popolazione in età lavorativa (15-64 anni).
Indice di livello economico	Depositi bancari per abitante 2017	Indice depositi bancari per abitante al 2017.
	Reddito medio per contribuente 2016	Indice del reddito imponibile IRPEF per contribuente.
	Tasso di occupazione 2011	Rapporto percentuale tra gli occupati di 15 anni e più e la popolazione residente della medesima classe di età.
	Tasso di disoccupazione 2011	Rapporto percentuale tra le persone in cerca di occupazione e le forze di lavoro.
	Addetti alle imprese per unità locale 2015	Numero medio di addetti alle unità locali delle imprese 2015.
	Unità locali delle imprese per 100 abitanti 2015	UL delle imprese per 100 abitanti 2015.
	Addetti alle imprese per 100 abitante 2015	Numero di addetti alle UL delle imprese per 100 abitanti 2015.
	Specializzazione agricoltura 2011	Quota addetti alle UL delle imprese del settore agricoltura, caccia e pesca.
	Specializzazione manifatturiero 2011	Quota addetti alle UL delle imprese del settore Industria e artigianato.
	Specializzazione servizi distributivi 2011	Quota addetti alle UL delle imprese del settore Servizi distributivi.
	Specializzazione servizi di produzione 2011	Quota addetti alle UL delle imprese del settore Servizi di produzione.
	Specializzazione servizi al consumo 2011	Quota addetti alle UL delle imprese del settore Servizi al consumo.
	Specializzazione servizi alla persona 2011	Quota addetti alle UL delle imprese del settore Servizi personali.
	Autovetture per abitante	Autovetture circolanti per 100 abitanti.
	Variazione addetti alle UL delle imprese 2012 - 2015	Variazione percentuale addetti periodo 2012-2015.
	Variazione UL delle imprese 2012 - 2015	Variazione percentuale unità locali alle imprese periodo 2012-2015.

<b>Ambito tematico</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Definizione</b>
Indice di dotazione infrastrutture Sociali	Dotazione servizi imprese	Rapporto percentuale tra il numero di addetti alle attività dei servizi alle imprese (J,K,M,N - ATECO 2007) e addetti alle unità locali delle imprese.
	Dotazione servizi al consumo	Rapporto percentuale tra il numero di addetti alle attività dei servizi al consumo (G - ATECO 2007) e popolazione residente.
	Dotazione servizi pubblici	Addetti ai servizi della pubblica amministrazione in rapporto alla popolazione.
	Dotazione strutture sanitarie	Indice accessibilità ospedaliera calcolato tenendo conto di numero di reparti, posti letto disponibili annualmente, numero di medici e infermieri sul totale dei dipendenti.
	Dotazione asili nido	Rapporto del numero di posti del servizio asili nido, servizio sezione primavera o servizio integrativo, per 100 residenti 0-2 anni di età.
	Dotazione scuola primaria	Rapporto del numero di alunni della scuola primaria e secondaria di primo grado e popolazione residente 6-13 anni di età.
	Dotazione scuola secondaria	Rapporto del numero di studenti della scuola secondaria di secondo grado e popolazione residente 14-18 anni di età.
	Densità di commercio al dettaglio in sede fissa	Rapporto tra il numero di Unità Locali del commercio al dettaglio in sede fissa e la superficie delle aree abitate (centri e nuclei abitati) e produttive.
	Numero di luoghi statali della cultura	Numero totale dei seguenti luoghi statali della cultura: architetture fortificate, aree archeologiche, monumenti storici, monumenti di archeologia industriale, monumenti funerari, archivi e biblioteche, chiese e luoghi di culto, ville e palazzi, parchi archeologici, musei e gallerie, parchi e giardini in rapporto alla popolazione.
Indice di livello di Istruzione	Indice di non conseguimento della scuola del primo ciclo	Rapporto tra la popolazione della classe di età 15-62 anni, che non ha conseguito il diploma di scuola media inferiore, ed il totale della popolazione della stessa classe di età.
	Incidenza di adulti con diploma o laurea	Rapporto percentuale tra popolazione 25 anni e più che ha conseguito il diploma di scuola secondaria superiore o un titolo universitario e il totale della popolazione della medesima classe.
	Incidenza di adulti con laurea	Rapporto percentuale tra popolazione 25 anni e più che ha conseguito un titolo universitario e il totale della popolazione della medesima classe.

<b>Ambito tematico</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Definizione</b>
Indice di sviluppo del mercato abitativo	Stima del valore medio di compravendita 2012 - 2017	Media ponderata dei valori immobiliari per lo stock abitativo occupato (OMI) stima €/metro quadro.
	Vivacità del mercato residenziale 2012 - 2016	Numero di scambi sul mercato immobiliare in percentuale rispetto allo stock abitativo occupato.
	Ricchezza immobiliare per famiglia	Rapporto tra prezzo medio 2012-2017 di un'abitazione per numero di abitazioni per famiglie.
	Evoluzione della ricchezza nel periodo	Rapporto del prezzo medio nel periodo 2012-2017 rispetto al periodo 2006-2010.
Indice di attrattività infrastrutturale	Indice di centralità lavorativa	Rapporto tra i flussi pendolari per lavoro in entrata nei comuni e quelli in uscita.
	Indice di centralità per studio	Rapporto tra i flussi pendolari per studio in entrata nei comuni e quelli in uscita.
	Indice di centralità totale	Rapporto tra i flussi pendolari in entrata nei comuni e quelli in uscita.
	Dotazione infrastrutture stradali, superficie	km di strada per km quadrato di superficie territoriale.
	Efficienza rete idrica	Acqua distribuita su acqua erogata.
	Percentuale popolazione servita in BB velocità oltre 30 mb/s	Popolazione servita in BB velocità oltre 30Mbit/s.
	Indice di accessibilità stradale	Indice calcolato sulla base dei tempi di percorrenza tra un comune e tutti gli altri pesati in base alla popolazione.
Indice di degrado del patrimonio abitativo	Densità della popolazione 2016	Rapporto tra popolazione residente e superficie territoriale (popolazione per kmq).
	Indice di espansione edilizia (2005-2011)	Rapporto percentuale tra gli edifici residenziali costruiti dopo il 2005 e il totale degli edifici residenziali.
	Indice scarsa conservazione edifici residenziali 2011	Rapporto percentuale tra gli edifici residenziali in pessimo e mediocre stato di conservazione ed il totale degli edifici residenziali.
Indice di vulnerabilità Sociale (Cresme)	Incidenza di giovani fuori dal mercato del lavoro e della formazione	Rapporto percentuale tra la popolazione della classe di età 15-29 anni in condizione non professionale diversa da studente e la popolazione residente della stessa classe (NEET allargati).
	Incidenza delle famiglie con potenziale disagio economico	Rapporto percentuale tra le famiglie con figli la cui persona di riferimento ha fino a 64 anni e nelle quali nessun componente è occupato o ritirato dal lavoro e il totale delle famiglie.

Ambito tematico	Indicatore	Definizione
	Incidenza famiglie in alloggi impropri	Rapporto percentuale tra famiglie residenti in altro tipo di alloggio (ricoveri di fortuna non identificabili come abitazioni) e il totale delle famiglie.
	Indice di vulnerabilità sociale e materiale, Istat 2017	Sintesi di sette indicatori riferiti alle dimensioni della vulnerabilità sociale e materiale.
	Incidenza analfabetismo	Rapporto percentuale tra popolazione di 6 anni e più analfabeta e il totale della stessa classe.
	Incidenza famiglie numerose	Incidenza percentuale famiglie con 6 componenti e più sul totale delle famiglie.
	Indice di affollamento abitativo	Incidenza percentuale delle abitazioni occupate in condizioni di affollamento.
	Uscita precoce dal sistema di istruzione e formazione	Rapporto percentuale tra la popolazione residente di 15-24 anni con licenza media che non frequenta un corso regolare di studi e/o di formazione professionale e la popolazione residente di 15-24 anni.
	Incidenza di coppie miste	Rapporto percentuale delle coppie sposate o di fatto con un coniuge straniero sul totale delle coppie sposate o di fatto.
Indice di vulnerabilità del territorio	Percentuale popolazione a rischio frana	Popolazione residente nelle aree a rischio di frana elevato (P3 e P4).
	Percentuale popolazione a rischio alluvione	Popolazione residente nelle aree a rischio di alluvione elevato (P3).
	Finanziamenti per l'emergenza idrogeologica (euro per ettaro)	Fondi per l'attuazione di piani e programmi di interventi urgenti per la mitigazione del rischio idrogeologico per superficie territoriale.
	Percentuale di suolo impermeabilizzato	Suolo impermeabilizzato.
	Quota edifici alti in zone a elevato rischio sismico	Quota di edifici con più di due piani costruiti nei comuni classificati in zona sismica 1 o 2.
	Percentuale di suolo boscato	Suolo ricoperto da boschi e foreste.
	Densità di popolazione su suolo impermeabilizzato	Popolazione residente nel suolo impermeabilizzato.
	Indice di dispersione abitativa	Rapporto tra il numero di abitazioni presenti nelle sezioni censuarie ISTAT classificate come "case sparse" e il numero totale di abitazioni.
	Indice di frammentazione del paesaggio urbano	Rapporto tra la somma totale dei perimetri dei poligoni delle aree costruite e la loro superficie.

**Tabella 2 – Ambiti tematici e indicatori.**

Di seguito è fornita un'analisi dettagliata dei dieci ambiti tematici utilizzati nello studio.

### **3.1 Indice di sviluppo agricolo**

L'indice di sviluppo agricolo prende in considerazione sei indicatori che riguardano aspetti di conduzione aziendale e di produzione agricola. In particolare, i primi esaminano la giovinezza aziendale e la gestione diretta dell'azienda agricola; i secondi, invece, più rilevanti ai fini della definizione dell'indice, sono legati alla quantità (quantità di superficie agricola utilizzata, produttività dell'azienda agricola) e alla qualità della produzione (produzione DOP/IGP e biologica). L'indice risultante è fortemente correlato alla produttività aziendale, cioè il valore monetario di una determinata produzione (vegetale o animale) in rapporto alla superficie agricola utilizzata.

L'analisi dell'indice evidenzia un più elevato livello di sviluppo agricolo in regione Campania, ed in particolare nell'area compresa tra la Piana del Volturno, la Piana Flegrea e la penisola sorrentina. Nell'area Flegrea è prevalente la produzione casearia, vitivinicola e la coltivazione del pomodoro. Nel distretto agroalimentare Nocera-Gragnano si trovano molteplici realtà produttive di qualità e di eccellenza, quali la trasformazione del pomodoro per la realizzazione di conserve, la produzione della pasta e del vino DOC, il cinghiale Nocerino (DOP), l'olio (DOP), la mela annurca (IGP). In Campania un ruolo primario è dato dalla produzione vitivinicola, che si sviluppa principalmente nell'area vesuviana, nella penisola sorrentina e nell'area beneventana (DOC/DOCG). Un ulteriore insediamento produttivo sorge più a sud, tra Battipaglia e Eboli, nella Piana del Sele, dove prevale la produzione orticola e casearia. L'area pugliese, invece, è caratterizzata da un indice di sviluppo agricolo regionale leggermente inferiore. Quest'ultimo determinato da una minore produttività aziendale, un livello di giovinezza delle aziende agricole più basso, ed una minore presenza di prodotti con certificazioni di qualità DOP e IGP (16 prodotti in Puglia e 22 in Campania nel 2014).

### **3.2 Indice di vivacità demografica**

L'indice di vivacità demografica restituisce un'immagine d'insieme della struttura demografica del territorio interessato dall'infrastruttura. Le variabili che concorrono alla formazione dell'indice sono state selezionate per rappresentare in maniera sintetica i fattori che caratterizzano il territorio dal punto di vista demografico. Esse infatti consentono di individuare le aree più dinamiche e quelle soggette a fenomeni di declino e spopolamento. Elemento centrale dell'analisi è la struttura generazionale cioè il rapporto tra

giovani, anziani e popolazione in età lavorativa. La loro relazione ha effetti sul rapporto tra nascite e decessi e quindi sull'andamento nel lungo periodo della popolazione. La dinamica dei flussi migratori e la presenza straniera sono altri due fattori determinanti, essendo in grado di contrastare o accelerare i fenomeni di invecchiamento strutturale della popolazione.

In un contesto generale caratterizzato da evidenti fenomeni di declino demografico, l'area campana presenta uno scenario significativamente migliore rispetto a quello pugliese. Un contributo importante in tal senso viene dalla maggiore presenza di stranieri, che in Campania rappresentano il 4,2% della popolazione complessiva contro il 3,1% della Puglia. Con una struttura demografica principalmente costituita da popolazione in età da lavoro, infatti, la maggiore presenza straniera contribuisce a contrastare i fenomeni di invecchiamento della struttura demografica. In entrambe le regioni, tuttavia, l'indice di vecchiaia, dato dal rapporto tra anziani (65 anni e più) e giovani (meno di 15 anni), evidenzia un netto squilibrio generazionale. In Puglia il valore dell'indice giunge a 157 anziani per 100 giovani, mentre per la Campania il rapporto è di 122. In entrambi i casi, quindi, un dato ben inferiore ai livelli di sostituzione generazionale. La situazione di criticità appare evidente anche osservando l'indice di dipendenza strutturale, che esprime il rapporto tra la popolazione in età non lavorativa (giovani con meno di 15 anni ed anziani con 65 anni e più) e popolazione potenzialmente attiva (15-64 anni). Il valore dell'indice evidenzia sia per Campania che per la Puglia un carico di circa 5 residenti in età non lavorativa per 10 potenzialmente attivi, dati che configurano, considerando i bassi livelli occupazionali dell'area, una situazione di crescente problematicità. L'indice di movimento naturale è negativo in entrambi i contesti regionali, mettendo in luce una tendenza consolidata al calo demografico. Infine, il bilancio migratorio qualifica entrambe le regioni quali tributarie di flussi netti.

### **3.3 Indice di livello economico**

Essendo l'analisi proiettata su un contesto territoriale prettamente locale, si è ritenuto opportuno suddividere gli indicatori economici in due distinte tipologie: la prima, focalizzata sulla misura della ricchezza individuale (depositi bancari, reddito imponibile, autovetture per abitante) e sulla situazione occupazionale dei residenti (tasso di occupazione, tasso di disoccupazione); la seconda, incentrata sul sistema economico e produttivo locale, numero di addetti e numero di unità locali delle imprese, la loro dinamica e la specializzazione settoriale (manifatturiero o servizi). L'indice di livello economico determinato risulta maggiormente caratterizzato dagli indicatori del sistema produttivo.

L'analisi dell'indice sintetico evidenzia la presenza di zone più dinamiche a ridosso delle aree metropolitane di Bari e Napoli, a cui si aggiungono i sistemi locali di Barletta e Caserta, caratterizzati da livelli decisamente più elevati, sia per quanto riguarda gli indicatori di ricchezza privata (reddito imponibile), che per quanto riguarda lo sviluppo del sistema delle imprese (tessuto imprenditoriale più denso e imprese di dimensioni mediamente maggiori). Limitandosi alla prima fascia di attraversamento della direttrice ferroviaria Napoli-Bari, appare evidente la presenza di un'area economicamente meno sviluppata in corrispondenza della zona interna a cavallo dei sistemi locali di Ariano Irpino e Foggia. Concentrandosi invece sulla zona mediana della prima fascia, zone relativamente più sviluppate si individuano a ridosso di Benevento, in Irpinia (Ariano irpino, Flumeri, Grottaminarda) e, proseguendo verso Ovest, in prossimità dell'attrattore casertano del distretto industriale calzaturiero.

### **3.4 Indice di dotazione infrastrutture sociali**

Per infrastruttura sociale si intende ogni opera pubblica che fornisce un insieme di servizi in grado di migliorare le condizioni di vita della popolazione e il funzionamento del sistema economico. L'indicatore sintetico sulla dotazione di infrastrutture sociali considera, oltre all'offerta di servizi pubblici (sanitari, scolastici, culturali), anche la diffusione di servizi alle imprese e al consumo. La dotazione di infrastrutture sanitarie, essendo caratterizzata da un bacino di utenza non prettamente locale, è stata misurata definendo un indice di accessibilità ospedaliera, risultante dalla media della distanza di ogni comune da tutti gli ospedali di Campania e Puglia, pesata con un indice sintetico di importanza (numero di reparti, posti letto-anno disponibili, numero di personale medico e infermieristico sul totale dei dipendenti). L'indice tiene in considerazione anche la disponibilità di posti in asili nido (ogni cento residenti con età inferiore a due anni) e la dotazione scolastica primaria, secondaria di primo grado e secondaria di secondo grado (rapporto tra numero di studenti e popolazione di riferimento). Infine, l'indice sintetico considera la presenza di luoghi culturali quali aree archeologiche, monumenti storici, archivi e biblioteche, chiese e luoghi di culto, ville e palazzi, parchi archeologici, musei e gallerie, parchi e giardini in rapporto alla popolazione. L'indice sintetico che riassume la dotazione di infrastrutture sociali risulta fortemente caratterizzato dalla presenza di dotazione scolastica e servizi alle imprese.

L'analisi regionale ha evidenziato un'elevata dotazione di infrastrutture sanitarie nei comuni di Napoli e Caserta, mentre Benevento presenta una discreta dotazione di infrastrutture scolastiche così come una dotazione di servizi al consumo e alle imprese. Proprio la presenza delle suddette infrastrut-

ture incide positivamente sull'indice sintetico della prima fascia, che si presenta, significativamente superiore alle medie regionali. Un'analisi più attenta dell'area di interesse, tuttavia, mette in luce la presenza di territori più problematici posti a ridosso del confine Campano-Pugliese e, più a Sud, localizzati, in larga parte, nella Valle Telesina e nel beneventano. Uno sguardo di insieme ai comuni di Puglia e Campania evidenzia tra le aree più marginalizzate in termini di infrastrutture sociali quelle dei sistemi locali dell'estremo sud della provincia di Salerno (Capaccio, Agropoli, Vallo della Lucania, Camerota, Sapri) e della Puglia.

### **3.5 Indice di livello di istruzione**

Il livello del capitale umano è una componente fondamentale di un'economia locale, determinando la capacità produttiva e la capacità del territorio di adattarsi ai cambiamenti (sociali, culturali, tecnologici e normativi). Il livello di istruzione è stato determinato, oltre che dalla popolazione laureata (primo livello o magistrale), anche dalla percentuale di popolazione con diploma di scuola secondaria superiore. Entrambi gli indicatori influenzano la definizione dell'indice sintetico positivamente; mentre, l'indice di non conseguimento della scuola di primo ciclo, che quantifica la popolazione prematuramente uscita dal circuito formativo influisce negativamente sulla costituzione dell'indicatore.

L'analisi evidenzia come la presenza di un polo universitario tenda a spingere il livello di istruzione di tutto il territorio. In particolare, guardando ai sistemi locali di prima fascia, le percentuali di laureati più elevate si registrano a Benevento, Caserta e Bari. Il sistema beneventano, in particolare, si caratterizza anche per la percentuale più elevata di popolazione con diploma di scuola secondaria e per il più basso livello di abbandono scolastico. Soffrendosi sui comuni della prima fascia, spicca la debolezza dell'area metropolitana partenopea (Afragola, Caivano, Arzano, Melito, etc.). Le criticità più evidenti riguardano però il territorio pugliese e, in particolare, i comuni della provincia di Barletta-Andria-Trani e dei sistemi di Cerignola e Foggia.

### **3.6 Indice di sviluppo del mercato abitativo**

Il mercato immobiliare è spesso considerato come una proxy dello stato di salute di un'economia locale. Un mercato vivace, infatti, è indice di benessere economico, di dinamicità demografica e di attrattività economica e sociale. Dal momento che l'abitazione rappresenta la parte più consistente della ricchezza delle famiglie, il livello dei valori immobiliari si riflette direttamente sullo stato patrimoniale degli abitanti. Uno degli impatti attesi

dall'infrastrutturazione del territorio è quello di innalzare il valore immobiliare e vivacizzare compravendite e dinamica dei prezzi. L'indice è influenzato da quattro variabili tutte con effetto positivo: i) il valore medio di compravendita (media ponderata dei valori di compravendita nel periodo 2012-2017 espressi in euro al metro quadro); ii) la vivacità del mercato (numero di scambi in percentuale sullo stock abitativo occupato nel periodo 2012-2016); iii) la ricchezza immobiliare per famiglia (rapporto tra prezzo medio 2012-2017 di un'abitazione moltiplicato per il numero di abitazioni diviso per numero di famiglie); iv) l'evoluzione della ricchezza nell'ultimo quinquennio rispetto al quinquennio precedente.

Dall'analisi emerge un valore più elevato per l'indice di sviluppo del mercato immobiliare nei comuni capoluogo e nelle aree più attrattive da un punto di vista turistico. Considerando le due regioni, il valore più elevato si registra nelle isole (Capri, Anacapri, Procida, Ischia), nella costiera amalfitana, a Sorrento e a Positano. Limitandosi alla prima fascia di attraversamento, è facile riconoscere il tipico schema dipolare, con due estremi molto forti (Bari e Napoli e comuni della prima corona) seguiti poi dalle aree interne. Vi sono però alcune eccezioni, localizzate a Benevento, nel sistema di Telesse Terme e a Caserta. È interessante notare come proprio la presenza della rete ferroviaria (ad esempio la linea Benevento, Frasso Telesino, Caserta) rappresenti un fattore determinante nel meccanismo di creazione del valore immobiliare. Infine, l'area centrale meno sviluppata include i sistemi locali di Ariano Irpino e buona parte dell'area foggiana.

### **3.7 Indice di attrattività infrastrutturale**

Le infrastrutture di trasporto, essendo in grado di modificare i perimetri di accessibilità dei territori riducendo i costi e i tempi di collegamento, individuano un fattore primario in grado di influenzare i processi di agglomerazione e localizzazione di imprese e persone. Altre tipologie di infrastrutture e le loro caratteristiche, come la diffusione della rete a banda larga o l'efficienza del funzionamento della rete idrica, contribuiscono a migliorare la competitività del sistema locale, favorendo le imprese e migliorando il benessere dei cittadini. Gli indicatori selezionati rilevano il livello di dotazione e attrattività infrastrutturale a livello locale. L'indice attribuisce particolare importanza alle infrastrutture di rete (rete stradale, rete idrica e telecomunicazioni). In particolare, per le strade oltre all'indicatore che rileva la dotazione materiale (km di rete per chilometro quadrato di superficie comunale) si è aggiunto un indice di accessibilità stradale definito calcolando i tempi di percorrenza per raggiungere da un comune tutti gli altri. L'indice sintetico

complessivo, tuttavia, assegna importanza centrale alla percentuale di popolazione servita da connessione a banda larga, enfatizzando l'importanza del sistema di telecomunicazione per lo sviluppo economico di un territorio.

Per quanto riguarda la dotazione infrastrutturale, un'orografia più regolare favorisce i comuni pugliesi, specialmente in riferimento alle infrastrutture di telecomunicazioni e all'efficienza della rete idrica. La forza dell'area napoletana, tuttavia, compensa quasi del tutto il deficit infrastrutturale campano che si osserva per le aree interne. Il sistema di Napoli è infatti in assoluto quello più accessibile, grazie alla elevata dotazione di infrastrutture stradali, e alla posizione geografica baricentrica. Inoltre, si presenta buona anche la dotazione di infrastrutture per la banda larga, con qualche criticità per quanto riguarda l'efficienza della rete idrica. Focalizzando l'analisi a livello locale, emergono invece le criticità di accessibilità dei comuni campani, in particolare dell'area sannita, dell'Irpinia e del Cilento. In Puglia, qualche criticità emerge soltanto per i comuni dell'estremo sud salentino e per i territori del foggiano a ridosso del confine campano.

### **3.8 Indice di degrado del patrimonio abitativo**

Il contesto urbano rappresenta un elemento di importanza cruciale per la valutazione socio-economica, essendo in grado di impattare sui livelli di benessere e attrattività del territorio. L'indice è costruito considerando il dato Istat sullo stato di conservazione degli edifici residenziali, insieme alla densità abitativa. L'espansione edilizia recente (rapporto percentuale tra gli edifici residenziali costruiti dopo il 2005 e il totale degli edifici residenziali al 2011) non è risultata correlata con gli altri indicatori, circostanza che si può spiegare constatando che l'attività edilizia si è concentrata nelle principali aree urbane, che, tuttavia, sono anche quelle che, mediamente, mostrano livelli di conservazione degli edifici più critici.

Nel complesso, il patrimonio edilizio pugliese appare mediamente meglio conservato. In un contesto in cui i principali agglomerati urbani mostrano indici di degrado più elevati, l'area salentina, e con essa tutta l'area costiera turistica, si caratterizza per un migliore stato di conservazione abitativo, anche per via di una discreta attività edilizia recente. I sistemi locali più densamente popolati, mostrano caratteristiche di maggiore degrado, con criticità più accentuate che si osservano a Napoli e nel Salernitano. Uno sguardo ai comuni della prima fascia di attraversamento suggerisce una presenza di indici di degrado ridotti, frutto di una minore densità abitativa e di migliori indici di conservazione del patrimonio edilizio, almeno se comparati alle medie degli altri territori di Campania e Puglia.

### **3.9 Indice di Vulnerabilità Sociale**

Per vulnerabilità sociale si intende l'esposizione di alcune fasce di popolazione a situazioni di rischio, inteso come incertezza della propria condizione sociale ed economica. L'indicatore sintetico riflette i valori del relativo indice Istat, il quale considera come variabili il livello di istruzione, la presenza di strutture familiari, le condizioni abitative, la partecipazione al mercato del lavoro e le condizioni economiche.

La misura della vulnerabilità sociale si focalizza principalmente sulla condizione di disagio vissuta dalla popolazione giovane. La quota di giovani esclusi dal mercato del lavoro e dal sistema formativo è infatti la variabile che più di tutte determina l'indice sintetico, seguita dall'uscita precoce dal sistema di istruzione e dall'indice di affollamento abitativo. L'effetto di queste variabili si riflette sulle aree a maggior rischio di disagio che coincidono con le zone metropolitane, il sistema di Napoli e tutto il golfo, ma anche Salerno e le periferie di Bari e Foggia. L'analisi della prima fascia di attraversamento mostra un profilo opposto a quello descritto, con aree di maggiore disagio localizzate agli estremi est-ovest e rischio sociale ridotto per le aree interne, circostanza che, tuttavia, è da associarsi ad una minore presenza di popolazione giovane, essendo le fasce potenzialmente a rischio più propense a ricollocarsi nelle aree metropolitane più dinamiche.

### **3.10 L'indice di vulnerabilità del territorio**

Gli indicatori che compongono l'indice di vulnerabilità del territorio sono stati selezionati considerando sia la popolazione (direttamente e indirettamente) esposta al rischio naturale, sia la condizione di "benessere del territorio". Il primo gruppo comprende la popolazione esposta a rischio idrogeologico, la densità di popolazione residente nel suolo impermeabilizzato e il patrimonio edilizio maggiormente esposto a rischio sismico (edifici con più di due piani costruiti nei comuni classificati in zona sismica 1 o 2); il secondo gruppo (benessere del territorio) considera la quota di superficie impermeabilizzata, la dispersione abitativa (ovvero la presenza più o meno diffusa di case sparse), la frammentazione del paesaggio urbano e la quantità di suolo boscato. La percentuale di suolo impermeabilizzato costituisce il fattore determinante nella costituzione dell'indice. La dispersione abitativa e la frammentazione del paesaggio urbano, invece, hanno una polarità negativa, suggerendo che l'indice tende ad isolare le realtà più densamente urbanizzate.

L'analisi dell'indice sintetico evidenzia una maggiore vulnerabilità territoriale in Campania, soprattutto nella zona compresa tra Napoli e Salerno,

area caratterizzata da livelli di impermeabilizzazione dei suoli e densità abitativa decisamente superiori alla media. Mediamente, i comuni pugliesi presentano una minore vulnerabilità territoriale, sia per l'assenza di rischio sismico, sia per un minor livello di impermeabilizzazione dei suoli. Fanno eccezione alcune città come Bari e Foggia che presentano, comunque, livelli ben distanti da quelli campani. Le aree interne tra le due regioni hanno un basso grado di vulnerabilità territoriale, che riflette sia il basso livello di antropizzazione, che l'elevata presenza boschiva.

#### 4. Lo stato di salute dei sistemi locali del lavoro

Una prima fase dell'analisi ha posto in relazione i 12 sistemi locali del lavoro investigati nello studio con gli indici sintetici dei 10 ambiti tematici. Quest'analisi consente di far emergere le potenziali criticità che affliggono i comuni attraversati dalla nascente infrastruttura. Nella tabella 3 sono riportati i 12 SLL di prima fascia ed i valori assunti dagli indici sintetici per ognuno dei 10 ambiti tematici investigati. Per ogni ambito tematico, in base al valore dell'indice, i SLL sono divisi in tre gruppi:

1. in rosso, i sistemi con valori significativamente inferiori alla media;
2. in verde, quelli con un valore abbondantemente superiore;
3. in giallo, i sistemi che mostrano un valore prossimo alla media.

	Sviluppo Agricolo	Vivacità Demografica	Livello Economico	Dotazione Infrastrutture Sociali	Livello di Istruzione	Mercato Abitativo	Attrattività Infrastrutturale	Stato Patrimonio Abitativo	Vulnerabilità Sociale	Vulnerabilità Territoriale
Caserta	67,0	84,8	79,2	85,9	76,2	50,4	84,6	67,0	70,0	75,1
Benevento	67,0	77,0	77,9	86,1	79,9	52,8	81,2	67,9	65,7	69,9
Montesarchio	66,5	82,4	78,1	83,6	73,4	50,0	78,4	67,6	68,9	70,4
Telese Terme	67,3	75,1	76,2	81,4	74,2	49,9	75,9	66,8	64,6	69,5
Napoli	69,8	85,8	80,6	86,8	68,3	56,0	87,2	72,4	81,4	81,9
Ariano Irpino	66,2	74,5	78,1	81,8	71,6	47,2	78,2	65,9	65,7	68,5
Cerignola	66,7	87,6	77,5	81,3	56,8	51,0	84,7	70,1	74,8	69,0

Foggia	65,4	79,5	78,7	84,1	71,4	52,5	85,3	69,1	68,3	70,6
Bari	65,6	79,2	81,2	84,6	73,3	55,4	85,2	66,2	66,3	71,3
Molfetta	66,6	78,6	77,4	82,5	69,3	55,7	84,4	67,2	65,0	72,0
Barletta	66,1	83,3	80,0	80,7	61,0	53,4	82,9	68,2	68,9	72,7
San Ferdinando P.	67,4	84,2	77,1	78,4	54,5	49,6	85,2	67,5	71,1	69,6
MEDIA	66,8	81,0	78,5	83,1	69,2	52,0	82,8	68,0	69,2	71,7

**Tabella 3** – *Indici di sintesi per i SLL di prima fascia.*

Dall’analisi si evince come alcuni SLL mostrano nel complesso segnali di criticità<sup>3</sup> marcata. Nello specifico, Ariano Irpino e Cerignola, per ben 6 volte su 10 mostrano un valore significativamente inferiore alla media, con il primo che presenta livelli preoccupanti dell’indicatore di vivacità demografica. Anche Telese Terme e San Ferdinando di Puglia presentano segni di forte criticità socio-economica, con la metà degli indicatori al di sotto della soglia.

#### 4.1 L’analisi multivariata: i cluster territoriali omogenei

Al fine di individuare strutture omogenee (cluster) presenti sul territorio e cioè raggruppamenti di comuni con caratteristiche socioeconomiche simili, si è proceduto ad una analisi multivariata (cluster analysis). I cluster saranno quindi utilizzati per indagare se e in che modo l’impatto della nuova opera infrastrutturale si differenzia tra territori con caratteristiche simili. I cluster, pertanto, consentono di agevolare e semplificare l’interpretazione dei fenomeni, nonché di pervenire ad una sintesi coerente dei dati in esame.

Le municipalità di Campania e Puglia si distribuiscono in 5 gruppi omogenei di appartenenza (Tabella 4).

1. Il **gruppo 1**, include in larga parte l’area metropolitana di Napoli. Questo gruppo risulta caratterizzato da una elevata vivacità demo-

<sup>3</sup> Tuttavia, l’aggregazione per sistemi locali necessariamente comporta una perdita di informazione. Ad esempio, il sistema di Ariano Irpino è caratterizzato da un comune centrale che, al pari di alcuni comuni adiacenti (Flumeri, Grottaminarda), mostra valori degli indici socio-economici nella media (in alcuni casi anche valori superiori); tuttavia, il risultato del sistema locale risulta fortemente penalizzato dalla presenza di un gruppo di comuni montani dalle caratteristiche di forte criticità (Savignano Irpino, Greci, Zungoli).

grafica ed economica, ma anche da un alto livello di vulnerabilità sociale, circostanza che si spiega con la maggiore presenza di popolazione giovane, mediamente meno istruita e maggiormente esposta al rischio di disagio occupazionale e sociale. Il gruppo è altresì caratterizzato da un elevato indice di sviluppo agricolo, circostanza legata alla presenza al suo interno di comuni del distretto agroalimentare campano (es. Gragnano e Lettere). Il patrimonio abitativo risulta mediamente in peggior stato di conservazione, con il territorio caratterizzato da un elevato livello di rischio naturale, in particolare, di origine sismica (zona rossa del Vesuvio). In termini puramente dimensionali, il gruppo 1, nonostante sia composto da soli 100 comuni, è quello demograficamente più consistente.

2. Il **gruppo 2**, include gran parte dei capoluoghi provinciali e le aree limitrofe fortemente antropizzate. Le sue caratteristiche non si discostano, almeno in termini economici, da quelle del primo gruppo. Infatti, ad un elevato livello di sviluppo economico (reddito e presenza di attività economiche) si accompagna una buona dotazione di infrastrutture sociali (sanitarie e scolastiche) ed economiche (trasporti, telecomunicazioni, etc.). La differenza più evidente riguarda il livello di istruzione, mediamente più elevato, e un indice di vulnerabilità sociale decisamente meno marcato, elementi che si collegano ad una minore vivacità demografica. Quest'ultimo indica una struttura della popolazione nel complesso più matura e meno esposta ai fenomeni di disagio. Il gruppo è altresì caratterizzato da un mercato immobiliare sviluppato, anche per via della presenza di aree di pregio ad elevato sviluppo turistico (costiera Amalfitana, Sorrento, Positano e le Isole); meno significativo, invece, l'indice di sviluppo agricolo. Il gruppo due, mostra la quota maggiore in termini di attività economiche e di addetti, ma anche un valore medio comunale (di popolazione, addetti e imprese) leggermente più contenuto.
3. Il **gruppo 3** è costituito dai comuni dell'entroterra. Esso è caratterizzato da un livello di sviluppo economico medio-basso, localizzato principalmente a ridosso dei capoluoghi, dotati di un buon livello infrastrutturale, demograficamente maturi e con bassa vulnerabilità sociale e basso rischio naturale. Tuttavia, rispetto ai capoluoghi, il mercato immobiliare dei comuni appartenenti a questo gruppo risulta meno sviluppato.
4. Il **gruppo 4** è prevalentemente composto dai comuni pugliesi con un'economia incentrata sul turismo estivo e vacanziero (aree del Salento e

- Gargano), vivaci demograficamente ma, rispetto ai gruppi 2 e 3, caratterizzate da un minore livello di istruzione, inferiore livello di sviluppo del mercato abitativo e maggiore esposizione a fenomeni di disagio sociale.
5. Il **gruppo 5** è quello che presenta le maggiori criticità. È composto dai comuni interni caratterizzati da fenomeni di forte spopolamento e spiccato indebolimento della struttura demografica (invecchiamento strutturale), con un livello economico basso, un mercato immobiliare depresso e scarsamente dinamico. Il gruppo cinque definito “Entrotterra montano e territori disagiati”, seppur consistente in termini di municipalità afferenti (ben 191), conta appena il 4,5% della popolazione e poco più del 3% del totale degli addetti di Puglia e Campania, per una media di appena 2.000 abitanti per comune e soli 300 addetti.

Cluster	Denominazione	Numero di comuni
1	Area metropolitana di Napoli	100
2	Capoluoghi e centralità economiche e di pregio	125
3	Periferia di seconda fascia con caratteristiche mediane	180
4	Puglia e interno campano	212
5	Entrotterra montano e territori disagiati	191

**Tabella 4** – *Denominazione dei cluster identificati.*

Limitando l’attenzione ai comuni dei sistemi locali attraversati dalla tratta ferroviaria, si osserva come nella prima fascia di interesse siano rappresentati tutti i cinque gruppi identificati. La direttrice Napoli-Bari, infatti, include una parte significativa dell’area metropolitana di Napoli (Gruppo 1, di cui 57 comuni) e alcuni capoluoghi provinciali e le aree limitrofe afferenti al Gruppo 2 (Benevento, Foggia e Bari); si osserva poi la presenza di 49 comuni del Gruppo 3, prevalentemente nell’area del Sannio (sistema locale beneventano) e del sistema di Ariano Irpino, nonché 44 comuni del gruppo 4 (soprattutto lungo il tratto pugliese). Si nota poi la presenza di un “cuscinetto” composto da una ventina di comuni del Gruppo 5, che separa – perpendicolarmente alla direttrice ferroviaria – il tratto pugliese da quello campano.

Lo studio condotto, inoltre, ha consentito di individuare gruppi demografici omogenei in cui è possibile distinguere le realtà demograficamente più in salute da quelle che vivono una situazione di declino più o meno marcato (Tab 5). A tale scopo, le unità territoriali sono state riclassificate sulla base dei fenomeni demografici. La selezione delle variabili demografiche è stata effettuata in funzione di fattori strutturali (mix generazionale e presenza di giovani

e anziani), delle dinamiche in atto (movimento naturale e migratorio, variazione della popolazione) e in funzione delle previsioni di scenario.

Dal punto di vista delle caratteristiche demografiche, l'analisi statistica ha definito cinque gruppi di comuni con caratteristiche omogenee:

1. **Crescita** (gruppo 1): comprende 221 comuni caratterizzati da un sostanziale equilibrio generazionale, più elevata presenza straniera, bilancio naturale e flussi migratori positivi, popolazione in crescita. Questo è il gruppo dei comuni più dinamici, comprendente la corona metropolitana di Napoli e Salerno e la conurbazione adriatica compresa tra Foggia e Bari. Si tratta di aree densamente popolate, in cui al 2016 risiedevano complessivamente 4,04 milioni di abitanti, con una dinamica di crescita che nell'ultimo decennio ha fatto registrare un incremento del 4,5%. Qui si registra una maggiore presenza giovanile (16%) e di popolazione in età lavorativa (68%), mentre l'incidenza di anziani è contenuta (16%). Sebbene demograficamente più dinamici, lo scenario previsionale fa emergere una chiara tendenza al rallentamento della crescita, identificando nell'arco del prossimo decennio, una inversione del trend. Infatti, dal 4,5% di crescita del decennio passato, nel prossimo decennio (2017-2026) l'andamento demografico confermerebbe una crescita nella sola ipotesi alta<sup>4</sup> con un modestissimo +0,6%, mentre nell'ipotesi bassa<sup>5</sup> le aspettative sono per un -2,1%, con una ipotesi centrale<sup>6</sup> del -0,7%. Nel decennio successivo poi (2027-2036), la contrazione sarà ancora più marcata. È evidente anche il marcato processo di invecchiamento demografico, con la riduzione della componente giovanile e in età da lavoro, ed il forte incremento degli anziani, mentre l'incidenza dei residenti stranieri, dall'attuale 3,8%, nell'arco di un decennio potrebbe giungere al 6%, superando l'8% nell'arco di un ventennio.
2. **Stabilità** (gruppo 2): comprende 286 comuni caratterizzati da un lieve squilibrio generazionale, discreta presenza straniera, bilancio naturale e flussi migratori negativi, popolazione stabile. Il Gruppo 2 comprende i comuni a popolazione stabile, raggruppando i poli metropolitani principali, tra cui Napoli, Bari, Salerno e Foggia, e molti comuni interni della

---

<sup>4</sup> scenario alto è costruito sulla base di tassi di fecondità, sopravvivenza e flussi migratori (interni e con l'estero) più sostenuti.

<sup>5</sup> scenario basso è costruito sulla base di tassi di fecondità, sopravvivenza e flussi migratori (interni e con l'estero) peggiorativi.

<sup>6</sup> scenario centrale che definisce la dinamica futura sulla base delle tendenze demografiche registrate nei periodi precedenti.

Campania e della Puglia. Il peso demografico, poco meno di 4,7 milioni di abitanti, è pari a quasi la metà della popolazione complessivamente residente nell'area (47,3%). La dinamica demografica è sostanzialmente stazionaria (+0,1% nel decennio), ma la bassa presenza giovanile (14%) e l'elevata presenza di anziani (21%), definiscono un bilancio naturale fortemente negativo. Sebbene il consistente afflusso di popolazione straniera contribuisca a bilanciare il processo di invecchiamento strutturale, facendo registrare 105.553 residenti in più nell'ultimo decennio, i consistenti flussi in uscita di popolazione italiana (quasi 63mila in meno nel decennio), riducono gli effetti generali sul processo di rigenerazione della struttura demografica. Per i comuni del gruppo 2, lo scenario previsionale evidenzia una tendenza al netto peggioramento del quadro generale. Nel prossimo decennio (2017-2026), anche nell'ipotesi alta si definirebbe un calo netto del -3,6%, giungendo addirittura al -6% nell'ipotesi bassa, con una ipotesi centrale del -4,8%. Ancora più marcata la contrazione nel decennio successivo (2027-2036). Anche in questo caso è evidente il processo di invecchiamento demografico, con la riduzione della componente giovanile ed in età da lavoro, e l'incremento della popolazione anziana, mentre l'incidenza dei residenti stranieri, dall'attuale 3,8%, nell'arco di un decennio potrebbe giungere al 6%, e quasi al 9% nell'arco di un ventennio.

3. **Invecchiamento** (gruppo 3): comprende 212 comuni caratterizzati da un notevole squilibrio generazionale, bassa presenza straniera, bilancio naturale e flussi migratori negativi, calo demografico. I comuni con evidenti processi di invecchiamento demografico sono principalmente localizzati nell'entroterra campano, nella penisola Salentina e nel Cilento. La consistenza demografica conta poco più di un milione di abitanti (10,9% del totale), con una dinamica che, nel decennio, fa segnare un netto calo (-2,8%). Rispetto ai comuni del gruppo 2 la presenza giovanile è più bassa (12%) e quella degli anziani più elevata (25%), delineando nell'ultimo decennio un bilancio naturale negativo rappresentato da 39mila morti in più dei nati (4,3 unità in meno per 100 residenti). Ad un modesto afflusso di popolazione straniera (21mila nel decennio) si contrappone una maggiore stazionarietà della popolazione autoctona (solo 8.800 in meno nel decennio), determinata prevalentemente dalla minore presenza di giovani, principali protagonisti dei fenomeni migratori. Anche per i comuni del gruppo 3, lo scenario previsionale evidenzia una tendenza ad un netto calo. Nel prossimo decennio (2017-2026), nell'ipotesi alta si definirebbe un calo netto del -3,4%, giungendo al -6,6% nell'ipotesi bassa, con una ipotesi

centrale del -5%. Ancora più marcata la contrazione nel decennio successivo (2027-2036), compresa tra il -6,3% dell'ipotesi alta ed il -9,6% dell'ipotesi bassa. Nonostante la presenza di popolazione anziana sia già a livelli altissimi, il processo di invecchiamento demografico non mostra segnali di arresto. Tuttavia, anche in questo gruppo l'incidenza dei residenti stranieri è in crescita, dall'attuale 3,4%, nell'arco di un decennio potrebbe giungere al 6% (e al 9% nell'arco di un ventennio).

4. **Declino** (gruppo 4): comprende 78 comuni caratterizzati da elevato squilibrio generazionale, media presenza straniera, bilancio naturale e flussi migratori fortemente negativi, popolazione in forte calo.
5. **Spopolamento** (gruppo 5): comprende 11 comuni caratterizzati da elevatissimo squilibrio generazionale, bassa presenza straniera, bilancio naturale e flussi migratori fortemente negativi, popolazione in fortissimo calo.

Il Gruppo 4 e 5, sono rappresentati dai comuni con avanzati processi di declino demografico e spopolamento, situati principalmente nell'arco appenninico tra Puglia e Campania e nel Cilento interno. La consistenza demografica conta circa 100mila abitanti, ed una dinamica che nell'arco dell'ultimo decennio ha fatto registrare 14mila abitanti in meno (-11%). La situazione socio-demografica è decisamente problematica, con una presenza di giovani inferiore al 9% ed una presenza di anziani che supera il 30%. Ad aggravare un bilancio naturale che nell'ultimo decennio ha fatto registrare 11.035 morti in più del numero di nati è la mancanza di significativi flussi stranieri. Ne consegue che, in assenza di azioni concrete, questi comuni potrebbero scomparire nell'arco di pochi anni.

Gruppo	No. comuni	Indice di vecchiaia	Incidenza stranieri %	Indice Movimento naturale	Movimento migratorio	Var. pop. (2007-2016) %	Var. Pop. (2017-2026) %
1 Crescita	221	98,8	3,8	1,1	-0,4	4,5	-0,8
2 Stabilità	286	154,7	3,8	-0,8	-0,6	0,1	-5,0
3 Invecchiamento	212	212,6	3,4	-2,4	-0,4	-2,8	-10,0
4 Declino	78	319,4	3,4	-4,8	-1,7	-10,7	-10,3
5 Spopolamento	11	608,5	2,7	-7,7	-3,8	-19,4	-26,2

**Tabella 5** – *Indicatori demografici per gruppi.*

Lo scenario previsionale conferma una tendenza di calo sugli stessi livelli dell'ultimo decennio (-11,4%). Le aspettative per il prossimo decennio, infatti, definiscono un calo demografico compreso tra il -7,9% dell'ipotesi alta ed il -12,8% dell'ipotesi bassa, e nel decennio successivo (2027-2036) la riduzione attesa è compresa tra il -9,5% dell'ipotesi alta, e il -14,1% dell'ipotesi bassa. A contribuire all'invecchiamento strutturale sarà soprattutto la riduzione della popolazione giovane ed in età lavorativa, l'incremento degli anziani sarà infatti assai contenuto. I fenomeni di spopolamento determineranno un forte incremento della presenza straniera, che dall'attuale 3,3%, nell'arco di un decennio potrebbe giungere al 8,1%, superando il 13% nell'arco di un ventennio.

Volgendo lo sguardo ai comuni appartenenti alla prima fascia di attraversamento, quello che l'analisi dei gruppi mostra è un sistema territoriale costituito da una fascia di attraversamento appenninico assai problematica. La fascia di attraversamento è interessata da due centralità locali, Benevento ed Ariano Irpino, classificate nel gruppo dei comuni con dinamiche stabili, a ridosso delle quali trovano collocazione comuni caratterizzati da fenomeni di invecchiamento, declino e spopolamento, soprattutto con riferimento alle aree marginali. Le centralità di attestamento, sono costituite da una corona metropolitana più forte, con maggiore presenza giovanile e dinamiche di crescita più sostenute, mentre le località centrali (Napoli e Bari) sono qualificate come stazionarie. Lo scenario previsionale, tuttavia, sebbene con notevoli differenze di intensità tra le diverse aree, evidenzia un quadro generale abbastanza problematico. La riclassificazione dei comuni in base ai dati di scenario, mostra con grande chiarezza l'indebolimento del sistema, sia con riferimento ai poli metropolitani di attestamento, sia, soprattutto, ai comuni della fascia di attraversamento, che nell'arco di un decennio sarà in gran parte caratterizzata da invecchiamento, declino e spopolamento. Infatti, in termini generali l'andamento demografico indica che da una crescita del +1,7% del decennio passato, si passerà ad un calo atteso netto pari al -3,1% nel prossimo decennio e al -6,3% nel decennio successivo (ipotesi centrale). Inoltre, nelle aree soggette a più evidenti fenomeni di declino demografico (gruppo 3, 4 e 5) si potrebbe giungere ad un calo atteso superiore al -10%, con picchi di oltre il -20% nei comuni del gruppo 5.

## **5. Lo scenario di progetto: valutazione dell'impatto sul territorio**

### **5.1 L'accessibilità ferroviaria nello scenario attuale**

Gli effetti sull'accessibilità ferroviaria generati dalla rete di trasporto attuale si propagano, da Napoli, lungo la direttrice Nord-Est (Napoli-Caserta, Napoli-Benevento) e verso sud (direttrice Napoli-Salerno), esaurendosi quasi del tutto in prossimità del confine pugliese (sistemi di Ariano Irpino, San Bartolomeo e

Foggia) e di quello Lucano (Cilento). In Puglia, appare evidente il peso del sistema ferroviario adriatico, che fa capo all'area metropolitana di Bari, e che definisce un profilo di accessibilità lineare lungo la direttrice nord (Trani, Barletta, Foggia) e, in misura minore, verso Sud (Brindisi, Lecce). Appare evidente l'effetto di isolamento "geografico" che caratterizza tutti i territori al confine con la Basilicata, il profondo sud pugliese e l'area garganica.

Limitandoci alla prima fascia di attraversamento, emerge la presenza di un'area più fortemente penalizzata dal sistema trasportistico odierno e posta a ridosso del confine campano-pugliese, che include i sistemi locali di Ariano Irpino, parte di quello Beneventano e Foggiano. Oltre a Napoli e Bari, buoni livelli di accessibilità ferroviaria si registrano nel territorio casertano, che, come vedremo, nello scenario di progetto è destinato a diventare uno dei punti di forza del sistema trasportistico della Campania.

## **5.2 L'accessibilità ferroviaria nello scenario di progetto**

Per il calcolo dell'accessibilità ferroviaria nello scenario di progetto si è provveduto a costruire un tabellone dei treni "futuro" per tutte le stazioni di Campania e Puglia. Per le tratte attualmente in servizio, sono stati modificati i tempi di collegamento dei treni già esistenti (regionali, intercity, frecce) e, nel caso, aggiunti nuovi treni così da aumentare la frequenza giornaliera in funzione delle indicazioni disponibili. Allo stesso modo, come indicato da progetto, sono state aggiunte nuove tratte e collegate le nuove stazioni.

L'impatto del potenziamento della linea sui profili di accessibilità comunale è considerevole e coinvolge tutto il sistema campano-pugliese. È evidente, tuttavia, come l'effetto più accentuato si localizzi lungo la direttrice-tirrenico adriatica (fascia 1) e, in particolare, sul sistema sannita, il casertano e su parte di quello foggiano. Concentrandosi sulla prima fascia di attraversamento, appare chiaro come l'opera sarà in grado di impattare, e di farlo in maniera decisa, proprio sull'accessibilità di quei territori che oggi presentano le criticità più evidenti (gruppi 4 e 5 dell'analisi dei cluster); non solo tutta l'area beneventana, infatti, ma anche l'Irpinia e i territori montani a cavallo del confine regionale. Da osservare, inoltre, come la realizzazione del progetto porterà ad una minore polarizzazione del sistema ferroviario, riducendo la centralità dell'area napoletana in favore di Afragola, Caserta e Benevento. In Puglia, oltre al miglioramento del sistema Foggiano, si osserva un impatto positivo per i territori a ridosso di Bari, mentre miglioramenti meno pronunciati si osservano nell'area tra Barletta, Andria e Trani. Ciò principalmente grazie al ruolo della stazione di Bari, punto di accesso per il trasporto ad alta velocità che collega il capoluogo pugliese con la più popolosa

area metropolitana di Napoli. Come intuibile, l'impatto appare più modesto, se non in alcuni casi nullo, per i territori non direttamente attraversati dalla linea ferroviaria di progetto (fasce 2 e 3) o più periferici rispetto alle centralità economiche del sistema campano-pugliese, quali il Cilento, il confine lucano, l'estremo sud del Salento e la parte costiera del Gargano.

Il progetto della nuova infrastruttura prevede interventi volti a determinare una variazione del tracciato, all'adeguamento della tratta esistente, e alla revisione delle stazioni. In particolare, le tratte che subiranno una variazione del tracciato sono quelle tra Napoli e Cancellò, Apice e Orsara e la bretella di Foggia. Il resto della tratta è interessato essenzialmente da interventi di raddoppio della linea ferroviaria e adeguamento dei binari esistenti per consentire di ridurre i tempi di percorrenza. Inoltre, nel progetto è prevista l'introduzione della nuova stazione Hirpinia e la soppressione delle stazioni lungo i tratti di ferrovia dismessa. Le stazioni cambieranno anche dal punto di vista qualitativo, ovvero, oltre a rappresentare il nodo di scambio modale, diventeranno veri e propri hub tecnologici che implementeranno la dotazione già presente nei comuni.

Infine, il progetto prevede di accorciare i tempi di percorrenza tra Napoli e Bari di 60 minuti, riduzione da attribuire prevalentemente alla tratta Cancellò-Foggia. Si prevede che tale riduzione interesserà sia il servizio regionale, sia il servizio di lunga percorrenza. In particolare, i tempi di percorrenza (del servizio di lunga percorrenza) saranno ridotti del 28% nella tratta Cancellò-Benevento, mentre quelli del servizio regionale del 38%.

## **6. Accessibilità e dinamiche territoriali**

L'obiettivo di questo paragrafo è quello di valutare come il potenziamento del profilo di accessibilità ferroviaria del sistema campano-pugliese si traduca in un miglioramento dei parametri socio-economici del territorio. A tal fine, si è ritenuto opportuno operare una analisi cross-sectional che metta in evidenza la relazione che si instaura sul territorio tra accessibilità ferroviaria, indici di vivacità demografica e livello di sviluppo economico.

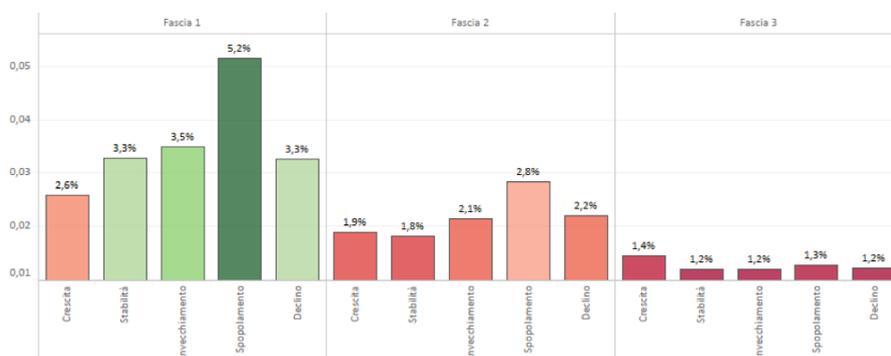
Al fine di studiare la struttura di dipendenza esistente tra infrastruttura ferroviaria e i pilastri socio-economici, si sono stimati opportuni modelli di regressione lineare, ottenuti utilizzando l'accessibilità ferroviaria come variabile indipendente e gli indici di vivacità demografica e livello economico come variabili dipendenti.

Il modello consente di stimare l'impatto del potenziamento infrastrutturale della tratta Napoli-Bari sul profilo di vivacità demografica del sistema campano-pugliese.

## 6.1 Accessibilità ferroviaria e vivacità demografica

L'analisi è stata condotta utilizzando un modello di regressione lineare al livello comunale che utilizza l'accessibilità ferroviaria attuale come variabile indipendente e l'indice di vivacità demografica come variabile dipendente.

L'analisi ci restituisce un risultato che nel complesso è positivo e pari ad un +2,1% di crescita media. L'effetto maggiore si registra per i comuni della prima fascia di attraversamento, ovvero quelli più direttamente interessati dal potenziamento infrastrutturale (Figura 1).



**Figura 1** – Variazione dell'indice di vivacità demografica comunale nello scenario di progetto.

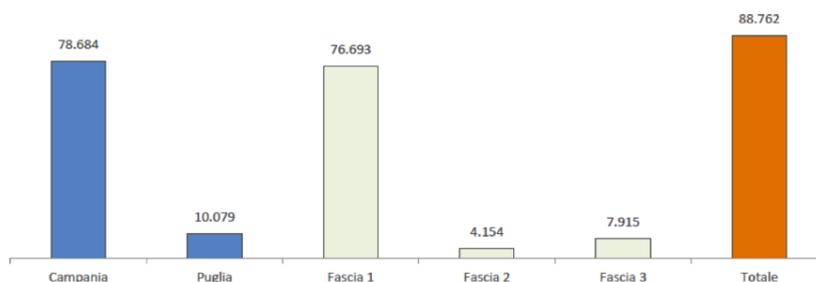
Inoltre è interessante osservare come siano i territori più disagiati a misurare i benefici maggiori. I comuni della prima fascia classificati come in spopolamento (la classe in assoluto più problematica), ad esempio, vedrebbero incrementare il loro indice di vivacità demografica, mediamente, del +5,2%, un dato da confrontare con la media totale del +2,1%. Stesso dicasi per i comuni in declino demografico (+3,3%) e quelli classificati come in invecchiamento strutturale (+3,5%). Anche all'interno delle altre fasce, tuttavia, i gruppi demograficamente più deboli mostrano gli incrementi più sostenuti.

## 6.2 L'impatto sulle previsioni demografiche

Nei paragrafi precedenti è stato evidenziato come il sistema campano-pugliese mostri dinamiche demografiche di generale indebolimento, che potrebbero portare, nell'arco di un ventennio, ad una perdita complessiva di quasi un milione di residenti (scenario centrale); perdita che, per quasi la metà, si concentra nei comuni della prima fascia di attraversamento (-441 mila abitanti).

L'analisi condotta analizza il miglioramento nello scenario demografico che si otterrebbe modificando i parametri demografici attuali in funzione dello scenario di progetto. In altre parole, come cambiano le previsioni demografiche se al posto degli indici di vivacità demografica reali si sostituiscono quelli dedotti dall'analisi di impatto progettuale.

Quello che ci si aspetta è una inversione in positivo del trend di calo che caratterizza il sistema campano-pugliese. L'analisi mostra, che nello scenario ventennale, considerando Campania e Puglia, si avrebbe un guadagno netto di popolazione (da intendersi come minore calo rispetto allo scenario attuale) di quasi 90 mila persone, ovvero, più della popolazione attuale di città come Brindisi, Torre del Greco, Pozzuoli, Casoria o Caserta. La quasi totalità di questo guadagno si concentra nei territori della prima fascia di attraversamento, che vedrebbe porsi un freno all'attuale trend di spopolamento quantificabile, in vent'anni, in quasi 77 mila residenti (Figura 2). Al livello regionale, l'89% del minore calo demografico si concentra in Campania.



**Figura 2** – Guadagno di popolazione al 2036 con lo scenario di progetto.

Il rafforzamento maggiore si osserva per le aree più direttamente interessate dal miglioramento dell'accessibilità ferroviaria e che presentano una condizione iniziale di maggiore criticità socioeconomica. In particolare, si tratta dei territori più isolati dell'arco appenninico campano-pugliese, ovvero, i comuni facenti parte dei sistemi locali di Ariano Irpino, Benevento e Foggia, a cui aggiungere (fuori dalla prima fascia) Avellino, San Bartolomeo, San Marco dei Cavoti e, più verso Sud, Montesarchio, Telese e buona parte del Casertano e, soprattutto, i comuni della corona metropolitana di Napoli (che partono da una situazione di vivacità economica già significativamente migliore), in particolare, Acerra, Giugliano e Casalnuovo. Sulla dorsale adriatica, invece, da segnalare i guadagni, seppur più contenuti, stimati per San Ferdinando di Puglia e Bari.

### 6.3 Accessibilità ferroviaria e indice di livello economico

L'analisi è stata condotta utilizzando un modello di regressione lineare che utilizza l'accessibilità ferroviaria attuale come variabile indipendente e l'indice di livello economico come variabile dipendente.

Come prevedibile, i risultati, nel loro complesso, non si differenziano da quelli misurati per il pilastro demografico. L'impatto è in generale positivo, anche se di magnitudine più contenuta: +1,6% di incremento medio tra i comuni di Campania e Puglia (Figura 3). La crescita maggiore si concentra tra i comuni dei sistemi locali di prima fascia e, anche in questo caso, a beneficiarne maggiormente sono i territori che nel contesto attuale presentano una condizione più critica. Tuttavia, rispetto all'indice di vivacità demografica la differenza appare meno marcata e tende a scomparire a mano a mano che ci si allontana dall'infrastruttura interessata.

Geograficamente, il rafforzamento più evidente si osserva per le centralità infrastrutturali di Caserta, Benevento e Foggia, ma anche, e soprattutto, per i comuni attualmente più marginalizzati dell'arco appenninico. Anche il sistema adriatico di Bari appare beneficiare in maniera significativa, e questo nonostante i lavori di potenziamento presi in esame si concentrino sulle tratte Napoli-Benevento e Benevento-Foggia.

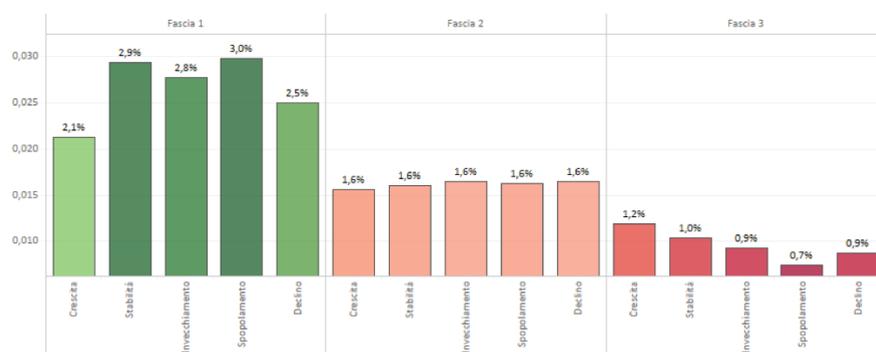
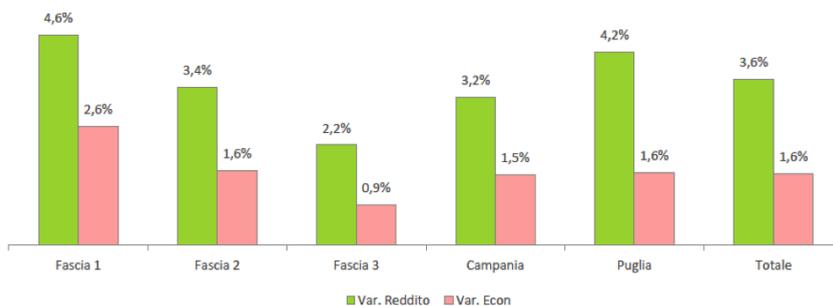


Figura 3 – Variazione dell'indice di livello economico comunale nello scenario di progetto.

La figura 4 mostra la variazione del reddito aggregato associata ad una variazione dell'indice di livello economico di entità pari a quella ottenuta in base allo scenario di progetto. In sostanza, una variazione dell'1,6% del livello economico del territorio si traduce, indicativamente, in un aumento del reddito prodotto dai residenti pari al 3,6%. Ovviamente, l'incremento potenziale maggiore si registra per i comuni della prima fascia (+4,6%)



**Figura 4** – *Impatto sulle variabili reddituali aggregate della variazione dell'indice di livello economico.*

## 7. Conclusioni

Lo studio condotto nell'ambito del progetto "Consultazione per la revisione e il consolidamento delle linee strategiche di Ricerca e Innovazione nell'ambito di sviluppo dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari" era volto ad analizzare le ricadute demografiche e socio-economiche derivanti dalla nuova infrastruttura AV/AC Napoli-Bari. In particolare lo studio mirava a valutare gli effetti della realizzazione dell'infrastruttura, in termini di valore aggiunto delle aree attraversate e di ripopolamento, oltre che a valutare le potenziali iniziative di carattere imprenditoriale che l'infrastruttura rinnovata, e gli investimenti complementari associati, saranno in grado di stimolare.

L'analisi delle ricadute demografiche e socio-economiche è stata condotta combinando numerose variabili statistiche identificate da 73 indicatori, suddivisi in dieci ambiti tematici. Per ogni ambito tematico, in base al valore dell'indice, è stato possibile individuare facilmente le criticità dei sistemi locali del lavoro interessati dall'infrastruttura. In particolare, alcuni sistemi come Ariano Irpino e Cerignola, per ben 6 volte su 10 mostrano un valore significativamente inferiore alla media, con il primo che presenta, in particolare, livelli preoccupanti dell'indicatore di vivacità demografica. Anche Telese Terme e San Ferdinando di Puglia presentano segni di forte criticità socio-economica, con la metà degli indicatori al di sotto della soglia.

Quindi attraverso l'analisi statistica multivariata sono stati identificati cinque gruppi demografici omogenei, così da evidenziare le realtà demograficamente più in salute da quelle che vivono una situazione di declino (più o meno marcato). Il Gruppo 1, quello dei comuni più dinamici, comprende la corona metropolitana di Napoli e Salerno e la conurbazione adriatica compresa tra Foggia e Bari. La dinamica di crescita ha fatto registrare nell'ultimo decennio un incremento del 4,5%; inoltre, questo gruppo presenta una mag-

giore presenza giovanile (16%) e di popolazione in età lavorativa (68%), mentre l'incidenza di anziani è assai contenuta (16%). Il Gruppo 2, quello dei comuni a popolazione stabile, sul piano del profilo socio-demografico, accomuna i poli metropolitani principali, tra cui Napoli, Bari, Salerno e Foggia, e molti comuni interni della Campania e della Puglia. La dinamica demografica è sostanzialmente stazionaria (+0,1% nel decennio), ma la bassa presenza giovanile (14%) e l'elevata presenza di anziani (21%), definiscono un bilancio naturale fortemente negativo. Il Gruppo 3, comprende i comuni con evidenti processi di invecchiamento demografico, principalmente localizzati nell'entroterra campano, nella penisola Salentina e nel Cilento. La dinamica demografica fa segnare un netto calo (-2,8% nel decennio). Rispetto ai comuni del gruppo 2 la presenza giovanile è più bassa (12%) e quella degli anziani più elevata (25%), definendo nell'ultimo decennio un bilancio naturale negativo. Il Gruppo 4 e 5, comprende i comuni con avanzati processi di declino demografico e spopolamento, situati principalmente nell'arco appenninico tra Puglia e Campania e nel Cilento interno. La dinamica demografica dell'ultimo decennio ha fatto registrare 14mila abitanti in meno (-11%). La situazione socio-demografica è decisamente problematica, con una presenza di giovani inferiore al 9% ed una presenza di anziani che supera il 30%. Inoltre, queste aree non evidenziano significativi flussi stranieri.

In relazione ai profili di accessibilità, lo studio ha rilevato importanti ricadute sul sistema campano e pugliese legate al potenziamento dell'infrastruttura. L'effetto più accentuato si localizza lungo la direttrice-tirrenico adriatica (fascia 1) e, in particolare, sul sistema sannita, il casertano e su parte del foggiano. Concentrandosi sulla prima fascia di attraversamento, appare chiaro come l'opera sarà in grado di impattare, in maniera decisa, sull'accessibilità di quei territori che oggi presentano le criticità più evidenti (gruppi 4 e 5). La realizzazione dell'infrastruttura porterà, infatti, ad una minore polarizzazione del sistema ferroviario, riducendo la centralità dell'area napoletana in favore di Afragola, Caserta e Benevento.

La relazione tra accessibilità ferroviaria e indici di vivacità demografica si registra in misura marcata per i comuni della prima fascia di attraversamento. Tuttavia, è interessante osservare come siano i territori più disagiati ad evidenziare i benefici maggiori. I comuni della prima fascia classificati come in spopolamento (la classe in assoluto più problematica), ad esempio, vedrebbero incrementare il loro indice di vivacità demografica, mediamente, del +5,2%, valori simili ai comuni in declino demografico (+3,3%) e quelli classificati come in invecchiamento strutturale (+3,5%). Modificando i parametri demografici attuali in funzione degli sviluppi del progetto, nello sce-

nario ventennale (2036), Campania e Puglia otterranno un guadagno netto di popolazione (da intendersi come minore calo rispetto allo scenario attuale) di quasi 90 mila persone. La quasi totalità di questo guadagno si concentra nei territori della prima fascia di attraversamento, che vedrebbe porsi un freno all'attuale trend di spopolamento quantificabile, in vent'anni, in quasi 77 mila residenti. Al livello regionale, l'89% del minore calo demografico si concentra in Campania.

Dal punto di vista dello sviluppo economico, i risultati non si differenziano da quelli misurati per il pilastro demografico. L'impatto è in generale positivo, anche se di magnitudine più contenuta: +1,6% di incremento medio tra tutti i comuni di Campania e Puglia. La crescita maggiore si concentra tra i comuni dei sistemi locali di prima fascia e, anche in questo caso, a beneficiarne maggiormente sono i territori che partono da una condizione più critica.

Tuttavia, l'analisi condotta, non tiene in considerazione l'effetto relativo all'attrattività di imprese e capitali esterni ai territori considerati. Infatti, un efficiente sistema infrastrutturale può fungere – unitamente ad altre caratteristiche territoriali – da elemento catalizzatore per imprese ed attività economiche. Nello specifico, un'analisi condotta da Cushman&Wakefield presso i dirigenti di 500 importanti multinazionali, ha rilevato che i primi quattro fattori considerati al momento di decidere dove trasferirsi sono: i) la disponibilità di personale qualificato; ii) il facile accesso a mercati, consumatori o clienti; iii) la qualità delle telecomunicazioni; iv) i collegamenti di trasporto con altre città e a livello internazionale. Infine, la realizzazione del raddoppio dell'itinerario AV/AC Napoli-Bari si pone come l'occasione per creare una vera e propria direttrice di sviluppo multifunzionale attraverso la quale mettere in sinergia gli investimenti correlabili al potenziamento dell'itinerario stesso, quali il riuso degli immobili ferroviari, le infrastrutture stradali per connettere i nodi di interscambio, i nodi di interscambio viaggiatori e il loro inserimento nel territorio, le infrastrutture per la logistica a supporto degli insediamenti e delle aree industriali, il supporto delle reti energetiche e digitali con le quali la ferrovia può sviluppare iniziative sinergiche di innovazione. Infine, l'impatto stimato non tiene conto degli ulteriori benefici derivanti dalle opere complementari all'infrastruttura ferroviaria.

## Riferimenti bibliografici e sitografici consultati

[1] <https://www.istat.it/it/dati-analisi-e-prodotti/statistiche-a-z>

[2] <http://dati.istat.it/>

[3] <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/schede>

[4] <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/archivio>

- [5] <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/schede/fabbricatiterreni/omi/pubblicazioni>
- [6] <https://www.bancaditalia.it/statistiche/index.html>
- [7] <https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/index.html>
- [8] <https://www.dati.gov.it/>

## Note

Università degli studi del Sannio, (Italy), [marotta@unisannio.it](mailto:marotta@unisannio.it)

Università degli studi di Napoli L'Orientale, (Italy), [rarbolino@unior.it](mailto:rarbolino@unior.it)

# Metodi di stima e di valutazione di impatti trasportistici

Stefano de Luca, Armando Cartenì, Vittorio Marzano

## Abstract

Il capitolo propone un sintetico quadro metodologico che consenta di comprendere i metodi consolidati per la simulazione di un sistema di trasporto e di valutazione di impatti trasportistici, funzionali alla verifica di scenari trasportistici e/o urbanistici (pianificazione dei trasporti). Vengono di seguito enucleati i fondamenti teorici delle singole fasi della procedura i caratteri normativi, se presenti, e le componenti modellistiche di ognuna di esse.

## 1. Introduzione alla pianificazione dei trasporti<sup>1</sup>

Per **pianificazione dei sistemi di trasporto** si intende quella sequenza di fasi attraverso le quali individuare gli interventi (prendere delle decisioni) sul sistema dei trasporti o su sue componenti, al fine di conseguire gli obiettivi prefissati (es. ridurre la congestione o l'inquinamento) e nel rispetto dei vincoli esistenti (es. finanziamenti limitati; limiti di inquinamento fissati dalla normativa) (fonte: Cartenì, A., 2017;). Pianificare un sistema dei trasporti significa quindi definire e caratterizzare il processo da seguire per giungere alle decisioni (compreso "decidere di non decidere"), considerando gli effetti (impatti) che queste decisioni potrebbero avere sulla collettività, sul paesaggio e sull'ambiente. Gli **interventi** da individuare su di un **sistema di trasporto** sono finalizzati al conseguimento degli **obiettivi** prefissati, dei **vincoli** e dei punti di vista dei decisori e dei portatori di interesse coinvolti (**decidere nel modo migliore**). Ogni decisione può essere presa sia nell'ottica della collettività (es. migliorare la qualità della vita; ridurre le diseguaglianze sociali), ovvero nell'ottica di un privato o di un'azienda (es. massimizzare il profitto).

Dalla definizione di pianificazione dei trasporti emergono specifiche "parole chiave" che caratterizzano questo processo decisionale: sistema di trasporto, interventi, obiettivi e vincoli e decidere nel modo migliore. Un sistema di trasporto è per sua natura un "sistema", ovvero un insieme di elementi interconnessi da relazioni. Tali elementi interagiscono tra di loro e ciascun elemento dipende dagli altri, e le relazioni che li connettono sono comprensibili. Tutti gli elementi

---

<sup>1</sup>Paragrafo estratto e rielaborato a partire da Cartenì, A. (2017); Processi decisionali e Pianificazione dei trasporti, Capitolo 1: Introduzione alla pianificazione dei trasporti. Lulu International. ISBN 978-1-326-46240-6

interagiscono tra loro in modo da raggiungere un fine comune, non ottenibile dai singoli elementi presi separatamente. Un sistema di trasporto si compone in genere di due sotto-sistemi interconnessi ed interagenti tra di loro:

- a) il sistema dell'offerta di trasporto, a sua volta composto dall'insieme di regole, infrastrutture, servizi, tariffe e tecnologie di trasporto;
- b) il sistema della domanda di trasporto, rappresentato dalle persone (utenti del sistema) e dalle merci che "chiedono" di utilizzare l'offerta di trasporto, ovvero muoversi sul territorio da luoghi prefissati di origine verso delle destinazioni finali, al fine di svolgere delle attività (la domanda di mobilità di per sé non produce utilità);

Gli interventi che è possibile implementare su di un sistema di trasporto (independentemente dal processo decisionale che è stato seguito per definirli) possono, in generale, riguardare:

- **il sotto-sistema dell'offerta di trasporto**, e tra questi si possono individuare:
  - a) le infrastrutture (es. strade, ferrovie, aeroporti, porti, interporti);
  - b) i servizi (es. linee di trasporto collettivo, frequenze, orari, sensi di marcia);
  - c) le tariffe (es. prezzi del trasporto pubblico, pedaggi autostradali);
  - d) le informazioni ed il controllo (es. sistemi di informazione all'utenza, sistemi di gestione e controllo del traffico, sistemi di controllo delle flotte di veicoli, sistemi di navigazione satellitare);
  - e) i veicoli (es. acquisto/noleggio di nuovi veicoli per effettuare un certo servizio, rinnovo/promozione del parco veicolare);
  - f) le tecnologie (es. sistemi di ausilio alla guida, GPS, varchi di accesso telematici);
  
- **il sotto-sistema della domanda di mobilità**, attraverso politiche di gestione della domanda di mobilità di tipo:
  - a) "*pull*", ovvero attirare utenza verso modi di trasporto più sostenibili (es. politiche tariffarie, introduzione/incentivazione del "*park and ride*", del "*car-sharing*", del "*car-pooling*", di corsie preferenziali per veicoli ad elevata occupazione, corsie preferenziali, servizi a chiamata, flessibilità di orari);
  - b) "*push*", ovvero spingere utenza lontano dai modi di trasporto individuali e meno sostenibili (es. tariffazione della sosta, pedaggiamento dell'accesso in certe aree della città, *road pricing*, tasse sulla benzina e/o sulle assicurazioni);

- c) “marketing” dei servizi (es. nuove linee più confortevoli, belle e frequenti) o dei comportamenti (es. infrastrutture più sicure);
- **il sistema delle attività e/o delle residenze** (pianificazione integrata trasporti-territorio), che, benché non interventi diretti sul sistema dei trasporti, possono avere impatti significativi su di esso:
  - a) attività economiche (es. localizzazione, delocalizzazione, modifica degli orari di apertura, e-commerce);
  - b) attività di servizio (es. localizzazione di ospedali, università, tribunali);
  - c) attività residenziali (localizzazione, delocalizzazione di residenze);
- **il sistema ambiente e/o paesaggistico**; decisioni prese sul sistema dei trasporti possono impattare su questi altri sistemi esterni tramite, ad esempio, azioni come:
  - a) vincoli su soglie e limiti di emissione (es. concentrazione di sostanze inquinanti);
  - b) rinnovo del parco veicolare (es. tramite incentivi o marketing);
  - c) restrizione degli accessi a veicoli a basso impatto ambientale (es. Euro 6, veicoli ibridi o elettrici);
  - d) delocalizzazione delle attività inquinanti (es. industrie, porti);
  - e) vincoli di impatto ambientale;
  - f) riqualificazione e recupero dei paesaggi.

Come detto, gli interventi su un sistema di trasporto sono funzionali al raggiungimento di certi obiettivi, tenendo conto dei vincoli e dei punti di vista dei soggetti coinvolti. Gli obiettivi possono riguardare la collettività in generale o operatori economici singoli. Nel primo caso gli obiettivi della pianificazione possono essere:

- a) funzionali (es. ridurre la congestione stradale; garantire un livello di accessibilità minimo alle diverse aree del territorio; garantire servizio di trasporto essenziali);
- b) ambientali (es. ridurre le emissioni e i consumi energetici);
- c) sociali (es. aumentare il welfare, ridurre gli incidenti, aumentare il consenso, migliorare l’equità sociale);
- d) economici (es. ridurre i costi d’investimento).

Tra gli obiettivi degli operatori economici rientrano invece, ad esempio: l’aumento dei ricavi, il contenimento dei costi di investimento e di gestione, l’aumento della redditività di un investimento.

Per quanto riguarda i vincoli, questi possono essere:

- a) tecnici (es. rispetto di limiti tecnici come pendenza min/max; raggio di curvatura; larghezza min/max di una carreggiata stradale);
- b) economici (es. finanziamento disponibile per un progetto o un'opera);
- c) normativi (es. rispetto di limiti normativi su urbanistica, ambiente; progettazione; appalti; Codice della Strada).

Ovviamente, obiettivi e vincoli saranno diversi a seconda dei diversi soggetti che prenderanno le decisioni (*decisori* - pubblici o privati) o che ne saranno interessati (portatori di interesse - *stakeholders*):

Decidere nel modo migliore, infine, significa osservare e (cercare di) risolvere le **criticità attuali** del sistema di trasporto oggetto di pianificazione, imparando dagli **errori del passato**, mantenendo uno **sguardo al futuro**, ovvero tenendo presente degli effetti degli interventi già pianificati e non ancora realizzati (evoluzione tendenziale del sistema), dello sviluppo tecnologico e dell'evoluzione del sistema territoriale ed economico.

*“Agire nel modo migliore possibile rispetto a un fine”* (Jon Elster) significa compiere una scelta razionale (razionalità). Affinché una scelta possa essere definita razionale, occorre che siano stati eseguiti alcuni **“requisiti minimi di razionalità”**, tra cui:

- **comparatività**, ovvero che la scelta sia stata presa considerando più alternative (es. non decidere, opzioni disponibili, ricerca di altre opzioni);
- **consapevolezza**, ovvero occorre disporre del maggior numero di informazioni sulle diverse alternative (es. caratteristiche), sul contesto in cui andranno realizzati gli interventi (es. ambiente fisico) e sui possibili impatti che le diverse alternative potrebbero produrre (es. costi, benefici, rischi ed opportunità);
- **coerenza**, ovvero il decisore deve essere stato coerente sia internamente fra le scelte (es. non prendere decisioni in contrasto con altre scelte già prese) che esternamente con altre scelte di pianificazione (coerenza orizzontale e verticale);
- **flessibilità**, ossia occorre tener in conto dei limiti cognitivi dei decisori e dei tecnici (informazioni limitate ed effetti considerati/stimati) e dei possibili cambiamenti del contesto (non prevedibili a priori).

Il risultato del processo decisionale sui sistemi di trasporto è la stesura di un Piano (o un Progetto) che rappresenta l'atto finale prima della fase di implementativa/realizzativa. Un **Piano dei Trasporti** rappresenta un insieme razionale di progetti (o di possibili progetti), finalizzati al raggiungimento di obiettivi condivisi nel rispetto dei vincoli prefissati. Lo elaborano sia le pub-

bliche amministrazioni alle differenti scale territoriali (es. per lo sviluppo territoriale e del sistema dei trasporti), sia le aziende private o pubbliche (es. per la pianificazione gli investimenti o per la loro gestione).

## 2. Definizione di sistema di trasporto

I sistemi di trasporto sono in generale descritti come *sistemi complessi*, ovvero sistemi composti da diversi elementi con interazioni non-lineari e numerosi *cicli di retroazione o feedback*.

Un sistema di trasporto può essere visto come un *sotto-sistema* del più ampio sistema territoriale e può essere schematizzato come un sistema di sotto-sistemi interagenti tra loro: il sotto-sistema delle *attività* insediate sul territorio, il sotto-sistema dell'*offerta di trasporto*, il sotto-sistema della *domanda di mobilità*.

Il *sotto-sistema delle attività*, a sua volta, può essere scomposto in tre componenti principali:

- a) le *residenze* ovvero le famiglie che risiedono in ciascuna zona articolate per categorie (definite da fascia di reddito, ciclo di vita, composizione, ecc.);
- b) le *attività economiche* ovvero le attività localizzate in ciascuna zona articolate per settore (diversi comparti dell'industria, dei servizi alle imprese, dei servizi alle famiglie, ecc.) e tipologia con i relativi indicatori economici (ad esempio: valore aggiunto) e fisici (ad esempio: numero di addetti);
- c) le *superfici* ovvero le volumetrie disponibili in ciascuna zona per tipologia (superfici industriali, uffici, appartamenti, negozi aree edificabili e non, ecc.) e relativi prezzi di mercato.

Dalla configurazione del *sotto-sistema delle attività* derivano le esigenze di interazione sociale ed economica tra residenti e attività e, pertanto, derivano le esigenze di spostamento.

Il *sotto-sistema dell'offerta di trasporto* è costituito dall'insieme delle infrastrutture, dei servizi (strade, parcheggi, rete ferroviaria) e degli elementi organizzativi (regole della circolazione stradale e della sosta, linee, orari e tariffe del trasporto pubblico) che consentono lo spostamento. L'offerta di trasporto definisce l'accessibilità del territorio, il livello di servizio offerto e il *prezzo* da pagare per spostarsi.

Il *sotto-sistema della domanda di mobilità* deriva dalla necessità di svolgere differenti attività in luoghi diversi ed è, pertanto, costituito dagli utenti (persone e/o merci) e dalle caratteristiche con cui si spostano (ad esempio: frequenza, orario, destinazione, modo, percorso, sequenza degli spostamenti)

per soddisfare le proprie esigenze di spostamento (ad esempio: lavorare, studiare, fare acquisti, ecc.) in luoghi diversi da quelli di residenza.

I tre sotto-sistemi sono strettamente interrelati tra loro in quanto le esigenze di spostamento e caratteristiche dello spostamento sono influenzate dalle prestazioni del sotto-sistema dell'offerta di trasporto e, a loro volta, le prestazioni del sotto-sistema dell'offerta di trasporto risentono del numero di utenti che lo usano in un prefissato periodo di riferimento. È possibile, pertanto, individuare cicli interni e/o esterni di *retroazione* ovvero di reciproco condizionamento tra i diversi elementi e sottosistemi che compongono un sistema di trasporto.

### 3. Modellazione di un sistema di trasporto

La simulazione del funzionamento di un sistema di trasporto può essere condotta secondo differenti approcci: approcci di simulazione di tipo dinamico e approcci di tipo statico.

Gli approcci dinamici sono finalizzati alla simulazione della evoluzione dinamica del sistema tra periodi omogenei (ad esempio: giorni) successivi (dinamica *day-to-day*) o alla simulazione della evoluzione del sistema all'interno di un singolo periodo (dinamica *within-day*). L'approccio *day-to-day* è ancora poco utilizzato nella pratica, gli approcci *within-day* sono prevalentemente utilizzati per la simulazione e verifica funzionale di porzioni limitate del sistema di trasporto.

L'approccio statico assume che il sistema di trasporto evolve tra periodi omogenei ma raggiunge, dopo un certo numero di periodi, una configurazione stabile in cui tutte le caratteristiche del sistema rimangono costanti tra i successivi periodi. La configurazione stabile, anche detta di equilibrio, assume che il sistema raggiunge una configurazione in cui i flussi di domanda, i flussi di percorso e i costi di spostamento sono mutuamente consistenti fra loro. L'approccio statico è il più utilizzato nelle pratiche applicazioni e, in particolare, in tutte le applicazioni di pianificazione strategica.

In questo capitolo si fa riferimento all'approccio statico e si affrontano le attività necessarie per la specificazione e la implementazione del modello di simulazione:

- 1) individuazione di un sistema di trasporto: caratterizzazione spaziale e temporale;
- 2) stima del livello di servizio offerto: specificazione e implementazione del modello di offerta;
- 3) stima della domanda di mobilità; specificazione e implementazione del modello di stima della domanda di mobilità;
- 4) stima dei flussi di utenti sulle componenti del sistema di trasporto: specificazione e implementazione del modello di interazione domanda-offerta.

## 4. Individuazione di un sistema di trasporto

La individuazione di un sistema di trasporto consiste nella sua caratterizzazione spaziale e temporale.

La caratterizzazione temporale consiste nella definizione dell'intervallo di analisi e degli intervalli di simulazione. L'intervallo di analisi è l'orizzonte temporale rispetto al quale si desidera studiare il sistema di trasporto, gli intervalli di simulazione sono gli intervalli temporali rispetto ai quali si ritiene opportuno simulare il funzionamento del sistema di trasporto.

La caratterizzazione spaziale può essere ricondotta alla preliminare individuazione dell'area di studio e alla successiva discretizzazione in zone di traffico (zonizzazione). L'area studio è quella porzione di territorio all'interno della quale si assume che si esauriscano gli effetti delle politiche di intervento sulle diverse componenti del sistema di trasporto; la zonizzazione è una suddivisione/semplificazione del territorio in un numero finito di origini/destinazioni dello spostamento.

### *Caratterizzazione temporale di un Sistema di Trasporto*

La definizione dell'intervallo di analisi è fondamentale per definire l'anno di riferimento rispetto al quale simulare l'evoluzione delle componenti del sistema di trasporto (offerta di trasporto e domanda di mobilità). L'intervallo di analisi deve essere coerente:

- a) con i tempi di realizzazione ed entrata a regime degli interventi sul sistema territoriale e sul sistema di trasporto;
- b) con le potenzialità dei metodi di simulazione del futuro assetto della domanda di mobilità. Non si deve trascurare, infatti, che la stima della futura domanda di mobilità è basata su modelli calibrati sull'attuale contesto socio-territoriale che potrebbero condurre a risultati non realistici se il contesto dovesse variare significativamente. Solitamente si cerca di evitare di scegliere intervalli di analisi superiori ai 15 anni.

La definizione degli intervalli di simulazione è necessaria per la simulazione dell'uso del sistema di trasporto da parte degli utenti che si spostano, ovvero, la simulazione di quanti utenti utilizzano le infrastrutture/servizi e quale è il livello di servizio offerto. Nell'ambito delle problematiche di pianificazione dei trasporti tattica e/o strategica, l'approccio più consolidato assume che il sistema di trasporto *funzioni* in condizioni di stabilità e stazionarietà. Presupposto di un tale approccio è che il sistema presenti caratteristiche (domanda e offerta) stabili tra i vari giorni (stabilità inter-periodale) e stabili/stazionarie all'interno di intervalli temporali all'interno di uno stesso

giorno (stazionarietà intra-periodale). In un tale scenario, è necessario riferire la domanda di mobilità (flussi di domanda) e le caratteristiche dell'offerta di trasporto (caratteristiche geometriche e capacità di movimentazione) a periodi e intervalli per i quali è ragionevole assumere le suddette condizioni di stabilità e stazionarietà.

In conclusione, la definizione degli intervalli di simulazione richiede un'analisi di dati storici o indagini *ad hoc* sulla evoluzione della domanda di mobilità tra gli anni, sulla variazione della domanda tra i diversi mesi dell'anno e sulla variazione della domanda tra le diverse ore della giornata.

### ***La Delimitazione dell'area di studio***

L'area di studio è l'area geografica al cui interno si trova il sistema di trasporto sul quale si intende intervenire, detta area di piano, e al cui interno si ritiene si esauriscano la maggior parte degli effetti degli interventi progettati. Il confine dell'area di studio viene, di solito, indicato come *cordone*.

La delimitazione dell'area di studio è funzionale alla individuazione delle componenti del sistema di trasporto che si ritiene subiranno variazioni a seguito degli interventi sul sistema di trasporto stesso e/o sul sistema territoriale e che, pertanto, andranno esplicitamente modellate.

La individuazione dell'area di studio dipende dalla dimensione del problema, dalla scala territoriale di riferimento e si fonda su considerazioni prettamente trasportistiche e socio-economiche. L'area di studio deve essere innanzitutto unione di unità amministrative elementari (ad esempio: comuni, particelle censuarie), deve contenere tutte le infrastrutture / servizi sulle quali è ragionevole ipotizzare variazioni di utilizzo e deve contenere tutte le origini elementari dello spostamento che modificheranno le caratteristiche dello spostamento a seguito delle opzioni intervento (numero spostamenti, fascia oraria, destinazione, modo, percorso).

### ***La zonizzazione***

A seguito dell'individuazione dell'area di studio, si rende necessaria una suddivisione di quest'ultima in aree, zone di traffico, omogenee da un punto di vista trasportistico, territoriale e socio-economico. L'obiettivo della zonizzazione è di aggregare origini e destinazioni elementari (ad esempio: case, negozi) in un numero finito di macro-origini e macro-destinazioni. A valle della zonizzazione si assume che tutti gli spostamenti siano emessi dalle individuate macro-origini e/o che siano attratti dalle individuate macro-destinazioni.

In generale, la zonizzazione è una attività iterativa che richiede una buona conoscenza dell'area di studio e ha l'obiettivo di rappresentare, nella ma-

niera più realistica possibile, l'accesso al sistema delle infrastrutture e dei servizi da parte delle unità elementari che costituiscono una generica zona di traffico. Accanto alla zonizzazione dell'area di studio, è bene ricordare la necessità di discretizzare anche le aree esterne, in modo tale da rappresentare l'interazione tra l'area di studio e il mondo esterno.

La zonizzazione consente la definizione di una matrice delle relazioni origine-destinazione. (Figura 3)

Gli elementi della matrice possono essere attribuiti di livello di servizio (ad esempio: tempi di spostamento, costi monetari di spostamento), ovvero flussi di domanda origine-destinazione o flussi di domanda origine-destinazione modali. Nel primo caso si parla di matrici del livello di servizio origine-destinazione, nel secondo e terzo caso si parla di matrici di domanda origine-destinazione.

La matrice, a sua volta, può essere suddivisa in 4 sotto-matrici: la matrice delle relazioni interne-interne ( $I-I$ ) tra zone interne all'area di studio ( $N_i$ ), delle relazioni interne-esterne ( $I-E$ ) tra zone interne all'area di studio e zone esterne ( $N_E$ ), delle relazioni esterne-interne ( $E-I$ ) tra zone esterne e zone interne e esterne-esterne ( $E-E$ ).

Benché da un punto di vista applicativo esistano diverse possibili zonizzazioni per lo stesso problema, si possono enucleare alcuni criteri usualmente seguiti nell'individuazione delle zone di traffico.

- Criterio della coerenza con il sotto-sistema dell'offerta di trasporto.
- Criterio amministrativo.
- Criterio della omogeneità trasportistica.
- Criterio della omogeneità socio-economica, territoriale e topologica.

Ove possibile, è consigliabile aggregare unità elementari che presentano omogeneità territoriale (omogeneità storico-culturali) e socio-economica (stesso uso del territorio).

La omogeneità territoriale deve tenere conto delle possibili differenze tra unità appartenenti a quartieri differenti o tra comuni/province storicamente non interagenti tra loro.

La omogeneità socio-economica deve tenere conto dell'uso del territorio e consiglia la opportunità di non aggregare unità dal carattere prettamente residenziale con unità dal carattere prettamente commerciale. Le prime sono unità che emettono spostamenti, le seconde sono unità che attraggono spostamenti. Unirle significa distribuire potenzialità di attrazione e di produzione di spostamenti su di un'area più vasta e rischiare una irrealistica simulazione dell'uso delle infrastrutture circostanti.

Sarebbe, infine, opportuno che le zone di traffico fossero tutte, il più possibile, simili a forme semplici (omogeneità topologica).

Criterio della coerenza con gli strumenti di programmazione territoriale

È bene che l'individuazione delle zone sia effettuata prendendo in considerazione le attività residenziali e produttive presenti sul territorio all'orizzonte temporale dello scenario che si intende simulare. Si deve, pertanto, fare riferimento ai documenti di programmazione urbanistica considerando le previsioni circa la distribuzione delle attività socioeconomiche.

## **5. Specificazione e implementazione del modello di offerta**

Il modello di offerta è un sistema di modelli matematici funzionale alla:

- stima delle prestazioni offerte dal sistema di trasporto tra due qualsiasi zone di origine e destinazione (costi generalizzati di spostamento);
- stima del grado di utilizzo delle infrastrutture e dei servizi di trasporto offerti all'interno dell'area di studio (flussi);
- stima degli impatti indotti dall'utilizzo delle infrastrutture stesse (consumi energetici, inquinamento atmosferico, inquinamento acustico, incidentalità stradale).

La stima delle prestazioni offerte dal sistema di trasporto (attributi di livello di servizio) è fondamentale per: condurre analisi di accessibilità; implementare modelli di simulazione della domanda di mobilità; simulare l'interazione domanda / offerta.

La stima del grado di utilizzo delle infrastrutture e dei servizi è fondamentale per l'analisi delle criticità del sistema dell'offerta di trasporto (flussi sulle strade, sui veicoli di trasporto collettivo, grado di congestione). La stima degli impatti esterni è fondamentale nella fase di progettazione e valutazione degli interventi.

La specificazione di un modello di offerta si fonda sulla schematizzazione dello spostamento (tra una generica coppia di zone di origine e destinazione) in una sequenza di attività omogenee e nell'associazione a ciascuna attività omogenea del costo generalizzato necessario per portare a termine la attività stessa. Il costo generalizzato di uno spostamento è, pertanto, esprimibile mediante somma dei costi generalizzati associati a ciascuna attività; allo stesso modo il grado di utilizzo delle infrastrutture / servizi potrà essere espresso come somma degli utenti che si muovono lungo la sequenza di attività che contengono le infrastrutture/servizi in esame. Gli impatti saranno calcolati a partire dalle stime dei gradi di utilizzo di ciascuna infrastruttura / servizio.

In questa ottica, la specificazione e implementazione di un modello di offerta in ipotesi di stazionarietà intra-periodale può essere articolata nelle seguenti fasi e corrispondenti modelli:

- 1) selezione delle infrastrutture e dei servizi rilevanti ed estrazione del grafo delle infrastrutture/servizi rilevanti (modello di grafo);
- 2) definizione delle funzioni di costo e delle funzioni di prestazione (modelli di prestazione di arco);
- 3) stima dei costi generalizzati di percorso (modello di prestazione di percorso);
- 4) stima dei flussi di percorso (modello di propagazione del flusso).

### *Il modello di grafo*

La costruzione del modello di offerta richiede una preventiva selezione delle infrastrutture e/o dei servizi di trasporto presenti nell'area di studio che svolgono una funzione rilevante di collegamento fra le diverse zone in cui si è suddivisa l'area di studio e fra queste ultime e le zone esterne. La scelta degli elementi da considerare è strettamente collegata alla scala territoriale in esame, alle finalità dello studio e alla zonizzazione. A titolo esemplificativo, analisi di dettaglio su alcune porzioni dell'area di studio (ad esempio: i flussi sulla viabilità di un quartiere) richiedono rappresentazioni dettagliate di tutta la rete delle infrastrutture e dei servizi dell'area stessa; analisi su poche infrastrutture / servizi (ad esempio: una circonvallazione) richiedono una rappresentazione schematica delle infrastrutture / servizi in esame e una realistica rappresentazione delle infrastrutture / servizi di adduzione.

L'insieme degli elementi considerati per una particolare applicazione viene consuetamente denominato *rete di base*.

A valle della rete di base, il modello di offerta si articola nella costruzione (estrazione) del grafo rappresentativo delle infrastrutture (grafo trasporto privato o pedonale) e dei servizi (grafo trasporto collettivo) presenti nella rete di base.

Il grafo delle infrastrutture e dei servizi è composto da un insieme finito di nodi e da un insieme di archi che connettono coppie di nodi. Nel caso della modellazione del sistema dell'offerta di trasporto, i grafi utilizzati sono, in generale, orientati e i nodi delimitano le diverse fasi di uno spostamento, mentre gli archi rappresentano le fasi dello spostamento. Una fase dello spostamento è un'attività che l'utente svolge nel tempo e/o nello spazio con caratteristiche omogenee rispetto all'intervallo di simulazione (cfr. paragrafo precedente). Una fase omogenea può essere: lo spostamento su di una infrastruttura con caratteristiche geometrico/funzionali costanti lungo la sua lunghezza e costanti durante la durata dello spostamento; l'accesso a piedi ad

una stazione/fermata; l'attesa alla fermata; la salita/discesa su/da un mezzo di trasporto collettivo; il tempo di viaggio su di un mezzo di trasporto collettivo. Il grafo è, pertanto, definito a partire dal tipo di spostamento che deve essere rappresentato (pedonale, stradale, collettivo), dalle caratteristiche delle infrastrutture (elementi di discontinuità nelle caratteristiche geometrico-funzionali) e dalle caratteristiche dei servizi (posizione delle fermate).

Nella costruzione operativa del grafo si distinguono:

- nodi reali/archi reali, rappresentativi di reali discontinuità (nello spazio e/o nel tempo);
- I nodi reali delimitano archi rappresentativi: di strade con caratteristiche funzionali costanti, attività di salita/discesa su di un mezzo di trasporto collettivo, attività di attesa alla fermata, ecc.;
- nodi centroidi, rappresentativi delle origini e destinazioni degli spostamenti (cfr. zonizzazione);
- nodi fittizi/archi connettori, rappresentativi di punti in cui i nodi centroidi si connettono al sistema delle infrastrutture o dei servizi di trasporto offerti.

### *I modelli di prestazione di arco*

A ciascun arco del grafo è necessario associare una caratteristica che sintetizzi il valore medio delle diverse voci di costo *sopportate dagli utenti così come da loro percepite* nella effettuazione della attività rappresentata dall'arco stesso. Tale caratteristica è definita *costo generalizzato medio di spostamento* di arco. È generalizzato perché deve tenere conto di differenti voci di costo, anche non omogenee, che riflettono la disutilità degli utenti a percorrere l'arco stesso (attraversare l'elemento fisico e/o svolgere l'attività rappresentata dall'arco). È medio perché il generico costo percepito di arco può essere considerato come una variabile aleatoria distribuita fra gli utenti di cui l'analista è in grado di stimare il valore medio.

Il *costo generalizzato di spostamento* può essere rappresentato mediante una funzione matematica (funzione di costo) che combina le differenti voci di costo, a loro volta esprimibili mediante opportune funzioni matematiche (funzioni di prestazione). In generale, possono distinguersi due casi:

- 1) la rete è non congestionata e il costo generalizzato di arco è esprimibile come:

$$c_l = c_l; r(X, \beta)?$$

dove:

$c_l$  = funzione di costo;

$r$  = vettore delle funzioni di prestazione;

$(X, \beta)$  = vettore delle variabili e dei parametri delle funzioni di prestazione.

2) la rete è congestionata pertanto il costo generalizzato di arco è influenzato anche dal numero di utenti che utilizza l'arco ed è dunque esprimibile come:

$$c_l = c_l r(X, \beta, f) \quad [\text{modello di prestazione di arco}]$$

dove:

$c_l$  = funzione di costo;

$r$  = vettore delle funzioni di prestazione;

$(X, \beta)$  = vettore delle variabili e dei parametri delle funzioni di prestazione;

$f$  = vettore dei flussi di arco da cui le funzioni di prestazione possono dipendere.

Nella pratiche applicazioni, la funzione di costo per un generico arco  $l$  è solitamente espressa come combinazione lineare di funzioni di prestazione:

$$c_l = \sum_i \beta_i r_{l,i} A_{X_{l,i}} \gamma_i C$$

dove:

$l$  = il generico arco;

$\beta_i$  = coefficienti di omogeneizzazione delle voci di costo;

$r_{l,i}$  =  $i$ -esima funzione di prestazione; dipende dal tipo di infrastruttura (ad esempio: autostradale, extra-urbana, urbana) e dal tipo di regolazione (ad esempio: semaforizzata, non semaforizzata)

$A_{X_{l,i}} \gamma_i C$  = vettore delle variabili e dei parametri della  $i$ -esima funzione di prestazione.

Per il trasporto stradale il costo generalizzato dello spostamento può essere espresso come funzione lineare del tempo di percorrenza, del tempo di attesa, del costo monetario.

$$c_l = \beta_1 tr A_{Z_l} \gamma C + \beta_2 tw_l \delta C + \beta_3 cm A_{Q_l} \omega C$$

dove:

$tr_l$  = il tempo necessario a percorrere l'arco  $l$ ;

$tw_l$  = il tempo d'attesa speso sull'arco  $l$ ;

$cm_l$  = il costo monetario da affrontare per percorrere l'arco  $l$ .

$Z, \gamma, Q$  = i vettori delle variabili delle funzioni di prestazione;

$\delta, \omega$  = i vettori dei parametri delle funzioni di prestazione.

Nelle pratiche applicazioni il tempo medio di percorrenza di un ramo è usualmente calcolato con la formula BPR<sup>2</sup>, di seguito riportata:

$$t(f) = t_+ \cdot N1 + \alpha \cdot P \frac{f^\beta}{Cap} S T$$

dove:

$t_+$  = tempo di percorrenza del ramo e del tempo di attesa all'intersezione finale calcolato a flusso nullo.

Il tempo di percorrenza del ramo è calcolato come il rapporto tra la lunghezza dell'arco e la velocità a flusso nullo  $V_+$ . La velocità a flusso nullo, a sua volta, si calcola in maniera differente a seconda del tipo di arco considerato.

Per gli archi reali essa può essere espressa con la formula seguente:

$$V_+ = 27.4 + 2.8L_u [Km/h]$$

dove:

$L_u$  = larghezza utile della strada in metri.

Il tempo di percorrenza a flusso nullo, nel caso di intersezioni semaforizzate è calcolato con la formula (espressa in minuti) riportata di seguito:

$$t_+ = \frac{L}{V_+} + \frac{T_c (1 - \mu)}{2}$$

Si evidenzia come tale formulazione risulti composta da due termini di cui il primo esprime il tempo di percorrenza di un arco in regime di deflusso stabile, mentre il secondo rappresenta il tempo di attesa alle intersezioni.

$f$  = flusso espresso in veicoli/ora;

$\alpha, \beta$  = parametri del modello;

$Cap$  = capacità dell'infrastruttura in veic/ora.

La capacità è rappresentativa della capacità della infrastruttura e della capacità di smaltimento del nodo finale. In contesti extra-urbani si tiene conto della sola capacità della infrastruttura; in contesti urbani si tiene conto prevalentemente della capacità del nodo finale.

---

<sup>2</sup> Acronimo di *Bureau of Public Roads*, reparto del Dipartimento dei trasporti degli Stati Uniti d'America.

La capacità di un arco extra-urbano viene differenziata in funzione del fatto che ci si riferisca a strade con una sola corsia per senso di marcia o più corsie per senso di marcia ovvero essa tiene conto dei diversi comportamenti degli utenti in funzione del numero delle corsie di cui essi dispongono. Intuitivamente si comprende, infatti, che mentre nel caso di più corsie per senso di marcia, si ritiene che essa non sia influenzata dal flusso di veicoli proveniente dal verso opposto, nel caso di una corsia per senso di marcia, è opportuno considerare l'effetto dei sorpassi sulle prestazioni dell'arco.

Nel caso di più corsie per senso di marcia, la capacità è ottenuta come il prodotto fra il numero di corsie dell'arco  $l$  cui ci si sta riferendo,  $N_l$ , per la capacità,  $Cap$ , della singola corsia; quest'ultima varia in funzione dalle caratteristiche geometriche e funzionali del tronco stradale e per i relativi valori è opportuno riferirsi al manuale HCM<sup>3</sup>. Nel caso di strade con una sola corsia per senso di marcia si introduce un unico valore di capacità per il generico arco di riferimento, che sia calcolato in funzione di entrambe le direzioni dell'arco ovvero si considera un unico valore con riferimento ad entrambe le direzioni di marcia.

Per il calcolo della capacità di un'intersezione semaforizzata, è possibile, per semplicità, ipotizzare che le intersezioni semaforizzate presentino due sole fasi semaforiche e un'unica corrente per ogni arco. Sotto tali ipotesi, quindi, la capacità dell'intersezione finale è calcolata in maniera differente a seconda del tipo di arco considerato. In particolare, essa si esprime:

a) per gli archi reali con la formula seguente:

$$Cap = \mu \cdot S$$

in cui  $\mu$  è dato dalla relazione di cui sotto:

$$\mu = \frac{G}{T_c}$$

dove:

$G$  = durata del verde efficace per l'accesso (tempo di verde+tempo di giallo-tempo perso);

$T_c$  = durata del ciclo semaforico;

---

<sup>3</sup>Acronimo di *Highway Capacity Manual*, pubblicazione del Consiglio di ricerca sui trasporti degli Stati Uniti d'America. Esso contiene i concetti, le linee guida e le procedure per il calcolo della capacità e della qualità del servizio delle infrastrutture stradali, (autostrade, superstrade, arterie stradali, rotoarie, intersezioni semaforizzate e non semaforizzate, strade rurali) e gli effetti del transito di mezzi di trasporto pubblico, pedoni e biciclette sulle prestazioni di questi sistemi.

$S$  = flusso di saturazione (solitamente stimato mediante metodo proposto dall'HCM)

Per il trasporto collettivo, il costo generalizzato di ciascuna attività è, tipicamente, rappresentabile da una sola voce di costo (tempo di accesso a piedi dall'origine al servizio (fermata), tempo di attesa del servizio; tempo di transbordo; tempo di percorrenza; tempo di egresso a piedi dal servizio alla destinazione finale; costo monetario) e, pertanto, la definizione della funzione di costo coincide con la definizione della funzione di prestazione.

Per gli *archi pedonali* si assume che il tempo a piedi dipende solo dalle caratteristiche fisiche e funzionali dell'arco e che possa essere calcolato dividendo la lunghezza del segmento ( $L_i$ ) per la velocità del pedone medio

$$(V_p): \\ c_i^p = \frac{L_i}{V^p}$$

Espressioni analoghe possono essere utilizzate per i costi relativi ad archi a bordo di linee di trasporto collettivo. In questi casi le velocità medie possono essere espresse in funzione delle caratteristiche dei veicoli (peso, potenza, ecc.), della infrastruttura (pendenza, raggi di curvatura, ecc.) e delle regole di circolazione per il tronco di infrastruttura e il tipo di servizio rappresentato. Relazioni di questo tipo sono ricavabili sulla base della meccanica della locomozione e per esse si rinvia ai testi specializzati.

Per gli *archi di attesa* di un sistema di trasporto collettivo rappresentato per linee. In questo caso di solito il costo si assume pari al tempo medio di attesa ovvero al tempo medio che l'utente spende fra l'istante di arrivo alla fermata/stazione e l'istante di arrivo della linea che intende utilizzare. Nel caso di un'unica linea disponibile, con frequenza  $\varphi_i$  (numero passaggi/unità di tempo), il tempo medio di attesa  $tw_i$ , dipenderà dalla regolarità dei passaggi della linea. Si può, infatti, dimostrare che, nell'ipotesi di arrivi con tasso medio costante degli utenti, il tempo medio di attesa vale:

$$tw_i = \frac{\theta}{\varphi_i}$$

dove  $\theta$  è pari a 0,5 se la linea è perfettamente regolare, (intervalli fra passaggi successivi costanti e pari a  $1/\varphi_i$ ) a 1 se la linea è *completamente casuale*.

Nel caso più complesso di diverse *linee attrattive*, ovvero in cui l'utente attende il primo veicolo che transita appartenente ad un insieme di linee  $L$ , il

tempo medio di attesa può ancora essere calcolato tramite la utilizzando la frequenza cumulata  $\varphi_L$  dell'insieme di linee:

$$tw_l = \frac{\theta}{\varphi_L} \text{ con } \varphi = @ \varphi_l$$

$lgL$

Per gli archi di salita e discesa, tipicamente, si utilizzano valori medi ricavati da osservazioni sperimentali. Molto raramente si ricorre a funzioni di costo che tengono conto del tipo di mezzo di trasporto e/o del numero di utenti presenti alla fermata e/o presenti sul mezzo di trasporto.

In conclusione, a ciascuna attività omogenea bisogna associare una funzione di costo, per ciascuna funzione di costo è necessario definire le voci di costo, definire il metodo di stima delle voci di costo (stima diretta o indiretta) e, nel caso, individuare le funzioni di prestazione di ciascuna voce di costo.

### *Il modello di prestazione di percorso*

In un grafo, oltre agli archi, si possono definire delle particolari sequenze di archi, detti *percorsi*, che schematizzano le differenti possibilità con cui può avvenire uno spostamento da una generica origine ad una generica destinazione. Un percorso rappresenta, quindi, una sequenza di fasi di uno spostamento ed è univocamente associato ad una e una sola coppia *origine-destinazione* mentre la stessa coppia *origine-destinazione* può essere collegata da più percorsi.

A parte la sua rappresentazione grafica, che ha uno scarso significato operativo, un grafo è rappresentabile mediante una matrice di adiacenza e/o una matrice di incidenza. Per i problemi di modellazione dell'offerta di trasporto, particolare utilità assume la matrice di incidenza archi percorsi. Siffatta matrice ha un numero di righe pari al numero di archi del grafo e un numero di colonne pari al numero di percorsi; i singoli elementi possono assumere valore 0 se l'arco appartenente alla riga in esame appartiene al percorso della colonna in esame. Laddove un percorso abbia una caratteristica dipendente dalle caratteristiche degli archi che lo costituiscono, la matrice di incidenza archi-percorsi consente di calcolare suddetta caratteristica mediante un banale prodotto matriciale. Viceversa, se la caratteristica di un arco dipende dalle caratteristiche dei percorsi che lo contengono, un banale prodotto matriciale consente il calcolo della suddetta caratteristica.

Alla stregua di quanto proposto per ciascuna arco, a ciascun percorso è possibile associare un costo generalizzato  $C_k$ . Esso può essere espresso come

somma dei costi generalizzati (aliquota additiva) degli archi appartenenti al percorso e/o da un costo associabile al solo percorso (aliquota non additiva).

$$C_k = C_k^{ADD} + C_k^{NADD}$$

dove:

$$C_k^{ADD} = \sum_l c_l \quad \forall l \in k$$

$C_k^{ADD}$  = costo additivo (ad esempio: tempo di viaggio, consumo di carburante, ecc.);

$C_k^{NADD}$  = costo non additivo, ovvero il costo generalizzato che l'utente associa a uno specifico percorso e che non può essere ottenuto dalla somma delle attività (archi) che l'utente affronta lungo lo spostamento (ad esempio: pedaggio autostradale fisso o variabile non linearmente con la lunghezza dello spostamento, tariffe ferroviarie, ecc.).

Mentre il costo non additivo è una caratteristica del percorso, il costo generalizzato di percorso additivo può essere espresso in funzione dei costi generalizzati di tutti gli archi del grafo moltiplicati per i corrispondenti elementi della k-esima colonna della matrice di incidenza archi-percorsi:

$$C_k^{ADD} = \sum_{l=1}^L a_{lk} c_l$$

dove:

$C_k$  = costo generalizzato del percorso  $k$ ;

$c_l$  = costo generalizzato dell'arco  $l$ ;

$a_{lk}$  = indice della k-esima colonna della matrice di incidenza archi-percorsi, pari ad 1 se il k-esimo percorso contiene l'arco  $l$ , pari a 0 altrimenti;

$L$  = numero totale degli archi.

La precedente relazione può essere generalizzata a tutti i percorsi individuabili sul grafo, e riscritta in forma matriciale:

$$C = A^T c \quad \text{[modello di prestazione di percorso]}$$

dove:

$c$  = vettore di tutti i costi di arco;

$C$  = vettore dei costi di percorso;

$A$  = matrice di incidenza archi-percorsi che raccoglie tutti gli indici  $a_{lk}$ .

### *Il modello di propagazione del flusso*

Come per i costi generalizzati, a ciascun arco può essere associata una variabile che rappresenta il numero medio di utenti che attraversa l'arco nel prefissato intervallo di simulazione. Tale variabile, nota come flusso di arco ( $f_l$ ), è una delle principali incognite del problema ed è funzione della domanda di mobilità che si sposta tra le diverse coppie origine-destinazione e che attraversa l'arco in questione.

Poiché la domanda che si sposta tra una generica coppia origine-destinazione utilizza i percorsi che connettono la coppia in esame, appare chiaro che la stima dei flussi di arco richiede che a ciascun percorso sia associata una variabile, flusso di percorso ( $F_k$ ), rappresentativa del numero medio di utenti che nell'intervallo di simulazione si muove su di un percorso  $k$ .

Definite le variabili flusso di arco e flusso di percorso, è possibile formalizzare il modello di propagazione del flusso. Infatti, il flusso che percorre ciascun arco  $l$  è ottenibile come la somma dei flussi sui vari percorsi che includono quell'arco e, utilizzando gli elementi  $a_{lk}$  della matrice di incidenza archi-percorsi, può essere espresso come:

$$f_l = \sum_{k=1}^K a_{lk} F_k$$

dove:

$F_k$  = flusso sul generico percorso  $k$  (stimato mediante implementazione dei modelli di stima della domanda);

$f_l$  = flusso sul generico arco  $l$ ;

$a_{lk}$  = indice della matrice di incidenza archi-percorsi pari ad 1 se il percorso contiene l'arco, pari a 0 altrimenti;

$K$  = numero totale dei percorsi.

Anche in questo caso, la precedente relazione può essere generalizzata a tutti gli archi del grafo e riscritta in termini matriciali:

$$f = AF \quad \text{[modello di propagazione del flusso]}$$

dove:

$f$  = vettore di tutti i flussi di arco;

$F$  = vettore dei flussi di percorso;

$A$  = matrice che raccoglie tutti gli indici  $a_{lk}$ .

### **Il modello di offerta**

In conclusione, il modello di offerta è costituito dall'insieme dei modelli introdotti in precedenza e, può essere formalizzato sinteticamente mediante la loro combinazione:

$$C = A^T c; r(X, \beta) + C^{NADD} = A^T c; r(X, \beta, AF) + C^{NADD}$$
$$f = AF(C) = AF(A^T c; r(X, \beta))$$

Dalle precedenti equazioni è immediato notare che il modello di offerta consente di stimare i costi di spostamento e i flussi solo nell'ipotesi in cui la rete è non congestionata, ovvero le funzioni di prestazione non dipendono dai flussi:

$$C = A^T c; r(X, \beta) + C^{NADD}$$
$$f = AF(C) = AF(A^T c; r(X, \beta) + C^{NADD})$$

Nell'ipotesi di rete congestionata, è altrettanto immediato notare che il problema diviene ciclico e richiede una trattazione teorica specifica che conduce alla implementazione dei modelli di interazione domanda-offerta introdotti nei paragrafi successivi.

## **6. Stima della domanda di mobilità**

### **Introduzione**

La domanda di trasporto nasce dalla necessità di svolgere delle attività in luoghi diversi ed è determinata dalla configurazione che il sistema delle attività e quello dell'offerta di trasporto assumono nell'area di studio. Essa può essere definita come il numero di utenti che consumano i servizi offerti dal sistema dell'offerta di trasporto in un ben preciso intervallo di tempo e per uno specifico motivo (flusso di domanda).

Nell'analisi di un sistema dei trasporti la domanda di mobilità è l'elemento più rilevante e allo stesso tempo più complesso da modellizzare e da simulare.

Simulare la domanda di spostamento significa, per ogni categoria di utenti e motivo dello spostamento e per ciascuna fascia oraria rilevanti ai fini dello studio, stimare il numero medio di utenti che si spostano tra due zone dell'area di studio e, inoltre, simulare con quale modo di trasporto effettuano lo spostamento e quale percorso seguono. Si può, pertanto, concludere che la domanda di mobilità si può dire nota se sono note le sue caratteristiche, ovvero: la classe di utenti ( $i$ ) che si sposta, il motivo per cui si sposta ( $s$ ), la fascia oraria in cui si sposta ( $h$ ), la origine dello spostamento ( $o$ ), la destinazione dello spostamento ( $d$ ), il modo di trasporto ( $m$ ) e, infine, il percorso ( $k$ ).

### *Caratterizzazione socioeconomica: motivi dello spostamento e categorie di utenti*

La simulazione delle caratteristiche dello spostamento degli utenti di un sistema di trasporto richiede la aggregazione degli utenti in classi omogenee. Il fine primario è di potere studiare insiemi di persone come se fossero un unico utente (cosa impossibile da un punto di vista applicativo) e di ipotizzare stessi comportamenti (stessi modelli) di spostamento per tutti. In questa ottica, la caratterizzazione socio-economica della domanda di mobilità è funzionale a stratificare gli utenti in classi omogenee. Ciò può essere ottenuto distinguendo motivi dello spostamento, caratteristiche sociali (età, genere, ecc.) e caratteristiche economiche (reddito, condizione professionale, ecc.). E' facilmente intuibile che lo stesso utente può avere comportamenti di spostamento molto diversi al variare del motivo dello spostamento e, allo stesso tempo, differenti persone possono presentare comportamenti differenti al variare del motivo dello spostamento.

In linea di principio, è importante distinguere i motivi dello spostamento sistematici dai motivi non sistematici.

A parità di motivo dello spostamento è necessario aggregare utenti in classi omogenee al fine di ottenere un'omogeneità rispetto ai comportamenti di spostamento. A tal fine, come già evidenziato per la zonizzazione, le stratificazioni Istat devono essere il riferimento per qualsiasi attività di classificazione.

### *Caratterizzazione spaziale: area di studio e zonizzazione*

Qualsiasi analisi della domanda non può prescindere dalla definizione del contesto geografico (area di studio) in cui lo spostamento avviene e dalla definizione delle zone tra cui esso si realizza. L'esigenza di rappresentare la domanda di mobilità mediante relazioni origine-destinazione rende necessaria una discretizzazione dell'area di studio. Come visto in precedenza, è indispensabile suddividere il territorio, ovvero aggregare origini e/o destinazioni elementari in zone di traffico (zonizzazione). Questa operazione non è altro che un'ulteriore aggregazione di utenti in classi omogenee, dove la omogeneità è territoriale e non socio-economica. Siffatta caratterizzazione spaziale consente un'interpretazione puntuale degli spostamenti e permette di definire la matrice dei flussi origine-destinazione i cui elementi sono le incognite del problema.

Tali matrici hanno un numero di righe e di colonne pari al numero di zone fra le quali possono avvenire degli spostamenti, e il generico elemento  $d_{od}$  fornisce il numero degli spostamenti che hanno origine nella zona  $o$  e destinazione nella zona  $d$  nell'unità di tempo, detto flusso  $od$ . (Figura 3)

Sono utili anche alcune aggregazioni degli elementi della matrice OD. La somma degli elementi della  $i$ -esima riga:

$$d_{o.} = \sum_d d_{od}$$

rappresenta il totale degli spostamenti che partono dalla zona  $i$ -esima nell'unità di tempo e prende il nome di *flusso emesso* o *generato* dalla zona  $o$ .

La somma degli elementi della  $d$ -esima colonna:

$$d_{.d} = \sum_o d_{od}$$

rappresenta il numero degli spostamenti che arrivano nella zona  $d$  e prende il nome di *flusso attratto* dalla zona  $d$ .

Gli elementi di una matrice OD possono essere classificati in relazione al tipo di zona di origine e destinazione. La struttura di queste matrici solitamente è schematizzata in 4 blocchi: (Figura 3)

- $I-I$ : rappresenta la domanda di mobilità interna all'area di studio, con  $N_i$  il numero di zone interne.
- $I-E$  e  $E-I$ : rappresentano la domanda di scambio con il mondo esterno, con  $N_e$  il numero di macro-zone esterne.
- $E-E$ : rappresenta la domanda di attraversamento.

Questa suddivisione è rilevante, poiché la stima degli elementi delle singole sotto-matrici può seguire approcci differenti, come si vedrà di seguito.

### **Caratterizzazione temporale: fasce orarie dello spostamento**

Per studiare come gli utenti di un sistema di trasporto utilizzano le risorse messe a disposizione dall'offerta di trasporto è necessario rapportare la domanda stessa alla capacità del sistema di assorbire siffatta domanda. Dal momento in cui una qualsiasi infrastruttura (servizio) ha una capacità di *smaltimento* limitata e riferita ad uno specifico intervallo di tempo, la stessa domanda di trasporto deve essere riferita agli stessi intervalli temporali, o viceversa.

La scelta della fascia oraria segue criteri empirici e, in generale, deve tenere conto dei periodi di punta. Il problema non è banale nel momento in cui il fenomeno è dato dalla combinazione di spostamenti di andata e di ritorno ed è influenzato dal tipo di spostamento (anello vs catena).

### **Formalizzazione del modello di domanda**

Un *modello di domanda di trasporto* può essere definito come una relazione matematica che consente di associare ad un dato sistema di attività e di offerta di

trasporto il valore medio del flusso di domanda in un determinato periodo di riferimento con le sue caratteristiche rilevanti. In termini formali può porsi:

$$d_{odmk}[i, s, h] = d(SE, T, \beta)$$

dove:

$d_{odmk}$  = il flusso medio di spostamenti di utenti appartenenti alla classe  $i$ , che si spostano per il motivo  $s$ , nella fascia oraria  $h$ , fra le zone  $o$  e  $d$ , con il modo  $m$  e sul percorso  $k$ ;

$SE$  = vettore di variabili socioeconomiche, relative al sistema delle attività (ad esempio: numero di famiglie residenti o di posti di lavoro nei diversi settori in ciascuna zona dell'area di studio) e/o ai decisori (ad esempio: livello di reddito, classe di età);

$T$  = vettore di variabili di livello di servizio ovvero relative al servizio offerto dal sistema di trasporto (ad esempio: tempi di viaggio, costi monetari, distanze da percorrere a piedi, per spostarsi fra le coppie di zone con i diversi modi disponibili) in generale ottenute utilizzando i modelli di offerta precedentemente citati;

$\beta$  = vettore di coefficienti o parametri.

Da un punto vista operativo, un modello di domanda è solitamente formalizzato assumendo che ogni spostamento è il risultato di una serie di scelte relative a diversi livelli o *dimensioni di scelta* e che il generico flusso di domanda  $d_{odmk}$  può essere espresso come il prodotto di tante aliquote quante sono le dimensioni di scelta:

$$d_{odmk}[i, s, h] = nN^i[o] \times \underline{m}^i[o]p \times p^i[d/osh] \times p^i[m/dosh] \times p^i[k/dosh]$$

dove:

$N^i[o]$  = numero di persone della zona  $o$ , della classe  $i$  che possono spostarsi per il motivo  $s$ , nella fascia oraria  $h$ ;

$\underline{m}^i[o]$  = numero medio di spostamenti compiuti dall'utente  $i$ , nella fascia oraria  $h$  e per il motivo  $s$ ;

$p^i[d/osh]$  = percentuale degli utenti che si spostano [ $N^i[o] \times \underline{m}^i$ ] e che si recano nella destinazione  $d$ ;

$p^i[m/dosh]$  = percentuale degli utenti  $\{[N^i[o] \times \underline{m}^i] \times p^i[d/osh]\}$  che, spostandosi e recandosi nella destinazione  $d$ , utilizzano il modo di trasporto  $m$ .

La combinazione delle diverse aliquote è anche noto come *modello ad aliquote parziali* ovvero *modello a 4 stadi*. Il compito dell'analista è di specificare (per ogni motivo, per ogni fascia oraria e classe di utenti omogenea) le singo-

le aliquote, scegliendo l'approccio più efficace ma, allo stesso tempo, più efficiente dal punto di vista degli oneri di specificazione e implementazione.

La stima delle singole aliquote che concorrono a definire i flussi di domanda di trasporto può essere effettuata mediante due diversi approcci:

- 1) di *stima diretta*, il quale prevede la stima delle aliquote di domanda mediante tecniche statistiche applicate a indagini campionarie, riferite al contesto in esame;
- 2) di *stima da modello*, il quale prevede la costruzione di modelli capaci di riprodurre i comportamenti degli utenti del sistema di trasporto e di simulare siffatti comportamenti in scenari di intervento.

### Stima delle percentuali di frequenza degli spostamenti

Il modello di emissione consente di stimare il numero medio di spostamenti  $m^i[osh]$  effettuati nel periodo  $h$ , per il motivo  $s$ , dal generico utente appartenente alla categoria  $i$ , con origine nella zona di traffico  $o$ .

Il calcolo di  $m^i[osh]$  può essere effettuato attraverso un approccio di stima diretta o di stima da modello.

L'approccio di stima diretta consiste nella effettuazione di un'indagine a un campione statisticamente significativo di utenti circa il numero di spostamenti emessi nella fascia oraria  $h$  e per il motivo dello spostamento  $s$ . Il numero medio di spostamenti può essere espresso come:

$$m^i[osh] = \frac{\sum_{n_{spost}} n_{spost} \times p^i n_{spost} / osh}{n_{spost}}$$

dove:

$n_{spost}$  = numero di spostamenti effettuabili dal generico utente della classe  $i$ , per il motivo  $s$  e nella fascia oraria  $h$ ; può variare all'interno dell'intervallo  $[0, T]$ , con  $T$  pari al massimo numero di spostamenti effettuabili nella fascia oraria  $h$ ;

$p^i n_{spost} / osh$  = percentuale *osservata* di utenti, appartenenti alla classe  $i$ , che ha effettuato (ha dichiarato di avere effettuato) un certo numero di spostamenti  $n_{spost}$ .

L'approccio di stima da modello può essere condotto mediante una metodologia comportamentale o non comportamentale.

Per intraprendere l'approccio non comportamentale, si ricorre a soluzioni modellistiche di tipo regressivo anche note come modelli di regressione per categoria, i quali consentono di esprimere l'indice medio come una funzione di variabili relative alla categoria e alla zona di origine. La formulazione ma-

tematica deriva dai modelli statistici di tipo regressivo e, nel caso di regressione lineare, assume la seguente forma:

$$m^i[osh] = @ \beta_j \times X_{jo}^i$$

dove:

$\beta_j$  = parametri della regressione;

$X_{jo}^i$  = variabili del modello.

Mentre i parametri vanno calibrati e/o presi da casi studio simili, le variabili devono rappresentare quei fattori che possono influenzare il numero di spostamenti effettuati da un generico utente per il motivo e nell'intervallo temporale in esame.

In questa ottica, è possibile distinguere variabili di natura socioeconomica e variabili di accessibilità. Le prime interpretano l'incidenza della condizione sociale ed economica degli utenti sul numero di spostamenti effettuabili (ad esempio: condizione professionale, sesso, età, variabili legate al nucleo familiare, ecc.).

Le variabili di accessibilità misurano quanto facilmente un utente riesce a soddisfare le proprie esigenze di mobilità muovendosi dalla propria zona di traffico (accessibilità attiva), ovvero quanto sia facile raggiungere le zone di possibile destinazione (ad esempio: tempo di viaggio in auto) e se sia possibile svolgere l'attività motivo dello spostamento (ad esempio: quanti negozi per il motivo casa-acquisti). Le variabili di accessibilità sono funzione:

a) del numero di zone  $d$  di possibile destinazione. Sono tutte le zone che possono soddisfare le esigenze dell'utente. Una volta noto il motivo dello spostamento (ad esempio: casa-lavoro), potranno individuarsi tra le zone di traffico con almeno una destinazione elementare (ad esempio: unità locali con addetti);

b) del *costo di spostamento* per raggiungerla, a sua volta funzione delle caratteristiche (tempi e costi di viaggio) dei servizi di trasporto offerti (strade e/o linee di autobus). Siffatte caratteristiche, anche definite variabili di livello di servizio, possono essere calcolate con indicatori di differente complessità (distanza media su strada, tempo medio di viaggio in auto, costo generalizzato di viaggio, media dei costi generalizzati di viaggio);

c) dell'attrattività delle zone di possibile destinazione, la quale deve essere una grandezza misurabile e rappresentativa di quanto una zona di possibile destinazione possa soddisfare l'esigenze dell'utente (ad esempio: per il motivo casa-lavoro, il numero di unità locali o il numero totale di addetti).

Nella stima da modello condotta si ricorre alla stessa formulazione matematica proposta in precedenza:

$$m^i[osh] = \sum_{n_{spost}=1}^T m_{spost} \times p^i n_{spost} / osh_{up}$$

con la differenza che le percentuali  $p^i$  sono stimate mediante un modello matematico.

In questo caso, si ricorre a un paradigma teorico comportamentale che interpreta il fenomeno come una scelta tra fare 0, 1 o  $n$  spostamenti e stima le percentuali  $p^i$  come probabilità che un generico utente scelga scelta di effettuare 0, 1 o  $n$  spostamenti. In particolare, per specificare il modello è necessario definire.

- 1) *Le alternative di scelta.* È l'insieme di tutte le possibili alternative tra cui l'utente può scegliere. Variano tra zero spostamenti e il numero massimo di spostamenti che, per il motivo in esame, è possibile effettuare nella fascia oraria  $h$  (ad esempio: 0, 1, 2, ...,  $n$  spostamenti).
- 2) *L'insieme di scelta.* Per alcune tipologie di attività (ad esempio: lavoro dipendente, lavoro non dipendente), ancorché per lo stesso motivo dello spostamento (ad esempio: casa-lavoro), non tutte le alternative sono disponibili per tutti gli utenti. In questo caso, è consigliabile individuare dei criteri di disponibilità in funzione dei vincoli di tempo legati all'attività specifica che si desidera svolgere.
- 3) *La funzione di scelta.* È la funzione matematica con cui stimare le probabilità di scelta. Usualmente è utilizzato il modello *logit multinomiale*:

$$p[n] = \frac{e^{(V_n)}}{\sum_{k=1}^n e^{(V_k)}}$$

dove:

$p[n = 1, 2, \dots, n]$  = probabilità di scegliere di effettuare  $n$  spostamenti;  
 $V_n$  = utilità sistematica associata alla scelta di effettuare  $n$  spostamenti;

La *funzione di utilità* è tipicamente espressa come combinazione lineare di attributi di natura socio-economica e di accessibilità del tutto simili a quelle viste in precedenza:

$$V_{spost} = \sum_j \beta_j \times X_{j(spост)}$$

dove:

$\beta_j$  = parametri della regressione;  
 $X_j$  = attributi dell'utilità sistematica.

### Stima della distribuzione degli spostamenti

Il modello di distribuzione consente di stimare la percentuale  $p^i[d/osh]$  di spostamenti effettuati da utenti di categoria  $i$  che, partendo dalla zona  $o$  per il motivo  $s$  nel periodo  $h$ , si spostano nella destinazione  $d$ . Combinato con il modello di emissione, consente di stimare quante persone si spostano tra una zona  $o$  e una zona  $d$ .

Il calcolo di  $p^i[d/osh]$  può essere effettuato attraverso un approccio di stima diretta o di stima da modello.

La stima *diretta* consiste nella esecuzione di un'indagine campionaria per ciascuna origine dello spostamento e nella stima delle percentuali di distribuzione tra le possibili destinazioni appartenenti all'area di studio. L'approccio è poco utilizzato per la numerosità di osservazioni che è necessario raccogliere.

La stima *da modello* assume che la distribuzione degli spostamenti possa essere interpretata mediante un modello matematico e che i comportamenti soggiacenti non dipendano dalla particolare zona da cui ci si sposta. In questa ottica, è sufficiente estrarre un campione di utenti appartenenti all'intera area di studio e su di essi calibrare il modello. In questo caso, la numerosità campionaria necessaria è minore.

La stima *da modello* può essere condotta attraverso due distinti metodi: uno non comportamentale e uno comportamentale.

L'approccio non comportamentale ricorre a formulazioni derivate per analogia dalla legge di gravitazione universale, l'approccio comportamentale interpreta il fenomeno come una scelta dell'utente tra un numero finito di possibili destinazioni e consiste in modelli basati sulla teoria dell'utilità aleatoria che consentono di stimare la percentuale  $p^i[d/osh]$  come la probabilità che il generico utente  $i$ , partendo dalla zona  $o$ , per il motivo  $s$ , nel periodo  $h$ , scelga la destinazione  $d$ .

Per specificare tale modello è necessario definire:

1) Le alternative di scelta.

Solitamente, sono rappresentate da tutte le zone di traffico che hanno almeno una destinazione elementare compatibile con il motivo dello spostamento in esame (ad esempio: almeno un negozio per il motivo casa-acquisti, almeno un ufficio per il motivo casa-lavoro).

2) L'insieme di scelta.

Una volta fissata l'origine dello spostamento, è ragionevole assumere che non tutte le destinazioni dell'area di studio siano effettivamente percepite come alternative di scelta. In questo caso, è consigliabile non considerarle, sia per ridurre lo sforzo computazionale, sia per evitare

che destinazioni non percepite abbiano comunque una probabilità di scelta che, benché piccola, non è nulla e sommata alle probabilità di scelta delle altre alternative non percepite sia un numero non trascurabile. In generale, la reale disponibilità/percezione delle alternative dipende dal motivo dello spostamento (ad esempio: casa-acquisti beni non durevoli) e rispetto ad esso è possibile introdurre dei criteri di disponibilità/percezione basati su soglie spaziali (ad esempio: distanza chilometrica pari a 10 km) o su soglie temporali (ad esempio: tempo in auto pari a 20 minuti). Laddove non sia possibile risalire a criteri oggettivi per la definizione delle suddette soglie, è consigliabile assumere disponibili tutte le zone di traffico, nella consapevolezza che zone non percepite avranno, comunque, utilità molto basse e non dovrebbero indurre distorsioni significative.

- 3) La *funzione di scelta*. È la funzione matematica con cui stimare le probabilità di scelta. Usualmente, è utilizzato il modello *logit multinomiale*.

$$p[d] = \frac{e^{V_d^c}}{\sum_{d \in F} e^{V_d^c}}$$

dove:

$V_d^i$  = utilità sistematica della singola alternativa  $d$  e la sommatoria è estesa a tutte le destinazioni appartenenti all'insieme di scelta.

La *funzione di utilità* può essere espressa come combinazione lineare di attributi ( $X_{jd}$ ) di attrattività, di accessibilità, di natura socio-economica e territoriale opportunamente omogeneizzati tra loro ( $\beta_j$ ):

$$V_d^i = \sum_j \beta_j \times X_{jd}^i$$

Per attributi di attrattività si intendono tutti gli attributi in grado di misurare l'attrattività che la destinazione  $d$  esercita sull'origine  $o$  (ad esempio: se il motivo è casa-lavoro, l'attrattività è data dal numero di posti di lavoro presenti in una zona). Per attributi di accessibilità si intendono tutti gli attributi in grado di misurare la facilità di accesso alla zona  $d$  a partire dalla zona  $o$  (ad esempio: distanza su rete stradale, distanza in linea d'aria, tempo di viaggio in auto, minimo costo generalizzato di viaggio, facilità di parcheggio). Per attributi socio-economici si intendono gli attributi caratteristici dell'utente e funzionali a rappresentare una specifica preferenza dell'utente verso alcune zone rispetto ad altre. Per attributi territoriali si intendono attributi in grado di rappresentare caratteristiche storiche, culturali, commerciali non misurabili ma che rendono alcune zone, a parità di altri attributi, più (o meno) appetibili di altre zone (ad esempio: presenza di aree pedonali,

presenza di attrezzature, bellezza dei luoghi, tradizione commerciale, bellezza, pericolosità, ecc.).

### Stima delle percentuali di ripartizione modale

Il modello di scelta modale consente di stimare la percentuale,  $p^i[m/oshd]$ , di spostamenti di utenti di categoria  $i$  che, recandosi dalla zona  $o$  alla zona  $d$ , per il motivo  $s$ , nella fascia oraria  $h$ , usano il modo di trasporto  $m$ . Combinato con i modelli di emissione e di distribuzione, consente di stimare i flussi di domanda origine-destinazione modali.

La stima di  $p^i[m/oshd]$  è, usualmente, condotta mediante approcci di stima da modello basati su di un paradigma interpretativo e teorico comportamentale. Come per le dimensioni scelta precedenti, l'interpretazione della scelta del modo di trasporto si è consolidata sul paradigma interpretativo dell'utilità per il quale la scelta del modo è interpretata come una scelta tra i possibili modi di trasporto. Per specificare il modello è necessario definire:

#### 1) Alternative.

Le alternative sono rappresentate da tutti i modi di trasporto disponibili e rilevanti ai fini dell'analisi. Prefissata una coppia origine-destinazione un modo di trasporto è rilevante se è percepito come un'alternativa realistica.

#### 2) Disponibilità.

La definizione dell'insieme di scelta è un problema particolarmente rilevante perché, a differenza delle destinazioni, non tutti i modi di trasporto sono disponibili per tutti gli spostamenti. Ciò può essere dovuto a una oggettiva non disponibilità ovvero a una soggettiva non percezione di un'alternativa. Nonostante i modelli di utilità aleatoria siano specificati e applicati a classi omogenee di utenti, ipotizzare che tutti i decisori percepiscano lo stesso insieme di alternative può essere una forte approssimazione.

Non tutti gli utenti hanno disponibili tutte le alternative definite dall'analista. La disponibilità può essere *oggettiva* (non ho l'auto / patente, non ho un servizio di autobus) ma può essere anche *soggettiva*, essendo legata alla percezione dei singoli utenti (la moto non è un'alternativa percepita come disponibile per percorrenze distanze superiori a 3 ore di viaggio, l'autobus non è percepito disponibile se la fermata dista più di 20 minuti a piedi). In generale, la disponibilità oggettiva non può essere trascurata e deve essere individuata accuratamente in fase di indagine; la disponibilità soggettiva può essere tenuta in considerazione introducendo variabili specifiche

nella funzione di utilità sistematica del modello di domanda (numero auto in famiglia / numero patenti, soglie spaziali e/o temporali).

### 3) Funzione di scelta.

Il modello di scelta più utilizzato è il modello di utilità non deterministico *logit multinomiale*, la cui formulazione matematica è riportata di seguito:

$$p[m] = \frac{e^{\frac{V_m^D}{C^D}}}{\sum_{m^F} e^{\frac{V_{m^F}^F}{C^F}}}$$

dove:

$V_m^i$  = utilità sistematica della singola alternativa  $m$  e la sommatoria è estesa a tutti i modi di trasporto appartenenti all'insieme di scelta.

La funzione di utilità è, solitamente, espressa come una combinazione lineare secondo i parametri  $\beta_k$  degli attributi di ciascun modo di trasporto in relazione alla coppia origine-destinazione in esame:

$$V_j = \sum_j \beta_j \times X_j$$

Gli attributi possono essere di tre tipi: costo, socio-economici e specifici delle alternative.

Gli attributi di livello di servizio sono relativi alle caratteristiche del servizio offerto dal singolo modo, ad esempio il tempo di viaggio (eventualmente scomposto in tempo a piedi o di accesso/egresso, tempo di attesa, tempo a bordo, ecc.), il costo monetario, la regolarità del servizio, il numero di trasbordi da effettuare e così via. Questi attributi hanno coefficienti negativi in quanto rappresentano per l'utente delle disutilità. Per ciascun modo di trasporto si devono, pertanto, stimare i costi di spostamento tra l'origine  $o$  e la destinazione  $d$ .

Gli *attributi socioeconomici* sono di solito relativi a caratteristiche del decisore o del nucleo familiare di appartenenza che influenzano la scelta del modo; esempi tipici sono variabili di reddito familiare, di dotazione automobilistica (il numero di auto possedute in famiglia o il rapporto fra le automobili possedute in famiglia e il numero di patentati) il sesso, l'età, ecc. Poiché il valore degli attributi socioeconomici non dipende dalla alternativa, essi possono comparire solo nella specificazione dell'utilità sistematica di alcune alternative, ma non di tutte.

### Stima delle percentuali di scelta di percorso

Il modello di scelta del percorso fornisce l'aliquota  $p^i[k/oshdm]$  degli spostamenti effettuati da utenti di categoria  $i$ , che utilizzano ciascun percorso  $k$  relativo al modo  $m$  per recarsi da  $o$  a  $d$  per lo scopo  $s$  nella fascia oraria  $h$ . Esso consente di stimare i flussi di percorso sulla rete modale  $m$  ( $F_{ko}$  il vettore  $E$ ) una volta noti i flussi di domanda per  $od$  e per modo di trasporto  $m$ .

La scelta del percorso è solitamente affrontata mediante un approccio modellistico e mediante modelli di tipo comportamentale, basati sulla teoria dell'utilità aleatoria classificabili in funzione del comportamento di scelta, quest'ultimo classificabile nei modi di seguito illustrati:

- a) *preventivo/adattativo*, in quanto si ipotizza che la scelta del percorso avvenga in due fasi e sia completamente definita solo durante lo spostamento a seguito di adattamenti alle circostanze non prevedibili prima di intraprendere lo spostamento e incontrate durante lo spostamento stesso;
- b) *preventivo*, in quanto si ipotizza che la scelta del percorso sia effettuata interamente prima di iniziare lo spostamento.

Per specificare il modello è necessario definire:

- 1) le *alternative di scelta*, rappresentate dalle diverse sequenze di fasi del viaggio (sequenze di nodi e di archi della rete del modo considerato) contemplate dall'utente prima di effettuare lo spostamento;
- 2) l'*insieme di scelta*, nella pratica valutato – attesi i non pochi problemi computazionali per la enumerazione esplicita dei percorsi e interpretativi riguardo la percezione di un così elevato numero di alternative – ricorrendo ad un approccio euristico che può essere di due tipi:
  - *esaustivo*, perseguendo il quale si considerano ammissibili tutti i percorsi elementari (senza circuiti) esistenti sulla rete in esame con l'evidente svantaggio dovuto alla elevata complessità computazionale;
  - *selettivo*, secondo cui si individuano solo alcuni percorsi fra quelli topologicamente ammissibili sulla base del soddisfacimento di alcune regole euristiche, consentendo così un controllo migliore sull'ammissibilità dei percorsi generati;
- 3) la *funzione di scelta*, in tal caso identificabile con l'utilizzo di modelli di utilità di due tipi. *Deterministico*, secondo cui la percentuale di utenti che utilizzano un determinato percorso  $p[k/oshdm]$  è posta pari a 1 se il costo percepito medio del percorso  $k$  ( $C_k$ ) è inferiore a quello di ciascun percorso che collega l'origine  $o$  con la destinazione  $d$ . *Non deterministico*, per la quale si ricorre al modello *logit multinomiale* visto in precedenza o a mo-

delli più complessi (Probit, C-Logit) che consentono una più realistica stima delle probabilità di scelta in presenza di forti sovrapposizioni tra percorsi che collegano la stessa coppia origine-destinazione:

- 4) la *funzione di utilità*, per costruire la quale si assume che le variabili che influenzano la scelta del percorso siano sostanzialmente degli attributi di livello di servizio di segno negativo, ovvero dei costi (tempo di percorrenza eventualmente differenziato per tipologia, costo monetario, distanza, ecc.):

$$V_k = -C_k \forall k \in I_{odm}$$

In generale, il costo percepito medio del percorso è una combinazione lineare dei valori medi dei diversi attributi  $q$  (tempo, costo monetario, ecc.) con coefficienti che vanno calibrati con il modello di scelta del percorso:

$$C_k = \sum_G \beta_G X_{Gk}$$

in questo caso, solo se gli attributi  $X_{Gk}$  sono tutti ottenibili come somma dei corrispondenti valori  $x_{lG}$  di arco, il costo  $C_k$  è additivo.

Gli attributi di livello di servizio di un percorso  $k$  possono essere: *additivi*, quando ottenuti come somma dei costi degli archi che lo compongono; *non additivi*, quando sono funzione, ad esempio, dell'origine e destinazione dello spostamento.

### ***Simulazione della interazione tra domanda di mobilità e offerta di trasporto***

I modelli di assegnazione (o di interazione domanda-offerta) svolgono, un ruolo centrale nella costruzione di un modello complessivo di un sistema di trasporto, in quanto consentono di stimare l'uso dei servizi di trasporto offerti (strade e servizi) e consentono di stimare: i flussi auto sulle arterie stradali, i flussi passeggeri sulle linee di trasporto collettivo, le prestazioni del sistema (tempi e costi di viaggio) e gli impatti del funzionamento del sistema sull'ambiente esterno.

I modelli di assegnazione combinano tra loro i modelli di domanda e di offerta descritti in precedenza e possono essere classificati in base alle differenti ipotesi che possono essere fatte.

Se si assume che i costi non dipendono dai flussi sugli archi, si ottengono i modelli di assegnazione a costi costanti e la rete di trasporto si definirà *non congestionata*. In questo caso, è possibile definire una relazione diretta tra costi e flussi di arco poiché non esiste *retroazione* tra domanda e offerta.

Se i costi dipendono dai flussi sugli archi si ha l'assegnazione a reti congestionate, che può essere affrontato seguendo un approccio di equilibrio,

consolidato nella pratica corrente e di seguito considerato, ovvero secondo un approccio di processo dinamico, che, al momento, ha interesse quasi esclusivamente nella ricerca. L'assegnazione di equilibrio può essere considerata come lo studio delle configurazioni di equilibrio del sistema, cioè delle configurazioni nelle quali i flussi di domanda, di percorso e di arco siano congruenti con i costi che da essi derivano. Nel caso dell'approccio di processo dinamico, si rappresenta esplicitamente l'evoluzione dello stato del sistema nel tempo tra diversi stati ammissibili sistema. Per maggiore chiarezza l'assegnazione di equilibrio rappresenta lo stato di equilibrio cui può evolvere un sistema interpretato mediante approccio di processo dinamico.

Nelle pratiche applicazioni l'approccio di equilibrio è il più consolidato e può contare su numerosi software commerciali che consentono una agevole implementazione, una volta approntato il modello di offerta e stimata la matrice dei flussi di domanda modali<sup>4</sup>.

## 7. Stima delle prestazioni di un sistema di trasporto: gli indicatori di prestazione

A partire dai risultati dei modelli di interazione domanda-offerta, è possibile costruire degli indicatori che consentano di confrontare gli scenari in maniera analitica e non qualitativa.

Gli indicatori potranno essere costruiti combinando le grandezze ottenute dalle assegnazioni delle matrici OD alle reti, quali flussi e tempi di percorrenza di ogni arco della rete. Tutti gli indicatori devono essere elaborati per ognuno degli scenari considerati, al fine di condurre un confronto dal quale il pianificatore possa trarre informazioni realmente utili per la verifica della rete e per le eventuali modifiche da apportare a quest'ultima.

Si riportano, qui di seguito, alcuni indicatori sintetici di prestazione da poter prendere in considerazione per la verifica trasportistica degli scenari urbanistici.

- a) *Velocità media su rete*, esprime la media pesata sui flussi di arco delle velocità medie di percorrenza di tutti gli archi della rete:

$$V_m = \frac{\sum_a f_a \cdot v_a}{\sum_a f_a} \text{ [km/h]}$$

dove:

$f_a$  = flusso assegnato sull'arco  $a$  ottenuto come risultato dell'assegnazione (veic/h);

---

<sup>4</sup>Tra i tanti, i più utilizzati sono: Emme3 prodotto dalla INRO, TransCad prodotto dalla Caliper, Visum prodotto da PTV, CUBE prodotto da Citilabs.

$v_a = L_a/t_a =$  velocità media (km/h) sull'arco, calcolata come rapporto tra la lunghezza  $L_a$  dell'arco e il tempo di attraversamento  $t_a$  dell'arco stesso, risultato dell'assegnazione.

Tale valore deve essere confrontato con quello calcolato in condizioni di flusso nullo:

$$V_{m,+} = \frac{\sum_a v_{a,+}}{n_a}$$

dove:

$v_{a,+} = L_a/t_{a,+} =$  velocità a flusso nullo dell'arco  $a$ ;

$n_a =$  numero di archi della rete.

b) *Differenza di velocità*, rappresenta la variazione percentuale della velocità media rispetto alla velocità a flusso nullo:

$$\Delta V = \frac{V_m - V_{m,+}}{V_{m,+}}$$

dove:

$V_m =$  velocità media su rete di cui al punto a);

$V_{m,+} =$  velocità a flusso nullo di cui al punto a).

Un aumento di tale indicatore, nello scenario di progetto, è sintomo di un miglioramento della rete, sulla quale sarà possibile viaggiare a una velocità maggiore.

c) *Differenza di velocità pesata sui flussi*, esprime la media pesata sui flussi di arco delle differenze tra le velocità medie di percorrenza di tutti gli archi della rete e le rispettive velocità a flusso nullo:

$$\Delta V^{(I)} = \frac{\sum_a f_a ; v_a - v_{a,+}}{\sum_a f_a}$$

dove:

$v_a = L_a/t_a =$  velocità media (km/h) di percorrenza del singolo arco  $a$  della rete, calcolata come rapporto tra la lunghezza  $L_a$  e il tempo di attraversamento  $t_a$ , risultato dell'assegnazione;

$v_{a,+} = L_a/t_{a,+} =$  velocità a flusso nullo dell'arco  $a$ ;

$f_a =$  flusso assegnato sull'arco  $a$  ottenuto come risultato dell'assegnazione (veic/h).

L'indicatore in questione attribuisce peso maggiore alle variazioni di velocità sugli archi percorsi da flussi maggiori. Un sostanziale miglioramento di tale indicatore, dunque, è significativo di una più agevole percorribilità degli archi più impegnati della rete;

- d) *Indice di congestione*, rappresenta la media pesata sui flussi dei gradi di saturazione di ogni singolo arco:

$$IC = \frac{\sum_a f_a \cdot VOC_a}{\sum_a f_a}$$

dove:

$VOC_j$  = grado di saturazione dell'arco  $a$ , dato dal rapporto tra il flusso  $f_a$  e la capacità  $C_a$  del ramo  $a$ ;

Come per l'indicatore precedente, un più basso indice di congestione denota una più agevole percorribilità degli archi più impegnati della rete.

- e) *Tempo medio di percorrenza*, non è altro che una media aritmetica dei tempi di percorrenza degli archi della rete:

$$T_m = \frac{\sum_a t_a}{n_a}$$

dove:

$t_a$  = tempo di attraversamento, risultato dell'assegnazione (minuti);

$n_a$  = numero di archi della rete.

Tale valore deve essere confrontato con quello calcolato in condizioni di flusso nullo:

$$T_{m,+} = \frac{\sum_a t_{a,+}}{n_a}$$

dove:

$t_{a,+}$  = tempo di attraversamento a flusso nullo dell'arco  $a$  (minuti)

$n_a$  = numero di archi della rete.

- f) *Ritardo medio*, rappresenta la variazione percentuale del tempo medio di percorrenza rispetto al tempo medio di percorrenza a flusso nullo:

$$\Delta T = \frac{T_m - T_{m,+}}{T_{m,+}}$$

Come per l'indicatore di cui al punto b), una diminuzione di tale indicatore nello scenario di progetto, è sintomo di un miglioramento della rete, sulla quale sarà possibile viaggiare in tempi più contenuti.

- g) *Ritardo pesato sui flussi*, esprime la media pesata sui flussi di arco delle differenze tra i tempi medi di percorrenza e i rispetti ai tempi medi di percorrenza a flusso nullo:

$$\Delta T^{(I)} = \frac{\sum_a f_a; t_a - t_{a,+} ?}{\sum_a f_a}$$

dove:

$t_a$  = tempo di attraversamento, risultato dell'assegnazione (minuti);

$t_{a,+}$  = tempo di attraversamento a flusso nullo dell'arco  $a$  (minuti);

$f_a$  = flusso assegnato sull'arco  $a$  ottenuto come risultato dell'assegnazione (veic/h).

Come per l'indicatore di cui al punto c), anche l'indicatore in questione attribuisce peso maggiore alle variazioni di velocità sugli archi percorsi da flussi maggiori. Una diminuzione di tale indicatore, dunque, denota che è possibile percorrere gli archi interessati da flussi maggiori in un tempo più contenuto.

- h) *Ritardo pesato sulle lunghezze di arco*, rappresentativo della media pesata sulle lunghezze di arco delle differenze tra i tempi medi di percorrenza e i rispettivi tempi medi di percorrenza a flusso nullo:

$$\Delta T^{(I)} = \frac{\sum_a l_a; t_a - t_{a,+} ?}{\sum_a l_a}$$

dove:

$t_a$  = tempo di attraversamento, risultato dell'assegnazione (minuti);

$t_{a,+}$  = tempo di attraversamento a flusso nullo dell'arco  $a$  (minuti);

$l_a$  = lunghezza dell'arco  $a$  (km).

In tal caso, si attribuisce peso maggiore al ritardo accumulato sugli archi di lunghezza maggiore, così da evitare che il ritardo accumulato su archi di lunghezza limitata possa condurre a un risultato poco attendibile.

- i) *Ritardo pesato sui flussi e sulle lunghezze di arco*, espressione della media pesata sul prodotto tra lunghezze e flussi di arco delle differenze tra i tempi medi di percorrenza e i rispettivi tempi medi di percorrenza a flusso nullo:

$$\Delta T^{(II)} = \frac{\sum_a l_a f_a; t_a - t_{a,+} ?}{\sum_a f_a l_a}$$

dove:

$t_a$  = tempo di attraversamento, risultato dell'assegnazione (minuti);

$t_{a,+}$  = tempo di attraversamento a flusso nullo dell'arco  $a$  (minuti);

$l_a$  = lunghezza dell'arco  $a$  (km);

$f_a$  = flusso assegnato sull'arco  $a$  ottenuto come risultato dell'assegnazione (veic/h).

Tale indicatore risulta particolarmente significativo per il riconoscimento di un miglioramento, o meno, delle prestazioni di un arco. Infatti, pesando il ritardo sul prodotto tra lunghezze e flussi di arco, si attribuisce peso maggiore al ritardo accumulato sugli archi di lunghezza maggiore e più trafficate. In altre parole, l'indicatore subirà un'apprezzabile diminuzione in presenza di un calo del ritardo sui grandi assi di comunicazione della rete.

## 8. Metodi per lo svolgimento del dibattito pubblico per opere condivise alla scala regionale<sup>5</sup>

Un'opera (ma anche un Piano o un Progetto) per la quale si realizza un ampio consenso pubblico ha in genere una maggiore probabilità di essere realizzata. Ma come si ottiene questo consenso? Esperienze concrete suggeriscono che un dibattito pubblico partecipato e ben strutturato può permettere di perseguire questo obiettivo. Il primo esempio di dibattito pubblico di cui vi è memoria si è probabilmente verificato negli Stati Uniti nel 1969, quando l'approvazione della *National Environmental Policy Act* obbligò le agenzie federali ad interpellare i cittadini su tutti i progetti da finanziare con fondi pubblici. Nel 1989 in Brasile vi è stato, invece, il primo esempio (tuttora in vigore) di dibattito pubblico "non normato", ovvero non imposto da una specifica legge o regolamento, in materia di ripartizione delle risorse finanziarie pubbliche nel bilancio annuale nazionale. Anche in Italia, nel corso dell'ultimo ventennio, ci sono stati esempi di buone pratiche di dibattito pubblico su opere di trasporto come: per il progetto del Sistema della metropolitana regionale della Campania (2000-2010), per il referendum sulla linea tramviaria di Firenze (2008), per la "Gronda di Genova" (2009), o recentemente per il "Passante autostradale di Bologna" (2016).

Ad oggi, però, l'esempio normativo preso come riferimento (*best practices*) è sicuramente quello francese del *Débat Public* formalizzato con la

---

<sup>5</sup>Paragrafo estratto e rielaborato a partire da Carteni, A. (2017); Processi decisio-nali e Pianificazione dei trasporti, Capitolo 4: Il dibattito pubblico per le scelte sui sistemi di trasporto. Lulu International. ISBN 978-1-326-46240-6

legge Barnier nel 1995 a seguito delle forti opposizioni che si verificarono sul progetto della linea ferroviaria AV Lione-Marsiglia.

Il termine anglosassone spesso utilizzato per indicare un dibattito pubblico è quello di Stakeholder Engagement (SE) o Public Engagement (PE), che definisce il processo e le modalità con cui avvengono le “interazioni” tra decisori, tecnici progettisti e della pianificazione e stakeholders (ovvero i soggetti che hanno un “*hold*”, un interesse specifico, per la posta in gioco “*stake*”). Il dibattito pubblico (SE/PE) definisce quindi il meccanismo con cui avviene lo scambio delle informazioni, nonché la promozione delle interazioni tra le parti coinvolte. Il principio alla base dello Stakeholder Engagement è che i portatori di interesse vanno invitati a riflettere su un problema da risolvere, invece che contestare o contrastare una specifica soluzione progettuale.

Un dibattito pubblico può (deve) portare ad **un miglioramento della qualità della pianificazione/progettazione** con riferimento a tutti i soggetti coinvolti nel processo decisionale:

- per le Amministrazioni (i decisori):
  - aumentando la credibilità e la legittimazione attraverso un processo decisionale più trasparente;
  - aumentando il senso di responsabilità ed incrementando l’equità sociale;
- per gli Stakeholders:
  - incontrando maggiormente i bisogni effettivi della collettività;
  - migliorando la sostenibilità dei progetti e quindi potenzialmente la qualità della vita dei cittadini;
  - riducendo il rischio che singoli “leader oppositori” possano trovare accordi finalizzati ad una legittimazione personale con i decisori (promotori del piano/progetto);
- per il progetto nel suo complesso:
  - le interazioni tra differenti gruppi di soggetti (es. competenze multidisciplinari) nonché i differenti punti di vista (es. obiettivi differenti e reali necessità dei portatori di interesse), che in genere emergono nel dibattito, stimolano la ricerca di soluzioni progettuali di maggiore qualità tecnica;
  - le interazioni favoriscono la trasparenza ed aumentano la fiducia della collettività sul progetto;

- si riduce il rischio di fallimento del progetto dovuto a possibili barriere di consenso, nonché al rischio di aumento sia dei costi (es. di progettazione, di realizzazione e per le opere compensative) che dei tempi di realizzazione.

Per contro, esistono anche dei rischi associati ad un dibattito pubblico e che sono sostanzialmente di due tipi: *a*) i possibili portatori di interesse possono essere restii a partecipare al processo perché più facilmente disposti a mobilitarsi contro un progetto ben definito (es. una nuova autostrada), rispetto a partecipare attivamente alla soluzione di un problema (es. come ridurre la congestione stradale?; come aumentare l'accessibilità di un territorio?); *b*) talvolta, vi è il rischio concreto di anticipare le mobilitazioni ad una fase iniziale del progetto, quando ancora questo non è stato compreso e quindi accettato.

Al contrario, il “non fare il dibattito pubblico” può portare a delle **barriere di consenso** (descritte nel Paragrafo 3.1.3) contro il progetto dovute sostanzialmente ad un processo decisionale affetto da quella che in letteratura si chiama “*sindrome*” **DAD** – *Decide, Announce, Defence* (es. Susskind e Elliot, 1983), ovvero la tendenza secondo cui i decisori (in genere le Amministrazioni) tendono prima a Decidere, poi ad Annunciare il progetto, per poi trovarsi costretti a Difendersi contro gli attacchi per le decisioni prese. Questo significa che anche un progetto di ottima qualità tecnica (al limite il “migliore possibile”), se imposto alla collettività (calato dall'alto), può essere non accettato e quindi rigettato.

In linea di principio, il dibattito pubblico deve essere anticipato il più possibile nel processo decisionale, ed esempio: prevedere il PE prima della definizione delle alternative progettuali è meglio che prevederlo dopo aver scelto la soluzione da realizzare; o meglio ancora svilupparlo prima di aver scelto la tipologia di opera (es. strada vs. ferrovia) è meglio rispetto ad eseguirlo solo per la definizione delle alternative di tracciato per una nuova infrastruttura.

È bene precisare che un buon processo di Stakeholder Engagement può anche portare a scegliere una soluzione progettuale che risulta “*la non migliore*”, ovvero un'alternativa progettuale “*soddisfacente*” (che quindi persegue comunque gli obiettivi di un processo decisionale razionale e nel rispetto dei vincoli), qualora questa abbia però un miglior grado di accettazione (utilità percepita) per la collettività.

L'approccio **DAD** può a sua volta alimentare altre “sindromi” che possono colpire i portatori di interesse (specialmente le popolazioni direttamente

coinvolte dal progetto). La più frequente è nota come sindrome *NIMBY - Not In My Back Yard*, ovvero l'idea secondo cui, benché si valuti utile un progetto (es. una nuova autostrada), si ritiene che questo debba essere realizzato "non nel mio giardino", ovvero in qualsiasi luogo diverso dal proprio territorio, per paura di possibili conseguenze negative (es. inquinamento ambientale, rumore, traffico).

Il Public Engagement, a parità di opera (o piano/progetto) e di processo decisionale, può essere condotto con differenti livelli di "profondità" e di partecipazione. I principali modelli di PE che si possono avere (si veda la figura seguente) sono di due tipi:

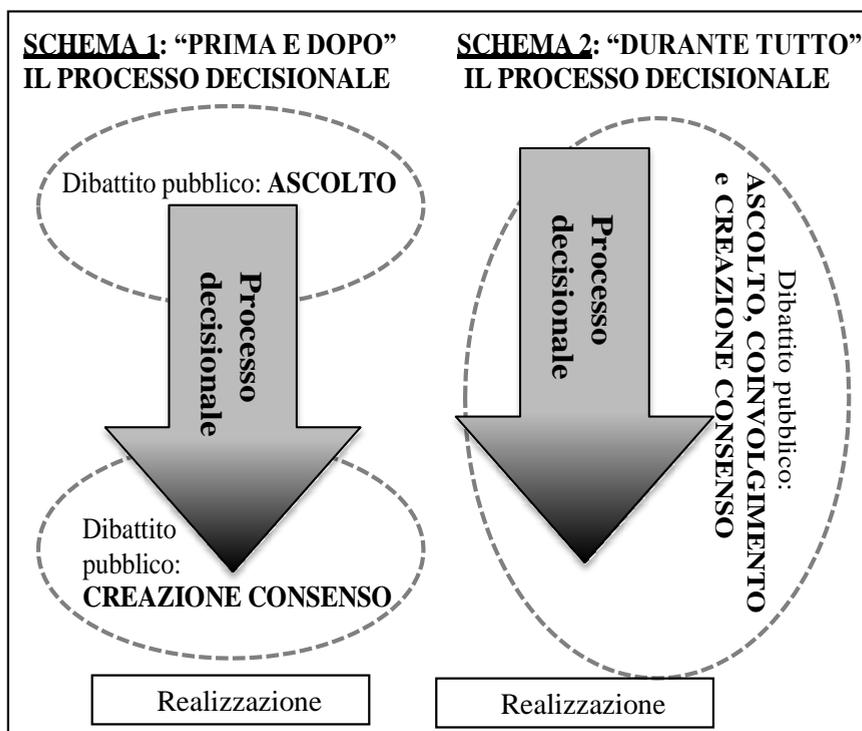


Figura 1 – I possibili schemi di dibattito pubblico (fonte: Carteni, A. (2017)).

- 1) un PE prima e dopo il processo decisionale funzionale ad ascoltare le esigenze degli stakeholders e creare consenso intorno ad un piano/progetto;

- 2) un PE durante tutto il processo decisionale che prevede anche il coinvolgimento (partecipazione attiva) degli stakeholders per la definizione delle alternative di piano/progetto.

Il primo schema si applica tutte le volte in cui si ritiene che i portatori di interesse non debbano partecipare alla definizione dell'alternativa progettuale (o di piano) da implementare ma debbano solo essere ascoltati sulle loro esigenze (prima del processo decisionale) e su eventuali piccole modifiche progettuali e/o di opere compensative da integrare nel progetto finale prima della sua realizzazione (es. progettazione definitiva/esecutiva). In genere chi partecipa ai dibattiti pubblici è spesso un non-utente del sistema dei trasporti (es. cittadini o rappresentanti di categorie) intenzionato a difendere i propri interessi e a contrastare specifiche ipotesi progettuali (o di piano).

Per contro, gli utenti del sistema non sono sempre disposti a partecipare attivamente a questi eventi pubblici, rischiando di fatto di non avere rappresentanti che portino avanti i loro interessi. Questa circostanza potrebbe addirittura portare al fallimento del processo decisionale razionale. Per meglio comprendere questa affermazione, si pensi ad esempio alla riqualificazione di un tracciato autostradale (es. che collega il nord al sud dell'Italia ed attraversato quindi prevalentemente da spostamenti di lunga percorrenza) che potrebbe essere realizzato secondo tre distinte soluzioni progettuali: due ipotesi di tracciato urbani e che impattano più negativamente (es. inquinamento, impatto paesaggistico) sui cittadini (non-utenti) delle aree coinvolte ma che, per contro, produrrebbero i maggiori benefici per gli utenti dell'autostrada (es. maggiori risparmi di tempo e consumo di carburante), ed un terzo che, sviluppandosi su un'area non urbanizzata, non produrrebbe impatti negativi per i cittadini ma porterebbe a minori vantaggi per gli utenti del sistema. In un esempio come quello appena descritto, sarebbe probabile attendersi che ad un dibattito pubblico si presentino rappresentanti di tutte le categorie di cittadini pronti ad attaccare i due tracciati urbani, mentre difficilmente parteciperebbero gli utenti del sistema soprattutto perché provenienti e/o destinati in aree lontane da quelle oggetto dell'intervento. Il risultato di un siffatto dibattito, con molta probabilità, porterebbe quindi a scartare le prime due ipotesi di tracciato urbano favorendo la terza soluzione progettuale per il solo fatto che per questa alternativa non ci sarebbero oppositori (scelta non razionale). Ebbene, tutte le volte che si teme possa verificarsi una circostanza come quella appena descritta, ovvero si ritiene che il di-

battito pubblico possa non portare ad una scelta pienamente razionale della soluzione da implementare, al fine di non inficiare il processo decisionale complessivo, sarà bene limitare il dibattito pubblico alle sole fasi (o livelli) di ascolto e creazione del consenso.

#### SCHEMA 1: DIBATTITO PUBBLICO “PRIMA E DOPO” IL PROCESSO DECISIONALE

1. **ascolto delle esigenze e delle proposte** degli stakeholders per la definizione di obiettivi e strategie del piano/progetto;
2. creazione del consenso sul piano/progetto attraverso:
  - **la divulgazione delle informazioni riguardanti prima le idee di piano/progetto e poi la soluzione progettuale (di piano) scelta;**
  - **l’ascolto delle reazioni e consultazione** con gli stakeholders per la definizione di eventuali variazioni all’idea progettuale di base e/o successivamente piccole modifiche alla soluzione progettuale (di piano) scelta.

Per contro, nel caso in cui si ritiene di poter ottenere una partecipazione equilibrata e proficua dei portatori di interesse per tutte le categorie di utenti coinvolti in un piano/progetto (utenti e non-utenti) si potrà procedere applicando il secondo schema di PE (questo è il caso di decisioni riguardanti interi piani dei trasporti e non singole opere infrastrutturali o singoli servizi di trasporto), ovvero quello nel quale viene chiesto ai portatori di interesse di partecipare attivamente anche alla definizione delle alternative di piano/progetto. In questo caso è possibile individuare le seguenti fasi, o livelli di PE:

#### SCHEMA 2: DIBATTITO PUBBLICO “DURANTE TUTTO” IL PROCESSO DECISIONALE

1. **ascolto delle esigenze e delle proposte** degli stakeholders per la definizione di obiettivi e strategie del piano/progetto;
2. creazione del consenso sul piano/progetto attraverso:
  - **la divulgazione delle informazioni** riguardanti prima le idee di piano/progetto e poi la soluzione progettuale (di piano) scelta;
  - **l’ascolto delle reazioni e consultazione** con gli stakeholders per la definizione di eventuali variazioni all’idea progettuale di base e/o successivamente piccole modifiche alla soluzione progettuale (di piano) scelta;

3. partecipazione degli stakeholders alla definizione, valutazione e confronto di più alternative di piano/progetto tra cui scegliere.

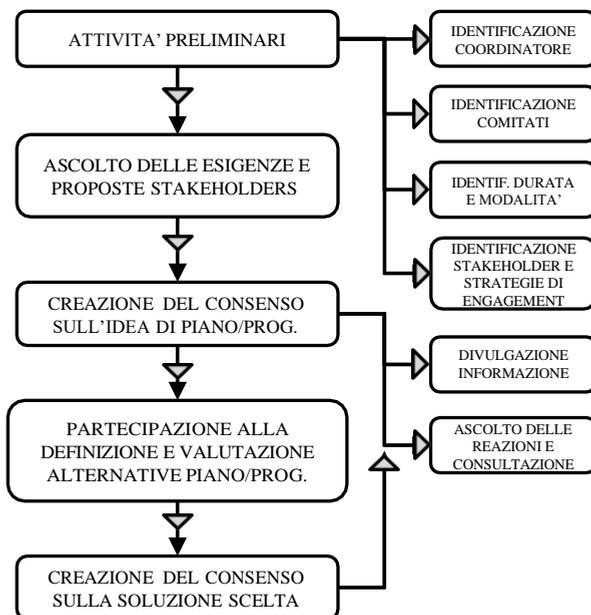


Figura 2 – Le fasi del dibattito pubblico (fonte: Carteni, A. (2017)).

Per entrambi gli schemi di PE è opportuno far precedere le fasi precedentemente individuate da alcune **attività preliminari** propedeutiche al dibattito pubblico:

- individuazione di un **coordinatore** (responsabile) del processo;
- definizione di comitati tecnici di lavoro;
- definizione della **durata** e delle modalità del processo;
- individuazione degli stakeholders e definizione delle strategie di engagement.

Al fine di aumentare la credibilità dei risultati nonché il consenso intorno al piano/progetto da realizzare, attività preliminare al processo di dibattito pubblico è l'individuazione di un *responsabile del confronto*, ovvero un soggetto terzo a cui affidare il coordinamento del processo e che avrà anche il compito di rendere pubblici gli esiti della consultazione, riportando i resoconti degli incontri e dei dibattiti con i soggetti portatori di interesse.

Al fine di rendere tutto il processo di qualità, trasparente ed imparziale, è opportuno, inoltre, definire specifici comitati di lavoro che avranno il compito di partecipare attivamente a tutte le fasi del processo:

- *comitato di indirizzo*, composto dai rappresentanti delle istituzioni direttamente interessate (es. tavoli istituzionali tra Ministero dei Trasporti, Presidenti delle Regioni e Sindaci dei Comuni coinvolti);
- *comitato scientifico*, ovvero uno o più soggetti di chiara fama in materia di pianificazione dei trasporti (es. docenti universitari) che avvalorino le metodologie e le attività tecniche proposte;
- *comitato operativo*, composto da tecnici esperti sul piano/progetto che operativamente portino avanti la redazione del piano/progetto (es. tecnici professionisti di settore, studiosi accademici, assessori ai trasporti dei Comuni coinvolti, funzionari comunali, ecc.).

In genere un dibattito pubblico deve durare un tempo congruo con le finalità applicative del piano/progetto. Ed è in questa fase che va definita tale durata temporale che sarà cura del coordinatore del processo fare in modo che venga rispettata. Generalmente per piani/progetti di tipo strategico e tattico, è buona norma che le **consultazioni si chiudano entro 4 mesi**. Per piani/progetti di breve periodo, benché non risulti necessario spesso procedere a consultazioni pubbliche, qualora si ritenga utile procedere con questo processo partecipato, si può ritenere accettabile anche un orizzonte temporale inferiore (es. 2 mesi).

Definiti coordinatore, comitati e durata delle consultazioni, nella successiva fase del dibattito pubblico, in funzione della tipologia di piano/progetto da discutere, saranno individuati i gruppi di stakeholders da coinvolgere nel processo e le differenti modalità con cui coinvolgerli (strategie di “*ingaggio*”). Questa attività sarà svolta congiuntamente tra il coordinatore del processo e i comitati di indirizzo e scientifico individuati. Esistono diverse metodologie per l’individuazione degli stakeholders. Una delle più diffuse e più semplici da implementare prevede di classificare i potenziali portatori di interesse secondo: *i*) la loro capacità di influenzare le scelte (ovvero il “potere” che si ha sul piano/progetto); *ii*) il loro interesse sul piano/progetto. Ipotizzando due differenti livelli per ciascuno dei precedenti criteri di classificazione (es. basso e alto) è quindi possibile definire una **matrice potere-interesse** (Tabella) che di fatto permette di classificare tutti gli stakeholders in quattro distinte categorie:

- **gli stakeholders chiave**: coloro che hanno alto interesse e alto potere nei confronti del piano/progetto e che quindi hanno sia la capacità che

- la volontà di partecipare al processo decisionale. Esempi sono i Sindaci dei Comuni coinvolti da scelte alla scala regionale o nazionale (es. una nuova linea AV o una nuova autostrada che attraversa più Comuni italiani) o anche gli investitori privati (es. le Banche) che, finanziando un'opera, hanno interesse e potere di influenzare le decisioni;
- **gli stakeholders istituzionali:** coloro che hanno basso interesse nei confronti del piano/progetto ma (potenzialmente) alto potere di agevolare (es. influenzando l'opinione pubblica) o ostacolare le decisioni prese. Un esempio sono le Soprintendenze Archeologia, Belle Arti e Paesaggio che hanno in genere poco interesse in un piano/progetto specifico, ma potenzialmente hanno il potere di "veto" qualora risultassero interventi o ritrovamenti nella sfera dell'archeologia o del paesaggio. Altri esempi sono gli *opinion leader* (es. giornali, media, social networks), ovvero tutti i soggetti che, grazie alla propria notorietà, sono in grado di dominare o guidare (o rappresentare) l'opinione pubblica e quindi, anche se non direttamente interessati al piano/progetto, potrebbero esercitare il loro potere di "veto";
  - **gli stakeholders operativi:** coloro che hanno alto interesse ma basso potere. Questa categoria è rappresentata da soggetti che hanno grande interesse in un piano/progetto (es. gli utenti del sistema di trasporto) ma che non hanno i mezzi e gli strumenti (il potere) per far valere i propri interessi;
  - **gli stakeholders marginali:** che hanno basso interesse e basso potere e che quindi vengono interessati solo marginalmente dal piano/progetto. Esempi di questi stakeholders potrebbero essere (in alcuni casi) i cittadini di un Comune confinante con quello che sta redigendo un Piano urbano della mobilità sostenibile, che sicuramente non hanno potere di influenzare il piano ma che potrebbero anche non avere alcun interesse a farlo non fruendo dei servizi di trasporto oggetto dell'intervento.

Gli stakeholders possono essere coinvolti nel processo di dibattito pubblico in maniera differente (tecniche differenti) e con differenti livelli (intensità) di coinvolgimento. Alcuni esempi di strategie di engagement sono: *i*) il coinvolgimento diretto; *ii*) l'individuazione e l'informazione; *iii*) l'ascolto attivo; *iv*) l'informazione e la comunicazione. Per ciascuna delle quattro categorie di stakeholders precedentemente definite è possibile utilizzare differenti strategie di "ingaggio" (Tabella ). Ad esempio, gli stakeholders chiave è opportuno che vengano coinvolti in maniera diretta, ovvero sin dalle prime

fasi, dalla definizione degli obiettivi sino alla partecipazione alla scelta delle alternative di piano/progetto da realizzare.

MATRICE POTERE/INTERESSE			
POTERE	ALTO	Stakeholders Istituzionali	Stakeholders Chiave
	BASSO	Stakeholders Marginali	Stakeholders Operativi
		BASSO	ALTO
INTERESSE			

**Tabella 3** – La matrice potere-interesse per la classificazione ed individuazione degli stakeholders (fonte: elaborazione su classificazione proposta da Gardner et al., 1986).

LE STRATEGIE DI COINVOLGIMENTO			
POTERE	ALTO	Individuazione ed informazione	Coinvolgimento diretto
	BASSO	Informazione e comunicazione	Ascolto attivo
		BASSO	ALTO
INTERESSE			

**Tabella 4** – Le strategie di coinvolgimento nel dibattito pubblico per le differenti categorie di stakeholders (fonte: Carteni, A. (2017).

Gli stakeholders istituzionali, non avendo particolare interesse sul piano/progetto, è bene che vengano individuati nelle fasi iniziali del processo (dimenticarsi di coinvolgere una di queste categorie può portare a delle “barriere istituzionali”) e sistematicamente informati sul piano/progetto durante tutto il processo decisionale e di dibattito pubblico. Gli stakeholders operativi è bene che vengano ascoltati in maniera attiva, ovvero prendendo concretamente in considerazione nel processo i loro bisogni e pareri riguardanti il piano/progetto. Questi sono spesso gli utenti del sistema che in parte diventeranno utilizzatori degli interventi previsti nel piano/progetto ed è quindi opportuno tenerli debitamente in conto.

Infine, vi sono gli stakeholders marginali che, come detto, sono quelli meno interessati al piano/progetto e per i quali è sufficiente prevedere un'adeguata informazione e comunicazione degli esiti del processo decisionale e di dibattito pubblico.

La prima fase operativa del dibattito pubblico è l'**ascolto** delle esigenze, dei timori e delle proposte degli stakeholders. L'ascolto può avvenire, ad esempio, tramite delle campagne di indagine o direttamente tramite tavoli di consultazione o tavoli tecnici con i stakeholders individuati. Questa fase, coordinata dal responsabile del processo, è implementata dal comitato operativo sotto la supervisione metodologica del comitato scientifico. È in questa fase che emergono quelli che saranno poi gli obiettivi del piano/progetto volti a risolvere le criticità emerse in questa fase (es. bassa qualità della vita, elevati livelli di inquinamento, congestione stradale, bassa qualità del trasporto collettivo).

Il secondo livello dello Stakeholder Engagement è la **creazione del consenso sul piano/progetto**. Il consenso in genere può essere creato/agevolato tramite tre distinte attività interconnesse: la divulgazione delle informazioni, l'ascolto delle reazioni e le consultazioni con gli stakeholders. Durante la **divulgazione** delle informazioni il comitato operativo si occupa di fornire agli stakeholders tutte le informazioni utili relative all'idea di piano/progetto (e quindi non di alternative progettuali già definite/decise) che il decisore intende implementare al fine di fornire tutti gli elementi utili per stimolare reazioni e proposte costruttive. Per divulgare le informazioni è possibile utilizzare differenti strumenti di comunicazione, come le campagne pubblicitarie trasmesse in TV e sul web o tramite riunioni pubbliche aperte alla cittadinanza. **L'ascolto delle reazioni** e la **consultazione** con gli stakeholders risulta un'attività centrale per la creazione del consenso perché permette di individuare eventuali variazioni nell'idea di piano/progetto iniziale, prima di avviare la fase di definizione delle alternative progettuali. Vista l'importanza di questa fase, è opportuno che vi partecipino tutti i comitati di lavoro individuati. È in questa fase che elementi nuovi e differenti punti di vista possono essere tenuti esplicitamente in conto. Ad esempio, con riferimento alla progettazione di una nuova linea metropolitana, un possibile risultato di questa fase potrebbe essere quello di modificare l'idea progettuale di una nuova linea introducendo anche la riqualificazione urbana delle aree direttamente interessate dal progetto e questo prima di individuare le soluzioni progettuali (ipotesi di tracciato e di stazioni) che invece risulterebbero poi vincolanti rispetto a modifiche dell'idea progettuale complessiva. Nello Schema 1 di PE, ovvero quello nel quale i portatori di interesse non partecipano alla definizione delle alternative progettuali, questa attività di **ascolto**

delle reazioni e consultazione con gli stakeholders viene in genere ripetuta anche dopo aver definito la soluzione progettuale (o di piano) ma prima che questa venga implementata, al fine di permettere piccole variazioni progettuali e/o l'aggiunta di opere compensative da integrare nel progetto finale (es. riqualificazioni a verde delle aree di progetto, nuovi percorsi ciclabili lungo il tracciato di una nuova infrastruttura stradale).

L'ultimo livello del dibattito pubblico è la **partecipazione** degli stakeholders alla definizione prima, e alla valutazione e confronto poi, di più alternative di piano/progetto tra cui scegliere. In questa fase vi è un'attiva interazione tra i tecnici della pianificazione (comitato operativo) ed i portatori di interesse. È inoltre prevista anche la partecipazione sia del comitato scientifico, che fornisce il supporto metodologico, sia del comitato di indirizzo, che deve vigilare affinché vengano perseguiti gli obiettivi delle Amministrazioni coinvolte. È in questa fase che i progettisti recepiscono i punti di vista degli stakeholders emersi nei precedenti livelli, al fine di meglio formulare le alternative di piano/progetto prima di una decisione formale e quindi dell'implementazione (realizzazione) del piano/progetto. Questa fase di solito presenta più retroazioni, ovvero le ipotesi di piano/progetto formulate dai tecnici vengono modificate o integrate in tutto o in parte tramite le interazioni con gli stakeholders, per poi essere riprogettate dai tecnici sino a convergere (dopo più iterazioni tecnici-decisori-stakeholders) ad una soluzione "soddisfacente" per tutti i soggetti coinvolti. In questa fase, i gruppi direttamente interessati diventano quindi partner nella definizione del piano/progetto e nella sua successiva implementazione, partecipando attivamente al processo decisionale. Le forme con cui può avvenire questa partecipazione possono essere di vario tipo, da tavoli tecnici sino a referendum approvativi di soluzioni progettuali specifiche (un esempio italiano è stato il referendum sulla linea tramviaria di Firenze del 2008). Ovviamente anche questa fase contribuisce (e non poco) alla creazione del consenso intorno ad un piano/progetto.

Per implementare un dibattito pubblico possono essere utilizzati differenti strumenti, quali: materiale informativo, indagini, eventi, tavoli tematici, conferenze e votazioni. Nella Tabella è schematizzata una possibile matrice strumento-fase dello Stakeholder Engagement.

Infine, è giusto il caso di precisare che nella pratica operativa, talvolta, alcuni dei livelli del dibattito pubblico introdotti tendono a sovrapporsi (unirsi). Ad esempio, spesso le fasi di ascolto e divulgazione vengono accorpate in un'unica fase, in cui con un'unica campagna d'indagine si divulgano le

informazioni circa l'idea di piano/progetto e si ascoltano le esigenze della collettività.

Strumenti del dibattito pubblico		Fasi del dibattito pubblico				
		Att. preliminari (es. individuazione stakeholders e comitati)	Ascolto	Creazione del consenso		Partecipazione
				Divulgazione	Consultazione	
Materiale informativo	Stampa, TV, Social, Web, forum/chat					
Indagini	Questionari, interviste a testimoni privilegiati (chiave)					
Eventi	Mostre, incontri pubblici					
Tavoli tematici	Tavoli di Concertazione, Focus Group					
Conferenze	Convegni, workshop					
Votazioni	Referendum					

**Tabella 5** – I principali strumenti del dibattito pubblico: la matrice strumento-fase (fonte: Carteni, A. (2017)).

## Riferimenti Bibliografici

- Bobbio, L. (2006); Dilemmi della democrazia partecipativa; *Democrazia e diritto*, 4, pp. 11-26.
- Bobbio, L., Lewanski (2007); Una legge elettorale scritta dai cittadini; *Reset*, 101, pp. 76-77.
- Cascetta, E. (2006); Modelli per i sistemi di trasporto – Teoria e applicazioni; UTET.
- Carteni, A. (2017); *Processi decisionali e Pianificazione dei trasporti*, Lulu International. ISBN 978-1-326-46240-6
- Gardner, J., R., Rachlin, R. Sweeny, A. (1986); *Handbook of strategic planning*; Wiley, New York.
- Hall, P. (1980). *Great Planning Disasters*. University of California Press.

- Manheim, M.L. (1979). *Fundamentals of transportation systems analysis*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Meyer, M. D., Miller, E. J. (2001). *Urban Transportation Planning: a decision-oriented approach*. McGraw-Hill.
- Ortúzar Juan de Dios, Willumsen Luis G. (2001); *Modelling Transport*, 4th Edition. Wiley.
- Susskind, L., Cruikshank. J. (1987); *Breaking the Impasse. Consensual Approaches to Resolving Public Disputes*; Basic Books.
- Susskind, L., Elliot M. (1983); *Paternalism, Conflict and Coproduction*; Plenum Press, New York.

## Note

Università degli Studi di Salerno, (Italy), [sdeluca@unisa.it](mailto:sdeluca@unisa.it)

Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", (Italy), [armando.carteni@unicampania.it](mailto:armando.carteni@unicampania.it)

Università degli Studi di Napoli "Federico II", (Italy), [vmarzano@unina.it](mailto:vmarzano@unina.it)

## Tecnologie e applicazioni per ITS

Francesco Antonio Bruno, Andrea Cusano, Antonello Cutolo, Pasquale Daponte, Antonio Iele, Francesco Lamonaca, Sabatino Villan, Eugenio Zimeo.

### *Abstract*

Nel capitolo sono presentati i risultati preliminari dell'analisi inerente le tecnologie e applicazioni per Intelligent Transport System (ITS). L'obiettivo è supportare gli Uffici Regionali nella individuazione e nella classificazione di tecnologie abilitanti ed applicazioni nello sviluppo della linea Alta Velocità /Alta Capacità (AV/AC) Napoli-Bari. L'analisi ha evidenziato come, per rendere l'attuale sistema ferroviario "intelligente" sia importante garantire l'integrazione di sistemi di monitoraggio IoT based, sottosistemi di monitoraggio basati su tecnologie innovative quali la sensoristica in fibra ottica e tecnologie informatiche "edge" e cloud. I dati raccolti serviranno per la messa a punto di innovative azioni atte a garantire la sicurezza dell'intero sistema ferroviario, dei suoi attori e fruitori, ridurre l'impatto ambientale e valorizzarne ulteriormente i benefici per il territorio da esso attraversato.

Da questa analisi deriverà lo studio dei servizi tradizionali ed innovativi e il loro impatto su obiettivi, parametri ed indici del protocollo internazionale ENVISION.

### **1. Introduzione**

L'Unione Europea definisce un ITS (Intelligent Transport System) come un sistema nel quale le tecnologie dell'informazione e della comunicazione sono applicate al campo dei trasporti, incluse le infrastrutture, i veicoli e gli utenti, e per la gestione del traffico e della mobilità. Questi sistemi mirano a fornire servizi innovativi correlati a diverse modalità di trasporto e gestione del traffico e abilitano i vari utenti ad essere informati in modo più efficace e a fare un uso più sicuro, coordinato e intelligente dei trasporti. Sono pertanto diverse le parti di un sistema di trasporto dove nuove soluzioni ICT possono trovare spazio per migliorare l'esperienza d'uso dell'utente, per fornire sofisticati strumenti di monitoraggio e diagnostici ai gestori, e per integrare al meglio il sistema di trasporto con l'ecosistema che lo ospita.

Una rete ferroviaria che intenda fornire agli utenti servizi avanzati di trasporto ad elevata capacità e velocità si configura a tutti gli effetti come un ITS e pertanto necessita di sofisticati strumenti ICT perché si integri al meglio con l'ambiente in cui si colloca e al quale fornisce servizi. Da un lato, infatti, è necessario che le sofisticate tecnologie utilizzate per offrire servizi di trasporto ad alta velocità e capacità non perturbino l'ecosistema e dall'altra il sistema di trasporto intelligente deve consentire di ridurre le congestioni, migliorare la sicurezza e l'esperienza dei viaggiatori.

I treni diventano sempre più interconnessi e in grado di trasmettere informazioni tra loro e verso/da i centri di controllo. Sono proprio tali informazioni a consentire oggi nuovi scenari d'uso dei servizi di trasporto che garantiscano agli utenti adeguati supporti per pianificare al meglio i propri viaggi (pianificazione multi-modale).

Obiettivo della presente relazione è supportare gli Uffici Regionali competenti nella individuazione e nella classificazione di tecnologie abilitanti ed applicazioni ICT che possono essere, in generale, dispiegate ed integrate nelle reti regionali di trasporto e, in particolare, nello sviluppo della linea Alta Velocità /Alta Capacità (AV/AC) Napoli-Bari. L'obiettivo è supportare, in accordo con le politiche e le definizioni di indirizzo dell'Unione Europea, l'evoluzione delle ferrovie in ITS, ovvero sistemi nei quali le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, sono applicate alle infrastrutture, ai treni, agli utenti sia per l'incremento dei livelli di sicurezza, della qualità dei servizi tradizionali e sia per lo sviluppo di servizi innovativi.

In tale contesto, anche in funzione del protocollo ENVISION, si propone l'analisi e la definizione di opportune azioni per la:

- *sicurezza*, intesa quale protezione totale del sistema ferroviario in tutte le sue componenti fisse e mobili ed in tutti suoi attori (personale di terra, equipaggio di bordo e passeggeri). Essa include anche il miglioramento della manutenzione delle strutture ferroviarie e la definizione di adeguati sistemi ICT per il monitoraggio del trasferimento merci.
- *sostenibilità*, cioè la valutazione e la gestione dell'impatto degli impianti e del traffico di persone e cose sull'ambiente e sul sistema socioeconomico coinvolto;
- *valorizzazione*, delle realtà culturali, ambientali e produttive presenti lungo la tratta.

Le ferrovie hanno sempre impiegato dispositivi per monitorare le tratte, ma gli avanzamenti tecnologici nel campo del networking (es. da GSM-R a LTE), dei dispositivi sensore e degli strumenti di elaborazione rendono oggi possibile la creazione di veri e propri *smart train*.

In linea con tale evoluzione tecnologica, si propone un sistema per l'implementazione delle azioni precedentemente introdotte basato su IoT e su tecnologie innovative quali la sensoristica in fibra ottica, e denominato Fast Train Total Shield (FTTS).

Relativamente a quest'ultima, modificando localmente le caratteristiche fisiche della fibra ottica normalmente usata per le normali comunicazioni su portante ottica, il classico canale ottico per la trasmissione dati viene convertito in una potente tecnologia che consente di misurare su grandi distanze molteplici parametri simultaneamente e in diversi punti della fibra ottica stessa.

In un contesto come quello ferroviario, i sensori in fibra ottica si presentano molto competitivi e performanti sia per le loro caratteristiche che per gli innegabili vantaggi che li contraddistinguono, ossia:

- immunità alle interferenze elettromagnetiche ed assenza di connessioni elettriche in grado di interferire con i normali segnali elettrici che normalmente viaggiano lungo l'infrastruttura ferroviaria;
- possibilità di utilizzare il medesimo supporto fisico (il cavo in fibra ottica), sia per la trasmissione che come sensore multiparametrico e multipunto e quindi con una considerevole semplificazione delle procedure di installazione e cablaggio;
- capacità di operare su grandi distanze, caratteristica fondamentale quando si considera il monitoraggio dell'infrastruttura ferroviaria che per sua natura opera su grandi distanze;
- intrinseca compatibilità con il sistema di comunicazioni in fibra ottica attualmente utilizzato per funzioni di segnalamento in ambito ferroviario;
- intrinseca compatibilità con l'intero sistema di comunicazione in fibra ottica per le telecomunicazioni attualmente presente sul suolo nazionale;
- sostenibilità ambientale ed economica.

Inoltre, date le dimensioni ed il peso ridotti delle fibre ottiche, la tecnologia dei sensori in fibra ottica permette di realizzare sistemi di monitoraggio complessi e multifunzionali minimamente invasivi e posti spesso in località inaccessibili se si pensa alle tecnologie sensoristiche tradizionali.

Tornando alle caratteristiche del sistema FTTS, esso sarà quindi composto:

- di una rete di sensori in fibra ottica installata e disseminata sia lungo la tratta ferroviaria che nei suoi paraggi, in grado di monitorare in tempo reale innumerevoli parametri di interesse, i cui dettagli sono di seguito descritti;
- di una rete di sensori connessi in rete e disseminati lungo la rete ferroviaria, a bordo treno, nelle stazioni ferroviarie e negli smartphone

- degli utenti, per la raccolta di dati ambientali, energetici, di traffico, identificativi di merci e persone;
- dell'edge computing per l'elaborazione locale dei dati raccolti al fine di validarli, sintetizzarli e, nel caso, lanciare in modo tempestivo segnali di allarme;
  - del cloud per l'immagazzinamento, l'elaborazione dei dati raccolti dai sensori e la distribuzione di dati sintetici a operatori automatici o umani opportunamente accreditati;
  - di operatori umani o automatici che, ricevuti opportune segnalazioni e dati dal cloud, attuano opportuni protocolli in parte già esistenti e in parte da sviluppare sulla base delle nuove informazioni rese disponibili dall'infrastruttura di monitoraggio.

L'approccio suggerito è distribuito e decentralizzato e quindi:

- riduce i tempi di reazione (cioè dalla rilevazione di un evento all'attuazione del protocollo di intervento previsto) in quanto parte dell'elaborazione può essere locale (edge),
- migliora la robustezza dell'intero sistema in quanto la non disponibilità di un sito non compromette la funzionalità degli altri,
- permette la modularità e quindi la scalabilità e l'ottimizzazione delle risorse utilizzate in quanto consente l'utilizzo solo dei moduli necessari alle specifiche esigenze del luogo.

La pre-elaborazione dei dati in prossimità del sistema di acquisizione, con la trasmissione al sistema centrale in-cloud delle sole informazioni di sintesi, è un approccio rilevante ai fini della scalabilità del sistema. In ogni caso, la piattaforma di acquisizione dovrà garantire la possibilità di memorizzare ed elaborare grandi quantità di dati, sfruttando diverse risorse computazionali attraverso l'impiego di paradigmi di *data-parallelism* e di *stream processing*<sup>[24]</sup>. I dati acquisiti dai sensori, pre-elaborati in periferia o in-cloud potranno essere successivamente analizzati per diversi scopi: analisi del carico della rete ferroviaria, analisi delle vulnerabilità e definizione in tempo reale di recovery plan, supporto ad un'esperienza di trasporto seamless e multimodale per i viaggiatori.

In particolare, i gestori della rete ferroviaria potranno essere i destinatari di una dashboard che presenti informazioni e dati utili al monitoraggio, alla pianificazione degli interventi di manutenzione, all'analisi strategica, nonché alla verifica delle condizioni critiche di funzionamento della rete ferroviaria.

Di seguito si descrivono in dettaglio le proposte di intervento distinguendole in base alle azioni. In questa relazione, le applicazioni di riferimento saranno quelle relative alla sicurezza (come protezione totale di tutto il sistema in tutte le sue componenti fisse e mobili ed in tutti suoi attori e fruitori), e alla sostenibilità (monitoraggio degli impatti del sistema ferroviario sull'ambiente e sul sistema socioeconomico locale coinvolto), alla valorizzazione delle realtà produttive presenti lungo la tratta.

## **2. Sicurezza**

Il concetto di sicurezza, applicato ai sistemi di trasporto di persone o merci, fa riferimento all'insieme di azioni che permettono lo spostamento di più veicoli ferroviari in condizioni di pericolo trascurabili, assicurando cioè che i rischi per i fruitori e per gli operatori rientrino nei limiti di accettabilità prestabiliti. Il concetto di sicurezza applicata ai trasporti, infatti, non è solo riferito ai viaggiatori, ma include anche la tutela, l'incolumità ed il benessere psico-fisico degli utenti e del personale presente nei punti di stazionamento e la salvaguardia delle merci trasportate. FTTS propone una serie di azioni per migliorare le pratiche atte a garantire la sicurezza nel comparto ferroviario e di tutti i suoi sottosistemi (materiale rotabile, linea ferroviaria, infrastrutture edili, rete elettrica, infrastruttura informatica), come di seguito riportato.

### **2.1 Materiale rotabile**

Quando si parla di sistemi di trasporto su rotaia, tra i tanti requisiti che essi devono rispettare (comodità, velocità, puntualità, ecc), la sicurezza copre un ruolo fondamentale. Tra tutti i mezzi di trasporto, la ferrovia deve assolutamente garantire un livello di sicurezza assai elevato. In particolare, i treni rappresentano nella moderna società, su scala mondiale, uno dei mezzi maggiormente usati per il trasporto di passeggeri e merci; inoltre bisogna aggiungere che negli ultimi anni è stato registrato un aumento del numero di incidenti di treni e metropolitane (Figura 1).

È dunque nata la necessità di dotare la rete ferroviaria di sistemi di monitoraggio per la supervisione, real-time e continua, delle condizioni operative e strutturali delle infrastrutture stesse.

In questo ambito assume fondamentale interesse da parte delle industrie ferroviarie lo sviluppo e la realizzazione di sistemi di Pesa Dinamica dei convogli ferroviari e la detection di eventuali ruote con difetti localizzati sulle loro superfici di rotolamento.

Tali sistemi, in primis devono essere in grado di determinare il peso che grava su ogni singola ruota di un rotabile in transito sui binari.



**Figura 1** – Esempi tipici di treni deragliati.

Infatti, se si ha la possibilità di conoscere il peso che grava su ogni ruota di un treno in transito, si possono rilevare eventuali sovraccarichi o squilibri longitudinali e/o trasversali, che sono la principale causa di deragliamento.

Relativamente alla detection di ruote difettate, invece, è importante sottolineare che tali difetti, durante il normale transito dei rotabili sulle rotaie, tendono a produrre forze di contatto ad elevata frequenza tra la ruota e la rotaia che dipendono da molti fattori quali la velocità del convoglio ferroviario, il carico presente sugli assi e le dimensioni del difetto. La sfaccettatura delle ruote è un fenomeno molto diffuso, specialmente sui treni merci a causa del grande peso che trasportano. Le cause principali per la formazione di ruote sfaccettate sono le forti ed improvvise frenate e/o le frenate di emergenza, ed il transito su giunti di binario non perfettamente livellati. Quando un treno effettua un arresto improvviso o di emergenza l'attrito prodotto dallo sfregamento della ruota sulla rotaia ha come conseguenza la formazione sulla ruota di zone e/o porzioni in cui la normale forma circolare viene alterata o schiacciata. Può capitare invece che un treno, specialmente se merci, passando su scambi o incroci di binari, possa incontrare delle discontinuità della linea; se queste sono molto accentuate il gradino che si viene a formare, battendo contro la ruota, causa delle *ammaccature* del cerchio; l'effetto è maggiore nel caso dei treni merci poiché il peso trasportato aumenta la forza con cui la ruota batte contro la discontinuità del binario. Inoltre le alte temperature che si generano durante le frenature e lo strisciamento della ruota sulla rotaia possono portare alla perdita di piccole porzioni metalliche sulla tavola di rotolamento della ruota. Il fenomeno della non circolarità della ruota può diventare molto pericoloso in quanto provoca delle periodiche perdite di aderenza e può indurre la rottura dell'asse, il deterioramento delle sospensioni, delle boccole ferroviarie e nel peggiore dei casi il rischio di deragliamento dei carri ferroviari.

In virtù di quanto esposto, FTTS intende installare in diversi punti della rotaia, un'unità di diagnostica multifunzionale che consente di:

- **effettuare misure di pesa dinamica** dei convogli in transito in normale esercizio al fine di controllare sbilanciamenti longitudinali e/o trasversali, attraverso misure di deformazione dei binari al passaggio dei rotabili, e di generare in real time degli alert nelle condizioni di pericolo;
- **identificare ruote difettate in linea**, attraverso una qualificazione della qualità delle superfici di rotolamento di tutte le ruote dei rotabili in transito, misurando le vibrazioni indotte dall'interazione ruota difettata-rotaia durante il normale esercizio delle reti ferroviaria.
- misurare parametri di interesse dei rotabili in transito come la velocità, il numero di assi, la direzione ed il verso di transito.

Il sistema proposto è particolarmente innovativo e si basa sull'utilizzo di tecnologie basate su sensori in fibra ottica e in particolare sui reticoli di Bragg, che non sono nient'altro che strain gauge ottici integrati nel classico cavo ottico usato per le telecomunicazioni (Figura 2). È previsto, quindi, l'impiego di sensori FBG opportunamente integrati in package che conferiscono ai sensori di campo:

- scarso ingombro e minima invasività;
- robustezza;
- nessuna alterazione della rotaia (non richiede forature e neppure la costruzione di piattaforme);
- facilità di installazione e rimozione;
- non richiede alimentazione elettrica e quindi verifica tutte le specifiche di isolamento;
- cablaggio in fibra ottica (non si usano cavi elettrici);
- non crea problemi di interferenza elettromagnetica;
- ampio intervallo di temperatura di lavoro ( $-40 \div 85$ )°C [9][10][11].





**Figura 2** – Tipica installazione lungo la rotaia dei sensori in fibra ottica integrati nei package.

Un attento monitoraggio dello stato di deformazione dei binari al passaggio dei convogli consente di:

- Incrementare la sicurezza e l'efficienza della circolazione dei veicoli ferroviari;
- Rendere più efficiente e tempestiva la diagnostica e la manutenzione del materiale rotabile;
- Ridurre i costi di manutenzione dell'infrastruttura ferroviaria evitando che rotabili difettosi usurino l'infrastruttura stessa.

In particolare, il monitoraggio del peso di un treno in movimento (Weighi In Motion), e quindi l'eventuale generazione di un warning per sovraccarichi e squilibri, permette di:

- Limitare i danneggiamenti e l'usura delle rotaie
- Minimizzare i danneggiamenti e l'usura delle ruote/assali
- Eliminare i guasti e malfunzionamenti (Incidenti, deragliamenti, ecc...)

Invece, la detection di ruote difettate, e quindi la generazione di un eventuale warning per ruote sfaccettate/difettate, permette di:

- Migliorare/Ottimizzare la manutenzione ferroviaria
- Ridurre i danneggiamenti all'infrastruttura ed ai mezzi
- Riduzione del numero di incidenti ferroviari

Si riporta di seguito una tabella con le specifiche del suddetto sistema di diagnostica.

Tecnologia	Fibra ottica
	Lunghezza tipica dei treni: 3.2 km
	Range di velocità dei veicoli: 2 km/h - 130 km/h (range di velocità atteso: fino a 350 km/h)

	Range operativo carico per asse: da 3 t a 40 t
	Forza dinamica: 0 – 500 kN
	Accuracy: 2 %
Functionalities	Conteggio degli assi, misura della velocità del treno e dell'accelerazione, direzione di transito, occupazione rotaia, pesa dinamica e sbilanciamento longitudinale e trasversale, rilevamento della forza di impatto dinamica ruota/rotaia, detection ruote difettate
Fault tolerance	La ridondanza del sistema è implementata per consentire il corretto funzionamento anche in caso di 50% di sensori guasti
Auto-Diagnostics	Il sistema è dotato di funzioni di autocalibrazione combinate con autodiagnostica in grado di verificare continuamente la correttezza delle misure e l'integrità di tutti i componenti del sistema
Environmental and climatic features	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Range operativo di temperatura [°C]: -40 ÷ 85</li> <li>• Connector box IP degree: 67</li> <li>• Humidity [%]: 0 ÷ 95</li> <li>• Interferenza Elettromagnetica: immune</li> </ul>
Mechanical features	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensioni singolo sensore (l x h x d) [mm]: 200 x 150x100</li> <li>• Installazione: sensori a fibra ottica ancorati al fungo della rotaia</li> <li>• Applicabile a qualsiasi tipo di rotaia (UNI50, UIC60, ecc.)</li> </ul>
Power Supply	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Outdoor equipment [W]: Alimentazione non richiesta</li> <li>• Indoor equipment [W]: 125</li> </ul>
Regulations and Norms	EN 50125-3, EN 50121-4

## 2.2. Linea Ferroviaria

Una linea ferroviaria è caratterizzata da una serie di discontinuità longitudinali e trasversali. Nei punti di congiunzione, a seconda della temperatura di fusione dei binari, si generano differenti tipi di forze alle stesse condizioni di temperatura ambiente. Di conseguenza, una variazione di temperatura causa la deformazione della linea portando a instabilità laterale e contemporaneamente alla rotazione delle traversine dovuta alla differenza di estensione delle due rotaie. Le disgiunzioni longitudinali o verticali non causano l'interruzione del traffico ferroviario, ma causano interruzioni delle comunicazioni dei sistemi di segnalazione, rallentando il traffico ferroviario fino a quando non si provvede al ripristino della continuità della linea. La

compressione invece, può causare deformazioni sulla linea ferroviaria che non porta a interruzioni elettriche, Di conseguenza le deformazioni da compressione non sono rilevabili tramite il monitoraggio del solo funzionamento del sistema elettrico.

Ad esempio, nel Regno Unito, nel maggio del 2002, si è verificato il deragliamento di un treno della West Anglia Great Northern, che ha causato la morte di 7 persone ed il ferimento di altre 76 <sup>[9],[13]</sup>. Dalle inchieste successive è emerso che la responsabilità del disastro ferroviario fosse da attribuire esclusivamente alla scarsa manutenzione dei binari (Figura 3). Venne rilevato, infatti, un numero significativo di bulloni allentati o addirittura assenti, necessari per il fissaggio delle rotaie e di conseguenza per il corretto funzionamento della tratta ferroviaria. La causa dell'allentamento dei bulloni può essere imputata alle deformazioni termiche e alle vibrazioni indotte dal passaggio dei treni.



**Figura 3** – Disastro ferroviario Potters Bar. <sup>[9],[13]</sup>

I ballast e le traverse sono ulteriori punti da attenzionare nell'ottica di incrementare la sicurezza in ambito ferroviario (Figura 4). Il ballast traduce il termine massciata, e di fatto rappresenta il pietrisco, allo stato naturale o ricavato per frantumazione di rocce, utilizzato per la formazione di massciate ferroviarie (*track ballast*).

Su di esso si poggiano le traverse, tipicamente realizzate in cemento armato, che a loro volta sostengono i binari. Eventuali cedimenti del ballast, causati per esempio da cedimenti del terreno sottostante, possono generare di fatto delle vere e proprie condizioni di pericolo per la linea ferroviaria, in

quanto provocherebbero condizioni di instabilità alle rotaie, con conseguente pericolo di deragliamenti per i rotabili in transito.



**Figura 4** – *Ballast e traversine ferroviarie.*

In aggiunta, un ulteriore punto di interesse per la sicurezza di una linea ferroviaria è rappresentato da qualsiasi varco di attraversamento della rotaia, ed in particolar modo dai passaggi a livello. Un malfunzionamento dell'apparato di segnalamento o di gestione di tale varco è causa scatenante di incidenti lungo la tratta ferroviaria.

Per ridurre i rischi sopra descritti, FTTS propone:

- **un sottosistema basato su sensori in fibra ottica installati lungo la linea ferroviaria e dislocati nei punti di maggior interesse, in grado di:**
  - monitorare lo stato di salute e l'integrità delle rotaie;
  - controllare lo stato di occupazione di un tratto di linea ferroviaria (Figura 5);
  - monitorare lo stato di salute del ballast, delle traverse e della massicciata lungo l'intera linea ferroviaria;
  - monitorare il corretto funzionamento dei passaggi a livello.
- **un sottosistema per il monitoraggio costante dell'infrastruttura ferroviaria basato su tecnologie diverse dalla sensoristica in fibra ottica.**

Entrambi i sottosistemi permettono la pianificazione degli interventi di manutenzione a breve medio e lungo termine, e segnalano tempestivamente le operazioni da effettuare in regime di urgenza.

Relativamente al sottosistema basato su sensoristica in fibra ottica, per addressare il **controllo dello stato di occupazione di un tratto di linea ferroviaria**, [11] FTTS prevede l'utilizzo della stessa tecnologia di sensori FBG e la stessa configurazione di package prevista per il sistema multifunzionale di pesa e detection di ruote difettate.

Il singolo punto di misura, vedi prossima figura, di fatto, va a sostituire il classico e famoso pedale conta assi elettromagnetico tipicamente usato in ambito ferroviario, e sarà in grado di contare il numero di assi in entrata ed in uscita ad una tratta ferroviaria. Fin quando il numero di assi in uscita dalla tratta ferroviaria sarà inferiore a quello in ingresso, FTTS genererà un segnale che indicherà la condizione di tratta occupata, quindi non percorribile da altri rotabili.



**Figura 5** – Pedale conta assi ottico per occupazione della tratta ferroviaria.

Al fine di monitorare **lo stato di salute e l'integrità delle rotaie e lo stato di salute del ballast, delle traverse e della massicciata lungo l'intera linea ferroviaria**, FTTS prevede l'installazione lungo linea di sensori in fibra ottica in grado di misurare sia grandezze statiche che i livelli vibrazionali che si generano lungo la rotaia durante il normale esercizio. Il sistema si avvarrà di catene di sensori in fibra ottica basati sulla tecnologia degli FBG (Fibre BraggGrating), il cui cablaggio viene fatto in serie; su un unico cavo ottico vengono integrati sensori che misurano grandezze diverse (es. estensimetri, accelerometri, sensori di temperatura, etc.);

In aggiunta, per la misura delle vibrazioni, il sistema si avvarrà di accelerometri monoassiali. Il sensore di accelerazione è **un innovativo sensore accelerometrico di vibrazione**, costituito da una cavità micro-opto-meccanica realizzata sulla sommità di una fibra ottica.

Il suddetto sensore offre prestazioni, riportate nella successiva tabella, paragonabili agli accelerometri con tecnologia convenzionale, ma con i vantaggi dei sensori in fibra ottica. Esso è già stato validato sul campo in un'applicazione di monitoraggio sismico [14] dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Osservatorio Vesuviano INGV-OV in collaborazione con l'Università del Sannio.

Performance	Accelerometro in fibra ottica
Responsivity	1.5 [ $\mu\text{m}/(\text{m}/\text{s}^2)$ ]
Resolution	0.5 [ $\mu\text{g}/(\text{Hz})^{0.5}$ ]
Bandwidth (3dB)	0.1-60 [Hz] oppure 3 kHz - 8 kHz
Sensor Weight	<250 g
Multiplexing	Fino a 10 sensori

Sfruttando le informazioni restituite dai sensori di campo, e grazie a sofisticati algoritmi di signal processing, FTTS sarà in grado di dare continue informazioni sulla salute dei binari, e genererà dei warning ogni qualvolta si accorgerà di situazioni di pericolo per la sicurezza dell'infrastruttura.

Al fine di **monitorare l'occupazione involontaria dei passaggi a livello** e/o malfunzionamenti dell'apparato di gestione di tali varchi, anche in questo caso, FTTS si avvarrà di sensori integrati in cavi ottici ed installati in maniera tale da rilevare condizioni di occupazione involontaria durante il normale esercizio della linea ferroviaria.

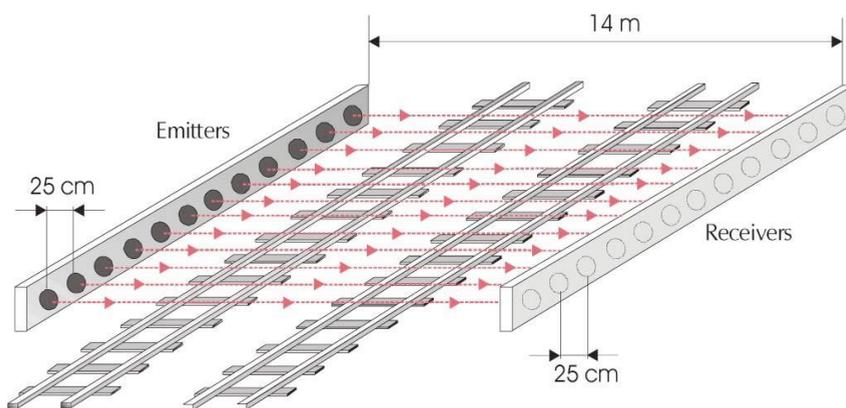
Relativamente al sottosistema basato su tecnologie diverse dalla fibra ottica, la soluzione proposta per il corretto monitoraggio della rete ferroviaria, prevede l'impiego di un numero di sensori di immagine nel visibile e nell'infrarosso, alimentati mediante una linea elettrica dedicata a bassa tensione, o autoalimentati con moduli fotovoltaici e batterie tampone, dislocati lungo la linea ferroviaria ed a bordo treno, i quali consentiranno di avere informazioni in tempo reale riguardo:

- stato di manutenzione dei binari;
- rilevazione di intrusi;
- azioni di sabotaggio;

L'approccio appena esposto è ampiamente trattato anche nella letteratura scientifica. Singh et al. [15] propongono delle tecniche avanzate di elaborazione di immagini al fine di individuare lo stato di "salute" dei binari e di misurarne lo scartamento, cioè la distanza intercorrente tra i lembi interni del fungo delle due rotaie, partendo da immagini in alta definizione ottenute mediante l'uso di droni. Le immagini sono raccolte ad altezze e condizioni meteo diverse, di conseguenza, per poter essere rese confrontate, devono essere opportunamente ridimensionate e filtrate con specifici filtri denominati HSV (Hue, Saturation and Value). Una volta elaborate, le immagini vengono convertite in scala di grigi e applicati algoritmi specifici per la misurazione della distanza tra i binari. In questo modo è possibile verificare la variabilità dello scartamento e il rispetto dei limiti prestabiliti dalle normative[20]. Le immagini catturate sono geo localizzate in modo da permettere rapidamente l'identificazione del tratto di linea che necessita di intervento. I risultati ottenuti mostrano che il sistema di misura proposto introduce un errore massimo di 1,05 cm su 167,00 cm di scartamento, ed è quindi idoneo per l'applicazione in esame.

Inoltre, l'utilizzo del sistema di misura proposto consente la rilevazione tempestiva di ostacoli presenti lungo la linea, consentendo l'attuazione immediata dei protocolli di intervento previsti.

In [21] è proposta una barriera multisensoriale costituita da sensori a infrarossi (IR) e ad ultrasuoni (US), ed un sistema di visione che analizzano continuamente la stessa area. La barriera, genera informazioni sull'esistenza di ostacoli superiori a (50 cm × 50 cm × 50 cm) mentre il sistema di visione analizza se vi sono oggetti in movimento, informando mediante l'invio di segnali di allarme, il sistema di controllo centrale (Figura 6).



**Figura 6** – Barriera Multisensoriale.[21]

Il sistema di monitoraggio proposto si avvale di una rete di collegamenti tra emettitori e ricevitori dei sensori ad infrarossi. Sulla base delle dimensioni minime dell'oggetto da rilevare, la distanza tra sensori contigui è stata fissata a 25 cm, in modo da garantire sia l'interruzione di almeno due collegamenti se un oggetto con dimensioni minime si trova nell'area di scansione, sia una ridondanza, evitando così falsi positivi. Dai risultati è emersa un'elevata accuratezza di rilevamento degli ostacoli anche in condizioni climatiche avverse quali forte vento o presenza di nebbia fitta, rendendo il sistema una soluzione implementabile sull'intera linea ferroviaria.

Relativamente alla rilevazione di intrusi, un asset ferroviario - come un'area di servizio, un deposito per treni o una stazione ferroviaria - non può essere chiuso con barriere perché ostacolerebbero il passaggio di personale autorizzato o passeggeri. Un'ulteriore difficoltà sorge dalla protezione dell'accesso ai binari che non possono essere fisicamente ostruito da sistemi di rilevamento delle intrusioni commerciali come recinzioni sensorizzate o sensori a filo teso. Inoltre, tecnologie di sensori convenzionali come sensori a microonde, sensori di campo elettrico, i cavi coassiali portati e i sensori a infrarossi soffrono di interferenze elettromagnetiche associate al transito dei treni.

Pertanto, FTTS propone **un sistema antintrusione basato su sensori in fibra ottica in grado di rilevare effrazioni ed accessi non autorizzati a siti protetti come ad esempio gallerie, locali tecnici e depositi**. In particolare il sistema di rilevamento è composto da una struttura planare "tappeto" in gomma munito di sensori in fibra a reticolo di Bragg (FBG, Fiber Bragg Gratings) integrati sulla superficie inferiore del tappetino (Figura 7). Il principio di funzionamento del sistema di rilevamento è di seguito descritto: un intruso che cammina sul tappeto rappresenta un carico sul tappeto sensorizzato. La pressione applicata dovuta al passo umano porta alla deformazione del tappetino in base alle sue proprietà elastiche, e di conseguenza i sensori FBG rilevano la deformazione associata al carico e convertono tale deformazione in uno spostamento della lunghezza d'onda di Bragg. In basso viene riportato il sistema antintrusione munito di sensori FBG nel tappeto in gomma sviluppato dal gruppo di Optoelettronica e Fotonica del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi del Sannio all'ingresso dell'area di servizio di 20m<sup>2</sup> della ferrovia Ente Autonomo Volturmo (EAV) di Napoli (Italia). Suddetto sistema ha dimostrato la capacità di rilevare eventi di intrusione in

uno scenario reale. Il suddetto sistema di rilevamento con sensori in fibra ottica rappresenta una soluzione preziosa per le applicazioni di sicurezza ferroviaria [16][17][18] [19].



Figura 7 – Sistema antintrusione con tappeto di sensori in fibra ottica.

### 2.3 Infrastrutture edili

All'interno della rete ferroviaria sono collocati un cospicuo numero di manufatti di attraversamento quali ponti, viadotti, sovrappassi, che costituiscono, sia gli elementi più impegnativi e dispendiosi dal punto di vista della realizzazione, sia i più costosi per il mantenimento in esercizio.

Rispetto agli altri elementi strutturali, tali manufatti sono maggiormente esposti ai processi di deterioramento strutturale e caratterizzati da maggiori livelli di vulnerabilità in caso di eventi calamitosi eccezionali quali terremoti e inondazioni.

La crescente età dei ponti stradali ha prepotentemente posto in evidenza, in questi ultimi anni, i problemi associati al degrado delle strutture.

Le cause principali di degrado, oltre alla normale usura o obsolescenza strutturale, sono da ricondursi all'incremento del volume e dei pesi del traffico ferroviario, a condizioni ambientali avverse quali l'esposizione ai cicli di gelo e disgelo e a problematiche conseguenti all'uso di materiali da costruzione il cui comportamento di servizio per così lungo tempo non poteva essere completamente noto all'epoca della costruzione.

Nel corso degli anni si sono verificati diversi incidenti ferroviari conseguenti al cedimento strutturale di opere edili, a causa di calamità, di scarsa manutenzione o addirittura per l'impiego di materiali di costruzione scadenti ed errori nella progettazione dell'opera. Tra questi si annoverano l'incidente al Rafiganj rail bridge<sup>[22]</sup> in India (Figura 8a), dove un ponte in metallo di epoca coloniale crollò a causa della ruggine, e della scarsa manutenzione; sempre in India nel 2005, a seguito della rottura di un enorme serbatoio di irrigazione ci furono co-

piose inondazioni che interessarono le linee ferroviarie tra cui il Veligonda Railway Bridge<sup>[23]</sup> (Figura 8b), il quale crollò a causa di un difetto di progettazione poiché non aveva strutture portanti adatte a resistere a eventi meteorologici eccezionali, causando il deragliamento del treno e la morte di 114 passeggeri.

In questo contesto, appare evidente l'importanza del monitoraggio continuo e remoto delle condizioni di deterioramento delle infrastrutture ferroviarie in modo da identificare tempestivamente quelle che tendenzialmente vanno verso l'ammaloramento, allo scopo di disporre piani di manutenzione periodica o d'urgenza. L'intervento sulle strutture in modo tempestivo e mirato permette di ottimizzare l'uso delle risorse economiche, di ottenere il massimo beneficio dalle strutture stesse, garantirne la sicurezza e di conseguenza la sicurezza dei viaggiatori.



(a)



(b)

**Figura 8** – Incidenti ferroviari avvenuti in seguito a crolli strutturali: (a) Rafiganj rail bridge<sup>[22]</sup>; Veligonda Railway Bridge<sup>[23]</sup>.

FTTS propone:

- a) l'impiego di sensori in fibra ottica per lo structural health monitoring (SHM), ossia per monitorare lo stato di salute e l'integrità di viadotti, ponti, gallerie e qualsiasi infrastruttura posta lungo l'asset ferroviario.
- b) l'impiego di flotte di droni equipaggiate con sensori LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) per effettuare, in maniera accurata ma semplificata rispetto ai metodi tradizionali, l'ispezione periodica delle strutture edili ferroviarie consentendo di identificare i punti che necessitano di manutenzione. Sarà quindi possibile ottimizzare la schedulazione della manutenzione ordinaria e/o di intervenire tempestivamente.

Relativamente al **monitoraggio strutturale** tramite sensori in fibra ottica, FTTS prevede l'utilizzo di:

- accelerometri basati su tecnologia FBG ed accelerometri che sfruttano l'interferometria;
- fessurimetri;
- sensori di deformazione;
- eventuali inclinometri;
- sensori di pressione;
- sensori di temperatura.

Quindi, identificate le strutture da monitorare, FTTS prevede l'installazione in field di una combinazione di suddetti sensori, ciascuno in grado di monitorare un parametro che identifica lo stato di salute.

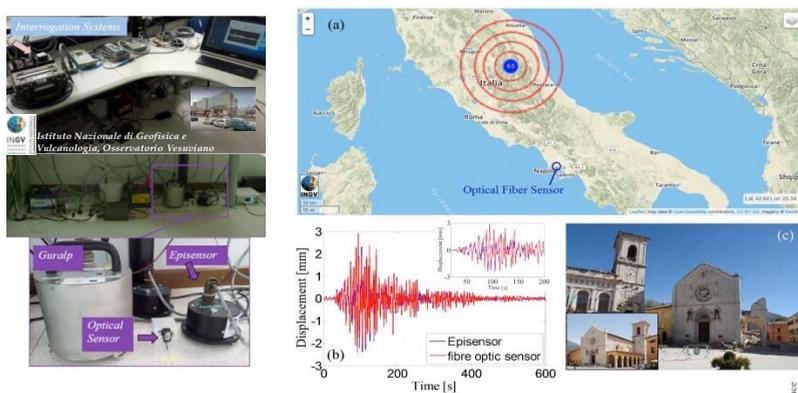
Tramite opportune tecniche di signal processing, la rete sensoriale sarà in grado di generare warning ogni qualvolta si accorgerà di particolari condizioni di degrado delle infrastrutture (Figura 9).



**Figura 9** – Structural monitoring di viadotti con sensori ottici.

**FTTS, tra i sensori ottici, prevede l'utilizzo degli stessi accelerometri** menzionati nel paragrafo precedente, ossia di sensori ottici composti da una cavità micro-opto-meccanica sulla punta della fibra, in grado di sentire vibrazioni con una risoluzione fino a  $0,44 \mu\text{g} / \sqrt{\text{Hz}}$  su una banda di frequenze 3dB di 0,1-60 Hz, ovvero ha prestazioni paragonabili agli accelerometri sismici commerciali.

Tali sensori sono stati validati su campo da INGV, che li ha utilizzati per diverse settimane in combinazione con una rete sismica standard, e durante questi esperimenti, tali sensori hanno rilevato la sequenza sismica che è culminata nel terremoto di Norcia (Figura 10). [25] [26][27] [28].



**Figura 10** – Rilevazione del sisma di Norcia con il sistema di sensori in fibra ottica.

Detto ciò, si passa all'altro sistema di monitoraggio previsto da FTTS, il cosiddetto LIDAR.

Il LiDAR è una tecnica di rilievo topografico che, per mezzo di un laser a scansione aviotrasportato, consente di ottenere un modello digitale tridimensionale delle superfici scansionate con una elevata densità di punti a terra ed elevate precisioni plano-altimetriche. Inoltre, i convogli ferroviari saranno dotati di opportuni sensori per l'acquisizione e la trasmissione di immagini ed altri dati in tempo reale agli operatori FTTS.

La validità della soluzione proposta è stata dimostrata in [24] dove gli autori presentano un algoritmo composto da sei fasi per l'ispezione autonoma di ponti e infrastrutture edili, utilizzando delle flotte di droni (UAVs). Questo processo inizia con una fase di prevolo per l'acquisizione di una mappa 3D della struttura target opportunamente geo-localizzata, utilizzando in maniera combinata tecniche di 3D LiDAR e RTK-GPS; la mappa 3D acquisita

è impiegata dall'utente per selezionare i punti di interesse sulla struttura (waypoint) e pianificare un efficiente percorso in modo da collegare al meglio tali punti. La preparazione preliminare è quindi completata, e viene avviata così la fase di ispezione della struttura. Per poter volare in maniera completamente autonoma durante l'operazione, l'UAV deve conoscere esattamente la sua posizione ed il suo orientamento; siccome al di sotto del ponte la rilevazione del segnale GPS è scarsa o assente, vengono utilizzati una fotocamera, un LiDAR e un IMU (Inertial Measurement Unite), e viene usata una struttura a grafo per consentire la stima precisa della posizione. La localizzazione dell'UAV consente di raccogliere i dati in maniera accurata per portare a termine con successo l'ispezione. Gli autori hanno validato il processo mediante dei test sul campo con risultati soddisfacenti, dimostrando quindi che la proposta è una valida tecnica autonoma per l'ispezione delle strutture e dei ponti.

Tra le tante infrastrutture edili che caratterizzano gli asset ferroviari, le gallerie rappresentano un altro punto di interesse da attenzionare al fine di incrementare i livelli di sicurezza. Oltre ai parametri che ne caratterizzano lo stato di salute, particolare importanza viene data alla temperatura che si genera all'interno di tali tunnel.

L'interesse di monitorare la temperatura nelle gallerie di una rete ferroviaria nasce dall'esigenza di avere un utile strumento/dispositivo e più in generale un sistema per la prevenzione di guasti, e specialmente, degli incendi (Figura 11). Gli incendi sono la principale causa di incidenti nelle gallerie ferroviarie e i suoi effetti sono dannosi a causa del fumo e dei gas tossici prodotti. La pericolosità di un incendio in galleria dipende dal fatto che il calore sviluppato si disperde con molta difficoltà ed inoltre si raggiungono temperature così elevate che permangono a lungo e di conseguenza il confinamento della galleria ostacola l'espansione delle onde di sovrappressione, che riflettendosi su volta e pareti possono innescare distacchi o crolli parziali della struttura.



**Figura 11** – *Incendio nelle gallerie ferroviarie.*

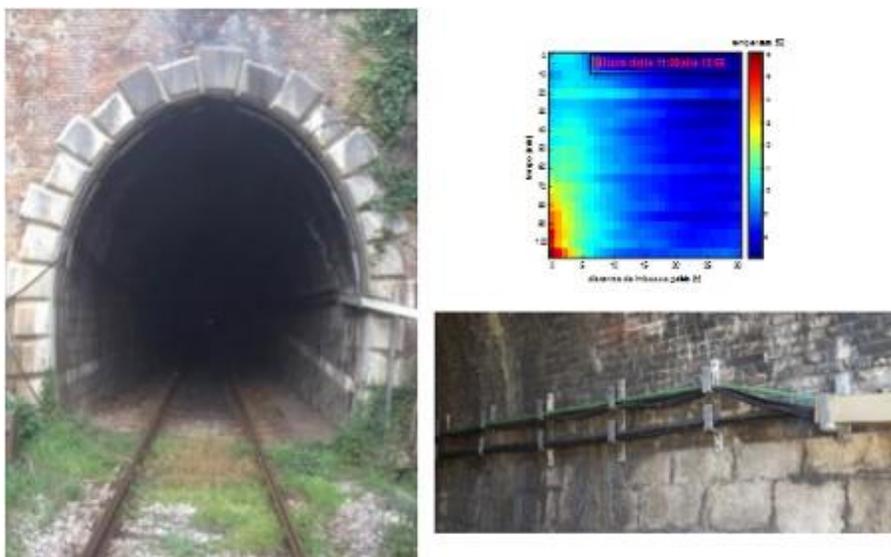
Il binario ferroviario è l'infrastruttura basilare nella costruzione di linee ferroviarie. Esso è una struttura composta da due profilati metallici in acciaio (rotaie), la cui sezione è una trave "a doppia T" asimmetrica, montati parallelamente su una struttura portante detta traversina per mezzo di sistemi di fissaggio differenti a seconda dell'epoca e della tipologia costruttiva della linea ferrata. Le variazioni di temperatura possono influenzare il comportamento del binario causando perdite di resistenza nei materiali e la nascita di contributi deformativi termici. Tenuto conto che attualmente i binari, al fine di garantire un maggiore comfort ai passeggeri, non vengono più montati con un interstizio per compensare le inevitabili dilatazioni termiche, occorre poter monitorare la loro temperatura in quanto sono normalmente progettati per garantire le massime condizioni di sicurezza fino a temperature di circa 60 °C. Pertanto, la sicurezza degli impianti impone di poter conoscere la temperatura dei binari in modo da poter diminuire la velocità dei treni quando viene superata (come accade spesso in molte giornate estive) la temperatura di sicurezza. Infatti, ogni amministrazione ferroviaria determina un intervallo di temperatura dei binari detta neutra e se la temperatura supera i margini della temperatura di sicurezza, si deve necessariamente diminuire la velocità di percorrenza per evitare problemi legati al confort ed alla sicurezza del trasporto ferroviario: infatti una variazione eccessiva di temperatura porta i binari a dilatarsi in maniera da deformarsi, causando anche deragliamenti dei treni. Infatti nell'agosto 2003 un'ondata di calore ha generato un innalzamento della temperatura dei binari fino a 50°C con conseguenti fenomeni di instabilità lungo differenti sezioni di rotaia. Una linea ferroviaria continua è caratterizzata da discontinuità longitudinali e trasversali. Nei punti di congiunzione, a seconda della temperatura di fusione, si generano differenti tipi di forze longitudinali e trasversali alle stesse condizioni termiche. Di conseguenza, una variazione di temperatura causa:

- la deformazione della linea ferroviaria dovuta a instabilità laterale.
- la rotazione delle traversine dovuta alla differenza di estensione delle due rotaie. Anche in questo caso, può avvenire una deformazione.

Le fratture verticali non interrompono il traffico ferroviario, ma interrompono le comunicazioni dei sistemi di segnalazione, e quindi rallentano il traffico ferroviario fino a che la continuità della linea non è stata ripristinata. La compressione può causare deformazioni sulla linea ferro-

viaria che non sono rilevate dal sistema elettrico perché questo non è interrotto, ma possono generare deragliamenti.

Pertanto FTTS propone **un sottosistema di sensori in fibra ottica FBG per il monitoraggio della temperatura dei binari e delle gallerie lungo le tratte ferroviarie, con lo scopo di individuare eventuali surriscaldamenti pericolosi della rotaia e/o eccessivi abbassamenti della temperatura (Figura 12)**. Il suddetto sottosistema rileva la temperatura in un campo variabile che va da  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $90^{\circ}\text{C}$ , con una risoluzione molto spinta e pari a  $0.1^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 12** – Tunnel ferroviario sensorizzato con sensori in fibra ottica di temperatura.

## 2.4 Rete elettrica

L'infrastruttura elettrica a supporto delle linee ferroviarie prevede due tipologie di sistemi di trasmissione:

1. Linea di trasmissione a  $3\text{ kV}$  in corrente continua, con il polo positivo collegato alla linea di contatto sulla quale striscia il pantografo (un sistema di bracci metallici che collega elettricamente la locomotiva alla linea di alimentazione); il polo negativo a potenziale nullo è collegato con le rotaie. Tale tipologia di alimentazione è utilizzata per i treni a breve e media percorrenza e treni che generalmente non richiedono elevate potenze;

2. Linea di trasmissione a 25 kV e 50 Hz in corrente alternata per l'alimentazione dei treni ad alta velocità che richiedono potenze nell'ordine dei megawatt.

Lungo l'intera linea ferroviaria sono localizzate le sottostazioni elettriche (SSE), cabine elettriche di trasformazione collegate in ingresso con la rete di trasmissione nazionale, ed in uscita con le catenarie della linea di contatto per l'alimentazione dei convogli. Il compito delle SSE è quello di trasformare l'energia elettrica prelevata in alta tensione, nei valori di tensione e forma d'onda sopracitati. In tal modo si può comprendere il ruolo fondamentale giocato dalla linea di contatto e dalle sottostazioni nel settore ferroviario, poiché un eventuale guasto su una di esse comporta disagi all'intero traffico ferroviario. I guasti che possono verificarsi sono di diversa natura:

- Guasto alla linea di contatto: il pantografo del locomotore, strisciando sul conduttore della linea di contatto va ad assottigliarne la sezione, causando nel tempo una diminuzione della resistenza meccanica ed un aumento della resistenza elettrica, esponendo la linea a rischi di interruzioni o di fusione se non sostituita tempestivamente. Inoltre, i conduttori sono sottoposti a condizioni ambientali impervie ed a calamità naturali come gelo o fulmini che ne riducono la vita utile.
- Guasto nella SSE: Le sottostazioni elettriche sono costituite da trasformatori ad alta tensione e da componenti elettronici che lavorano ad elevate potenze per la conversione AC-DC nel caso di alimentazione a 3kV. Un guasto ad uno dei componenti sopracitati, comporta l'interruzione dell'alimentazione del tratto di linea facente capo a quella SSE, portando all'arresto immediato dei locomotori presenti sul tratto interessato, e di conseguenza notevoli disagi per gli utenti. Nel 2017, un guasto ad una SSE ha mandato in tilt la stazione centrale di Milano. Per far fronte all'emergenza le Ferrovie hanno riprogrammato le partenze dei treni ad Alta Velocità deviati su altre stazioni, ma allo stesso tempo i disagi sono stati notevoli in quanto molti convogli sono rimasti fermi.
- **Eventi dolosi e sabotaggi:** Negli ultimi anni si assiste con sempre maggiore frequenza a blocchi del traffico ferroviario a seguito di eventi dolosi come i furti di rame lungo le linee elettriche (Figura 13) (talvolta con conseguenze tragiche per i malfattori) o sabotaggi nelle sot-

tostazioni elettriche perpetrati con il solo fine di creare disagi e bloccare l'intera infrastruttura (Figura 13).



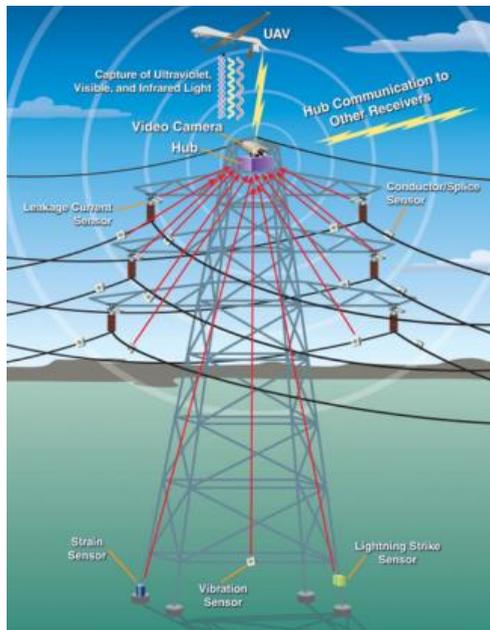
**Figura 13** – Esempi di guasto sulla linea ferroviaria: sabotaggi per furto rame.

Uno degli ultimi esempi in ordine cronologico è l'incendio doloso dei cavi di una cabina elettrica per l'Alta Velocità a Rovezzano, nei pressi di Firenze, che il 23 luglio 2019 ha causato il blocco dei convogli per diverse ore, creando una sconnessione logistica tra il Nord e Sud Italia (Figura 14), con ritardi sui tabelloni dei treni fino a 4 ore<sup>[30]</sup>.



**Figura 14** – Esempi di guasto sulla linea ferroviaria: sabotaggio della cabina elettrica di Rovezzano, 23 luglio 2019.<sup>[30]</sup>

FTTS propone l'impiego di tecnologie per il monitoraggio dell'infrastruttura elettrica al fine di ridurne i guasti ed i conseguenti disservizi, sabotaggi o atti dolosi e consentendo anche in caso di calamità l'intervento tempestivo ed il ripristino delle normali condizioni di esercizio. Inoltre, si propone l'impiego di sensori di immagine nell'infrarosso e nell'ultravioletto per il monitoraggio della linea di contatto per valutarne la temperatura, la misura della catenaria e la presenza di archi elettrici nei punti di contatto tra linea e pantografo. In Figura 15 è schematizzato il sistema di protezione proposto in [31]. Esso è un esempio applicabile, con opportuni adattamenti, a tutte le infrastrutture elettriche.



**Figura 15** –*Sensori per il monitoraggio delle linee elettriche.*[31]

La protezione include:

- sensori magnetici per la misurazione di tensione e corrente;
- sensori per misurare i parametri spaziali come il franco ed elongazione dei conduttori;
- tecniche approfondite di image processing per identificare eventuali anomalie nelle strutture portanti delle linee di trasmissione;
- utilizzo ed elaborazione di immagini satellitari per rilevare difetti strutturali;

Lo studio in <sup>[31]</sup> ha dimostrato che queste tipologie di rilevamento sono idonee per la diagnosi e il controllo in tempo reale dei flussi di energia elettrica sia nell'attuale sistema di distribuzione che nelle reti intelligenti. I vantaggi del rilevamento *contactless* sono enormi, tra cui sicurezza del sistema e degli operatori, precisione e recupero delle informazioni in tempo reale per il monitoraggio attivo, il controllo e la diagnosi delle linee di trasmissione ad alta tensione.

## 2.5 Infrastrutture informatiche

L'infrastruttura informatica è il cuore pulsante dell'intera rete ferroviaria. Essa gestisce gli scambi automatici dei binari, il cambio di marcia dei treni, oltre che gli innumerevoli servizi digitali offerti ai passeggeri, intensificando sempre più nel corso degli anni il proprio ruolo all'interno della gestione in tempo reale del traffico ferroviario. Anche se è ancora presente una forte componente umana, che inesorabilmente continuerà a dare il suo importante contributo, l'aumento del tasso di dipendenza dalle tecnologie digitali per l'intero comparto ferroviario evidenzia l'importanza dell'integrazione nei sistemi esistenti di tecniche di rilevazione di intrusioni e attacchi che garantiscano elevati livelli di efficienza e efficacia. Se da un lato, infatti, l'utilizzo di algoritmi e di sistemi informatici favorisce una gestione più efficiente e semplificata del comparto ferroviario, dall'altro lato lo espone irrimediabilmente al rischio di cyber attacchi che possono creare disservizi agli utenti o nella peggiore delle ipotesi mettere a repentaglio la loro vita insieme a quella del personale viaggiante. I cyber attacchi una volta penetrate le barriere difensive della rete ferroviaria possono limitarsi ad acquisire dati sensibili ed informazioni riservate o, addirittura, agire sul network di gestione dei passeggeri e di conduzione delle locomotive, perpetrando azioni volte a mandare in crash i sistemi ferroviari. Tali intrusioni potrebbero portare agli stessi effetti degli atti terroristici perpetrati a Madrid l'11 marzo 2004 (Figura 16), senza che tuttavia vi sia necessariamente la presenza di un terrorista a bordo del mezzo<sup>[32]</sup>.

Non poter disporre di un gruppo di intervento specificamente predisposto a identificare il danno e le sue conseguenze, gestire l'emergenza, tracciare l'attacco e identificare l'aggressore proprio nel momento in cui ha effettuato la violazione, è una lacuna che potrebbe avere gravi ricadute non solo in termini di produttività ed efficienza del sistema, ma anche in termini di impatto mediatico circa la sicurezza e l'affidabilità dell'infrastruttura ferroviaria.

Proteggere quindi l'intera infrastruttura informatica a supporto del comparto ferroviario è quindi di notevole importanza, poiché ne garantisce la sicurezza e la fruibilità da parte degli utenti. Infatti, nel corso degli anni sono

stati diversi gli incidenti verificatisi a causa di guasti al sistema informatico, come ad esempio quello avvenuto nel 1998 nel disastro ferroviario noto come Clapham Junction rail crash nel quale a causa di un guasto di cablaggio fu inviato un segnale informativo erraneo che ha portato alla collisione di tre treni, causando 35 morti.

In Italia si ricorda il disastro sulla tratta Andria-Corato<sup>[33]</sup> che ha causato 26 morti in seguito alla collisione tra due treni che viaggiavano in direzioni opposte. Lo scontro è avvenuto in seguito ad un blocco informatico che non ha segnalato per tempo la presenza di più convogli sullo stesso binario.



**Figura 16** – Attacco alla rete ferroviaria di Madrid.<sup>[32]</sup>

In seguito a quanto appena esposto si deduce che un monitoraggio adeguato e costante delle strutture informatiche consente la rilevazione tempestiva di attacchi informatici e informazioni incongruenti che possono mettere a rischio la stabilità dell'intero traffico ferroviario.

FTTS al fine di garantire la sicurezza dell'intero sistema informatico a supporto del comparto ferroviario, propone l'impiego di sistemi di monitoraggio e di misura del traffico dati, sistemi di valutazione dei consumi energetici, i quali saranno integrati nei sistemi esistenti per la rilevazione e la tempestiva difesa da cyber attacchi. Si prevede inoltre l'impiego di ridondanze per ciò che riguarda

di sensori e protocolli di trasmissione, in maniera da poter distinguere eventuali dati anomali generati in conseguenza ad un'intrusione informatica.

Alcune di queste soluzioni sono state investigate in <sup>[34]</sup>. In particolare, riguardano (i) la sincronizzazione tra i clock dei diversi PC, (ii) le misure del parametro ritardo di oneway della trasmissione dei pacchetti di dati tra punti specifici della rete di comunicazione, (iii) la misurazione del carico di lavoro della CPU di ciascun PC e (iv) la misurazione del sistema di tolleranza all'intrusione. Tali proposte sono state valutate sperimentalmente per quanto riguarda prestazioni e accuratezza. Sulla base di questi test, si possono dedurre criteri pratici per evidenziare la progettazione e la messa appunto di opportune strategie di difesa.

## **2.6 Protezione degli utenti a bordo e del personale viaggiante**

Date le norme in materia di sicurezza sui luoghi di lavoro, la tutela del benessere, sia per gli utenti a bordo, sia del personale viaggiante riveste fondamentale importanza nel settore ferroviario. La tutela della sicurezza dei passeggeri non riguarda solo le misure adottate per evitare incidenti, collisioni o deragliamenti, ma comprende anche le misure e le tecnologie adottate per mitigare gli effetti di eventi dolosi messi in atto a bordo dei locomotori e le relative conseguenze che essi potrebbero portare. Ad esempio, si ricorda l'attentato del 20 marzo del 1995 compiuto nella metropolitana di Tokyo<sup>[35]</sup>, dove un gruppo terroristico agì liberando su alcuni treni del gas nervino causando 13 morti ed oltre 6000 intossicati. Dalle indagini compiute sull'attentato è emerso che l'agente tossico non fu immediatamente riconosciuto e quindi le azioni che ne conseguirono ebbero l'effetto di peggiorare la situazione. Infatti, le persone affette da malore furono ricoverate negli uffici della stazione e si procedette con la pulizia mediante carta e stracci del liquido che sporcava i pavimenti dei treni; tali stracci bagnati furono poi riposti negli uffici della stazione aumentandone il potere tossico e nonostante a bordo vi fossero persone colte da malore, alcuni treni proseguirono il loro normale percorso aggravando ulteriormente la situazione. Solo alcune ore dopo fu individuata la reale causa scatenante e furono quindi adottate le opportune contromisure.

Dotando i vagoni ferroviari di sensori per il rilevamento di gas e sostanze nocive, si potrebbero evitare le conseguenze disastrose di un tale attacco. Infatti, creando una rete di sensori ridondanti, supportata da una infrastruttura informatica ad hoc si potrebbe riconoscere immediatamente la sostanza, allertare in maniera automatica le autorità predisponendo in tempo reale le operazioni di soccorso per i passeggeri colpiti.

Sensori atti a questo scopo sono stati presentati in <sup>[36]</sup>, nel quale gli autori hanno sviluppato un rilevatore wireless modulare di gas tossici a bassa potenza basato su ADuCM360 con tecnologia di trasmissione wireless. Il sistema è costituito da un modulo di gestione dell'alimentazione, un modulo sensori, un modulo di condizionamento ed elaborazione del segnale ed il modulo di trasmissione wireless. Dai test effettuati installando sul sistema un sensore in grado di identificare il monossido di carbonio, i risultati mostrano che questo rilevatore può monitorare e immagazzinare il valore di concentrazione di gas tossico, la temperatura e l'umidità nella stanza per un periodo di tempo nell'ordine dei mesi. Grazie al modulo di comunicazione wireless ed ai protocolli di trasmissione utilizzati, si potrà monitorare la presenza di gas tossici anche da remoto, attivando immediatamente i protocolli di sicurezza del caso.

Inoltre, FTTS propone l'installazione a bordo di sensori dedicati per garantire il benessere indoor in termini di temperatura, di umidità e di concentrazione di inquinanti. L'idea è quella di creare a bordo treno una struttura domotica per la gestione automatica delle condizioni di comfort termoisolometrico, attivando, in base alla differenza tra valore misurato e quello di set point impostato, i sistemi di condizionamento o semplicemente quelli di ventilazione e ricircolo dell'aria. Ulteriore attività di ricerca è l'adattamento di tale soluzione agli specifici utilizzi dei treni e mettere appunto algoritmi di ottimizzazione per l'efficientamento energetico che tenga in conto in primis il benessere dei passeggeri.

## **2.7 Sicurezza in stazione**

Le stazioni ferroviarie rappresentano per moltissime località italiane un vero e proprio portale per il territorio, garantendo collegamenti a media e lunga percorrenza attraverso l'intero paese. Quindi tutelare la sicurezza di questi luoghi è di fondamentale importanza per garantire che siano ridotti al minimo i rischi per i lavoratori, l'ambiente e i viaggiatori.

Per garantire la sicurezza e l'incolumità degli utenti bisogna tenere presente che, a differenza degli scali aeroportuali, quelli ferroviari non presentano una separazione tra l'area imbarchi e l'area accompagnatori rendendo complesse le operazioni di security e di identificazione di malintenzionati.

FTTS propone, al fine di migliorare la sicurezza dei luoghi di stazionamento, un controllo capillare delle stazioni ferroviarie facendo ricorso all'incremento dei sistemi di videosorveglianza integrati con sensori per la rilevazione dei parametri biometrici per controllare in tempo reale le persone presenti in stazione e per consentire il riconoscimento automatico di potenziali terroristi e/o soggetti di interesse per le forze dell'ordine.

In <sup>[37]</sup> è riportata un'analisi dettagliata riguardo il riconoscimento facciale e le sue applicazioni. I primi software sviluppati, lavoravano su immagini 2D basandosi sulla misura di punti caratteristici che compongono i lineamenti del viso definiti punti nodali. Ogni volto umano ha circa 80 punti nodali tra cui:

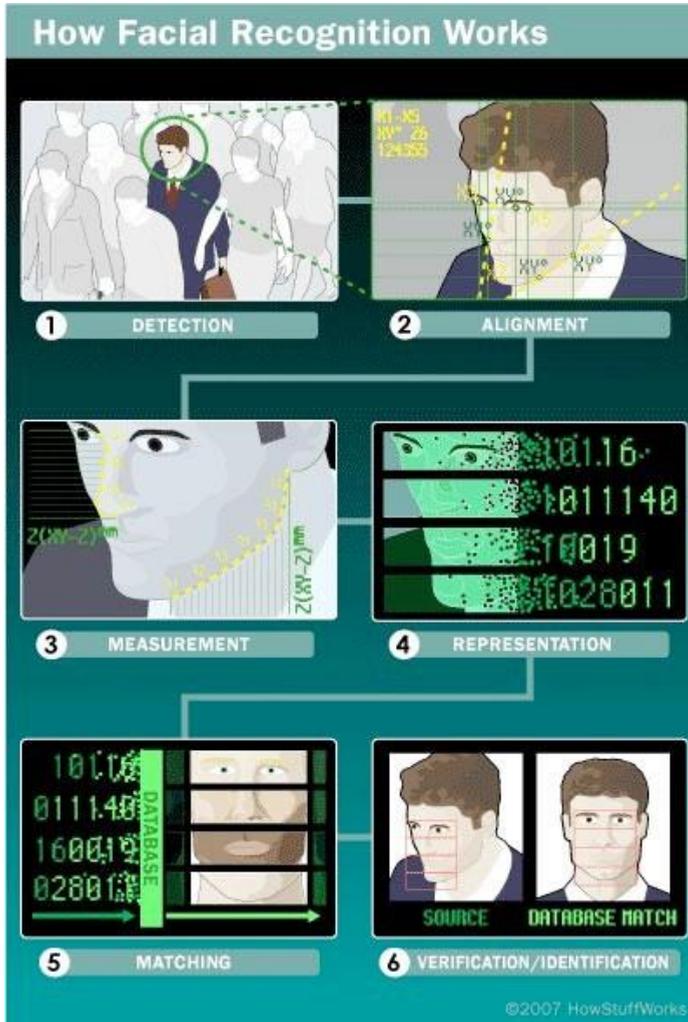
- distanza tra gli occhi;
- larghezza del naso;
- profondità delle cavità oculari;
- la forma degli zigomi;
- la lunghezza della linea della mascella.

Negli ultimi anni invece nei software di riconoscimento facciale si utilizzano sempre più spesso modelli 3D in grado di fornire una maggiore precisione, misurando le caratteristiche distintive del viso come le curve dell'occhio, naso e mento per identificare il soggetto. Questi punti sono unici e non cambiano nel tempo. I modelli 3D utilizzano un asse di misura che non è influenzato dal livello di illuminazione, e quindi il riconoscimento facciale può anche essere usato per ambienti con scarsi livelli di luminosità con la capacità di riconoscere un soggetto con un angolo fino a 90 gradi (una faccia di profilo).

La procedura è composta da diversi step che l'algoritmo del software compie (Figura 17):

- **Rilevamento:** L'acquisizione di un'immagine può essere effettuata scansionando digitalmente una fotografia esistente (2D) o usando un fotogramma di un video acquisito in live streaming, anche in 3D.
- **Allineamento:** Una volta rilevato un volto, il sistema determina la posizione, la dimensione e la posa della testa. Come detto in precedenza, il soggetto ha il potenziale per essere riconosciuto fino ad un angolo di rotazione di 90 gradi, mentre con il 2D la testa deve essere ruotata di almeno 35 gradi verso la telecamera.
- **Misura:** Il sistema quindi misura le curve del volto con una precisione inferiore al millimetro e crea un modello.
- **Rappresentazione:** Il sistema traduce il modello in un codice univoco. Questa codifica fornisce a ciascun modello un set di numeri per rappresentare le caratteristiche del volto di un soggetto.
- **Verifica o identificazione:** l'immagine viene confrontata con tutte le immagini presenti nel database fornendo come risultato un punteggio per ogni potenziale corrispondenza (1: N). In questo ad esempio, è possibile acquisire un'immagine e confrontarla con un database di fo-

to segnaletiche per identificare se il soggetto è già noto alle forze dell'ordine e per quale motivo.



**Figura 17** – Passi eseguiti dall’algoritmo riconoscimento facciale proposto in <sup>[37]</sup> per il riconoscimento automatico di soggetti di interesse.

FTTS ha inoltre come obiettivo l’accessibilità completa alle stazioni prestando particolare attenzione per i passeggeri portatori di handicap o con gravi disabilità. Infatti, tra le proposte rientra l’utilizzo delle tecnologie IoT a sup-

porto delle disabilità, consentendo agli utenti tramite l'utilizzo di smartphone, tablet e PC, di conoscere le facilities disponibili in stazione e soprattutto il loro stato di funzionamento in tempo reale.

## **2.8 Sicurezza lungo la tratta ferroviaria a ridosso dei pendii**

La particolare orografia dell'Italia, lunga, stretta e attraversata da diverse catene montuose (Alpi e Appennini) fa sì che i tracciati delle vie di comunicazione siano esse stradali che ferroviarie siano spesso circondati dalla presenza di rilievi potenzialmente franosi. Instabilità di masse a cinematica lenta o veloce possono quindi condizionare in modo determinante l'agibilità dei tracciati.

Le frane rappresentano significativi esempi del dissesto idrogeologico e del degrado ambientale che interessano ampie superfici del territorio italiano e mondiale e sono fonte di rischio per l'incolumità dell'uomo, delle opere e infrastrutture, tra cui quelle ferroviarie.

Un sistema di monitoraggio di fenomeni precursori di eventi franosi potrebbe mitigare gli effetti delle frane. Infatti, la pericolosità di una frana può riguardare due aspetti differenti del fattore sicurezza nel trasporto: da un lato, la salvaguardia di vite umane e l'incolumità delle persone potenzialmente esposte al rischio frane e, dall'altro, la libertà di corsia. Nel primo caso un adeguato sistema di monitoraggio potrebbe segnalare l'instaurarsi di condizioni di pericolo necessariamente prima che la frana avvenga, mentre nel secondo anche a frana in corso, ma prima del passaggio del mezzo di trasporto per poter segnalare tempestivamente la presenza di ostacoli sulla linea ferroviaria, allertando gli addetti ai lavori e scongiurando situazioni di pericolo.

Il rischio che avvengano eventi catastrofici, come smottamenti o frane, può essere mitigato tramite la rilevazione di eventi precursori. Le frane possono essere indotte da diversi eventi meteorologici e geofisici: fra i primi vi sono le piogge intense o prolungate ed il rapido scioglimento della neve, tra i secondi vi sono i terremoti e le eruzioni vulcaniche. In ogni caso, le condizioni climatiche idrauliche dei versanti ed il grado di saturazione del terreno sono importanti fattori per l'innescò delle frane, e in particolare per quelle più superficiali.

L'analisi sismica effettuata sui terreni rocciosi ed il rilascio di energia indotto da crepe e fratturazioni prima del collasso, possono fornire informazioni utili circa le condizioni di stabilità della massa rocciosa stessa. In particolare, le rilevazioni sismica possono costituire uno strumento efficace per l'*early warning* di eventi catastrofici. Per questo lo studio e lo sviluppo di sistemi di monitoraggio dell'attività sismica sta diventando oggetto di intense attività di ricerca finalizzate alla prevenzione dei disastri. Il monitoraggio continuo di fattori di rischio e di eventi precursori è essenziale per generare

avvisi in modo tempestivo ed è particolarmente importante nel caso di fenomeni caratterizzati da crollo improvviso (Figura 18).



**Figura 18** – Esempi di frane di pendii a ridosso delle rotaie.

In virtù di ciò, FTTS propone un sottosistema di **sensori innovativi in fibra ottica per per la mitigazione del rischio associato ad eventi franosi**.

Nello specifico, tale sottosistema sarà in grado di monitorare i pendii a ridosso della rete ferroviaria che presentano un elevato rischio frana, ed in particolare i precursori di eventi franosi, quali:

- Misura del contenuto di acqua nel terreno
- Rilevazione di emissioni acustiche associate a fratture nelle rocce.
- Rilevazione di fenomeni sismici.

I suddetti osservabili nascono dal fatto che, i fenomeni d’instabilità relativi ai rilievi franosi sono molto spesso causati da variazioni del regime idrico del sottosuolo: l’acquisizione della distribuzione ed evoluzione di contenuto d’acqua e di umidità, risulta determinante nell’analisi delle condizioni di sicurezza del pendio.

Inoltre, il rischio di frana è maggiore dove il terreno è composto da rocce altamente fratturate o dove si hanno terreni superficiali le cui caratteristiche meccaniche possono subire significative modifiche al variare del grado di saturazione;

Infine gli eventi sismici rappresentano un notevole fattore per l’innesco di eventi franosi.

### **3. Sostenibilità**

#### **3.1 Impatto ambientale**

La tutela ambientale è uno dei punti fondamentali delle politiche internazionali soprattutto alla luce dei cambiamenti climatici che si stanno verificando negli ultimi anni, con conseguenze sempre più disastrose sia per gli esseri umani che per interi ecosistemi locali. Il progetto FTTS annovera tra le sue proposte la creazione di sistemi IoT per la valutazione dell’impatto am-

bientale del comparto ferroviario e la conseguente attuazione di protocolli d'azione atti a ridurre l'impatto.

La linea ferroviaria si estende per migliaia di chilometri e quindi è inevitabile che interagisca con i diversi ecosistemi presenti sul territorio italiano, influenzandone lo sviluppo e l'evoluzione. Inoltre, è di fondamentale importanza tenere traccia del valore dei campi elettromagnetici e di rumore ed assicurarsi, per la tutela della salute umana, che questi rientrino nei limiti normativi.

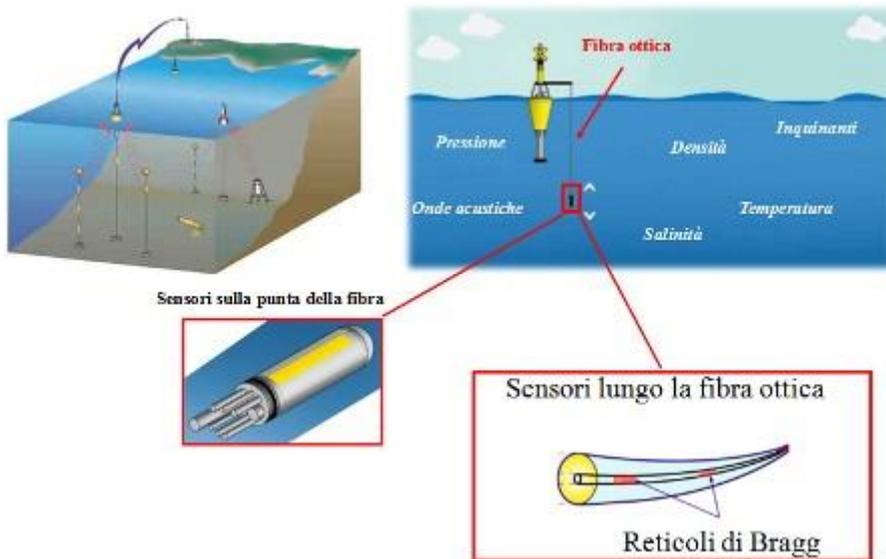
FTTS propone l'adozione di una politica di valutazione di impatto ambientale a tutto tondo, proponendo l'utilizzo di sensori dislocati lungo l'intera linea ferroviaria che consentano di avere il quadro completo dell'interazione ferrovia-ambiente. Tra i sensori adottati rientrano fonometri (Figura 19) (per la valutazione dell'inquinamento acustico), misuratori di campi elettromagnetici posti in zone di particolare traffico o in prossimità delle stazioni, sensori per l'analisi della qualità dell'acqua e dell'aria che posti in prossimità dei binari consentiranno di analizzare l'impatto sulla flora e sulla fauna locale nelle zone di maggiore interesse per la tutela della biodiversità.



**Figura 19** – Fonometri e misuratori di campi elettromagnetici per il monitoraggio dell'impatto ambientale del sistema ferroviario.

Relativamente al monitoraggio ambientale di acque di fiumi e laghi posti in prossimità della rete ferroviaria, FTTS prevede l'utilizzo di opportune reti di sensori in fibra ottica in grado di qualificare in tempo reale la qualità delle acque attraverso un monitoraggio sia di parametri fisici che chimici.

Suddetti trasduttori, come evidenziato nella prossima figura, verranno opportunamente installati nei punti di interesse, in particolar modo sotto il livello superficiale delle acque, e saranno in grado di lanciare *waring* in qualsiasi istante di tempo ed ogni qualvolta si accorgeranno della presenza di inquinanti o di altre anomalie (Figura 20).



**Figura 20** – Piattaforma tecnologica multiparametrica (in fibra ottica) per il monitoraggio chimico, fisico e ambientale delle acque marine.

Ulteriori dati utili alla valutazione dell'impatto ambientale saranno acquisiti dai sistemi di sicurezza, di valutazione del confort precedentemente descritti e dell'energia consumata tramite i nuovi smart-meter che presto sostituiranno gli attuali sistemi di monitoraggio di consumo energetico. Tali dati, opportunamente integrati tramite algoritmi di data fusion e intelligenza artificiale, daranno puntuali informazioni sugli sprechi in atto, permettendo l'attuazione di politiche virtuose di risparmio energetico. Ad esempio la condivisione con il pubblico dei consumi istantanei in stazioni e delle loro cause, potrebbe sensibilizzare gli utenti ad un uso più consapevole delle risorse energetiche.

#### 4. Trasporto Merci

Parlando di impatto ambientale e di consumi energetici, non si può non far riferimento al settore del trasporto merci, che incide per quasi un terzo sul bilancio energetico nazionale ed è responsabile di emissioni nocive di CO<sub>2</sub> nell'ambiente. Tutto ciò si verifica anche perché in Italia solo il 6% delle merci viaggia su rotaia mentre continua ad aumentare il traffico di camion e tir. Come riporta l'ultimo Indice di Mobilità Rilevata pubblicato dall'Anas, a luglio 2018 il segmento dei veicoli pesanti è cresciuto sia nel confronto con il

mezzo precedente (+3,2%) sia rispetto a luglio 2017 (+1,4%). Questo perché mancano gli incentivi che spingono le aziende a rivolgersi alle vie ferrate, e soprattutto mancano le infrastrutture che consentano alle zone ASI di collegarsi agli scali ferroviari aprendo le porte alle aziende al trasporto merci su rotaia. Continuare a ignorare le vie ferrate ci rende uno Stato lento, inquinato e a rischio congestione dato che le arterie stradali faticano già ora a reggere simili quantità di traffico e di conseguenza un paese poco competitivo.

Valorizzare quindi il settore del trasporto merci su rotaia è un punto cruciale anche per le politiche di rilancio dell'Italia nel comparto economico europeo, trainando le esportazioni dei prodotti tipici dei territori interessati. Ma garantire un trasporto merci su rotaia che sia efficiente e sicuro per le merci è una sfida tutt'altro che semplice, poiché sono innumerevoli i rischi ed i fattori da tenere sotto controllo affinché le consegne si svolgano in tempo e soprattutto senza incidenti di percorso (ogni causa che possa deteriorare i prodotti).

FTTS, propone una serie di azioni e obiettivi volti a garantire che il trasporto delle merci si svolga in modo idoneo. Una delle tecnologie idonee allo scopo è l'RFID (Radio Frequency Identification), una tecnologia con identificazione a radiofrequenza in grado di memorizzare in maniera autonoma dati e informazioni su persone e oggetti, utilizzando delle etichette elettroniche che vengono inserite nell'oggetto o negli imballaggi, e degli apparati fissi o portatili detti reader, che leggono i dati presenti negli RFID memorizzandoli automaticamente in memoria. Con questa tecnologia è possibile tenere traccia di tutte le merci che escono da un magazzino o che viaggiano su un convoglio e conoscerne in ogni momento la posizione.

Di particolare importanza per il trasporto merci è la tutela durante il trasporto di prodotti deperibili e prodotti surgelati. Per valutare lo stato di salute delle merci deperibili come ad esempio frutta e verdura si propone l'utilizzo di sensori di etilene, un gas inodore che viene rilasciato dai frutti durante il loro processo di maturazione, che collegati con sistemi IoT, segnaleranno il marciare di frutta e verdura come proposto in <sup>[38]</sup>.

In <sup>[38]</sup>gli autori hanno sviluppato e testato un sensore basato sull'emissione termica a infrarossi per rilevare il livello di etilene rilasciato durante il processo di maturazione dei frutti. Una sorgente termica IR impostata su una lunghezza d'onda di 10,6 micron è collegata a un rivelatore di temperatura al silicio ad alta sensibilità. Ponendo il frutto tra la sorgente IR e il rivelatore di temperatura, si è notato che l'etilene assorbe le onde IR facendo diminuire la temperatura superficiale del rivelatore. L'uscita è quindi convertita in un segnale elettrico (in millivolt), che fornisce una misurazione di-

retta del livello di etilene. Usando questo sensore su un campione di frutta si è misurata una diminuzione continua da 59 a 5 ppm della concentrazione di etilene durante il naturale processo di maturazione. Il sensore ha mostrato una sensibilità del  $3,3 \pm 0,2\%$  e potrebbe misurare concentrazioni a partire da 5 ppm.

La catena che trasferisce i prodotti sensibili alle variazioni di temperatura dai centri di produzione ai consumatori attraverso una serie di passaggi a temperatura controllata è generalmente chiamata “catena del freddo”. I prodotti seguono complessi percorsi logistici richiedendo l'uso di veicoli refrigerati. Mentre la temperatura è facilmente controllabile e monitorabile nei magazzini e depositi, i veicoli refrigerati risultano essere un punto cruciale nell'intera catena, poiché i prodotti possono subire condizioni transitorie durante le operazioni di carico o durante il processo di trasporto, con un grande rischio per l'integrità e l'edibilità della merce. I veicoli refrigerati devono soddisfare alcuni requisiti termici, che sono principalmente legati alle capacità di isolamento e refrigerazione, ma ciò non garantisce l'integrità del prodotto a causa delle condizioni imprevedibili che possono verificarsi durante il trasporto e che potrebbero causare un cambiamento significativo nella temperatura del prodotto, alterandone le sue caratteristiche organolettiche o deteriorandolo. Un modo affidabile per verificare ex post l'integrità della catena del freddo è il monitorare la temperatura dei prodotti durante tutto il trasporto e lo stoccaggio.

In [39], si propone l'utilizzo di sensori di temperatura per controllare lo stato di conservazione delle merci trasportate. Gli autori propongono l'applicazione di una rete di sensori wireless appositamente progettata per monitorare i prodotti sensibili alla temperatura durante la loro distribuzione, con l'obiettivo di conformare la catena del freddo su richiesta dei produttori anche durante il trasporto. I sensori sono posizionati sulle merci e comunicano attraverso un canale wireless con una stazione base che raccoglie ed elabora i dati inviati da tutti i nodi. Ciò permette di monitorare continuamente la temperatura e emettere un segnale di allarme in caso si verificano condizioni di deterioramento del prodotto. I messaggi di avviso vengono inoltrati al sistema di monitoraggio ferroviario e al produttore del prodotto. Inoltre, si propone l'impiego di sensori di umidità e accelerometri, i quali saranno utilizzati per l'analisi degli sbalzi subite dalla merce on board, nei piazzali di sosta e durante il trasferimento dal piazzale al treno. Inoltre, per garantire l'integrità delle merci si prevede l'utilizzo di sensori di immagine nel visibile e nell'infrarosso per ridurre il pericolo di frodi e manomissioni.

Un'ulteriore proposta di FTTS per i treni merci riguarda il controllo in alcuni punti del percorso, sottoponendoli a scansioni a raggi x, per monitorare il corretto posizionamento delle merci ed il loro stato, e per rilevare difetti strutturali dei treni ed intervenire tempestivamente nelle operazioni di manutenzione.

Ancora, per quanto concerne il monitoraggio delle merci, FTTS prevede l'installazione lungo linea di una rete di sensori basata su tecnologia in fibra ottica ed in grado di monitorare l'eventuale trasposto di sostanze pericolose.

In particolare per i rischi connessi al trasporto di sostanze pericolose sono state selezionate due sostanze di interesse:

- Il GPL in quanto rappresenta il tipo di sostanza pericolosa trasportata con più frequenza.
- Le sostanze radioattive per l'incidenza che esse hanno sulla salute dell'uomo e dell'ambiente

Pertanto, FTTS propone un sottosistema in fibra ottica per il monitoraggio di sostanze infiammabili ed esplosive come il GPL ed un sottosistema di sensori, sempre in fibra ottica, per il monitoraggio e la rilevazione di radiazioni, in particolar modo all'interno delle gallerie. Suddetti sistemi saranno in grado di monitorare la presenza di GPL e di radiazioni all'interno delle gallerie (o nei punti in cui è prevista l'installazione) e quindi inviare segnali di warning o di allarme nel momento in cui i livelli di sostanze pericolose e/o infiammabili come il GPL e di radiazioni superano le soglie/livelli di sicurezza imposte dalle vigenti normative.



**Figura 21** - GPL e radiazioni ionizzanti.

In tal modo si consente la gestione e la mitigazione del rischio di incidenti tramite l'allerta precoce delle situazioni di rischio e laddove non fosse possibile evitare l'insorgere dell'incidente, si è in grado di approntare opportune

misure di emergenza e valutare tempestivamente le misure di carattere pro-tettivo e preventivo da mettere in atto sulla base dei dati forniti in tempo reale dal sistema di monitoraggio.



**Figura 22** – Sensori in fibra ottica per la rilevazione di GPL e di radiazione-

## 5. Risultati attesi di FTTS

In conseguenza di quanto ampiamente esposto nelle pagine precedenti, si può concludere dicendo che il progetto Fast Train Total Shield (FTTS) rappresenta un sistema innovativo che consente di valutare a 360 gradi gli aspetti legati alla sicurezza ferroviaria. Infatti, tale progetto tiene conto di tutte le sfumature legate al traffico ferroviario ed al suo esercizio in condizioni sicure per gli utenti e per il personale viaggiante. Mediante l'implementazione di FTTS, si potranno quindi:

- Incrementare la sicurezza e l'efficienza della circolazione dei veicoli ferroviari.
- Rendere più efficiente e tempestiva la diagnostica e la manutenzione del materiale rotabile.
- Ridurre i costi di manutenzione dell'infrastruttura ferroviaria evitando che rotabili difettosi usurino l'infrastruttura stessa.
- mitigare i rischi associati ad eventi franosi, con particolare attenzione rivolta ai pendii a ridosso della rete ferroviaria.
- snellire e rendere anche economicamente più sostenibili le operazioni di monitoraggio e manutenzione delle infrastrutture ferroviarie (binari, gallerie, ponti, sottostazioni elettriche, infrastruttura elettrica ed informatica).
- Limitare disagi dovuti a tentativi di sabotaggi e/o atti dolosi.
- Aumentare il confort e ridurre i consumi dei convogli e delle stazioni ferroviarie grazie all'utilizzo di un sistema di monitoraggio avanzato

che garantirà la salubrità degli ambienti e condizioni indoor di benessere termo igrometrico per gli occupanti, ottenendo contemporaneamente un risparmio di risorse in termini energetici.

- Incrementare la sicurezza nelle stazioni, considerate come veri e propri gate di accesso al territorio mediante sistemi di videosorveglianza in alta definizione, uniti a sistemi di scanner biometrici collegati in real time con le centrali operative delle forze dell'ordine. Ciò consentirà di segnalare la presenza di soggetti di interesse già presenti nelle banche dati nazionali ed europee.
- Monitorare costantemente l'impatto ambientale del sistema ferroviario sul territorio sarà costantemente monitorato, valutando attentamente gli effetti del traffico ferroviario sugli ecosistemi locali, e controllando che le emissioni elettromagnetiche siano sempre contenute entro i limiti prescritti dalla normativa soprattutto nei punti nevralgici del comparto ferroviario come stazioni e hub merci.
- Rendere efficace ed efficiente il trasporto di merci su rotaia, garantendo monitoraggi accurati dello stato delle merci trasportate, nonché la tracciatura in tempo reale della loro posizione, al fine di evitare manomissioni, furti o deterioramenti delle merci. A tal proposito, è forte l'interesse riguardo la catena del freddo e delle merci naturalmente deperibili. FTTS propone l'implementazione di idoneo sistema di monitoraggio, per la valutazione della temperatura dei gas in carrozza e nei luoghi stoccaggio, e delle accelerazioni subite dalle merci.

FTTS se applicato alla tratta Napoli-Bari, sarà un modello capofila, riproducibile ed integrabile su tutte le altre tratte ferroviarie. Infatti grazie alle sue componenti ed alle piattaforme digitali selezionate, FTTS è modulare e interamente compatibile con le strutture già esistenti sull'intera rete ferroviaria.

## **6. Protocollo ENVISION**

In tabella 1 è riportato il possibile contributo di FTTS al miglioramento dei parametri descritti dal protocollo ENVISION della futura rete ferroviaria intelligente. In particolare nella prima colonna è riportato il codice identificativo del credito, nella seconda il titolo del credito e nella terza la descrizione di come FTTS migliori la struttura esistente rispetto a quel titolo.

**Tabella 1** – Contributo di FTTS al miglioramento dei parametri descritti dal protocollo ENVISION.

	<b>Titolo del credito</b>	<b>Note</b>
QL 1.1	Migliorare la qualità della vita della comunità	<p>FTTS propone:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la valutazione dell’impatto ambientale e dell’inquinamento lungo la tratta e nelle stazioni per la messa in atto di strategie atte al miglioramento della salubrità dei luoghi;</li> <li>• la Sensorizzare della tratta per la rilevazione di rischio idrogeologico;</li> <li>• l’aumento della sicurezza in stazione e bordo treno tramite sistemi biometrici per il riconoscimento di persone di interesse per forze dell’ordine e sensori per la rilevazione tempestiva di attacchi;</li> <li>• Lo sviluppo di strumenti informatici per l’accesso alle facilities disponibili in stazione e a bordo treno e ai servizi che collegano la stazione alla città/paese.</li> </ul>
QL 1.2	Stimolare la crescita e lo sviluppo Sostenibile	<p>Il monitoraggio delle condizioni ambientali in cui avviene il trasporto delle merci consentirà la messa a punto di strategie atte a preservarne la qualità. Questo permetterà l’esportazione e lo scambio di prodotti d’eccellenza tramite il treno, abbattendo i costi e l’inquinamento causati dal trasporto su gomma o aereo.</p>
QL 1.3	Sviluppare capacità e competenze Locali	<p>Il monitoraggio delle condizioni ambientali in cui avviene il trasporto delle merci consentirà la messa a punto di strategie atte a preservarne la qualità. Questo permetterà l’estensione del mercato delle piccole e grandi realtà produttive attraversate dalla tratta. Di conseguenza, FTTS stimolerà lo sviluppo delle capacità produttive e delle competenze locali.</p>
QL 2.1	Migliorare la salute e la sicurezza Pubblica	<p>Il team di progetto introduce piani di sicurezza non solo in conformità con i regolamenti, ma valutando completamente i rischi derivanti dall’utilizzo di tecnologie, materiali ed attrezzature innovative e definendo compiutamente le misure di prevenzione e protezione.</p>

		<p>FTTS prevede l'integrazione di sistemi per la valutazione dell'impatto ambientale: lungo la tratta ferroviaria, in treno e in stazione.</p> <p>FTTS migliora la sicurezza in treno e in stazione grazie all'integrazione di sistemi di monitoraggio gas, monitoraggio ambientale e sistemi biometrici per il riconoscimento tempestivo di attacchi e della presenza di persone di interesse per forze dell'ordine.</p>
QL 2.2	Minimizzare il rumore e le vibrazioni	<p>Le specifiche progettuali per la riduzione di rumore e vibrazioni sia in fase di cantiere che in esercizio sono fissate assieme alle relative misure di mitigazione ed in coerenza con i bisogni necessari alla vivibilità.</p> <p>FTTS prevede l'integrazione di sistema di monitoraggio di rumore ambientale e di vibrazioni.</p>
QL 2.3	Minimizzare l'inquinamento luminoso	<p>FTTS permette di misurare l'illuminamento interno ed esterno alle stazioni ed ai treni. Questo consentirà la realizzazione di sistemi di illuminazione intelligenti che da un lato garantiranno il rispetto delle normative sull'illuminazione nei luoghi pubblici, dall'altro il risparmio energetico e la riduzione dell'inquinamento luminoso.</p>
QL 2.4	Migliorare le mobilità e l'accessibilità nella comunità	<p>Lo Studio di Trasporto effettuato nel 2006 ha consentito di scegliere il tracciato del Corridoio al fine di migliorare l'efficienza complessiva della rete infrastrutturale e aumentare nel contempo il numero dei potenziali fruitori dei servizi ferroviari (es. scelta dei tracciati via Telesse e Irpinia). Si suggerisce l'aggiornamento dello Studio suddetto, in modo da confermare e aggiornare i dati.</p> <p>Varie sorgenti informative possono essere usate insieme per fornire diversi tipi di servizi al sistema intelligente di gestione della rete ferroviaria e quindi un supporto agli spostamenti completi dei viaggiatori: percorso migliore per arrivare alla stazione, servizi per l'accesso ai taxi, time table aggiornate in tempo reale anche su dispositivi personali, disponibilità dei parcheggi in prossimità delle stazioni o degli altri luoghi target degli spostamenti, ecc.</p>

QL 2.5	Incoraggiare i sistemi di trasporto Alternativi	<p>Il progetto non solo promuove l'utilizzo del servizio pubblico attraverso la compiuta integrazione tra servizi ferroviari e su gomma ma attraverso l'utilizzo delle tratte dismesse da variante di tracciato consente il reimpiego delle stesse come «greenway» in aree di particolare pregio naturalistico.</p> <p>Il monitoraggio delle merci consentirà la messa a punto di strategie atte a garantire la qualità della merce durante l'intero percorso. Questo permetterà l'esportazione e lo scambio di prodotti d'eccellenza tramite il treno. L'elevato grado di sicurezza in stazione e sul treno favorirà l'utilizzo del treno quale mezzo di trasporto alternativo. Tutto ciò permetterà una riduzione dei costi di trasporto e l'inquinamento dovuto al trasporto su gomma o aereo.</p>
--------	---	---

QL 2.6	Migliorare l'accessibilità la sicurezza e le fruibilità del sito	<p>In corrispondenza delle stazioni il progetto prevede tutti gli accorgimenti sia in termini di impianti che in termini di accessibilità e segnaletica, per assicurare la sicurezza e la salute degli utenti del servizio ferroviario. Nella fase di Studio di Corridoio sarà approfondita l'opportunità di estendere il perimetro dell'area di riferimento per la sicurezza alle zone limitrofe alle stazioni e fermate della linea.</p> <p>Tutti gli utenti avranno a disposizione sui loro dispositivi portatili informazioni sulle facility presenti nelle Stazioni, e in tempo reale il loro stato di funzionamento.</p>
--------	--	--

QL 3.1	Preservare il patrimonio artistico e Culturale	<p>Nel corso del 2015 sono state effettuate valutazioni preliminari di impatto archeologico sulle tratte Cancellone-Frasso, Napoli-Cancellone, Frasso-Vitulano, Apice-Orsara, Cervaro-Bovino dell'Itinerario Napoli-Bari, al fine di ottenere i pareri di competenza dalle Soprintendenze archeologiche territoriali. Assieme agli stakeholder potrebbero essere individuati altri siti di interesse storico-culturale da conservare e valorizzare.</p> <p>Grazie alla sua modularità e alle tecnologie IoT, FTTS potrà essere integrato con il Progetto CampoBene, nei termini e nei modi definiti dagli stakeholder coinvolti.</p>
--------	--	--

QL 3.2	Preservare Il paesaggio e l'identità Locale	Grazie alle Applicazioni messe a punto, si valorizzerà il paesaggio e l'identità locale rendendo disponibili online, e onboard contenuti multimediali inerenti ai luoghi attraversati dal treno.
--------	---	--

QL 3.3	Migliorare lo spazio pubblico	<p>Tutti gli utenti avranno a disposizione sui loro dispositivi portatili informazioni sulle facility presenti nelle Stazioni, e in tempo reale il loro stato di funzionamento. Il progetto prevede, inoltre la realizzazione di sistemi per la sorveglianza (automatica e non) e la messa in sicurezza degli spazi pubblici dentro e fuori le stazioni e sul treno.</p> <p>Le stazioni rappresentano un'infrastruttura chiave per i servizi percepiti dagli utenti: da un lato è opportuno che il viaggiatore soste in esse il meno possibile (grazie ad adeguati strumenti di pianificazione personali) e dall'altra è necessario che l'eventuale permanenza sia vissuta in modo confortevole, consentendogli in particolare di localizzare facilmente i servizi d'interesse e di fornire esplicitamente o implicitamente adeguati input (es. numerosità dei viaggiatori, loro posizione, ecc.) ai sistemi di gestione delle facility di una stazione (es. climatizzatori, sicurezza pubblica, ecc). Infatti, le stazioni rappresentano anche un contesto a frequentazione pubblica particolarmente critico dal punto di vista della sicurezza. Pertanto, il monitoraggio dei frequentatori di una stazione ferroviaria diventa un aspetto importante per la sicurezza e il comfort psicologico dei viaggiatori: poter risalire facilmente all'identità del viaggiatore (in qualità di utente dei servizi ferroviari) o monitorare l'abbandono di oggetti in luoghi a rischio costituisce un fattore importante per la reputazione e quindi un elemento incentivante per i viaggiatori.</p>
--------	-------------------------------	---

RA 1.1	Ridurre i consumi energetici	Il sistema di monitoraggio dei parametri ambientali nel treno e in stazione è rivolto non solo al miglioramento del confort degli utenti e del personale, ma anche all'efficientamento energetico.
--------	------------------------------	--

RA 1.2	Utilizzo di fonti di energia rinnovabili.	I sistemi di smart metering integrati con la tecnologia IOT permetteranno la messa a punto di sistemi di ottimizzazione dell'uso dell'energia prodotta dalle fonti rinnovabili.
--------	---	---

RA 1.3	Sistemi di commissioning e monitoraggio dei consumi.	RFI effettua il telecontrollo degli impianti fissi di trazione elettrica che consente di agire da postazioni centralizzate sul processo di trasmissione, trasformazione, conversione e distribuzione dell'energia elettrica necessaria alla trazione dei mezzi in circolazione sulla rete (Dirigente Operativo Trazione Elettrica, DOTE). Il progetto include l'adozione di tale sistema per permettere un controllo continuo delle performance e il mantenimento di alti livelli di efficienza energetica. Deve essere accertato quale figura indipendente accerti la continuità di funzionamento e di efficienza del sistema. FTTS prevede inoltre l'implementazione di un sistema integrato di smart metering e di monitoraggio dei parametri ambientali per l'ottimizzazione dell'uso dell'energia.
--------	--	---

LD 1.1	Fornire evidenza di un impegno e di una leadership efficace.	Ciò è reso possibile dalla natura IoT based di FTTS insieme ai sistemi di monitoraggio onboard. FTTS permetterà la valutazione dei progressi e dell'impatto del progetto anche durante la fase implementativa, ed i dati raccolti permetteranno l'utilizzo di strumenti di simulazione per il decision making. I risultati raggiunti saranno diffusi tramite piattaforma web, applicazioni multimediali, congressi. La divulgazione di dati e risultati permetterà inoltre di rendere partecipe la popolazione su ciò che sta avvenendo in cantiere e di raccoglierne, quindi, il consenso.
--------	--	---

LD 1.2	Stabilire un sistema di gestione della Sostenibilità.	Il sistema di monitoraggio alla base del sistema di protezione delle infrastrutture: infrastruttura ferroviaria, edile ed elettrica consentirà di valutarne lo stato di degrado e/o di aging e di ottimizzare in termini di costi e di efficienza la manutenzione.
--------	---	--

LD 1.3	Promuovere la collaborazione e la progettazione integrata.	FTTS è IoT based. Tutti i sistemi messi a punto saranno modulari, scalabili ed integrabili tra loro e con le tecnologie già in essere. L'integrazione avverrà ad alto livello tramite i software di data retrieving e management sviluppati sul cloud.
LD 2.1	Migliorare l'integrazione delle infrastrutture	FTTS è IoT based. Tutti i sistemi messi a punto saranno modulari, scalabili ed integrabili tra loro e con le tecnologie già in essere. L'integrazione avverrà ad alto livello tramite i software di data retrieving e management sviluppati sul cloud.
LD 2.2	Pianificare il monitoraggio e la manutenzione a lungo termine	La pianificazione automatica della manutenzione a breve medio e lungo termine sarà resa possibile dal sistema di monitoraggio alla base del sistema di protezione delle infrastrutture: infrastruttura ferroviaria, edile ed elettrica consentirà. Esso permetterà di valutarne costantemente lo stato di degrado e/o di aging e di ottimizzare in termini di costi e di efficienza la manutenzione.
LD 2.3	Estendere la vita utile dell'infrastruttura	È diretta conseguenza del costante monitoraggio dello stato di degrado o aging delle infrastrutture e dei tempestivi interventi ottenuti grazie alla pianificazione automatica della manutenzione delle infrastrutture.
NW 1.1	Salvaguardare habitat originario.	FTTS integra sistema di monitoraggio per la valutazione in real time dell'impatto del sistema ferroviario sul territorio. Tale sistema potrà essere utilizzato per la raccolta di dati atti a valutare l'evoluzione nel tempo dell'habitat, la sua resilienza, e la messa in atto di allarmi per la rilevazione tempestiva di situazioni di pericolo (incendi, riversamenti di inquinanti etc.)
NW 1.2	Proteggere le paludi e le superfici d'acqua.	FTTS prevede sistema di monitoraggio dell'inquinamento delle acque. La tratta ferroviaria è utilizzata come backbone per la raccolta dei dati che saranno resi disponibili ai comuni, ARPA, USL, ai centri di ricerca e agli altri stakeholder interessati.

NW 1.3	Salvaguardare le zone di coltivazione ad alto valore.	Il monitoraggio delle merci consentirà la messa a punto di strategie atte a garantire la qualità della merce durante l'intero percorso. Questo permetterà l'incentivazione della produzione di colture tipiche della zona.
NW 1.4	Evitare la geologia avversa.	FTTS prevede l'utilizzo di droni per la ricostruzione 3D delle zone attraversate dalla ferrovia. Tali dati saranno utilizzati dai progettisti per ottimizzare il percorso della tratta ferroviaria.
NW 1.5	Salvaguardare la funzione delle zone alluvionali.	FTTS prevede sistema di monitoraggio dell'inquinamento delle acque. La tratta ferroviaria è utilizzata come backbone per la raccolta dei dati che saranno resi disponibili ai comuni, ARPA, USL, ai centri di ricerca e agli altri stakeholder interessati.
NW 2.1	Preservare la biodiversità delle specie.	I sistemi di monitoraggio ambientale inclusi in FTTS permetteranno la messa appunto di opportune strategie atte a ridurre l'impatto ambientale del progetto e quindi a preservare l'ecosistema attraversato dalla tratta.
NW 2.2	Mantenere le funzioni delle paludi e corpi d'acqua superficiali.	FTTS prevede sistema di monitoraggio dell'inquinamento delle acque e della quantità di acque pluviali. La tratta ferroviaria è utilizzata come backbone per la raccolta dei dati che saranno resi disponibili ai comuni, ARPA, USL, ai centri di ricerca e agli altri stakeholder interessati. Tali dati sono fondamentali per la previsione di inondazioni o agenti inquinanti che possano distruggere paludi e corpi d'acqua e dei relativi ecosistemi.
NW 3.1	Gestione delle acque meteoriche.	FTTS include sistema di monitoraggio delle acque meteoriche. La tratta ferroviaria è utilizzata come backbone per la raccolta dei dati che saranno resi disponibili ai comuni, ARPA, USL, ai centri di ricerca e agli altri stakeholder interessati.
NW 3.2	Ridurre l'impatto di fertilizzanti e pesticidi.	FTTS permette il monitoraggio costante dell'intera tratta. L'utilizzo di diserbanti utilizzati durante l'esercizio ferroviario al fine di rendere visibile il segnalamento, evitare interruzioni per caduta di piante, mantenere le condizioni di sicurezza dei sentieri e l'efficienza di canalizzazioni e impianti elettrici ed evitare rischi di incendio, è limitato solo ai casi individuati di volta in volta dal sistema di previsione automatico della manutenzione.

NW 3.3	Prevenire la contaminazione delle acque superficiali e sotterranee.	FTTS include sistema di monitoraggio dell'inquinamento delle acque. La tratta ferroviaria è utilizzata come backbone per la raccolta dei dati che saranno resi disponibili ai comuni, ARPA, USL, ai centri di ricerca e agli altri stakeholder interessati.
-----------	---	---

## 7. Conclusioni

Obiettivo del presente capitolo è fornire indicazioni preliminari su come poter rendere efficiente lo sviluppo della linea alta Velocità / Alta Capacità (AV/AC) Napoli Bari. Il fine è quello di far progredire le ferrovie in un nuovo sistema chiamato "ITS" (Intelligent Transport Systems), che ha come obiettivo quello di trasferire le tecnologie dell'informazione e della comunicazione ai sistemi ferroviari, alle infrastrutture e agli utenti. Questo obiettivo è in linea con quanto previsto dal protocollo ENVISION, che propone dei suggerimenti in materia di sicurezza del sistema ferroviario inteso come insieme di persone e cose, di sostenibilità per la gestione dell'impatto degli impianti sull'ambiente, e di valorizzazione degli ambienti socio-culturali e ambientali.

Da quanto finora investigato, valida soluzione per il perseguimento degli obiettivi prefissi è il sistema IoT based denominato FTTS (Fast Train Total Shield). Tale sistema prevede il miglioramento dei livelli di sicurezza di tutti gli attori e delle strutture coinvolte nel sistema ferroviario.

Per quanto riguarda la manutenzione dei binari e delle opere ferroviarie (gallerie, ponti, sistema elettrico) si prevede l'utilizzo congiunto di sensori equipaggianti il treno e l'uso di droni per il monitoraggio continuo tramite tecniche di ispezione automatica nel visibile e nell'infrarosso.

Al fine di garantire la sicurezza dell' sistema informatico a supporto del comparto ferroviario, FTTS propone l'impiego di sistemi di monitoraggio e di misura del traffico dati, sistemi di valutazione dei consumi energetici, i quali saranno integrati nei sistemi esistenti per la rilevazione di cyber attacchi e la messa in atto di tempestive difese. Dotando i vagoni ferroviari di sensori per il rilevamento di gas e sostanze nocive, si potrà rilevare tempestivamente l'azione di attacchi terroristici o, in ogni caso, lo stato nocivo dell'ambiente all'interno dei vagoni. L'installazione di sensori di temperatura e umidità relativa consentirà di garantire il benessere *indoor* in termini di temperatura, di umidità e di concentrazione di inquinanti, in modo tale da creare un confort termo igrometrico per le persone a bordo (passeggeri ed equipaggio), tramite l'attuazione tempestiva di azioni quali il ricircolo

dell'aria e di condizionamento. Tali informazioni, acquisite puntualmente in stazione e a bordo treno permetterà di mettere in atto azioni di efficientamento energetico, riducendo significativamente l'impatto del sistema ferroviario sull'ambiente e territorio. In ultimo, ma non per importanza, per quanto riguarda la valorizzazione della produzione del territorio, e l'incentivo della via ferrata rispetto a trasporto su gomma, valida soluzione può essere la messa appunto di opportuno sistema di monitoraggio IoT based per tenere traccia di tutte le merci in magazzino di stoccaggio o che viaggiano su un convoglio e conoscerne in ogni momento la posizione e lo stato di conservazione.

Infine, FTTS prevede il continuo monitoraggio dell'impatto ambientale sul territorio. Tale monitoraggio permetterà di valutare tempestivamente gli effetti del traffico ferroviario sugli ecosistemi locali, e di controllare che le emissioni (elettromagnetiche, rumori, CO<sub>2</sub>) siano sempre contenute entro i limiti prescritti dalle normative vigenti. Il condividere le informazioni circa i consumi e le emissioni con il pubblico, potrebbe essere utile per la sensibilizzazione della popolazione alle tematiche "green".

## Riferimenti bibliografici e sitografici

- [9] A. Iele, V. Lopez, A. Laudati, N. Mazzino, G. Bocchetti, A. Cutolo, A. Cusano., "Fiber Optic Sensing System for Weighing In Motion (WIM) and Wheel Flat Detection (WFD) in railways assets: the TWBCS system" *8th European Workshop on Structural Health Monitoring EWSHM 2016*, 5-8 July 2016 Bilbao, Spain.
- [10] A. Cutolo, A. Cusano, F.A. Bruno, A. Iele, A. Laudati, G. Parente, M. Giordano, G. Broglio, N. Mazzino, G. Bocchetti, "Weigh in Motion using Fiber Bragg Grating Sensors: an industrial case in Italy", *5th European Workshop on Structural Health Monitoring EWSHM 2010*, 29 June-2 July 2010 Sorrento, Naples, Italy.
- [11] A. Cusano et al., "System for real-time monitoring of the state of occupation of railway lines,", EP20070113574 20070731, n° EP1902923.
- [12] <https://www.telegraph.co.uk/news/uknews/road-and-rail-transport/7796762/Potters-Bar-rail-disaster-witness-describes-scene-at-inquest.html>. Accessed 13 October 2019.
- [13] <https://www.theguardian.com/uk/2010/jun/01/potters-bar-train-crash-inquest>. Accessed 13 October 2019.
- [14] F.A. Bruno, M. Pisco, D. Galluzzo, L. Nardone, G. Gruca, N. Rijnveld, F. Bianco, A. Cutolo, A. Cusano, "Opto-mechanical lab-on-fibre seismic sensors detected the Norcia earthquake", *Scientific Reports*, 2018 - 8:6680 | DOI:10.1038/s41598-018-25082-8
- [15] A.K. Singh, A. Swarup, A. Agarwal, D. Singh, "Vision based rail track extraction and monitoring through drone imagery".
- [16] Catalano, F.A. Bruno, C. Galliano, M. Pisco, G.V. Persiano, A. Cutolo, A. Cusano, "An optical fiber intrusion detection system for railway security", *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 253, 1 January 2017, Pages 91-100, ISSN 0924-4247, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2016.11.026>.

- [17] A. Catalano, F.A. Bruno, M. Pisco, A. Cutolo, A. Cusano, "An intrusion detection system based on the optical fiber technology for the protection of railway" *Proceeding of IEEE - 2015 XVIII AISEM Annual Conference*, 978-1-4799-8591-3
- [18] A. Catalano, F.A. Bruno, M. Pisco, A. Cutolo, A. Cusano, "An intrusion detection system for the protection of railway assets using Fiber Bragg Grating sensors", *Sensors* 2014, 14(10), 18268-18285, doi:10.3390/s141018268
- [19] A. Catalano, F.A. Bruno, M. Pisco, A. Cutolo, A. Cusano, "An intrusion detection system for the protection of railway assets using Fiber Bragg Grating sensors", *Sensors* 2014, 14(10), 18268-18285, doi:10.3390/s141018268.
- [20] Regolamento UE 1299/2014, "Specifiche Tecniche di Interoperabilità del Sistema Ferroviario delle Unione Europea", 2013.ICT Express, 2017.
- [21] J.J. García, J. Ureña, Á. Hernández, M.Mazo, J.A. Jiménez, F.J. Álvarez, C. De Marziani, A. Jiménez, M. Jesús Díaz, C. Losada, E. García "Efficient multisensory barrier for obstacle detection on railways". *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 11 (3), 2010.
- [22] <https://www.telegraphindia.com/states/bihar/12-years-after-rafiganj-blame-game-back-on-track/cid/171013>. Accessed 13 October 2019.
- [23] "India train derails, killing 100". *BBC News*. 29 October 2005. Accessed 13 October 2019.
- [24] A.Furno, N.-E.El Faouzi, R.Sharma, V.Cammarota,E.Zimeo, "A Graph-Based Framework for Real-Time Vulnerability Assessment of Road Networks", *SMARTCOMP*, 234-241, 2018.
- [25] Pisco, F.A. Bruno, D. Galluzzo, L. Nardone, G. Gruca, N. Rijnveld, F. Bianco, A. Cutolo, A. Cusano, "Opto-mechanical lab-on-fibre seismic sensors detected the Norcia earthquake", 26th OFS conference (OFS-26), September 24-28, 2018, SwissTech Convention Center, EPFL Campus, Lausanne, Switzerland
- [26] M.Pisco, F.A. Bruno, D. Galluzzo, L. Nardone, G. Gruca, N. Rijnveld, F. Bianco, A. Cutolo, A. Cusano, "Seismic detection using opto-mechanical lab-on-fiber sensors", *APOS2018*, The 7th Asia-Pacific Optical Sensors Conference, May 28-31, 2018, Matsue city, Shimane, Japan
- [27] F.A. Bruno, M. Pisco, D. Galluzzo, L. Nardone, G. Gruca, N. Rijnveld, F. Bianco, A. Cutolo, A. Cusano, "Opto-Mechanical Fiber Tips for seismic events detection", *Fotonica 2018 AEIT - 20Esima Edizione*, Lecce 23-25 Maggio 2018
- [28] F.A. Bruno, M. Leone, S. Principe, A. Catalano, P. Mattera, R. Parente, M. Pisco, M. Consales, A. Cutolo, A. Cusano, "Photonic sensing systems for the mitigation of risks associated with landslides: the OPTOFER project" 19th Annual Conference of Fotonica 2017 AEIT, 3-5 May 2017
- [29] J. Sungwook, S. Seungwon, K. Sanghyeon, J. Park, H. Jongbeom, R. Kyungshik and M. Hyun, "Toward Autonomous Bridge Inspection: A framework and experimental results", *Proc.of 16th International Conference on Ubiquitous Robots (UR)*, 2019, Accessed 13 October 2019.
- [30] [https://www.ilmessaggero.it/italia/treni\\_ritardi\\_tempo\\_reale\\_bloccati\\_diretta\\_oggi\\_23\\_luglio\\_2019-4633350.html](https://www.ilmessaggero.it/italia/treni_ritardi_tempo_reale_bloccati_diretta_oggi_23_luglio_2019-4633350.html) Accessed 13 October 2019.
- [31] A.H. Khawaja, Q. Huang, Z. Khan, "Monitoring of Overhead Transmission Lines: A Review from the Perspective of Contactless Technologies", *Sensing and Imaging An International Journal*, 18 (1): 2017.
- [32] <https://www.ilpost.it/2014/03/11/attentati-madrid-2004-treni-stazioni-ferroviarie/>. Accessed 13 October 2019.

- [33] <http://www.rainews.it/dl/rainews/media/Disastro-ferroviario-Andria-Corato-tre-anni-fa-la-tragedia-che-causo-la-morte-di-23-persone-7c8bee52-85a3-45eb-ab49-e34f673a16f7.html#foto-1>. Accessed 13 October 2019.
- [34] D.L. Carnì, D. Grimaldi, F. Lamonaca, "Network workload and Security Evaluation in the Distributed Measurement System", *Proc. of SKIMA 2010 – 4th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications, Paro, Bhutan, 25-27 August 2010*: 1-8.
- [35] Stefano Bonino, *Il caso Aum Shinrikyo. Società, religione e terrorismo nel Giappone contemporaneo*, Edizioni Solfanelli, 2010, ISBN 978-88-89756-88-1.
- [36] M.Gu; Z. Xia; Y. Lei; L. Zhang; M. Jieming; "Wireless low power toxic gas detector based on ADuCM360", *Proc. of International SoC Design Conference (ISOCC): 2017*.
- [37] S.B. Thorat, S.K. Nayak, J.P. Dandale, "Facial Recognition Technology: An analysis with scope in India", (*IJCSIS*) *International Journal of Computer Science and Information Security*, 8 (1): 2010.
- [38] J. Kathirvelan, R. Vijayaraghavan, "An infrared based sensor system for the detection of ethylene for the discrimination of fruit ripening", *Infrared Physics & Technology*, 85: 403–409, 2017.
- [39] V.R. Lakshmil, S. Vijayakumar, "Wireless Sensor Network based Alert System for Cold Chain Management", *Procedia Engineering*, 38: 537 – 543, 2012.

## Note

Università degli Studi del Sannio, (Italy), flamonaca@unisannio.it



## Conclusioni

L'opera AV/AC prevede la riqualificazione dell'attuale linea Napoli – Bari attraverso sia interventi infrastrutturali differenziati per i diversi tratti di linea (velocizzazioni, raddoppio, varianti all'attuale tracciato) sia interventi tecnologici diffusi per il potenziamento e l'upgrading delle dotazioni della rete con apparati e sistemi di ultima generazione in grado di aumentarne capacità e velocità. La necessità di offrire un supporto alla Pubblica Amministrazione della Regione Campania per il rafforzamento ed il miglioramento del livello delle prestazioni erogate per accompagnare lo sviluppo di questa infrastruttura ha quindi richiesto un'analisi approfondita del territorio, degli stakeholder coinvolti nonché degli strumenti per definire un efficiente piano dei trasporti integrato e di valorizzazione territoriale.

Questa analisi, nelle diverse parti di cui si compone, rappresenta quindi un modus operandi da seguire nella definizione di un piano strategico integrato.

La definizione degli impatti potenziali della realizzazione delle infrastrutture ha preso avvio con l'analisi delle esperienze internazionali alta velocità già realizzate, che ha consentito di fornire indicazioni sui vantaggi che potrebbero derivare in Campania dalla realizzazione del collegamento con la Puglia. La Francia, con il suo ruolo chiave nello sviluppo dell'alta velocità, la Spagna con la rete più lunga d'Europa, seconda solo alla Cina a livello mondiale, così come la Germania, che pur se con uno sviluppo un po' più lento rispetto agli altri paesi presenta circa il doppio dei km rispetto all'Italia, rappresentano delle best practices nell'orizzonte europeo in tema di trasporto passeggeri, mentre condividono una comune debolezza rappresentata dal trasporto merci. A livello mondiale, il Giappone ed a seguire la Cina rappresentano le principali esperienze realizzate.

Questi casi evidenziano come i sistemi di alta velocità abbiano favorito la crescita della popolazione, dell'occupazione e delle attività economiche soprattutto nelle vicinanze dei punti di accesso alla rete, consentendo anche un rafforzamento del turismo, con conseguenti ricadute nell'economia reale.

Per valutare gli effetti derivanti dal potenziamento dell'accessibilità ferroviaria del sistema campano-pugliese, è stata poi realizzata una specifica analisi sui principali parametri socio-economici degli 808 Comuni campani e pugliesi e sui Sistemi Locali del Lavoro (SLL). L'analisi ha riguardato le dinamiche demografiche e socioeconomiche delle aree attraversate dalla nuova infrastruttura AV/AC Napoli-Bari.

La prima fase è stata volta alla definizione di specifici indici, attraverso cui individuare, sintetizzare ed analizzare i principali trend presenti sui territori. Attraverso tecniche di analisi multivariata, le informazioni fornite da

73 indicatori sono state sintetizzate in dieci indici, corrispondenti ai dieci ambiti tematici individuati (sviluppo agricolo, vivacità demografica, livello economico, dotazione infrastrutture sociali, livello di istruzione, sviluppo del mercato abitativo, attrattività infrastrutturale, degrado del patrimonio abitativo, vulnerabilità sociale, vulnerabilità del territorio). Tali indici hanno permesso di raccogliere le informazioni fornite dai singoli indicatori, agevolando le successive analisi.

L'analisi è stata quindi svolta su due diversi livelli. In una prima fase si sono analizzate le performance dei dodici sistemi locali del lavoro, cosiddetti "di prima fascia" (ovvero attraversati dall'infrastruttura ferroviaria), sulla base dei dieci indici sintetici precedentemente individuati. In una fase successiva, una cluster analysis è stata svolta al fine di raggruppare i singoli comuni in strutture omogenee (i clusters) ed indagare i diversi impatti che la realizzazione dell'opera avrà su territori con caratteristiche comuni. Le municipalità della Campania e della Puglia sono state, quindi, suddivise in 5 gruppi omogenei di appartenenza a seconda delle caratterizzazioni in termini di vivacità demografica ed economica.

A seguire, il confronto tra la situazione in assenza dell'intervento ed in presenza dello stesso ha consentito di analizzare la fattibilità della realizzazione dell'opera come differenziale tra i due scenari. L'analisi dell'accessibilità ferroviaria dei comuni campani ha evidenziato i limiti dell'attuale rete di trasporto ferroviario, i quali, propagandosi da Napoli, si riducono fin quasi ad esaurirsi in prossimità dei confini pugliese e lucano. Si evidenzia, quindi, una forte polarizzazione del sistema ferroviario campano, nonché della sua accessibilità. Per tener conto degli effetti prodotti dal progetto di infrastrutturazione, lo scenario "con intervento" è stato, successivamente, costruito ipotizzando un "tabellone dei treni futuro" per tutte le stazioni di Campania e Puglia. Tale nuovo tabellone tiene in considerazione quegli interventi previsti dal progetto, volti a variare il tracciato, ad adeguare la tratta esistente ed a rivedere l'attuale sistema delle stazioni. Il secondo scenario ha consentito di identificare un considerevole impatto in termini di accessibilità per tutti i comuni del sistema campano-pugliese, ma in particolare sul sistema sannita, il casertano e su parte del foggiano.

Infine, attraverso un approccio cross-sectional, sono stati implementati due modelli econometrici per analizzare la relazione esistente tra accessibilità ferroviaria e le dinamiche socio-economiche di interesse. In particolare questi modelli utilizzano l'accessibilità ferroviaria come variabile indipendente mentre gli indici di vivacità demografica e livello economico come variabili dipendenti. I risultati mostrano una forte relazione tra l'accessibilità

ferroviaria e la vivacità demografica in tutti i comuni, ma, in particolar modo, nei comuni di prima fascia (ovvero quelli di diretto attraversamento) e nei territori demograficamente più disagiati. Similmente, risulta positiva, sebbene di magnitudine più contenuta, la relazione esistente tra accessibilità ferroviaria e sviluppo economico.

Una volta analizzati gli impatti potenziali dalla realizzazione dell'infrastruttura nel terzo capitolo è stato proposto un quadro metodologico utile alla comprensione delle differenti metodologie che possono essere utilizzate nella simulazione di un sistema di trasporto che sia funzionale alla pianificazione degli stessi e cioè, al fine di definire un processo decisionale che consideri gli effetti delle decisioni a determinati livelli. Il piano di trasporto rappresenta dunque l'insieme di progetti finalizzati al raggiungimento di taluni obiettivi, nel rispetto di vincoli (di varia natura) e dei punti di vista dei soggetti coinvolti. A partire dalla definizione di sistema di trasporto, in base alla quale i sotto insiemi dell'offerta di trasporto, della domanda di mobilità e delle attività del territorio sono strettamente interrelati tra loro, si definisce la modellizzazione di un sistema di trasporto utilizzando un approccio di tipo statico – cioè assumendo l'evoluzione del sistema fino ad un punto di maturità – alla simulazione dello stesso.

Dopo aver espletato le fasi preliminari di individuazione dell'intervallo temporale e individuazione dell'area geografica, si sono dapprima proposti la stima dell'offerta di trasporto – attraverso la combinazione di diversi modelli matematici – e la stima della domanda di mobilità – espressa mediante una relazione matematica – in maniera separata, arrivando alla conclusione e dunque alla simulazione di un modello di interazione tra domanda e offerta che meglio si adatti a problematiche complesse come quelle che possono riguardare i sistemi di trasporto nella loro totalità. Tale risultato positivo è confortato dalla costruzione di una serie di indicatori di prestazione utili al confronto degli scenari urbanistici in maniera analitica.

Importante è il dibattito pubblico, inteso come strumento per ottenere il consenso della collettività nei confronti di uno specifico Piano. Si sottolinea, quindi, come questo dibattito possa fluire in un miglioramento della qualità stessa della pianificazione laddove vi sia un ampio coinvolgimento di tutti gli attori, anche se in maniera differenziata, benché si cerchi di superare quei rischi che potrebbero, d'altra parte, comportare il fallimento del processo decisionale.

Infine, sempre con l'obiettivo di supportare gli Uffici regionali sono state fornite indicazioni preliminari su come poter rendere efficiente lo sviluppo della linea AV/AC Napoli Bari alla luce del sistema ITS ed in linea con quanto previsto dal protocollo ENVISION.

Le proposte di intervento realizzabili son state distinte in base all'implementazione di azioni specifiche quali la sicurezza – di tutto il sistema in tutte le sue componenti – la sostenibilità – in quanto monitoraggio degli impatti dell'infrastruttura trasportistica ferroviaria sull'ambiente e non solo – e la valorizzazione delle realtà produttive presenti lungo la tratta.

La soluzione utile al perseguimento degli obiettivi prefissati, deriva da un'analisi tecnica e particolareggiata di tutti gli elementi ed è stata individuata nel sistema IoT based denominato FTTS (Fast Train Total Shield). Per ognuna delle azioni, nonché per ogni elemento che le caratterizza, FTTS propone miglioramenti diversificati che vanno dall'utilizzo congiunto di sensori per il treno e l'utilizzo di droni per il monitoraggio continuo, per quanto riguarda la manutenzione dei binari e delle opere ferroviarie. Si propongono inoltre, l'utilizzo di sistemi di monitoraggio del traffico dati e di valutazione dei consumi energetici da integrarsi con la messa in atto di difese tempestive in caso di attacchi informatici.

Per quanto riguarda l'efficientamento energetico, per ridurre l'impatto del sistema ferroviario su ambiente e territorio, da un lato l'installazione di sensori di temperatura e umidità consentirà di garantire il benessere per i passeggeri e l'equipaggio, tramite l'attuazione tempestiva di azioni quali il ricircolo dell'aria e di condizionamento; dall'altro, il monitoraggio delle emissioni (elettriche, rumori, CO<sub>2</sub>) permetterà di valutare tempestivamente gli effetti del traffico ferroviario sugli ecosistemi locali, e di controllare che siano sempre contenute entro i limiti prescritti dalle normative vigenti.

I risultati ottenuti dall'analisi complessiva hanno consentito di evidenziare punti di forza e di debolezza relativi alla realizzazione di un'infrastruttura AV/AC. Se infatti essa costituisce un importante elemento di sviluppo e riqualificazione per l'area di esame anche grazie alle esternalità positive che produce e agli effetti indiretti che genera sulle località circostanti, ciò che contemporaneamente si evince è che la presenza di nuove linee e stazioni ad alta velocità non sono certamente sufficienti a garantire una riqualificazione economica se non in presenza di una forte integrazione tra queste e la preesistente rete dei trasporti. Le stime ottenute non sono in grado di considerare gli effetti derivanti dall'accresciuta attrattività di territori più accessibili nei confronti di imprese e capitali esteri, nonché delle opere complementari all'infrastruttura ferroviaria da realizzarsi.

Per la valutazione specifica dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari è suggerita una preliminare identificazione degli obiettivi di sviluppo dei territori attraversati insieme al monitoraggio costante degli effetti della linea sulle imprese. La difficoltà di identificare empiricamente la misura degli effetti

generati è legata alla necessità di definire il modello di sviluppo da voler utilizzare e la dimensione dello sviluppo che le politiche pubbliche intendono perseguire nell'implementare linee ad alta velocità.

In conclusione, alla luce delle analisi evidenziate nel presente lavoro, la Regione Campania dovrebbe predisporre strumenti divulgativi volti a promuovere le molteplici esternalità positive derivanti dallo sviluppo dell'infrastruttura AV/AC Napoli-Bari sia per il tessuto economico che sociale delle comunità attraversate.

MEMBRI DEL TAVOLO

**Università degli Studi del Sannio**

Giuseppe Marotta - *Coordinatore del Tavolo*

Aniello Cimitile

Pasquale Daponte

Francesco La Monaca

Annamaria Nifo

Biagio Simonetti

**Università degli Studi di Salerno**

Giulio Erberto Cantarella

Stefano de Luca

Roberta Di Pace

**Università degli Studi Di Napoli Federico II**

Gennaro Nicola Bifulco

Luigi Biggiero

Luca D'Acerno

Luigi Pariota

**Università degli Studi di Napoli Parthenope**

Francesco Calza

Angela Mariani

Ilaria Tutore

**Università degli Studi Suor Orsola Benincasa di Napoli**

Paola Giordano

Alessandra Storlazzi

**Università di Napoli L'Orientale**

Roberta Arbolino

Alessandra De Chiara

Amedeo Di Maio

Michele Gallo

Antonio Lopes

Tullio Menini

Rosario Sommella

**Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"**

Armando Carteni

Salvatore Losco



**Il Torcoliere** • *Officine Grafico-Editoriali d'Ateneo*  
Università degli studi di Napoli "L'Orientale"  
Finito di stampare nel mese di dicembre 2021

Nella programmazione europea 2014/2020\*, l'attuazione delle opportune sinergie tra il sistema Universitario e la Regione Campania ha realizzato progetti che hanno fornito elementi di conoscenza e competenze di carattere tecnico-scientifico. I contributi hanno già supportato e rafforzeranno l'azione regionale amministrativa nei processi di sviluppo del sistema delle imprese campane operanti nei diversi settori. Un'azione amministrativa efficace ed efficiente è da sempre il punto di partenza per l'utilizzo dei Fondi Strutturali dell'Unione Europea finalizzati allo sviluppo economico, sociale e territoriale dei paesi membri. In tal senso non sorprende che per la Regione Campania, nell'ambito della propria programmazione, il tema del rafforzamento della capacità amministrativa abbia assunto un'importanza strategica, tale da essere declinato come una delle priorità di investimento per la crescita regionale che contribuisce allo sviluppo del nostro Paese.

\* POR FSE 2014/2020 – OT 11 – Programmazione interventi capacità istituzionale. Attuazione DGR 743 del 20/12/16.

ISBN 978-88-6719-273-3



Università degli Studi di Napoli



PARTHENOPE



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI

DI NAPOLI



UNIVERSITÀ DEGLI

STUDI  
SALERNO



Università  
degli Studi  
della Campania  
*Luigi Vanvitelli*



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
SUOR ORSOLA  
BENINCASA