



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Standard funzionali per le Smart-Road

Position Paper

22/06/2016

Sommario

| | |
|---|----|
| Sommario..... | 2 |
| Introduzione..... | 1 |
| Executive Summary..... | 3 |
| PARTE 1 – Le Smart Road..... | 4 |
| 1.1 I nuovi trend sociali e tecnologici della mobilità..... | 4 |
| 1.2 Il contesto normativo di riferimento..... | 6 |
| 1.3 Le nuove strategie dell’Italia e le Smart Road..... | 8 |
| 1.4 I benefici attesi | 10 |
| 1.5 Roadmap dell’iniziativa | 11 |
| PARTE 2 - Visione di sistema e indirizzi tecnici..... | 12 |
| 2.1 Le strutture/piattaforme abilitanti..... | 12 |
| 2.1.1 Rete di comunicazione “seamless” per viaggiatori e veicoli..... | 12 |
| 2.1.2 “Open data” & “Big data”..... | 13 |
| 2.1.3 Rete di connessione di “oggetti” (sensori, attuatori) – Internet of things..... | 13 |
| 2.1.4. L’interazione con i viaggiatori (crowdsourcing)..... | 14 |
| 2.2 Funzioni e servizi..... | 14 |
| 2.2.1 Raccolta, elaborazione e distribuzione dei dati sulla circolazione, sul traffico e sulla sicurezza strutturale | 14 |
| 2.2.2 Raccolta, elaborazione e distribuzione dei dati sull’Infrastruttura..... | 16 |
| 2.2.3 Gestione del traffico..... | 22 |
| 2.2.4 Sorveglianza, sanzionamento e sicurezza | 24 |
| 2.2.5 Pagamento transiti | 25 |
| 2.2.6 Servizi abilitati dalla diffusione delle comunicazione V2I | 25 |
| PARTE 3 - Specifiche prestazionali..... | 27 |
| 3.1 Specifiche per la misura ed osservazione dei dati..... | 27 |
| 3.1.1 Predisposizione di un grafo di riferimento..... | 27 |
| 3.1.2 Caratteristiche statiche delle infrastrutture..... | 28 |
| 3.1.3 Caratteristiche dinamiche delle infrastrutture..... | 31 |
| 3.1.4 Dati di traffico e viaggio | 32 |
| 3.1.5 Caratteristiche di sicurezza statica delle strutture..... | 37 |
| 3.2 Specifiche per l’elaborazione del contenuto informativo..... | 39 |
| 3.2.1 Registrazione dei dati in centrale, archiviazione e storicizzazione..... | 39 |
| 3.2.2 Previsioni a breve-medio termine..... | 44 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.3 | Previsioni su periodi di tempo omogenei successivi | 45 |
| 3.2.4 | Verifiche di qualità..... | 45 |
| 3.2.5 | Elaborazione e Aggregazione delle misure provenienti dal monitoraggio strutturale | 47 |
| | Ringraziamenti..... | 49 |

Introduzione

Il rilancio del settore delle infrastrutture di trasporto attraverso la *digital transformation* rappresenta un fattore abilitante della crescita sostenibile, intelligente ed inclusiva del Paese, in grado di creare infrastrutture snelle, di qualità, più sicure, più economiche, meglio utilizzate e fruite, che generino dati e servizi per una migliore esperienza del viaggio per i cittadini, per facilitare il trasporto delle merci e contribuire a determinare un ecosistema tecnologico favorevole per le imprese.

La tecnologia può essere utilmente impiegata in tutte le fasi di vita dell'infrastruttura. Permettendo di migliorare l'analisi dei fabbisogni e la valutazione delle opere, rende più efficaci la pianificazione e la programmazione sia degli interventi di manutenzione che degli investimenti in nuove infrastrutture, garantendo, a costi più bassi, realizzazioni di maggiore qualità, e quindi più durevoli, più sostenibili e più sicure per gli utenti. La tecnologia aumenta l'insieme degli strumenti a disposizione dei *decision maker*, per definire le politiche di trasporto e la gestione dei flussi di traffico. Inoltre, per gli utenti finali, migliora la *customer experience*, non solo nel momento esatto dello spostamento, ma anche in ottica di integrazione con le attività e i servizi che costituiscono l'obiettivo dello spostamento, attraverso l'interazione digitale con l'infrastruttura, che conduce ad esperienze sempre più personalizzate e in un più ampio ventaglio di possibilità di scelta relativamente alle modalità di trasporto. Per le imprese, digitalizzazione delle infrastrutture può voler dire maggiore sicurezza del trasporto, snellimento degli oneri amministrativi e possibilità di accesso a soluzioni personalizzate lungo tutta la catena del valore, nonché terreno fertile per l'innovazione e sviluppo di soluzioni nuove per il mercato.

La *digital transformation* delle infrastrutture si configura come volano per l'intera economia del Paese, dal momento che il settore infrastrutturale, per la sua capacità di attrarre investimenti importanti e di connettere soggetti e settori produttivi diversi, può rappresentare la frontiera dell'innovazione. In tal senso la *digital transformation* rappresenta un'enorme occasione per l'Italia: innanzitutto perché consente di valorizzare l'ingente patrimonio esistente attraverso interventi di upgrading tecnologico, il cui costo ed i cui tempi di realizzazione sono mediamente molto più bassi rispetto ad interventi sulle infrastrutture fisiche. In secondo luogo, può favorire investimenti orientati all'innovazione nella produzione di mezzi di trasporto pubblico, infrastrutture e sistemi tecnologici - infrastrutture "smart", sistemi intelligenti di trasporto ITS - e nella fornitura di servizi innovativi e in linea con le esigenze del mercato. Si tratta di settori in cui l'industria italiana presenta delle eccellenze, che possono essere adeguatamente sostenute sul mercato attraverso l'adozione, a livello nazionale, di strategie che premiano la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione per le imprese.

Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha scelto di raccogliere la sfida dell'innovazione digitale, costruendo una vision nazionale che contempera l'elemento tecnologico come fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi infrastrutturali del Paese (Allegato al DEF 2016 e Piano Nazionale ITS), anche a beneficio di cittadini e imprese. Inoltre, ha avviato iniziative volte a promuovere l'elaborazione di standard per la corretta evoluzione del processo di digitalizzazione a livello nazionale, con l'obiettivo di guidare il Paese verso la nuova stagione della *digital transformation delle infrastrutture*.



L'iniziativa *Smart Road* si inserisce in questo quadro di rinnovata attenzione alla pianificazione strategica delle opere pubbliche e ai vantaggi derivanti dall'impiego delle tecnologie digitali nell'ambito degli interventi di valorizzazione del patrimonio infrastrutturale esistente.

Partendo dalla definizione di *Smart Road* - come un insieme di infrastrutture stradali che puntano ai due obiettivi fondamentali di

sostenibilità e miglioramento della qualità della vita, utilizzando, in aggiunta agli strumenti tradizionali, l'innovazione e l'inclusione - il presente documento vuole essere un primo step lungo il percorso verso la *digital transformation* della rete stradale italiana.

Per realizzarla, vengono discussi lo stato dell'arte ed evidenziati gli elementi che rendono necessaria l'attivazione del MIT sul tema e, successivamente, la ricognizione delle funzioni e dei servizi attivabili.

In considerazione degli ingenti investimenti nel settore (es. (la CE ha stanziato circa € 30 mld fino al 2020 sulle infrastrutture di cui € 6,5 mld per l'Italia), l'obiettivo del MIT è di vincolare l'erogazione dei finanziamenti all'adozione, da parte dei gestori dell'infrastruttura, di standard tecnologici minimi. L'analisi svolta nelle pagine seguenti costituisce, quindi, l'insieme delle possibilità funzionali da cui, attraverso un processo di *stakeholders engagement*, giungere all'individuazione degli standard minimi da applicare per rendere "Smart" le infrastrutture stradali.

Executive Summary

Il presente documento si articola in 3 parti, che possono essere lette in un percorso di approfondimento successivo che, a partire dall'inquadramento di Smart Road all'interno dei moderni paradigmi di evoluzione della mobilità e delle policy nazionali e comunitarie giunge alla definizione delle specifiche funzionali di dettaglio per alcuni dei servizi e delle funzioni che consentono di definire una infrastruttura *smart*.

La prima parte del documento vuole identificare la cornice in cui il processo di *digital transformation* dell'infrastruttura stradale si inquadra. Descrivendo le opportunità e le sfide che è possibile cogliere sulla base dei trend sociali e tecnologici della mobilità e dell'attuale e potenziale *framework* normativo, si giunge all'analisi dei benefici attesi dalle e alla rappresentazione della Roadmap dell'iniziativa.

La seconda parte del documento è finalizzata a definire una visione tecnica ed una architettura di sistema in cui, dapprima, vengono descritte alcune piattaforme tecnologiche abilitanti, necessarie per supportare il processo di *digital transformation*, e poi viene definito il quadro delle funzioni e dei servizi che rendono *smart* una infrastruttura stradale.

Nella terza parte del documento, per alcune delle funzioni e dei servizi si procede a definire le specifiche prestazionali che li rendono soddisfacenti ai fini della classificazione nelle diverse tipologie di Smart Roads. Le specifiche sono destinate ad arricchirsi nel tempo con riferimento ad un numero crescente di funzioni e servizi, tra quelli identificati nella parte 2, partendo da quelli che al momento sono stati ritenuti i più urgenti da implementare.

Il documento arriva alla specificazione delle prestazioni definendone l'aspetto tecnico-funzionale ma non quello tecnologico; le stesse funzioni e servizi e le stesse prestazioni possono essere in alcuni casi raggiunte applicando diverse tecnologie rispetto alle quali il documento non esprime indirizzi né preferenze.

PARTE 1 – Le Smart Road

Il futuro della mobilità sta ormai evolvendo verso l'utilizzo di sistemi sempre più tecnologici e connessi: basti pensare che il valore del mercato globale dei veicoli connessi sarà di circa 40 miliardi di euro nel 2018, +66,7% rispetto al valore stimato nel 2015.

L'iniziativa Smart Road vuole contribuire a creare un ecosistema tecnologico favorevole per la interoperabilità tra infrastrutture e veicoli di nuova generazione, per l'adeguamento delle infrastrutture alle nuove modalità di fruizione della mobilità da parte viaggiatori e per la realizzazione di servizi innovativi per gli utenti – intermedi e finali - e i gestori di infrastrutture e servizi, tutto ciò garantendo adeguati livelli di sicurezza delle strutture, attraverso una conoscenza continua nel tempo del loro comportamento.

Smart Road, dunque, prende il via dalla nuova *vision* della politica infrastrutturale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, coerentemente con gli indirizzi di *policy* della Commissione Europea, per rispondere ai nuovi trend sociali e tecnologici della mobilità.

1.1 I nuovi trend sociali e tecnologici della mobilità

Le tecnologie digitali, sempre più pervasive, permettono l'interazione e lo scambio di informazioni tra persone, sistemi, servizi, attori diversi e più in generale "oggetti", tra cui i veicoli. Ne deriva l'esigenza di un *apparato stradale che si configuri come un insieme di sistemi e servizi per la mobilità, gestiti e offerti da operatori diversi, in un ambiente integrato, reso possibile da una architettura aperta e distribuita*. In questo senso, le strade intelligenti non potranno che beneficiare della continua evoluzione tecnologica dei veicoli a guida automatica e della connessione permanente, valorizzando la rete stradale e creando nuove opportunità di business.

Le strade intelligenti, ovvero sostenibili, di qualità, innovative e inclusive, sfruttano ed indirizzano il cambiamento trasformando tradizionale rapporto tra veicoli, guidatori ed ambiente stradale. Le nuove tecnologie già assistono i guidatori in molti compiti e rappresentano un comodo ausilio per la sicurezza ed il comfort di guida. La tendenza è di una progressiva sostituzione tecnologica del ruolo del guidatore quale mediatore tra veicolo e infrastruttura, nonché nel compito di reazione e controllo rispetto alle informazioni provenienti sia dall'ambiente interno (veicolo) sia dall'ambiente esterno (strada e traffico).

Con la crescente automazione il guidatore assume sempre più un ruolo di controllo e supervisione, fruendo di un'esperienza di guida progressivamente diversa: in tale contesto la gestione dell'interazione, sempre più diretta, tra veicolo e strada (ed altri veicoli) può essere interamente lasciata al veicolo oppure essere opportunamente distribuita tra il veicolo e l'infrastruttura, come nel caso delle Smart Road.

I gestori e gli utenti dei sistemi di trasporto adottano comportamenti sempre più coscienti ed informati e, grazie anche alla possibilità di accedere ad una quantità di informazioni e di servizi, scelte e azioni si fanno sempre più razionali. Allo stesso tempo, anche il mondo del trasporto è influenzato dalla tendenza verso uno spostamento progressivo dell'interesse del consumatore dal "possesso del bene" al suo "uso", anche in condivisione.

L'auto privata sta quindi perdendo il suo ruolo di "status symbol", cui si aggiunge anche la ridotta motivazione all'acquisto legata al "piacere della guida" e della gestione del veicolo e, in considerazione del contenuto tecnologico di bordo e della crescente automazione, si prevede un orientamento verso un utilizzo dell'auto sempre più disaccoppiato dal suo possesso.

Lo scenario con “mobility as a service” vedrà l’auto solamente come un mezzo all’interno delle flotte degli operatori di servizi di mobilità per soddisfare le richieste degli abbonati attraverso un’offerta di trasporto integrata e pienamente co-modale. I viaggi urbani ed interurbani avverranno in buona parte su veicoli non di proprietà: cresceranno le auto in *sharing* e sarà meno importante la proprietà individuale. Un guidatore userà diversi veicoli in poco tempo ed ogni veicolo sarà utilizzato da una molteplicità di guidatori. La specializzazione (veicoli urbani, extraurbani, adatti alla nebbia, con diversi sistemi di rifornimento, ecc.) e l’intensità d’uso, con la riduzione delle lunghe soste dei veicoli di proprietà, giustificherà il costo di veicoli progettati in maniera differente e con sofisticati sistemi di bordo.

Le tendenze tecnologiche e l’innovazione in atto nel settore *automotive* abilitano e vengono stimulate dallo scenario futuro: i veicoli si dotano di un crescente numero di sistemi d’assistenza alla guida, evolvendo rapidamente verso la guida automatica. I veicoli saranno sempre più connessi, con sistemi di comunicazione interveicolare (Vehicle-To-Vehicle V2V) e con le infrastrutture (Vehicle-To-Infrastructure V2I), per un’automazione sempre più efficace, complessa e pervasiva. Contemporaneamente, si diffondono già da ora con ritmi di crescita esponenziale le applicazioni di navigazioni dinamica e navigazione predittiva, basate sulla conoscenza in tempo reale delle condizioni della rete e delle condizioni di deflusso su di essa e i sistemi di gestione del traffico diventano più efficienti. D’altra parte un’interazione tecnologica più intensa e cooperativa tra veicoli e strade non è a solo vantaggio dell’esperienza di guida. La strada può a sua volta beneficiare della connessione diffusa con un sistema di sensori, tra cui i veicoli, e, soprattutto, può vedere enormemente aumentata la sua efficienza, anche in termini di capacità di deflusso. Semplici considerazioni analitiche basate sulla teoria del deflusso dimostrano che anche solo l’annullamento, attraverso sistemi di guida automatica, dei tempi di azione e reazione comporta un notevole vantaggio nella capacità di deflusso stradale. Il noto paradigma delle Automated Highways, fondato sulla possibilità di imporre ad una corrente di traffico una velocità uniforme ed un distanziamento ridotto tra i veicoli, mantenuto sicuro grazie alla automazione cooperativa, sta divenendo nei fatti un obiettivo raggiungibile.

Le strade dovranno adeguarsi al cambiamento. Le norme di progettazione stradale che oggi conosciamo sono adeguate alla motorizzazione del XX secolo ed alle caratteristiche tecnologiche e di funzionamento dei veicoli in produzione dal secondo dopoguerra. In prospettiva, le stesse norme di progettazione stradale cambieranno, adeguandosi ai nuovi veicoli ed alle nuove dotazioni tecnologiche che sia i veicoli che le infrastrutture faranno propri. Di converso, l’immenso patrimonio delle strade storiche, alcune delle quali non adeguate oggi agli standard di progettazione e, di fatto, utilizzate in deroga alle norme di progettazione stradale correnti, potrebbero divenire tecnologicamente adeguate ai nuovi veicoli che le percorreranno. In tale ultima visione è evidente che l’adeguamento tecnologico sarà il percorso enormemente più conveniente (oltre che obbligato), sia da un punto di vista dei tempi di realizzazione sia (soprattutto) dal punto di vista dei costi, rispetto all’adeguamento dei tracciati plano-altimetrici e/o delle sezioni. Più nel breve termine, la sicurezza della circolazione stradale, fino all’ambizioso obiettivo europeo della mortalità zero, passa sempre di più per una visione integrata e sinergica che unisca a fattore comune la sicurezza by-design delle infrastrutture e la sicurezza attiva dei sistemi di guida dei veicoli e dei sistemi di comunicazione veicolo-infrastruttura.

Per essere pronti al cambiamento in corso, occorre che sulle infrastrutture stradali venga avviato un percorso di trasformazione digitale, orientando le scelte possibili in maniera da convergere verso l’obiettivo di lungo periodo.

Si tratta, allora, *in primis*, di proporre un adeguamento tecnologico che vada nella direzione di una sorta di self-awareness, cioè di una capacità della strada di auto-conoscersi ed auto-ri-conoscersi, sia rispetto alle proprie caratteristiche statiche che rispetto a caratteristiche fortemente dinamiche quali i carichi che la utilizzano e le condizioni di funzionamento.

Bisogna aggiungere intelligenza alle strade, partendo da sensori, misure e metodi di elaborazione, cioè da un'intelligenza cognitiva che possa essere utilizzata dai gestori della strada, dagli enti di gestione e pianificazione dei trasporti e dagli utenti finali allo scopo di creare strumenti, soluzioni e servizi, o semplicemente di applicare comportamenti e scelte, ispirate ad una intelligenza decisionale sia individuale sia cooperativa, rendendo più estesi, fruibili ed efficienti i sistemi di governo e gestione della circolazione ed i comportamenti di mobilità e di viaggio. Tale intelligenza va costruita sulla conoscenza che può derivare da un sistema di acquisizione di informazioni in parte basato su una rete di sensori road-side ed in altra parte basato su altre fonti, compresi veicoli in grado di raccogliere informazioni tramite sensori e di scambiarle sia direttamente verso la strada (o altri veicoli) sia verso un soggetto terzo da cui la strada si approvvigiona di informazioni

1.2 Il contesto normativo di riferimento

La necessità di ripensare il sistema stradale in ottica smart è da tempo nell'agenda dei policy maker nazionali e comunitari. Tuttavia, il contesto programmatico del settore delle infrastrutture di trasporto e logistica è caratterizzato da un'estrema frammentazione, causata dall'esistenza di una pluralità di strumenti normativi e programmatici, di rango comunitario e nazionale. Un elenco di tali atti è riportato in figura.

| <i>FONTI UE</i> | <i>PROGRAMMAZIONE NEGOZIATA ITALIA-UE</i> | <i>PIANI E PROGRAMMI NAZIONALI</i> |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Libro Blu (2007) ▪ Libro bianco dei trasporti (2011) ▪ La cintura blu: uno spazio unico del trasporto marittimo (2013) ▪ Pacchetto per la crescita – Connecting Europe Facility (CEF) e reti TEN-T (2013) ▪ Strategia per la crescita blu (2013) ▪ Strategia Europa 2020 (2010) ▪ Obiettivi strategici e raccomandazioni per la politica UE dei trasporti marittimi (2008) ▪ Porti: un motore per la crescita (2013) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Accordo di Partenariato Commissione UE-Italia per il periodo di programmazione 2014-2020 ▪ PON Infrastrutture e Reti 2014-2020 ▪ Programmi Operativi Regionali (POR) ▪ Programmi di Sviluppo Rurale (PSR) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Piano Generale dei Trasporti e della Logistica (2001) ▪ Programma Infrastrutture Strategiche (2001) e XI Allegato Infrastrutture (Settembre 2013) ▪ Piano Strategico Nazionale della Portualità e della Logistica (2015) ▪ Piano aeroporti (2015) ▪ Piano d'azione ITS nazionale (2014) ▪ Piani di Attuazione Regionali (PAR) ▪ Contratti di programma ANAS e RFI |

Agli orientamenti normativi generici in tema infrastrutturale, si aggiungono le disposizioni specifiche collegate all'utilizzo della componente tecnologica all'interno delle infrastrutture di trasporto.

A livello comunitario, la pietra miliare di tale disciplina è riconducibile alla Direttiva 2010/40/UE¹, la quale mira a incoraggiare lo sviluppo di tecnologie di trasporto innovative per creare sistemi di trasporto intelligente (ITS), grazie all'introduzione di standard e specifiche comuni in tutto il territorio dell'Unione Europea. L'obiettivo è quello di giungere alla definizione di servizi ITS interoperabili ed efficienti, lasciando al contempo all'arbitrio dei singoli paesi dell'UE, i sistemi sui quali investire.

La Direttiva 2010/40/UE istituisce un quadro a sostegno della diffusione e dell'utilizzo coordinati e coerenti di sistemi di trasporto intelligenti (ITS) nel settore del trasporto stradale nell'Unione, attraverso le frontiere tra gli Stati membri, e stabilisce i seguenti Settori Prioritari:

¹ DIRETTIVA 2010/40/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 7 luglio 2010 sul quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto.

1. **Uso ottimale dei dati relativi alle strade, al traffico e del trasporto merci;**
2. **Continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e del trasporto merci;**
3. **Applicazioni ITS per la sicurezza stradale e per la sicurezza (security) del trasporto;**
4. **Collegamento tra i veicoli e l'infrastruttura stradale;**

Nell'ambito dei settori prioritari prevede le seguenti Azioni Prioritarie per l'elaborazione e l'utilizzo di specifiche e norme:

- a. Predisposizione in tutto il territorio dell'Unione Europea di *servizi di informazione sulla mobilità multimodale*;
- b. Predisposizione in tutto il territorio dell'Unione europea di *servizi di informazione sul traffico in tempo reale*;
- c. I dati e le procedure per la comunicazione gratuita agli utenti, ove possibile, di *informazioni minime universali sul traffico connesse alla sicurezza stradale*;
- d. La predisposizione armonizzata in tutto il territorio dell'Unione europea di un *servizio elettronico di chiamata di emergenza (eCall) interoperabile*;
- e. La predisposizione di *servizi d'informazione per aree di parcheggio sicure per gli automezzi pesanti e i veicoli commerciali*;
- f. La predisposizione di *servizi di prenotazione per aree di parcheggio sicure per gli automezzi pesanti e i veicoli commerciali*.

In coerenza con tali disposizioni, la Commissione Europea ha emanato i Regolamenti Delegati 962/2015², 886/2013³, 305/2013⁴ e 885/2013⁵, che contengono il dettaglio delle specifiche da adottare per i punti b., c., d., ed e. rispettivamente.

Nonostante gli ITS fossero previsti come misura chiave per l'attuazione degli obiettivi di mobilità sostenibile già all'interno del *Piano Generale dei Trasporti e della Logistica* del 2001 e gli fosse stato riconosciuto un ruolo cardine per raggiungere gli obiettivi di efficienza, sicurezza e sostenibilità all'interno delle *Linee Guida del Piano della Mobilità* del 2007, è solamente con la Legge n.221 del 2012 che la Direttiva 2010/40/UE viene recepita all'interno del paradigma normativo italiano. La Legge n.221 prevede, inoltre, la predisposizione, con decreto MIT, delle direttive che stabiliscono i requisiti per la diffusione, la progettazione e la realizzazione degli ITS, che il MIT adotta il 1° febbraio 2013 con il Decreto per la *Diffusione dei Sistemi di Trasporto Intelligenti in Italia*, che disciplina in merito a:

1. I requisiti per la diffusione degli ITS;
2. Azioni per favorire lo sviluppo degli ITS sul territorio nazionale;
3. Azioni e settori d'intervento;
4. Continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e del trasporto merci;

² REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2015/962 DELLA COMMISSIONE del 18 dicembre 2014 che integra la direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio relativamente alla predisposizione in tutto il territorio dell'Unione europea di servizi di informazione sul traffico in tempo reale.

³ REGOLAMENTO DELEGATO (UE) N. 886/2013 DELLA COMMISSIONE del 15 maggio 2013 che integra la direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda i dati e le procedure per la comunicazione gratuita agli utenti, ove possibile, di informazioni minime universali sulla viabilità connesse alla sicurezza stradale.

⁴ REGOLAMENTO DELEGATO (UE) N. 305/2013 DELLA COMMISSIONE del 26 novembre 2012 che integra la direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la predisposizione armonizzata in tutto il territorio dell'Unione europea di un servizio elettronico di chiamata di emergenza (eCall) interoperabile.

⁵ REGOLAMENTO DELEGATO (UE) N. 885/2013 DELLA COMMISSIONE del 15 maggio 2013 che integra la direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sui sistemi di trasporto intelligenti, in merito alla predisposizione dei servizi d'informazione sulle aree di parcheggio sicure destinate agli automezzi pesanti e ai veicoli commerciali

5. Archivio telematico dei veicoli a motore non coperti dall'assicurazione per la responsabilità civile e Applicazioni ITS per la sicurezza (e-Call);
6. Collegamento tra veicoli e infrastruttura;
7. ComITS – Comitato di indirizzo e coordinamento tecnico delle iniziative in materia ITS.

Infine, Il Decreto interministeriale 446 del 2014 individua nel Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti l'organo nazionale deputato all'adozione, avvenuta il 12 febbraio 2014, del "Piano nazionale per lo sviluppo dei sistemi ITS".

Nonostante l'abbondante produzione normativa e programmatica, i target e gli obiettivi fissati a livello comunitario non sono ancora stati centrati. Infatti, sebbene vi siano alcune disposizioni innovative e di rilievo introdotte – (i) il DB CCISS (dati sulle infrastrutture e sui flussi di traffico) come fonte open-data gratuita; (ii) l'istituzione al CCISS del IPTT (Indice Pubblico delle informazioni su Infrastrutture e Traffico); (iii) la conferma del protocollo DATEX-II e necessità di istituire un sistema di nodi DATEX-II e (iv) l'obbligo di gestori e concessionari di mantenere archivi aggiornati ed affidabili di dati sulle infrastrutture e sul traffico e di collegare tali archivi al IPTT – permangono diverse criticità.

Su tutte rileva la mancata attuazione di gran parte delle disposizioni del Decreto, insieme all'assenza di definizione di una vera e propria *governance* del cambiamento.

Alla luce del quadro appena delineato, risulta evidente la necessità di procedere, nel più breve tempo possibile, all'adozione di specifiche sugli standard tecnologici, nell'ottica del recepimento degli indirizzi del quadro comunitario di riferimento. La logica di questo documento risiede nel superare l'*empasse* creatasi, facendo chiarezza sulle funzioni e sui servizi da abilitare nell'ambito delle Smart Road e proponendo, senza pretese di esaustività, le specifiche prestazionali di cui avvalersi per "scatenare" la *digital transformation*.

1.3 Le nuove strategie dell'Italia e le Smart Road

Con un'estensione della rete stradale pari a 179.024 km, in Italia, le infrastrutture stradali rappresentano un asset significativo e strategico per il sistema-Paese. Ne deriva l'esigenza di valorizzare il patrimonio infrastrutturale esistente attraverso l'adeguamento tecnologico, individuando di individuare meccanismi nuovi per investire nelle infrastrutture stradali, elemento centrale del precario equilibrio del sistema complessivo dei trasporti.

In questo senso si dirigono i recenti sviluppi del quadro normativo concernente la pianificazione nazionale delle infrastrutture - in particolare l'approvazione il 15 Aprile 2016 in Consiglio dei Ministri del Nuovo Codice degli Appalti e delle Concessioni (D.lgs. n.50/2016) - introducono due nuovi strumenti di pianificazione e programmazione delle infrastrutture e degli insediamenti ritenuti di fondamentale rilevanza per lo sviluppo del Paese:

- > Il ***Piano generale dei Trasporti e della Logistica*** (PGTL): quale strumento di pianificazione strategica contenente gli obiettivi delle politiche per la mobilità di persone e merci nonché di quelle relative allo sviluppo infrastrutturale del Paese;
- > ***Documento Pluriennale di Pianificazione*** (DPP), di cui al D.lgs. n. 228/2011 e ss.mm.ii., quale strumento unitario di programmazione, esito della selezione delle opere nel rispetto dei vincoli di spesa e in coerenza con gli obiettivi e le strategie definite nel PGTL. La valutazione coerente e omogenea degli interventi da inserire nel DPP sarà assicurata dall'utilizzo delle Linee Guida per la valutazione degli investimenti.

Come indicato all'interno dall'Allegato al Documento di Economia e Finanza 2016 "Strategie per le infrastrutture di trasporto e logistica", il MIT si pone quale obiettivo un nuovo processo di pianificazione infrastrutturale, che dovrà definire un quadro del sistema delle infrastrutture nazionali unitario e condiviso con gli *stakeholders*, all'interno del quale determinare i fabbisogni nazionali e individuare le priorità in funzione della utilità e della fattibilità delle singole opere e delle risorse disponibili.

Al fine di risolvere le principali criticità che affliggono il sistema infrastrutturale italiano – riassumibili nello squilibrio modale, nella scarsa capacità delle infrastrutture esistenti di servire la domanda, nella ridotta accessibilità ai principali nodi del sistema economico nazionale e nell'insufficienza dei collegamenti di ultimo miglio –, è stato dato avvio ad una nuova stagione di politiche infrastrutturali alla luce dei seguenti Obiettivi:

1. Accessibilità ai territori dell'Europa ed al Mediterraneo;
2. Qualità della vita e competitività delle aree urbane;
3. Mobilità sostenibile e sicura;
4. Sostegno alla politiche industriali di filiera.

Il raggiungimento di tali Obiettivi dovrà essere perseguito attraverso quattro Strategie, trasversali rispetto alle modalità di trasporto e agli obiettivi stessi:

1. ***Infrastrutture utili, snelle e condivise***, migliorando il ciclo di progettazione e realizzazione delle infrastrutture. Tale strategia sarà perseguita, nel medio periodo, attraverso le innovazioni introdotte nel processo di pianificazione, programmazione, valutazione e progettazione delle nuove opere infrastrutturali.
2. ***Integrazione modale e intermodalità***, che consiste nel riequilibrio modale a favore di modalità di trasporto sostenibili e nella riduzione delle quote modali di mobilità su gomma, perseguito mediante l'incentivazione di misure *ad hoc* mirate all'incremento dell'offerta e della qualità dei servizi. Su questo il MIT ha già avviato un percorso, che passa per lo stanziamento di risorse specifiche in legge di stabilità attraverso il Ferrobonus e il Marebonus, e per la modulazione delle risorse inserite nel Contratto di Programma con RFI;
3. ***Sviluppo Urbano Sostenibile***, attraverso progetti integrati di mobilità urbana sostenibile che, ad iniziare dalle città metropolitane, prevedano interventi in continuità con i grandi investimenti avviati negli ultimi anni su infrastrutture e sistemi di trasporto rapido di massa;
4. ***Valorizzazione del patrimonio esistente***, per aumentarne la sicurezza, la qualità e in ottica di efficientamento delle infrastrutture, in continuità con i programmi manutentivi del patrimonio infrastrutturale esistente.

L'iniziativa Smart Road ricade nell'ambito dell'ultima delle Strategie citate, puntando a migliorare gli standard di sicurezza e qualità delle opere e ad assicurare continuità ai programmi manutentivi, attraverso azioni mirate all'utilizzo di tecnologie innovative. La *digital transformation* dell'infrastruttura stradale deve aumentare la capacità di creare valore per il cittadino, le imprese e i *decision maker* con nuovi servizi basati sulla maggiore disponibilità di informazioni e sullo scambio delle stesse, così da permettere: la realizzazione dell'*extended customer experience*, l'adeguamento delle vie di corsa ai veicoli che in futuro le utilizzeranno, l'aumento delle capacità di trasporto e l'ottimizzazione di flussi e condizioni di deflusso, l'implementazione di nuovi modelli di business, e la possibilità di raccolta e analisi dei dati per l'elaborazione di azioni in coerenza con i fabbisogni infrastrutturali del Paese.

1.4 I benefici attesi

I benefici attesi della *digital transformation* della rete stradale insisteranno su cittadini, imprese e pubbliche amministrazioni.

Le Smart Road consentiranno di attivare un uso proattivo della tecnologia integrata all'interno dell'infrastruttura, aumentandone la resilienza e la gestione ottimale, potendone variare le caratteristiche prestazionali sulla base di input precisi. Le nuove tecnologie permettono, infatti, di ottenere una grande quantità di dati sullo stato delle infrastrutture e del traffico, informazioni che potranno essere messe a disposizione dei gestori, dei viaggiatori e dei fornitori di servizi.

L'uso intelligente di questa massa imponente di informazioni, reso possibile anch'esso dalle nuove tecnologie, permette poi di creare nuovi strumenti di gestione ottimizzati (che, occorre notare, contribuiscono a sostenibilità e qualità della vita). Le infrastrutture sono, inoltre, di fondamentale importanza per il monitoraggio del territorio, rappresentando il telaio diagnostico su cui far viaggiare le informazioni. E' necessario consolidare la logica della convergenza tra reti ed informazioni, anche per aggregare in maniera efficiente i dati sui rilevamenti territoriali.

Benefici, come l'incremento delle sicurezze, saranno possibili, da un lato grazie all'adeguamento delle infrastrutture stradali a maggiori livelli di automazione e connettività, dovute all'interazione con varie tipologie di sensori, tra cui gli stessi veicoli; dall'altro attraverso un monitoraggio continuo e multiparametrico su strutture quali ponti, viadotti e gallerie, che consentiranno di passare da un approccio reattivo ad uno proattivo alla manutenzione - ordinaria e straordinaria - delle infrastrutture.

L'attenzione contemporanea all'infrastruttura e alla circolazione contribuirà anche a rendere la mobilità stradale *shock resistant*, qualità sempre più necessaria. Ne deriva che, le Smart Roads si caratterizzeranno, per tecnologie, funzioni e servizi che intervengono nella manutenzione e gestione dell'infrastruttura, migliorandone l'efficacia, diminuendo i costi nell'intero ciclo di vita e aumentando la resilienza.

Infine, in funzione delle informazioni raccolte sulle strade, sarà possibile di fornire alcuni servizi, in tempo reale, verso *device* di bordo o verso gli *smartphone* degli utenti.

Un insieme di servizi ancora più vasto è possibile, a partire da soluzioni di navigazione predittiva per giungere a soluzioni di monitoraggio delle merci pericolose.

Tra i servizi che sarà possibile fornire agli Enti gestori e alle imprese comunque interessate alla gestione, oltre a quelli utili al miglioramento della manutenzione e della gestione dell'infrastruttura, vanno considerati quelli relativi alla gestione del traffico e della mobilità. Pochi esempi possono chiarire le opportunità: lo stato rilevato della pavimentazione, lo stress delle infrastrutture, la situazione monitorata delle barriere e dei terreni circostanti motivano interventi di messa in sicurezza e di manutenzione preventiva e correttiva quando necessario; la presenza di neve e ghiaccio è utilizzata per allertare i mezzi spazzaneve o i mezzi di soccorso, ed essere integrata nella rete di monitoraggio ambientale a servizio della protezione civile.

Per gli utenti finali in qualità di cittadini, oltre alla possibilità di attivare l'*extended customer experience*, si dispiegherebbero tutti i vantaggi derivanti dal miglioramento della mobilità, urbana ed extraurbana, dall'aumento della sicurezza e dalla riduzione dell'incidentalità, nonché dalla possibilità di esercitare agevolmente controllo sulle opere pubbliche.

Per le imprese, i benefici sarebbero diretti e indiretti. Tra i primi vanno annoverati: la possibilità di effettuare il puntuale monitoraggio delle merci e i vantaggi in termini di costi e tempi derivanti dall'efficientamento dei trasporti, nonché la possibilità per le imprese d'innovazione di studiare, produrre e

vendere tecnologia sul nuovo mercato che si creerebbe. Per i secondi bisogna fare riferimento all'indotto del settore infrastrutturale, che beneficerebbe della rinnovata disponibilità di investimenti nel settore, così come al complessivo aumento del livello di produttività derivante dall'*upgrading* tecnologico.

In conclusione, la rivoluzione digitale del sistema infrastrutturale italiano genererebbe indiscutibili e diffusi benefici. Considerando che, secondo le stime del Fondo Monetario Internazionale, per 1\$ investito in infrastrutture il valore aggiunto generato è di 3\$, diventa imprescindibile nell'interesse del Paese, dedicare risorse finanziarie al settore delle infrastrutture. La possibilità di massimizzare il beneficio atteso, attraverso l'investimento in tecnologie è l'obiettivo che il MIT si è posto con l'iniziativa Smart Road.

1.5 Roadmap dell'iniziativa

Per giungere ad individuare gli standard prestazionali tecnologici di riferimento per le Smart Road italiane, il MIT ha deciso, coerentemente con l'impronta di concretezza delle nuove politiche infrastrutturali, di dotarsi di una *roadmap* precisa.

L'Iniziativa prevede, a partire dai *contenuti tecnici l'elaborazione* di un position paper da discutere con gli *stakeholders*.

In particolare, l'approccio, secondo cui questo documento è redatto, prevede la centralità degli aspetti logico/funzionali, che includono la definizione dei dati/informazioni che possono essere scambiati dalle varie funzionalità e con sistemi di raccolta/analisi a livello centrale. Tale scelta è dovuta alla maggiore libertà, che essa determina in capo al soggetto attuatore nelle modalità di realizzazione, evitando il rischio di rapida obsolescenza nel caso di una definizione di standard tecnologici. Grazie alla ricognizione effettuata, si arriva alla *creazione di un paniere di specifiche prestazionali*, definendone l'aspetto tecnico-funzionale ma non quello tecnologico. Infatti, in molti casi, le stesse funzioni e servizi, e le stesse prestazioni, possono essere raggiunte anche applicando tecnologie diverse.

Lo step successivo prevede la *condivisione dei contenuti individuati con gli stakeholder rilevanti*. Il fine è quello di individuare l'ordine di priorità delle specifiche da considerare improrogabili nell'ottica della gestione dell'infrastruttura, del governo dei dati e della direzione verso cui si sta orientando il settore privato.

La ricezione degli input derivanti dai momenti di condivisione di cui sopra dovrà concretizzarsi nell'*individuazione degli standard minimi* a cui le infrastrutture stradali dovranno rispondere per diventare smart. L'ambito di applicazione di questo documento comprende le infrastrutture stradali della TEN-T, nonché quelle dello SNIT (Sistema Nazionale Integrato dei Trasporti), oltre ad infrastrutture di completamento da identificare con successivi atti del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (MIT). *L'applicazione degli standard avverrà ad un progressivo adeguamento della dotazione infrastrutturale utilizzando vari strumenti operativi*, a partire dai prossimi Contratti di Programma con ANAS e dalla gestione delle Concessioni Autostradali; la condivisione sia degli obiettivi sia degli standard assicurerà che le decisioni prese siano non-divergenti rispetto ai piani di sviluppo strategico dei gestori e concessionari di infrastrutture.

In conclusione, gli standard minimi individuati si tradurranno in un criterio per la valutazione degli interventi – coerentemente con le disposizioni previste D. Lgs. 228/2011 - funzionale a definire la rispondenza dei progetti di fattibilità agli standard funzionali individuati, che in questo modo contribuiranno a garantire il finanziamento di interventi coerenti con i reali i fabbisogni infrastrutturali del Paese.

PARTE 2 - Visione di sistema e indirizzi tecnici

L'obiettivo della presente sezione è fornire una visione organica e integrata delle funzioni e dei servizi che le strade smart dovranno offrire. Le Smart Road possono essere categorizzate in due tipologie: tipo I e tipo II. Le Smart Road di tipo I soddisfano specifiche di *digital transformation* più stringenti - ad esempio prevedono la raccolta di un maggior numero di rilievi di traffico - e, in linea di massima coincidono con quelle della rete TEN-T.

La Digital Transformation è un processo dinamico che, a regime e su un orizzonte temporale da stabilire, realizza servizi e soluzioni. Alla base del processo deve essere posta la realizzazione di opportune *strutture/piattaforme abilitanti*, di cui i gestori delle Smart Road dovranno dotarsi come base per la realizzazione delle funzioni e per l'erogazione dei servizi. Dopo la descrizione delle strutture/piattaforme abilitanti si procederà in questa parte a ipotizzare le caratteristiche dei servizi. Nella PARTE 3, saranno oggetto d'analisi le specifiche prestazionali da rispettare ai fini dell'attivazione di funzioni e servizi.

2.1 Le strutture/piattaforme abilitanti

Un quadro integrato ed evolutivo, che risponda alle nuove esigenze in tema di mobilità è possibile solo se le tecnologie innovative vengono inserite in una "architettura di sistema" aperta e onnicomprensiva. Di questa architettura di sistema fanno parte alcune strutture abilitanti (piattaforme), non necessariamente visibili all'utente finale dei servizi, che formano però l'ossatura di base su cui si appoggiano, in modo efficace, le varie funzioni. Sono *caratteristiche* comuni di queste "*piattaforme*":

- › La natura "*abilitante*" per diverse categorie di funzioni e servizi, sia che si indirizzino ai viaggiatori che ai gestori/operatori o a terzi.
- › La natura "*aperta*" a terzi. Le strutture potranno essere messe a disposizione di terzi, a condizioni di mercato, per lo sviluppo di applicazioni orientate al mercato. La combinazione delle due caratteristiche ("abilitante" e "aperta") permette alle strade digitali di diventare "promotori di sviluppo" per il paese.
- › La natura "*evolutiva*", che permetterà di adeguare, nel tempo, le strutture abilitanti alle nuove offerte tecnologiche. Anche le indicazioni tecnologiche contenute nel seguito sono da intendersi come semplici esempi di opportunità attuali e non come prescrizioni.

Tali piattaforme abilitanti si concretizzano in strutture che si basano su elementi quali la connettività di persone e veicoli, gli open data, i big data e l'Internet of Things. Si tratta di temi di massima attualità, centrali nell'ambito della digital transformation delle infrastrutture di trasporto e su cui è necessario soffermarsi prima di esplorare la gamma di funzioni e servizi alla base della *digital transformation*.

2.1.1 Rete di comunicazione "seamless" per viaggiatori e veicoli

La *connettività efficiente di persone e veicoli* è condizione essenziale per le strade digitali. A questo fine l'Ente gestore deve predisporre le condizioni affinché sia garantita:

- › La *connettività delle persone* e degli strumenti informatici (a servizio sia dei viaggiatori che degli operatori stradali e di terzi) di tipo WIFI, almeno in condizioni stazionarie (in

stazioni di servizio aree di sosta e simili) e, per le Smart Road di tipo 1, durante il viaggio (e.g. mediante reti WiFi “fast handover – 802. 11r” o simili).

- › La **connettività dei veicoli** (sia automatizzati che tradizionali) di tipo V2V e V2I (cioè per la comunicazione tra veicoli e con l’infrastruttura dotandosi di piattaforme integrate di comunicazione basate sugli standard ETSI G5 DSRC (Wave – 802.11p) oppure sulle evoluzioni LTE. Qualora venga scelta la soluzione “802.11p”, deve comunque essere garantita la connessione “in rete”, con la banda opportuna, di tutti gli apparati periferici e centrali.
- › La **connettività delle infrastrutture**, in quanto anche le apparecchiature lungo la rete stradale, utili al trasferimento di informazioni agli utenti, dovranno essere dotate della capacità di comunicare. Di conseguenza, la rete di connessione dovrà includere anche le apparecchiature lungo la rete stradale (stazioni di controllo e misura, pannelli a messaggio variabile e simili) che dovranno quindi essere dotate della capacità di comunicare ai veicoli (V2I).

2.1.2 “Open data” & “Big data”

Le strade digitali sono destinate a generare una molteplicità di dati, di interesse per il gestore dell’infrastruttura, per i viaggiatori e per le autorità e per gli enti di pianificazione; dati che possono essere fattori abilitanti per lo sviluppo di aree di business innovative (si pensi agli sviluppatori di applicazioni). Affinché i dati possano effettivamente svolgere il duplice ruolo, di rendere più efficiente il trasporto e promuovere lo sviluppo, devono essere verificate le seguenti due condizioni:

1. siano “**aperti**” (secondo modalità certe e note)
2. siano effettivamente **fruibili** (a condizioni note)

Per il rispetto della prima condizione, il gestore dovrà attenersi alle normative esistenti (CE e nazionali), mentre per il rispetto della seconda condizione il gestore dovrà dotarsi di una opportuna piattaforma di archiviazione, ricerca ed elaborazione dei dati basata sulle tecnologie moderne e tale da rendere semplice ed efficace la ricerca, l’elaborazione ed il trasferimento dei dati, sia per uso interno (servizi per il gestore), sia per uso da parte di terzi con diritti di accesso.

2.1.3 Rete di connessione di “oggetti” (sensori, attuatori) – Internet of Things

La strada digitale, nella sua prevista evoluzione, verrà dotata di una **molteplicità di sensori** di diverso tipo, con prestazioni e pervasività presenti nel tempo. Si pensi, a titolo di esempio, ai sensori per il traffico nei suoi vari aspetti, per lo stress dei manufatti e per le condizioni dei terreni, ai sensori meteo locali o a quelli ambientali, ai sensori per il monitoraggio di ponti, viadotti e gallerie, barriere stradali, paravalanghe: la tecnologia offre già oggi (e offrirà sempre più nel futuro) soluzioni di basso costo per esigenze specifiche. Si prevede infine – per il futuro immediato - che il mercato, sia dei sensori che delle varie applicazioni sia molto importante. Le strade sono chiaramente candidate a diventare uno dei settori di interesse, sia per le applicazioni dirette alla rete stradale sia come entità abilitanti per applicazioni al servizio dei territori attraversati.

A questo fine, il gestore delle strade dovrà predisporre, vista la natura “abilitante” per l’innovazione diffusa (produttori di sensori, sviluppatori di applicazioni, fornitori di servizi), una **dorsale**

di connessione di tipo “IoT”, aperta a terzi a condizioni di mercato. Una possibile soluzione tecnologica aperta (qui citata a titolo di esempio) viene indicata come LPWAN (Low Power-Wide Area Network) e prevede punti di comunicazione (gateway) con distanze tra loro dell’ordine di grandezza dei 10/12Km.

2.1.4. L’interazione con i viaggiatori (crowdsourcing)

Il coinvolgimento dei viaggiatori è, come si è visto nell’introduzione, una delle caratteristiche significative della Smart Road. Per garantire almeno un livello minimo di partecipazione, la smart road dovrà porre il viaggiatore nella possibilità di comunicare in modo attivo e di “informare” il gestore sulle condizioni stradali, sul traffico, sugli eventi anomali. Esperienze recenti mostrano che una buona gestione del rapporto con gli utenti, per rilevare informazioni utili, può contribuire a migliorare il monitoraggio, aumentandone l’efficienza complessiva, a costi contenuti (il modello da applicare va sotto il nome di “crowdsourcing”). Il gestore dovrà quindi predisporre (o utilizzare) piattaforme di interazione, realizzando le opportune applicazioni per un uso appropriato delle informazioni provenienti dagli utenti, eventualmente anche attraverso dei sistemi di comunicazione diretti o semi-diretti (mediati dai guidatori/viaggiatori) con i veicoli.

2.2 Funzioni e servizi

2.2.1 Raccolta, elaborazione e distribuzione dei dati sulla circolazione, sul traffico e sulla sicurezza strutturale

Le *specifiche di raccolta, elaborazione e distribuzione di dati* sono finalizzate ad una più agevole gestione e/o fruizione del patrimonio infrastrutturale nazionale da parte di utenti non-finali della filiera organizzativa e gestionale (es.: autorità ed operatori stradali, fornitori di servizi) e degli utenti finali (utilizzatori della strada – persone fisiche e giuridiche – nonché veicoli). Il tutto è congruente con l’obiettivo comunitario e nazionale di favorire la diffusione e l’utilizzo operativo dei sistemi di trasporto intelligenti (ITS) in tutto il territorio dell’Unione europea. Ricaduta non secondaria è la creazione d’un ecosistema tecnologico e funzionale favorevole al mondo dell’innovazione e della produzione di servizi ad alto valore aggiunto, con particolare riferimento all’ambito dei servizi di informazione in tempo reale sul traffico, dell’assistenza agli spostamenti, della assistenza alla guida e della sicurezza stradale.

In tale contesto, il ruolo dei soggetti tenuti alla applicazione delle specifiche va inquadrata nell’ambito della catena del valore stabilita dalla Traveller Information Services Association, alla quale è ispirata la seguente figura.



A. Misura ed osservazione dei dati

La misura ed osservazione consiste nell'identificazione sistematica e nella rappresentazione organica ed accessibile delle seguenti categorie di dati:

- › **caratteristiche statiche** della circolazione sulle infrastrutture stradali e sulle reti (es.: geometria, numero corsie, segnali stradali, limiti velocità, pedaggi, ecc. – si confronti il punto 1 dell'allegato al regolamento delegato 962/2015);
- › **caratteristiche dinamiche** della circolazione sulle infrastrutture stradali e sulle reti (es.: regole e disposizioni reversibili, condizioni della strada, velocità consigliate, ecc. – si confronti il punto 2 dell'allegato al regolamento delegato 962/2015);
- › **dati di traffico e viaggio** (es.: volumi/flussi di traffico, ubicazione e presenza di code, velocità, tempi di percorrenza, ecc. – si confronti il punto 3 dell'allegato al regolamento delegato 962/2015).

Si può prevedere l'utilizzo di innumerevoli tecniche per l'acquisizione di dati di traffico e di viaggio. A titolo esemplificativo si possono citare:

- › i **sensori sulle infrastrutture** (road-side, above ground, annegati nella pavimentazione, annegati o applicati sulle strutture stesse, ecc.);
- › il **crowdsourcing** (dati forniti volontariamente dai viaggiatori, per il tramite di dispositivi personali e di bordo, attraverso l'apposita piattaforma);
- › **l'informazione ottenuta direttamente dai veicoli** (usando l'apposita piattaforma di comunicazione V2I e/o i metodi di comunicazione convenzionali).

Le specifiche da rispettare per la misura ed osservazione dei dati sono riportate nel paragrafo 3.1.

B. Elaborazione del contenuto informativo

L'elaborazione del contenuto informativo consiste nell'accesso ai dati raccolti allo scopo di:

- › **ottenere dati derivati**;
- › **integrare le osservazioni** con ulteriori fonti complementari;
- › realizzare **estensioni spaziali** o **proiezioni temporali**;
- › **verificare/validare la qualità** dei dati allo scopo **di migliorarne l'affidabilità**.

I soggetti gestori delle strade sono tenuti all'elaborazione del contenuto informativo delle misure ed osservazioni di cui al precedente punto A, nonché alla loro storicizzazione, alla realizzazione dell'estensione temporale con stime e previsioni almeno nel breve termine, alla validazione della qualità dei dati raccolti ed elaborati e, infine, alla sistematizzazione dell'accesso a tutto il contenuto informativo disponibile in modo fruibile per utenti non-finali e con lo scopo di realizzare un *content-provider minimo*.

Sia i soggetti gestori delle infrastrutture sia i soggetti terzi possono arricchire il content-provider minimo con dati ed elaborazioni provenienti da ulteriori fonti complementari. Ne risulta un sistema distribuito dei content-provider giacché i soggetti che elaborano i dati possono essere vari e diversi.

Si noti che, ai sensi del regolamento delegato europeo 962/2015, il sistema dei *content provider* (costituito almeno da quello minimo) deve avere, ove possibile, caratteristiche di trattamento dei dati georeferenziati compatibili con le specifiche stabilite dalla direttiva 2007/2/CE (direttiva Inspire) e dai suoi atti di esecuzione, in particolare, il regolamento (UE) n. 1089/2010 della Commissione Europea. Ai sensi del regolamento delegato europeo 962/2015 e del decreto interministeriale del 1 febbraio 2013 (cosiddetto Decreto ITS), l'accesso al sistema dei *content-provider* deve potere avvenire anche attraverso il punto di accesso nazionale istituito presso il CCISS. L'accesso al sistema dei *content-provider* è immaginato avvenire tipicamente da parte di utenti non-finali.

C. Predisposizione dei servizi informativi e presentazione delle informazioni

La predisposizione dei servizi informativi consiste nella ***trasformazione dei dati disponibili nel sistema dei content-provider in informazioni fruibili da parte di utenti finali***. Occorre definire gli obiettivi della informazione, il target di utenti finali, gli obiettivi ed il contesto, le modalità di fruizione, il canale di distribuzione, la frequenza di aggiornamento, ecc.. Fa parte di questa fase la formattazione dei flussi informativi e la loro immissione sul canale di distribuzione. Ai sensi del regolamento delegato europeo 962/2015 e del decreto interministeriale del 1 febbraio 2013 (cosiddetto Decreto ITS), la predisposizione dei servizi informativi deve, ove applicabile, essere congruente con lo standard DATEX-II (CEN/TS 16157 e successivi aggiornamenti).

L'accesso al sistema dei *content provider*, ai fini della predisposizione di servizi informativi, è favorito e regolato anche per le start-up innovative e per i soggetti giuridici del mondo delle microimprese tecnologiche, nonché per i centri di ricerca e per gli incubatori tecnologici e di impresa. Lo scopo è di abilitare un vasto ecosistema tecnologico favorevole allo sviluppo di servizi avanzati per gli utenti finali. Si ricorda che, l'accesso al sistema dei *content-provider* deve avvenire secondo le regole degli open-data.

Tra i servizi riservati agli enti gestori delle infrastrutture vi sono quelli collegati alle applicazioni di sicurezza stradale (es.: disposizioni e regole temporanee, avvisi, gestione delle emergenze, ecc.), alla manutenzione delle infrastrutture e delle sovrastrutture (comprese le regole di circolazione conseguenti), al controllo del traffico, al controllo del rispetto delle regole di circolazione ed utilizzo delle infrastrutture ed alla conseguente preparazione di elementi per l'elevazione ed esazione di multe, alla applicazione di tariffe e pedaggi ed alla loro esazione.

Gli enti gestori delle infrastrutture forniscono anche informazioni sul traffico e relative al viaggio direttamente ai loro utenti. A tale scopo integrano i sistemi convenzionali (pannelli a messaggio variabile, bollettini radio e TV, web, ecc.) con i nuovi sistemi di comunicazione diretta ai veicoli (V2I), usando la piattaforma apposita.

2.2.2 Raccolta, elaborazione e distribuzione dei dati sull'Infrastruttura

La smart road deve guardare anche all'infrastruttura, digitalizzando tutto il processo che va dalla progettazione, alla realizzazione e poi all'utilizzo e alla manutenzione: l'utilizzazione di strumenti standard, digitali e condivisi che possano seguire tutte le fasi, accompagnando tutte le fasi e crescendo insieme alla strada, diventa l'elemento portante per migliorare la gestione senza aumentarne i costi. Inoltre, costituisce la base su cui si possono inserire i dati dinamici che verranno rilevati dai sensori e dai veicoli sullo stato delle infrastrutture e della pavimentazione, permettendo anche di realizzare – in

modo standardizzato e con procedure normalizzate e automatizzate – analisi periodiche sullo stato complessivo delle infrastrutture.

A. Il modello digitale della infrastruttura

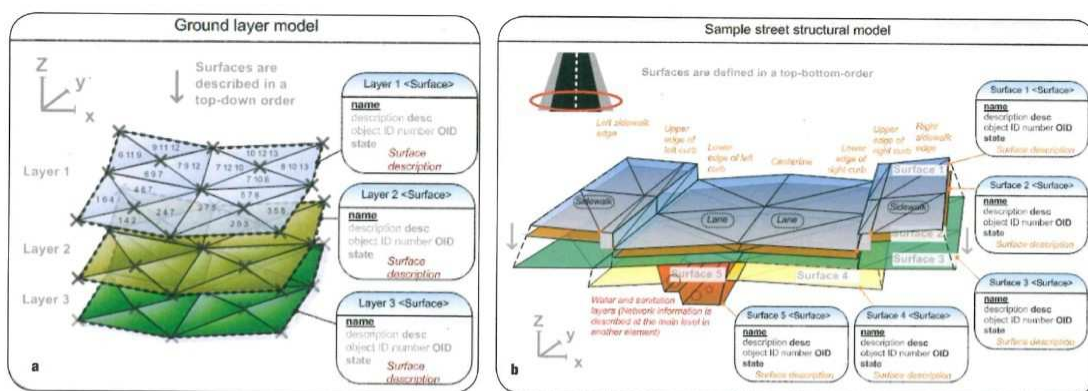
Il processo di trasformazione digitale delle strade coinvolge per sua natura molteplici aspetti che spaziano dall'analisi dell'area di influenza, alla valutazione delle interferenze che le strade hanno con le altre infrastrutture, fino alla interazione con opere strutturali, architettoniche e impiantistiche. Questa multidisciplinarietà richiede il trattamento di dati in formati differenti. Unitamente ai tracciati plano-altimetrici è necessario gestire da un lato le informazioni legate al territorio mediante piattaforme GIS (banche dati alfanumeriche relazionate con cartografie digitali) che trattano tipicamente superfici o rappresentazioni puntuali, e dall'altro i dati che riguardano le opere strutturali e architettoniche, tipicamente modellate come solidi. Questo fattore non è però limitato all'aspetto squisitamente geometrico, ma è legato soprattutto al contenuto informativo delle rappresentazioni medesime. Per tale motivo gli esperti del *Department of Business Innovation and Skills* (UK) hanno introdotto una classificazione in tre livelli per qualificare il grado di maturità del processo di modellazione digitale e di interazione tra gli attori del processo stesso; dal semplice primo livello costituito dai modelli CAD 2D, si passa ai formati 3D (secondo livello) sino allo stadio in cui a ciascun oggetto del modello sono associate tutte le informazioni utili per la distribuzione in cloud del prodotto gestibile interattivamente in multiplatforma (terzo livello). Il BIM è lo strumento che meglio si adatta a tali esigenze operative nei diversi ambiti e in tutti gli stati di avanzamento del ciclo di vita dell'opera, dalla concezione alla dismissione.

La piattaforma BIM infrastrutturale consente a tutti gli attori di interagire con un modello unico condiviso, e permette a ciascuno di essi di operare all'interno delle proprie aree di competenza. Grazie a questa tecnologia, anche detta dei Quadri DCM (Design, Construct, Maintenance), gli specialisti condividono le modifiche da loro apportate al modello e contemporaneamente ricevono quelle realizzate da altri utenti; tutti gli operatori partecipano così allo sviluppo del modello in maniera dinamica. Ciò permette di evitare inutili copie di file, di semplificare la gestione delle diverse parti dell'opera, di garantire un continuo monitoraggio dell'avanzamento della modellazione e di verificare l'operato di ciascuno degli utenti interagendo direttamente con essi.

Nel suo oramai consolidato impianto, Il BIM è dunque un dispositivo - metodologico e tecnologico - finalizzato alla gestione dei processi e delle fasi operative di modellazione digitale delle opere. La Direttiva Europea 2014/24/EU raccomanda l'utilizzo del *Building Information Modeling* (BIM). Si veda in particolare la citazione esplicita nella versione inglese "*building information electronic modelling tools*" (Articolo 22, paragrafo 4), ovvero "strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie" (versione italiana). Le piattaforme BIM infrastrutturali, nel quadro della più generale innovazione determinata dalla metodologia IMM (Information Management & Modeling), consentono di gestire dati disomogenei per definizione formale e informazioni associate ai contenuti geometrici. Il supporto del BIM è essenziale per la configurazione di un contenitore di gestione dati di natura topografica, delle nuvole di punti (Point Clouds, PC), dei rilievi laser scanner per l'acquisizione intensiva di dati di raffittimento, delle mesh, ecc. Tutte le informazioni elaborate in formati non necessariamente interconnessi devono essere omogeneizzate nei contenuti e nell'architettura informatica. I dati possono essere rielaborati per la generazione del modello digitale del terreno costituito da una successione di superfici (modelli di elevazione generati per tassellazione e

triangolazione). A partire da questi (e da altri) dati di base, è possibile pervenire alla ricostruzione digitale dell'asse tridimensionale della strada. In base agli allineamenti e mediante la definizione delle sezioni trasversali, la piattaforma BIM permette di generare il modello tridimensionale dell'infrastruttura, comprensivo di ulteriori elementi caratteristici: stratigrafia delle sovrastrutture e dei sottofondi, fossi e cunette, reti di drenaggio delle acque di piattaforma, impianti speciali, opere complementari, sottoservizi, ecc. In pratica operando per fasi su elementi bidimensionali si giunge alla creazione di un modello tridimensionale. Il modello 3D consente pertanto di visualizzare l'infrastruttura e la piattaforma BIM ne evidenzia le relazioni con l'ambiente circostante. Il BIM consente pertanto di pervenire alla caratterizzazione di ciascuno degli elementi del modello infrastrutturale mediante la definizione di classi di oggetti. Una struttura di questo tipo presuppone la suddivisione della strada in un numero definito di componenti e la conseguente associazione ad esse di un adeguato contenuto informativo. La piattaforma BIM assicura inoltre la possibilità di estrarre dal modello le planimetrie, i profili longitudinali e le sezioni trasversali in qualunque momento. Gli elaborati possono essere dinamicamente aggiornati a seguito di eventuali modifiche apportate al modello per interventi di adeguamento e/o manutenzione straordinaria del corpo viario. Un dei principali punti di forza della modellazione parametrica delle infrastrutture è pertanto l'interoperabilità con le altre piattaforme BIM, ovvero la possibilità di trasferire contenuti informativi generati da applicativi software diversi utilizzando sistemi aperti (OpenBIM, buildingSMART bSI); tra questi ultimi il formato più diffuso è noto come IFC (Industry Foundation Classes, basato sullo standard ISO 16739:2013) che ha raggiunto un notevole grado di maturità in campo architettonico e strutturale. All'interno della piattaforma BIM i modelli IFC per le infrastrutture dialogano agevolmente con i modelli IFC architettonici/strutturali.

La modellazione parametrica del solido stradale e le relazioni di questa con strumenti di gestione di area vasta richiedono pertanto specifici standard. Il primo passo verso l'estensione del formato IFC alle Infrastrutture è stato già compiuto e riguarda in particolare il modello geometrico del tracciato (bSI Final Standard, luglio 2015); mentre lo standard completo per le infrastrutture è ancora in lavorazione a cura di (bSI e OGC Open Geospatial Consortium). Attualmente lo standard più diffuso per le infrastrutture è il LandXML perchè favorisce il cosiddetto "modello collaborativo" (interazione operativa tra tutte le figure professionali coinvolte nel processo di digitalizzazione).



Esempi di struttura dei dati gestita mediante LandXML (LeStrade, febbraio 2016)

La trasformazione digitale 3D delle infrastrutture viarie può essere inoltre estesa all'analisi dei tempi (BIM 4D), alla gestione dei costi (BIM 5D) e infine alla gestione della manutenzione stradale (BIM 6D).

Un'esigenza specifica della trasformazione digitale delle opere viarie consiste nell'acquisizione delle caratteristiche geometriche delle strade esistenti. Il processo è noto come reverse engineering, o Scan to BIM, e genera modelli ad oggetti implementabili e fruibili in piattaforme BIM. Gli oggetti a geometria solida sono generati mediante PC derivati da procedure di scanning. Tali tecniche di generazione Scan to BIM sono ad oggi scarsamente automatizzate e devono essere utilizzate da operatori esperti in grado di manipolare dati interoperabili in ambiente multiplatforma. Il workflow delle operazioni che compongono il processo di trasformazione dei dati metrici in volumetrie digitali e modelli parametrici è di seguito sintetizzato.

1. Acquisizione sul campo delle misure: l'output di questa fase consiste in PC, allo stato grezzo prive di vuoti informativi, relazionabili con altre PC;
2. Georeferenziazione delle PC: inserimento dei dati in un sistema di riferimento geografico unitario;
3. Creazione della superficie tridimensionale (DTM, Digital Terrain Model) a partire dalla PC;
4. Generazione e classificazione degli elementi BIM: è in questa fase che si costruiscono gli oggetti IFC da integrare nel modello complesso;
5. Modellazione BIM della Smart Road

B. Dati dinamici sullo stato dell'infrastruttura

Tutte le componenti dell'infrastruttura della Smart Road saranno oggetto di un monitoraggio continuo, utilizzando diverse metodologie di raccolta dati:

- › Sensori dedicati (connessi prevalentemente alla piattaforma IoT)
- › Ispezioni specifiche
- › Dati derivati dai veicoli (in particolare per la superficie stradale)
- › Informazioni ricevute dagli utenti ("crowdsourcing")

Tra gli elementi principali oggetto del monitoraggio, si possono ricordare:

- › Il corpo stradale (rispetto a stress, stabilità, ecc.)
- › Le barriere ed i sistemi di ritenuta (per urti, rotture, usura)
- › Le sovrastrutture stradali (si veda più avanti il capitolo dedicato agli indici di degrado delle pavimentazioni stradali)
- › Le opere d'arte, strutture quali ponti viadotti e gallerie (per valutare i livelli di sicurezza)
- › Le aree di pertinenza (caduta massi, smottamenti, allagamenti)

Con specifico riferimento alle strutture, poiché le azioni agenti, di natura antropica e/o ambientale, ne riducono progressivamente la resistenza, la quale è anche influenzata dall'invecchiamento dei materiali da costruzione, è necessario controllare che nel corso della prevista vita di servizio esse mantengano margini di sicurezza superiori a quelli minimi prescritti dalle norme. Lo strumento più efficace per il controllo delle strutture è il monitoraggio continuo, reso ora possibile ed agevole dallo sviluppo delle nuove tecnologie, che consente la realizzazione di microsensori di costo contenuto ed elevata affidabilità nel tempo.

Tenuto conto della esigenza di monitorare l'evoluzione della risposta strutturale delle opere d'arte inserite nelle infrastrutture viarie, i parametri di base che debbono essere oggetto di controllo e misura sono essenzialmente riconducibili a:

- › accelerazioni,
- › deformazioni locali e di insieme

I parametri sono tali da consentire il controllo della risposta attesa, quale deducibile dai modelli matematici che descrivono il comportamento meccanico delle strutture, opportunamente calibrati sulla reale consistenza strutturale. Il loro monitoraggio può avvenire con l'impiego di varie tipologie di strumenti di misura quali inclinometri, accelerometri, misuratori di deformazione locale ed altre tecnologie in continua evoluzione.

L'impiego combinato di diverse tecniche di misura è da suggerire non solo per la migliore rispondenza ai parametri specifici da misurare, ma anche per la robustezza che consegue il sistema integrato di misura, grazie alla ridondanza intrinseca nel processo di valutazione delle misure. Per tutti questi strumenti dovrà essere prevista la possibilità di pre-installazione al momento della costruzione nonché la post-installazione sul patrimonio esistente.

Le misure raccolte saranno rese disponibili al modello matematico della struttura e verrà effettuata il controllo di congruenza tra risposta attesa e misurata; in grado di attivare soglie di allarme e le conseguenti azioni.

I risultati del monitoraggio andranno ad alimentare una base storica dello stato delle infrastrutture e delle strutture, che a sua volta sarà utilizzata per l'ottimizzazione della manutenzione preventiva e per gli interventi di manutenzione correttiva.

C. Monitoraggio dello stato della pavimentazione

La pavimentazione della smart road sarà oggetto di un monitoraggio continuo, che il gestore realizzerà, allo scopo di:

- › essere consapevole dello stato generale dell'infrastruttura stradale;
- › definire gli standard prestazionali di riferimento;
- › scegliere e determinare le tipologie più idonee di interventi manutentivi;
- › calcolare i costi specifici degli interventi di manutenzione;
- › valutare lo stato delle pavimentazioni per comunicazioni chiare all'utenza;
- › confrontare diversi tronchi stradali, sulla base della stessa scala di valutazione, per stabilire le priorità di intervento.

Lo stato della pavimentazione sarà rappresentato da opportuni "indicatori di stato", scelti in base alle necessità specifiche del gestore, tra gli "indicatori di stato specifici" o gli "indicatori di stato sintetici o globali".

I primi definiscono una ben determinata caratteristica della sovrastruttura, essendo parametri indicativi delle prestazioni funzionali (regolarità superficiale e aderenza superficiale) o strutturali (capacità portante e relativi dissesti) della pavimentazione stessa.

Gli indicatori del secondo tipo forniscono una rappresentazione complessiva dello stato della sovrastruttura, sintetizzando al loro interno, con un unico parametro, alcune caratteristiche specifiche. Gli indici sintetici (di cui il Pavement Condition Index –PCI è un esempio) sono molto utili nei sistemi di gestione delle pavimentazioni stradali (Pavement Management Systems - PMS), in quanto offrono all'ente gestore un giudizio dello stato di tutta la strada. Un indicatore globale può inoltre essere strutturato per accogliere al suo interno indicatori che possono prevedere una valutazione di altre caratteristiche della strada oltre a quelle relative la pavimentazione, come la sicurezza, ma anche segnaletica orizzontale e verticale, ecc.

Facendo riferimento all'esperienza nazionale e internazionale, lo stato della pavimentazione può essere ben rappresentato da più indicatori specifici che fanno riferimento rispettivamente alle seguenti caratteristiche:

- 1. regolarità longitudinale (RI);**
- 2. regolarità trasversale (RT);**
- 3. aderenza pneumatico - pavimentazione (A);**
- 4. macrotessitura (M);**
- 5. capacità portante (P);**
- 6. dissesti/degradi superficiali (DS).**

La conoscenza di tali caratteristiche permette di costruire un quadro chiaro dello stato delle sovrastrutture della rete nei confronti di tutti gli aspetti fondamentali che un ente gestore deve sempre avere ben presenti.

Gli indici di stato vengono periodicamente aggiornati a seguito di monitoraggi comprendenti misure strumentali e/o ispezioni visive in sito.

Per ciascuna caratteristica da rilevare esistono in Italia alcuni riferimenti normativi, peraltro non esaustivi, circa l'esecuzione di misurazioni e ispezioni (sia norme tecniche nazionali - UNI EN, sia standard nazionali - CNR e internazionali - ASTM, ISO) che possono essere utilizzate come linee guida. Tuttavia è bene evidenziare che, allo stato attuale, non esiste in Italia una specifica norma che disciplini le procedure di monitoraggio (a questo proposito è stato istituito un gruppo di lavoro presso UNI, con lo scopo di lavorare all'elaborazione di standard nazionali che dettino le regole per la definizione e l'esecuzione dei piani di monitoraggio da parte degli enti gestori).

Esistono diverse modalità di misura e valutazione degli indicatori di stato specifici e sintetici e, in generale, i rilievi si distinguono in “puntuali” e “in continuo”: la modalità del primo tipo prevede misurazioni effettuate con dispositivi collocati sul punto da rilevare, mentre quella del secondo tipo è detta anche “ad alto rendimento”, prevedendo una misura dinamica e, quindi, più veloce. I rilievi ad alto rendimento consentono sicuramente di raccogliere un maggior numero di dati senza determinare interruzioni di traffico, tuttavia viene solitamente lasciato all'ente la possibilità di scegliere la modalità di rilievo, valutando la compatibilità con la classificazione funzionale della strada e motivandone la decisione. L'esistenza della rete di connessione dei veicoli (V2I), delle piattaforme di crowdsourcing e

IoT può permettere di immaginare e sviluppare servizi innovativi in grado di rilevare dinamicamente le condizioni delle sovrastrutture stradali sia attraverso veicoli sonda appositamente equipaggiati e di proprietà/utilizzo da parte dei gestori delle strade, sia con soluzioni di connessione ai dati rilevati usualmente dalle centraline di controllo della dinamica e della stabilità dei veicoli.

D. Dati dinamici sugli interventi sulla rete stradale (e.g. cantieri)

Gli interventi programmati e in corso sulla rete stradale sono riportati in basi dati dinamiche e storiche (eventualmente usando i modelli della classe BIM6D), in modo tale da poter anche alimentare i servizi di informazione ai viaggiatori e i servizi di gestione del traffico sulla rete stradale. Per quanto riguarda questi servizi, i dati necessari sono relativamente pochi (inizio previsto, fine prevista, tipo di restrizione della carreggiata o chiusura e simili): caratteristica saliente di questi dati nella Smart Road sono:

- › la loro natura, contemporaneamente “obbligatoria” e “pubblica”
- › l’integrazione nei servizi e sistemi di gestione del traffico
- › la possibilità di utilizzo da parte di terzi per la generazione di servizi.

2.2.3 Gestione del traffico

La modernizzazione della rete stradale ha come obiettivo anche la migliore utilizzabilità del patrimonio infrastrutturale: le strade digitali offrono la base per la realizzazione di funzioni e servizi orientati ad una più efficace gestione del traffico.

A. Analisi prestazionale

L’Analisi prestazionale prevede lo *studio continuo delle prestazioni dei vari tratti stradali*. Diventa necessario prevedere funzioni che alimentino una base dati storica delle prestazioni, inclusi i dati relativi alla sicurezza stradale. Tra le funzioni per l’analisi delle prestazioni dei tratti significativi della rete stradale si annoverano:

- › *analisi delle prestazioni correnti* mediante confronto tra i dati correnti e i dati target (efficienza del traffico);
- › *analisi dei dati di sicurezza* per il confronto tra gli archi della rete;
- › *analisi dei dati sulle infrastrutture* (e.g. frequenza e severità dei cantieri) con il confronto tra tratti omologhi;
- › *mantenimento di un archivio di “punti neri”* per sicurezza, efficacia e resilienza delle infrastrutture.

B. Gestione scenari e Previsione

Le funzioni in questa area sono di supporto alla Gestione del Traffico e alla pianificazione; usano la massa di dati presenti in archivio (ed eventualmente altri dati ottenibili da terzi) per *effettuare previsioni* sul traffico, individuare possibili strategie di gestione, simularne le conseguenze e definire scenari di intervento coordinati e resi pubblici. Uno “*scenario di intervento concordato*” è caratterizzato da:

- › *rete interessata*
- › *elenco di eventi* che motivano lo scenario
 - tipo
 - localizzazione
 - severità
- › *elenco di azioni* contenute nello scenario (e.g. chiusure, diversioni, speed control, informazioni)
 - tipo
 - localizzazione
 - livello

Per ogni scenario applicato saranno archiviati il tempo di inizio e di fine e tutti i dati dello scenario. Le funzioni possibili sono:

- › analisi dei dati atti a stimare le matrici O/D e le scelte di percorso per diversi tipi di veicoli, ore e tipi di giorno;
- › previsione del traffico a breve, medio e lungo termine (da un'ora a diversi mesi), in condizioni "normali";
- › simulazione del traffico con diversi scenari e in presenza di diversi eventi anomali;
- › definizione di scenari coordinati di gestione (con simulazione degli effetti);
- › gestione dell'archivio "scenari";
- › decisione relativa all'attivazione di scenari in caso di eventi anomali;
- › gestione dello scenario attivato.

Le funzioni di stima e previsione del traffico, su qualsiasi orizzonte temporale, devono essere sviluppate/installate/testate e mantenute da tecnici altamente specializzati con preparazione specifica e documentata nel campo della ingegneria dei sistemi di trasporto.

L'insieme degli scenari concordati sarà reso pubblico (nelle forme opportune) per la conoscenza da parte di tutti i decisori dei territori interessati e dei fornitori di servizi informative.

C. Gestione operativa del traffico

In questa area ricadono le *funzioni che conducono alla formulazione di decisioni per la gestione del traffico*. A tal fine, possono essere utilizzate le funzioni di analisi e simulazione già elencate nell'area "previsione" e, se del caso, attuare gli "scenari" decisi. Le azioni possibili includono:

- › deviazioni dei flussi, in caso di ostruzioni gravi;
- › interventi sulle velocità medie, per evitare o risolvere congestioni (speed control);
- › suggerimento di traiettorie e corsie (lane control);
- › gestione dinamica di accessi (ramp metering);
- › gestione semaforica.

Le funzioni possibili sono:

- › analisi degli allarmi ricevuti su eventi vari;
- › verifica dell'archivio "scenari" e, ove esistenti e corrispondenti, decisione sulla loro applicazione;
- › attuazione di metodi di controllo automatici (velocità, corsia, rampe).

D. Gestione parcheggi (inclusi i servizi per i veicoli pesanti e i veicoli elettrici)

In questa area ricadono le funzioni che abilitano il supporto digitale alla sosta e al parcheggio. Sono di particolare importanza due casi, che richiedono informazione accurata e previsione: la sosta dei veicoli trasporto merci e la sosta (con il carico batteria) dei veicoli elettrici. Sono poi incluse anche le informazioni relative alle aree di sosta generali (disponibilità di servizi, di carburanti speciali, prezzi e simili). Le funzioni possibili sono:

- › Gestione delle informazioni (semi statiche) sulle aree di sosta;
- › Monitoraggio della situazione e previsione a breve termine della disponibilità (usando anche i dati correnti e storici di traffico e di domanda);
- › Gestione delle prenotazioni.

2.2.4 Sorveglianza, sanzionamento e sicurezza

Le funzioni in questa area sorvegliano la rete stradale, sanzionano i comportamenti illegali e tracciano, per ragioni di sicurezza, i movimenti di veicoli speciali o di veicoli segnalati. Molte delle funzioni di questa area sono abilitate dai servizi di raccolta, elaborazione e distribuzione dei dati sulla circolazione e sul traffico (2.2.1). Le funzioni sono:

- › gestione delle telecamere di sorveglianza;
- › gestione dei sistemi (video o altro) per il rilievo automatico delle targhe e delle infrazioni; tali sistemi possono essere anche utilizzati per la verifica ed il sanzionamento in caso di sistemi di pagamento dei transiti di tipo open-tolling; tra le infrazioni da rilevare, si ricordano:
 - eccessi di velocità
 - transiti vietati
 - manovre pericolose (in tratti specifici)
 - veicoli fermi (in tratti specifici)
 - veicoli in direzione vietata (ghost drivers)
 - incidenti gravi
 - uscite dalla carreggiata
- › sanzionamento delle infrazioni;
- › generazione di allarme verso la centrale operativa di emergenza per veicolo in senso di marcia errato.
- › confronto delle targhe per verifica di conformità (bollo, assicurazione).

Transiti eccezionali

Meritano di essere trattati in separata sede i transiti eccezionali, per i quali vanno previste specifiche funzioni in grado di abilitare la prenotazione, l'instradamento, il tracciamento e il

monitoraggio (con lettura targhe) per i transiti stessi. Inoltre, per le merci pericolose diventa necessario quanto segue:

- › predisposizione mappa dei rischi (statica e dinamica);
- › intercettazione e tracciamento veicoli (lettura targhe e codici Kemler).

In quest'ambito sono importanti le informazioni raccolte dal monitoraggio continuo di ponti e viadotti, in grado di garantire il mantenimento dei livelli di sicurezza a fronte di transiti eccezionali

2.2.5 Pagamento transiti

Le Smart Road devono essere predisposte per sistemi di potenziale esazione del pedaggio (o anche per politiche avanzate di controllo della domanda di mobilità, ivi comprese quelle basate sul concetto di crediti di mobilità e sulla osservazione di comportamenti virtuosi e viziosi dei viaggiatori). I sistemi, allo scopo di permettere una classificazione come Smart Road, devono avere caratteristiche di **esazione free-flow del pedaggio** (open tolling).

In particolare, ciascun sistema si deve basare su un sottosistema di enforcement in itinere dei veicoli che non abbiano adempiuto agli obblighi di tolling e di un sotto-sistema di pagamento del pedaggio che non preveda l'utilizzo di barriere. Il sotto-sistema di enforcement può utilmente estendere le funzioni del sistema di sorveglianza, sanzionamento e sicurezza (2.3.3). Il sistema complessivo deve possedere le seguenti caratteristiche funzionali:

- › Deve essere fruibile con transponder (OBU) ma anche senza (nel senso che deve potere non essere necessaria la comunicazione bidirezionale e la identificazione reciproca di una OBU da parte di un device a bordo-strada);
- › Deve essere direttamente e facilmente adattabile ad uno scenario in cui i le OBU, ove utilizzate, siano diffuse e differenti e basate sugli standard automotive (es.: 802.11p);
- › Deve avere caratteristiche multi-lane senza alcuna preselezione ed alcuna barriera;
- › Deve essere basato su un'adesione "volontaria" degli utenti che siano parte attiva del processo di pagamento della tariffa; tale aspetto è particolarmente (ma non esclusivamente) rilevante per gli utenti sprovvisti di transponder e per gli utenti occasionali (es.: turisti stranieri); l'identità e le azioni degli utenti nell'utilizzo del sistema devono avere livelli sufficienti di non-ripudiabilità delle azioni;
- › Deve prevedere un sottosistema di *enforcement* per gli utenti che non aderiscano alla modalità attiva e volontaria;
- › Deve prevedere delle modalità di ravvedimento operoso con una adesione attiva ex-post al pagamento delle tariffe dovute;
- › Deve prevedere la possibilità di operare distinzioni, ove possibili ed opportune, tra proprietari di veicoli e utenti del sistema.

2.2.6 Servizi abilitati dalla diffusione delle comunicazione V2I

Per completezza d'analisi, vanno considerati i servizi minimi, da realizzare sulle Smart-Roads, abilitati dalla diffusione delle comunicazioni V2I e dalle funzioni di raccolta, elaborazione e

distribuzione dei dati sulla circolazione e sul traffico, da implementare, quindi, immediatamente a valle della realizzazione di tali funzioni. Per le Smart Roads di tipo I tali funzioni comprendono:

- › Avvertimento sulla presenza di veicoli fermi o traffico rallentato nel segmento successivo a quello di percorrenza corrente;
- › Avvertimento su una densità anomala di veicoli in frenata di emergenza nel segmento successivo a quello di percorrenza corrente;
- › Arrivo di un veicolo di soccorso o di emergenza e del tempo stimato per il suo arrivo;
- › Ripetizione dei segnali stradali a bordo veicolo;
- › Ripetizione dei limiti di velocità a bordo veicolo.

Per le Smart Roads di tipo II e di tipo I, con diversa granularità spaziale dell'informazione a seconda della tipologia di strada, tali funzioni comprendono:

- › Avvertimento sulla presenza di cantieri;
- › Avvertimento di una violazione alla circolazione (es.: marcia su carreggiate opposta, marcia su corsia a marcia invertita, ecc.);
- › Deviazioni di percorso consigliate in conseguenza della propagazione all'indietro di onde di shock;
- › Raccolta di informazioni da parte di veicoli sonda specificamente attrezzati e utilizzati dall'ente gestore della infrastruttura.

È forse il caso di ribadire che i servizi elencati precedentemente devono contare sulla piattaforma di comunicazione V2I sia allo scopo di permettere ai veicoli di essere utilizzati come sensori diffusi del traffico e delle condizioni di deflusso (o per dare notizia diretta di guasti o problematiche), sia allo scopo di diffondere lo stato stimato del sistema a tutti i veicoli nei dintorni del segmento stradale per il quale tale stima è stata fatta.

PARTE 3 - Specifiche prestazionali

In questa sezione si dettagliano le specifiche prestazionali da applicare nel processo di *digital transformation* delle infrastrutture. L'applicazione di tali specifiche determina l'attribuzione alle infrastrutture della qualifica di Smart Road e la categorizzazione in categoria I o II. Va precisato che, una stessa infrastruttura può subire un processo graduale di *digital transformation* ed essere progressivamente adeguata dapprima a Smart Road di categoria II e poi a Smart Road di categoria I. A ciascuna tipologia di Smart Road sono associate prestazioni richieste diverse, come dettagliato nel seguito.

Le specifiche funzionali non saranno dettagliate per tutte le funzioni e servizi individuati nella Parte 2 ma, al momento, si partirà dalle sole funzioni di osservazione e monitoraggio delle infrastrutture, delle strutture e del traffico. Il processo di identificazione delle specifiche per la digital transformation è inteso, infatti, come un processo dinamico e sia l'identificazione delle soluzioni e funzioni da specificare, sia l'estensione delle specifiche a tutte le soluzioni/funzioni individuate, sono sottoposti a progressivo ampliamento.

3.1 Specifiche per la misura ed osservazione dei dati

La misura ed osservazione dei dati comprende la descrizione delle caratteristiche statiche e dinamiche delle infrastrutture stradali, nonché dei dati di traffico e viaggio, coerentemente con quanto previsto dai punti 1, 2 e 3 dell'allegato al regolamento delegato europeo 962/2015. In via preliminare, per la misura ed osservazione dei dati, si dettagliano le specifiche per l'identificazione degli elementi infrastrutturali (e della loro articolazione in grafo) cui tali misure ed osservazioni riferiscono. Le opere d'arte, invece, rappresentano tronchi per propria natura facilmente individuabili (ponti, viadotti, gallerie, ecc.) all'interno dello sviluppo di un tracciato infrastrutturale e per tale motivo la identificazione delle strutture è naturale e non richiede la suddivisione in grafi.

3.1.1 Predisposizione di un grafo di riferimento

Le infrastrutture stradali nuove o esistenti che realizzano il processo di digital-transformation devono entrare a fare parte di una rappresentazione in forma di rete stradale e cioè di insieme di rami (o archi), nodi e attributi associati ai rami. Si richiede che la rappresentazione sia articolata su tre layer a diverso livello di dettaglio. Il primo livello ha un dettaglio minore del secondo che a sua volta ha un dettaglio minore del terzo. Ad ognuno dei layer il grafo deve risultare connesso. Le smart road di categoria II devono essere obbligatoriamente caratterizzate dall'identificazione almeno del livello di primo e secondo layer, per le smart road di categoria I occorre obbligatoriamente che siano definiti tutti e tre i layer. La corretta predisposizione del grafo di riferimento deve essere eseguita o certificata da tecnici con elevata qualifica nelle discipline dell'ingegneria dei sistemi di trasporto.

A. Primo layer: connettività

Il primo layer è quello della *connettività* delle infrastrutture. A tale livello vengono rappresentate con dei nodi di un grafo le interconnessioni tra i vari elementi della rete sottoposta al processo di digital transformation, nonché la presenza (come nodi) dei principali svincoli ed intersezioni che insistono sulle infrastrutture considerate. A questo livello è possibile la navigazione tra le infrastrutture che

formano una rete di smart-roads. In esso, i rami non rappresentano tratte omogenee di infrastrutture ed il grafo rappresenta la topologia della rete.

B. Secondo layer: caratteristiche

Il secondo layer è quello delle caratteristiche. In questo layer sono aggiunti nodi al precedente e quindi alcuni rami del layer della connettività sono suddivisi in più rami. Un nodo viene sempre aggiunto se la infrastruttura stradale, anche non in presenza di una intersezione o di uno svincolo, modifica una delle caratteristiche statiche per le quali è prevista una descrizione (si confronti il punto 1 dell'allegato al regolamento delegato europeo 962/2015, nonché il successivo paragrafo 3.1.2). Se ad esempio il numero di corsie dell'infrastruttura cambia, bisogna interrompere il ramo. I rami del secondo layer, dunque, rappresentano per definizione delle tratte omogenee.

Per le sole Smart Road di categoria I è obbligatorio l'inserimento di un nodo del layer delle caratteristiche anche ove esse non varino, ma si sia in corrispondenza di una intersezione o svincolo con un'altra infrastruttura stradale nella quale si stimi un flusso massimo immesso e/o emunto dalla Smart Road non inferiore, in un qualsiasi intervallo orario di un qualsiasi giorno dell'anno, a 150 veicoli/ora. In mancanza di tale stima, il nodo deve essere cautelativamente comunque aggiunto al layer delle caratteristiche. Fanno eccezione a tali regole le immissioni ed uscite relative ad aree di parcheggio o di servizio di pertinenza della infrastruttura e chiuse rispetto ad altra viabilità esterna, in questi casi la identificazione di nodi del layer di secondo livello è a discrezione del tecnico esperto che procede alla realizzazioni del grafo.

È necessario introdurre nodi di terzo livello anche in corrispondenza dell'inizio e fine di un tratto stradale occupato da una struttura, almeno con riferimento a quelle opere d'arte non secondarie per le quali si desidera procedere esplicitamente alla identificazione.

C. Terzo layer: segmenti

Il terzo layer è quello dei segmenti infrastrutturali. Tale layer è obbligatorio per le sole Smart Roads di categoria I. Ogni ramo del layer delle caratteristiche viene partizionato con l'interposizione di un nodo di terzo livello ogni 500 metri circa. Una lunghezza diversa dai 500 metri può essere riservata al primo ed all'ultimo segmento di uno stesso ramo di secondo livello nel caso in cui la misura di quest'ultimo non sia un multiplo di 500 metri. La rappresentazione per segmenti testé descritta è compatibile con un modello dinamico di propagazione del flusso cosiddetto a celle di Daganzo. La descrizione delle caratteristiche dinamiche delle infrastrutture (si confronti il punto 2 dell'allegato al regolamento delegato europeo 962/2015, nonché il successivo paragrafo 3.2.3) può avvenire nelle Smart Road di categoria I con riferimento al layer dei segmenti infrastrutturali; in altri termini, regole temporanee di circolazione, chiusure e deviazioni di corsia, velocità consigliate (et cetera) possono variare con una granularità di 500 metri. Per le Smart Road di categoria II le caratteristiche dinamiche possono essere descritte con riferimento allo stesso layer delle caratteristiche statiche (layer di secondo livello) oppure, opzionalmente e non obbligatoriamente, ricorrendo anche per esse alla rappresentazione del terzo livello, cioè a livello di segmenti.

3.1.2 Caratteristiche statiche delle infrastrutture

Le caratteristiche statiche delle infrastrutture devono essere descritte con riferimento al layer di secondo livello (layer delle caratteristiche) e dunque per ogni ramo del corrispondente grafo. Le

caratteristiche da descrivere sono riportate nella seguente tabella, che assume il valore di specifica tecnica. Le informazioni identificate con un asterico sono quelle previste anche dal punto 1 dell'allegato al regolamento delegato europeo 962/2015. Nel caso di infrastrutture a carreggiate separate, le caratteristiche devono essere ripetute per ogni carreggiata. Alle infrastrutture deve essere associato un verso convenzionale usato come riferimento per descrivere le direzioni di marcia su di esse; si può utilizzare come direzione convenzionale di riferimento, a titolo di esempio, il verso topologico di digitalizzazione dell'infrastruttura come elemento di un database georeferenziato.

| Famiglia di caratteristiche | Caratteristica |
|---|---|
| Andamento planimetrico * | Tipo di tratto (rettilineo, curvo, di transizione) |
| | Raggio di curvatura (ND per tratti rettilinei e "variabile" per raccordi di transizione) |
| Andamento altimetrico * | Tipo di tratto (livelletta, di transizione) |
| | Pendenza (valore medio per tratti di transizione) |
| | Raggio raccordo verticale (ND per livellette) |
| Sezione trasversale in verso concorde con la direzione convenzionale della infrastruttura * | Numero di corsie di marcia |
| | Larghezza media di una corsia di marcia |
| | Numero di corsie di sosta/emergenza |
| | Larghezza media di una corsia di emergenza/sosta |
| | Presenza di una piazzola di sosta/emergenza |
| Sezione trasversale in verso discorde con la direzione convenzionale della infrastruttura * | Numero di corsie di marcia |
| | Larghezza media di una corsia di marcia |
| | Numero di corsie di sosta/emergenza |
| | Larghezza media di una corsia di emergenza/sosta |
| | Presenza di una piazzola di sosta/emergenza |
| Opera d'arte | Tipo opera d'arte (ponte, viadotto, galleria, ...) |
| Classificazione * | Infrastruttura rete TEN-T |
| | Infrastruttura SNIT ma non TEN-T |
| | Classificazione infrastruttura secondo CdS |
| | Classificazione infrastruttura secondo norme CNR |
| | Velocità di progetto infrastruttura |
| | Classificazione amministrativa secondo ente gestore |
| | Classificazione amministrativa territoriale (nazionale, regionale, metropolitana, comunale, locale) |
| Limiti di velocità * | In condizioni ordinarie |

| Famiglia di caratteristiche | Caratteristica |
|--|--|
| Andamento planimetrico * | Tipo di tratto (rettilineo, curvo, di transizione) |
| | Raggio di curvatura (ND per tratti rettilinei e "variabile" per raccordi di transizione) |
| Andamento altimetrico * | Tipo di tratto (livelletta, di transizione) |
| | Pendenza (valore medio per tratti di transizione) |
| | In condizioni di pioggia |
| | In condizioni di neve |
| | In condizioni di nebbia |
| | Limitazioni particolari per mezzi pesanti |
| | Descrizione di eventuali limitazioni differenziate per corsia di marcia |
| Limitazioni alla circolazione * | Classi di veicoli non ammessi |
| | Limitazioni temporanee su base ciclica per categorie di veicoli |
| Presenza di segnaletica ad inizio tratto* | Descrizione identificativa del segnale |
| Caratteristiche per la sicurezza | Apparati di illuminazione stradale |
| | Presenza, tipo e stato di barriere di sicurezza |
| | Rischi tipici (caduta massi) |
| | Ostruzioni particolari (restringimenti, limiti di altezza, ecc.) |
| | Esposizione ad "accidenti" (frane, alluvioni, ecc.) |
| Manufatti | Presenza e tipo (gallerie, ponti/viadotti, ecc.) |
| | Stato dei manufatti (stress/guasti) |
| | Anno di realizzazione dei manufatti |
| | Anno di ultima manutenzione straordinaria dei manufatti |
| Postazione di pedaggio* | Presenza a fine/inizio tratto |
| | Identificazione dei pedaggi applicabili |
| | Identificazione delle modalità di pagamento disponibili |
| Ubicazione di aree di sosta* | Progressiva relativa di ubicazione (concorde con direzione convenzionale) |
| | Tipo di servizio (area attrezzata, breve/lungo periodo, ...) |
| Ubicazione punti di ricarica veicoli elettrici * | Progressiva relativa di ubicazione (concorde con direzione convenzionale) |
| | Condizioni di uso (rete riservata, pubblico, abbonamento, ...) |
| | Caratteristiche tecniche ricarica (potenza erogata, ...) |

| Famiglia di caratteristiche | Caratteristica |
|--|--|
| Andamento planimetrico * | Tipo di tratto (rettilineo, curvo, di transizione) |
| | Raggio di curvatura (ND per tratti rettilinei e "variabile" per raccordi di transizione) |
| Andamento altimetrico * | Tipo di tratto (livelletta, di transizione) |
| | Pendenza (valore medio per tratti di transizione) |
| Ubicazione punti di rifornimento non-elettrici * | Progressiva relativa di ubicazione (concorde con direzione convenzionale) |
| | Condizioni di uso (rete riservata, pubblico, abbonamento, ...) |
| | Presenza benzina |
| | Presenza Diesel |
| | Presenza Gas |
| | Presenza Metano |

3.1.3 Caratteristiche dinamiche delle infrastrutture

Per le Smart Road di categoria I le caratteristiche dinamiche delle infrastrutture devono essere descritte con riferimento al layer dei segmenti, per le Smart Road di categoria II, ove in mancanza del layer dei segmenti (non obbligatorio), le caratteristiche dinamiche sono descritte con riferimento al layer delle caratteristiche, in aggiunta a quelle statiche. Le caratteristiche da descrivere sono riportate nella seguente tabella, che assume il valore di specifica tecnica. Le informazioni identificate con un asterico sono quelle previste anche dal punto 2 dell'allegato al regolamento delegato europeo 962/2015. Nel caso di infrastrutture a carreggiate separate, le caratteristiche devono essere ripetute per ogni carreggiata. Alle infrastrutture deve essere associato un verso convenzionale usato come riferimento per descrivere le direzioni di marcia su di esse; si può utilizzare come direzione convenzionale di riferimento, a titolo di esempio, il verso topologico di digitalizzazione della infrastruttura come elemento di un database georeferenziato.

| Famiglia di caratteristiche | Caratteristiche |
|----------------------------------|--|
| Chiusure al traffico * | Per ogni corsia chiusa |
| | Identificazione della corsia |
| | Motivo della chiusura (incidente, lavori, ecc.) |
| | Inizio e fine programmati della chiusura |
| | Segmento di inizio, continuazione o fine chiusura |
| Inversione del senso di marcia * | Per ogni corsia con traffico invertito |
| | Identificazione della corsia |
| | Motivo della inversione del traffico (incidente, lavori, ecc.) |

| | |
|--|---|
| | Inizio e fine programmati dell'inversione di senso di marcia |
| | Segmento di inizio, continuazione o fine inversione |
| Divieto di sorpasso * | Divieto sorpasso veicoli pesanti per verso concorde a quello convenzionale della infrastruttura |
| | Divieto sorpasso veicoli pesanti per verso discorde a quello convenzionale della infrastruttura |
| Limiti velocità dinamici * | Limite di velocità in verso concorde a quello convenzionale della infrastruttura |
| | Limite di velocità in verso discorde a quello convenzionale della infrastruttura |
| Transito mezzi speciali in verso concorde alla convenzione | Percorrenza |
| | Inizio e termine previsto per la percorrenza |
| Transito mezzi speciali in verso discorde alla convenzione | Percorrenza |
| | Inizio e termine previsto per la percorrenza |
| Cattive condizioni della pavimentazione | Per ogni corsia in cattive condizioni |
| | Identificativo della corsia |
| | Tipo di cattiva condizione (dissesto, ridotta aderenza, ecc.) |
| | Motivo della condizione (frana, usura, pioggia, neve, ghiaccio, olio, ...) |

3.1.4 Dati di traffico e viaggio

I dati di traffico e viaggio devono essere raccolti secondo l'articolazione in:

1. *Dati di tipo euleriano su flussi e condizioni di deflusso;*
2. *Dati sul rispetto dei limiti di velocità e per l'enforcement;*
3. *Dati di tipo lagrangiano su velocità e tempi di percorrenza.*

Ogni tipologia di dati è rilevata da una corrispondente tipologia di postazione di rilievo. Sia le postazioni per il rilievo dei dati di tipo euleriano sia quelle per il rilievo del rispetto dei limiti di velocità comprendono il rilievo dei dati di tipo lagrangiano. Le postazioni per il rilievo dei dati di tipo euleriano possono altresì comprendere il rilievo del rispetto dei limiti di velocità. In altri termini, una postazione per l'enforcement deve sempre potere essere utilizzata per il rilievo dei dati di tipo lagrangiano, mentre una postazione dedicata al rilievo dei dati di tipo lagrangiano può opzionalmente essere attrezzata anche per operazioni di enforcement. Per postazioni si intende in generale una installazione fisica dotata di sensori, ma qualsiasi sistema in grado di dematerializzare la postazione ottenendo lo stesso tipo di rilievo e nel rispetto delle specifiche riportate di seguito è ammessa.

A. Dati di tipo euleriano su flussi e condizioni di deflusso

I dati euleriani sono quelli osservabili rilevando il passaggio e le caratteristiche di deflusso di singoli veicoli transitanti per una ben definita sezione stradale (sezione di controllo) coincidente con la posizione di rilievo della postazione. Il sistema di osservazione è solidale alla sezione stradale.

I dati euleriani possono essere ottenuti con sensori annegati nella pavimentazione, sensori road-side o sensori *above ground*, basati su diversi principi e metodi di rilevamento, incluse le microonde e la elaborazione di immagini. Inoltre, i dati euleriani potrebbero essere ottenuti, in ipotesi di connessione universale dei veicoli transitanti sulla infrastruttura, attraverso comunicazioni a corto raggio con dispositivi a bordo strada e/o attraverso comunicazioni a remote attraverso gestori telefonici, in entrambi i casi assistite da dispositivi/applicazioni di localizzazione satellitare a bordo veicolo (possibilmente caratterizzati da tecniche per aumentare la accuratezza del posizionamento, che nel caso di alcune applicazioni di assistenza alla guida deve essere superiore a quella richiesta dalle applicazioni di navigazione.). La tecnologia dei sensori e/o le modalità tecniche di rilievo non sono rilevanti se non per l'ottenimento delle specifiche riportate nel seguito. I dati euleriani devono essere rilevati per l'universo dei veicoli transitanti per la sezione di rilievo/osservazione e non su base campionaria.

I dati identificati in tabella con un asterisco sono considerati dal punto 3 dell'allegato al regolamento delegato europeo 962/2015, quelli caratterizzati con doppio asterisco sono contemplati anche dal decreto interministeriale del febbraio 2013 (cosiddetto Decreto ITS).

Nella realizzazione delle postazioni per la misura di dati euleriani occorre assicurare l'operatività della postazione in continuo 24/24 h e per tutti i giorni dell'anno; particolare attenzione deve essere data alla progettazione energetica dei sistemi, curandone la sostenibilità; l'utilizzo di postazioni a ridotto consumo energetico permette maggiore flessibilità nel loro posizionamento e quindi migliori performance in termini di rilievo delle caratteristiche del deflusso. Le postazioni euleriane, infatti, devono essere in grado di osservare condizioni di deflusso ininterrotto ed essere dunque posizionate in modo da non risentire delle perturbazioni indotte da svincoli, incroci, stazioni di servizi, piazzole di sosta, ecc.

| Specifica | Valorizzazione |
|--|---|
| Localizzazione e caratterizzazione postazione di rilievo | Identificativo, tipologia, tecnologia adottata, localizzazione georeferenziata, sezione stradale associata (es.: nome strada, identificativo sezione, chilometrica, carreggiata, senso di marcia, ecc.), identificativo del ramo nel layer della connettività, eventuale identificativo del ramo nel layer delle caratteristiche. |

| | |
|--|--|
| Dati da rilevare | <p>a. Classificazione del veicolo (conteggi classificati, almeno 8 classi + 1) **:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Classe 1 (moto) 2. Classe 2 (auto) 3. Classe 3 (auto con rimorchio) 4. Classe 4 (furgone) 5. Classe 5 (camion) 6. Classe 6 (autotreno) 7. Classe 7 (autoarticolato) 8. Classe 8 (autobus) 9. Altro (non classificato) <p>b. Velocità di transito (es.: Km/h) **</p> <p>c. Istante di rilevamento (es.: gg/mm/aa, hh:mm:ss:mmm)</p> <p>d. Lunghezza veicolo (es.: cm)</p> <p>e. Headway temporale (testa-testa o coda-coda) rispetto a veicolo precedente (es.: millisecondi)</p> <p>f. Presenza di coda in corrispondenza del sensore*</p> |
| Modalità di rilievo | Rilievi separati per singola corsia di marcia, con indicazione della carreggiata e direzione di marcia cui la corsia appartiene. Indicazione esplicita del caso di flusso in controsenso rispetto alla direzione attesa (es.: inversione della direzione di marcia della corsia) |
| Frequenza temporale di osservazione | Continua |
| Livello di disaggregazione della misura/osservazione | Evento singolo (individuazione del passaggio di ogni veicolo) |
| Condizioni di funzionamento | <p>Intervallo di temperature operativo da 20° a + 55°</p> <p>Degrado non apprezzabile delle misure in condizioni di:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ traffico scarso o traffico elevato ○ pioggia, anche intensa ○ notte o scarsa visibilità ○ nebbia ○ neve |
| Frequenza di trasmissione/accentramento del dato in centrale | <p>Trasmissione per pacchetti di dati</p> <p>Ogni 5 minuti</p> <p>Eventuali pacchetti di dati non trasmessi per problemi tecnici devono essere conservati in locale (fino a 48 ore) per la trasmissione non appena possibile</p> |

Per le Smart Road di categoria II, le postazioni per il rilievo dei dati di tipo euleriano si immaginano posizionate in numero di almeno due per ogni arco del layer della connettività, possibilmente ad una distanza compresa tra 500 metri ed 1 chilometro dall'inizio e fine topologica del ramo. Per le Smart Road di categoria I le postazioni di rilievo dei dati di tipo euleriano devono essere posizionate anche in numero di una per ogni arco della rete delle caratteristiche; in questo caso il posizionamento è di preferenza tra i 500 metri ed 1 chilometro dall'inizio del ramo delle caratteristiche, contato convenzionalmente nella direzione di riferimento della infrastruttura. È importante, ove possibile e sostenibile economicamente, posizionare le postazioni euleriane lontane da intersezioni, dall'attraversamento di centri abitati.

B. Dati sul rispetto dei limiti di velocità e per l'enforcement

I dati sul rispetto dei limiti di velocità e per l'enforcement possono essere raccolti attraverso dispositivi a bordo strada o above-ground basati su metodologie di lettura della targa ed associazione di velocità di transito. I dispositivi devono essere basati sulla individuazione (ed eventuale sanzione in caso di comportamenti irregolari) delle velocità medie in un tratto significativo di strada. Le osservazioni si basano sempre su due rilievi consecutivi agli estremi del tratto di strada considerato.

In alternativa ai sistemi tradizionali, finalizzati alla registrazione delle irregolarità, è possibile adottare sistemi che sfruttano la connessione dei veicoli al fine di permettere loro l'attestazione del passaggio regolare e della corretta velocità media. Tali sistemi sono accettabili a patto di assicurare la non ripudiabilità dell'attestazione di corretto passaggio da parte dei veicoli.

Oltre alla identificazione ai fini sanzionatori dei veicoli in contravvenzione per eccesso di velocità, alle postazioni estreme del tratto sottoposto a controllo ed *enforcement* devono essere rilevati, per ogni corsia di marcia, i volumi di traffico (rilevati in maniera aggregata con base 15 minuti), la distribuzione delle velocità istantanee (funzione di distribuzione di probabilità, rilevata su base temporale di 15 minuti).

Per entrambe le categorie di strade, le postazioni per il rilievo dei limiti di velocità e per l'*enforcement* devono essere in ragione di almeno 2 per ogni ramo del layer della connettività, coincidenti con le postazioni per il rilievo dei dati euleriani posizionate verso l'inizio e la fine del ramo stesso.

C. Dati di tipo lagrangiano su velocità e tempi di percorrenza

I dati lagrangiani sono quelli osservabili seguendo il movimento di un veicolo lungo la sua traiettoria da un punto o istante di inizio della osservazione ad un punto od istante di termine della osservazione. Il sistema di osservazione è solidale al veicolo osservato. I dati lagrangiani possono essere ottenuti attraverso tecniche di FCD (Floating Car Data) basate sul tracciamento del moto di un veicolo dotato di un sistema di localizzazione satellitare, di eventuali sensori di bordo per il rilievo delle caratteristiche del moto e di un sistema connessione con una centrale di raccolta dei dati. In alternativa, i dati lagrangiani possono essere ottenuti individuando uno stesso veicolo in almeno due punti (noti) diversi di una traiettoria e calcolando le grandezze di deflusso derivanti da tale individuazione e dalla distanza e dal tempo di rilevamento tra i punti. In tale ultimo caso il rilievo/individuazione può avvenire grazie a ricettori che individuino il passaggio di uno stesso veicolo nel rispetto delle esigenze di anonimato e della privacy. La individuazione, infatti, deve avvenire senza identificazione o, almeno, senza trascrizione della identificazione e quindi in maniera anonima per il viaggiatore (o viaggiatori) a bordo dei veicoli e/o per il proprietario dello stesso. A solo titolo di esempio, gli indirizzi macchina (MAC address) delle schede di comunicazione Bluetooth o WiFi sono mezzi idonei per la individuazione senza identificazione, giacché non registrati in modalità associata al proprietario del dispositivo. Esigenze di rispetto dell'anonimato (ad esempio tramite cifratura non reversibile delle informazioni rilevate) devono essere rispettate anche nel caso di lettura di targhe o nel caso di individuazione attraverso altri identificativi associabili al proprietario o al conducente (o passeggero) del veicolo o del dispositivo sottoposto ad individuazione, a meno di quanto espressamente previsto dalle norme per la verifica di regolarità assicurativa/contributiva dei veicoli, per il tracking di veicoli sospetti o rubati e per quanti altri casi esplicitamente previsti dal legislatore.

Il calcolo dei dati lagrangiani deve avvenire in corrispondenza di postazioni fisiche o virtuale posizionate nei nodi del layer dei segmenti; per le Smart Road di categoria II che non implementino il layer dei segmenti, la individuazione deve avvenire in corrispondenza delle postazioni per il rilievo dei dati euleriani ed in corrispondenza delle postazioni per il rilievo del rispetto dei limiti di velocità.

L'osservazione di dati lagrangiani può essere effettuata su base campionaria, utilizzando un campione significativo dei veicoli transitanti o verificando ex-post di avere individuato un campione significativo di tali veicoli. Il dato di universo rispetto al quale confrontare la numerosità del campione deve essere quello ottenuto/stimato utilizzando i dati delle postazioni di misura euleriane.

Per le Smart Road di categoria II le postazioni per il rilievo dei dati lagrangiani devono essere posizionate in ragione di almeno una per ogni ramo del layer delle caratteristiche, con un minimo di 2 per ogni ramo del layer della connettività. Per le Smart Road di categoria I le postazioni per il rilievo dei dati lagrangiani devono essere posizionate in ragione di almeno una per ogni ramo del layer dei segmenti. Per le postazioni lagrangiane, ove esse non coincidano con quelle euleriane, non è necessario posizionarsi lontani da intersezioni.

Il dettaglio dei dati lagrangiani da rilevare è riportato nella successiva tabella.

| Specifica | Valorizzazione |
|--|--|
| Localizzazione e caratterizzazione postazione di rilievo | Identificativo, tipologia, tecnologia adottata, localizzazione georeferenziata, sezione stradale associata (es.: nome strada, identificativo sezione, chilometrica, carreggiata, senso di marcia, ecc.), identificativo del ramo nel layer dei segmenti. |
| Dati da rilevare | a) Istante di rilevamento (es.: gg/mm/aa, hh:mm:ss:mmm) b) Codice di individuazione univoco (anonimo) associato al rilievo c) Nel caso di comunicazione di dati da bordo vettura a dispositivo lato-infrastruttura: <ol style="list-style-type: none"> i. Tempo intercorso da ultima comunicazione; ii. Distanza percorsa da ultima comunicazione; iii. Velocità media di percorrenza da ultima comunicazione; iv. Accelerazione longitudinale (positiva) massima da ultima comunicazione; v. Decelerazione longitudinale (negativa) massima da ultima comunicazione; vi. Consumo carburante (se applicabile) da ultima comunicazione; vii. Consumo energia (se applicabile) da ultima comunicazione. |
| Frequenza temporale di osservazione | Continua |
| Livello di disaggregazione della misura/osservazione | Evento singolo (individuazione del passaggio di ogni veicolo individuabile) |
| Condizioni di funzionamento | Intervallo di temperature operativo da -20° a + 55° Degradato non apprezzabile delle misure in condizioni di: <ul style="list-style-type: none"> o traffico scarso o traffico elevato o pioggia, anche intensa o notte o scarsa visibilità o nebbia o neve |

| | |
|--|---|
| Frequenza di trasmissione/accentrimento del dato in centrale | Trasmissione per pacchetti di dati Ogni 5 minuti Eventuali pacchetti di dati non trasmessi per problemi tecnici devono essere conservati in locale (fino a 48 ore) per la trasmissione non appena possibile |
| Altre misure / osservazioni | A corredo dei dati di traffico devono essere rilevate anche condizioni ambientali minime quali: a) presenza ed intensità di precipitazioni; b) temperatura ambientale Tali caratteristiche possono essere rilevate con una granularità spaziale dimezzata (es.: sensori ogni 2 segmenti) rispetto alle postazioni di misura lagrangiana. |

3.1.5 Caratteristiche di sicurezza statica delle strutture

Le modalità di misura e le caratteristiche strumentali dovranno consentire di apprezzare in modo chiaro ed inequivocabile sia lo snervamento che la rottura delle armature.

Dovrà inoltre essere progettato il sistema specifico di misura in modo da garantire l'individuazione di stati anomali della struttura (deformazioni e fessurazioni significative, presenza di danneggiamenti dovuti a degrado dei materiali e/o ad azioni accidentali) sia in termini di localizzazione del danno che di stima della sua entità

| TIPOLOGIA STRUTTURA | PARAMETRI DA MISURARE |
|---------------------|---|
| Impalcato del Ponte | Per ogni ponte, spostamenti generalizzati e stati deformativi locali |
| Pile e Spalle | Per ogni pila e spalla, spostamenti generalizzati e vibrazioni |
| Gallerie | Per ogni galleria, spostamenti generalizzati e stati deformativi locali |
| Muri di Sostegno | Per ogni muro di sostegno, spostamenti generalizzati |
| Fondazioni in alveo | Per ogni fondazione, scalzamento con misura combinata di stati deformativi locali, spostamenti generalizzati e vibrazioni |
| Paravalanghe | Per ogni paravalanghe, spostamenti generalizzati |
| Appoggi e Giunti | Per ogni appoggio e giunto, spostamenti generalizzati |
| Portali segnaletici | Per ogni portale, spostamenti generalizzati e vibrazioni |

| Caratteristiche delle misure | | |
|--|--|---|
| Specifica | Valorizzazione | |
| Localizzazione e caratterizzazione postazione di rilievo | Identificativo, tipologia, tecnologia adottata, localizzazione georeferenziata, sezione stradale associata (es.: nome strada, identificativo sezione, chilometrica, carreggiata, senso di marcia, ecc.), identificativo del ramo nel layer dei segmenti. | |
| Dati da rilevare | a) Istante di rilevamento (gg/mm/aa, hh:mm:ss:mmm) b) Codice di individuazione univoco (anonimo) associato al sensore c) Valore istantaneo del parametro misurato dal sensore | |
| Frequenza temporale di osservazione | Continua | |
| Livello di disaggregazione della misura/osservazione | | |
| Condizioni di funzionamento | Intervallo di temperature operativo da -20° a + 55° Degrado non apprezzabile delle misure in condizioni di: <ul style="list-style-type: none"> o traffico intenso o pioggia, anche intensa | |
| Frequenza di trasmissione/accentramento del dato in centrale | Trasmissione per pacchetti di dati Almeno bi-giornaliera Eventuali pacchetti di dati non trasmessi devono essere conservati in locale (fino a 48 ore) per la trasmissione non appena richiesto dalla centrale | |
| Altre misure / osservazioni | A corredo dei dati strutturali devono essere rilevate anche condizioni ambientali minime quali la temperatura ambientale; | |
| Risultati attesi delle “misure” | | |
| Misura | Modalità di aggregazione | Intervallo di aggregazione |
| Impalcato da Ponte | Deformata globale e stati tensionali locali Per ogni impalcato Per l'intera struttura | bi-giornaliero, in presenza e assenza di traffico |
| Pile e spalle | Forme modali e relative frequenze Livelli tensionali locali Deformazione di insieme | |
| Gallerie | Deformata del rivestimento e stati tensionali associati | |
| Muri di sostegno | Stati deformativi globali | |
| Fondazioni in alveo | Variazioni dello stato tensionale nelle pile variazioni delle forme modali e relative frequenze, deformazioni di insieme | |
| Paravalanghe | Stati deformativi globali e tensionali locali | |
| Appoggi e giunti | Movimenti anomali e/o fuori corsa | |
| Portali segnaletici | Stati deformativi globali ed eventuali variazioni delle forme modali e relative frequenze. | |

3.2 Specifiche per l'elaborazione del contenuto informativo

3.2.1 Registrazione dei dati in centrale, archiviazione e storicizzazione

I dati accentrati dalle postazioni di campo devono essere sistematizzati e registrati in appositi database. La ricerca e l'accesso ai dati deve essere possibile sia da parte del proprietario del dato che da parte di utenti (non-finali) accreditati. All'insieme dei dati si applica un approccio open-data.

I database sono articolati secondo tre *repository* principali. Uno è dedicato ai dati disaggregati. Esso riferisce ai dati così come rilevati e trasmessi dai dispositivi periferici e preserva quindi la massima disaggregazione del dato. I dati vengono inseriti nel database disaggregato dopo essere stati estratti dai pacchetti utilizzati per la trasmissione. I dati del *repository* disaggregato sono conservati con riferimento all'ultimo mese di rilevazione. Un ulteriore *repository* riferisce ai dati cosiddetti correnti; si tratta di una elaborazione dei dati dettagliata, finalizzata ad una prima aggregazione ma tale per cui il valore informativo dei dati si mantenga di elevato livello di dettaglio. È ragionevole supporre che la maggior parte dei servizi informativi in tempo reale possa essere basato sulle informazioni contenute nei dati correnti. I dati correnti vengono conservati con riferimento agli ultimi dodici mesi e vengono archiviati in maniera da essere recuperati su base giornaliera. Le regole di aggregazione per ottenere i dati correnti sono descritte nelle tabelle seguenti. Il terzo *repository* è quello dei dati storicizzati; esso riferisce ad un ulteriore processo di elaborazione teso a ricavare valori statistici descrittivi del fenomeno del traffico. È ragionevole pensare che i dati storicizzati siano utilizzati soprattutto in modalità off-line e per applicazioni di pianificazione e programmazione. I dati storicizzati vengono conservati con riferimento agli ultimi 10 anni. Le regole per la storicizzazione dei dati sono anche essere riportate in successive tabelle. Lo sviluppo, implementazione, verifica, manutenzione ed aggiornamento delle strutture dei repository devono essere fatte obbligatoriamente con il coinvolgimento di un tecnico altamente qualificato nel campo della ingegneria dei sistemi di trasporto.

A. Aggregazione in dati correnti di misure ed osservazioni euleriane.

| Misura | Modalità di aggregazione | Intervallo di aggregazione |
|----------------------|---|--------------------------------------|
| Conteggio veicoli | Somma sull'intervallo di aggregazione Per ogni categoria di veicoli Per ogni corsia | 15 minuti, a partire dalle ore 00:00 |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione Per ogni categoria di veicoli | |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione, utilizzando appositi coefficienti di equivalenza per l'espressione in termini di autoveicoli equivalenti | |
| Velocità di transito | Media armonica sull'intervallo di aggregazione Per ogni categoria di veicoli Per ogni corsia | |
| | Media armonica sull'intervallo di aggregazione Per ogni corsia | |
| | Media armonica sull'intervallo di aggregazione | |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di velocità istantanee rilevate | |

| | | |
|--|---|--|
| | all'interno di prefissate classi di velocità (propedeutica alla funzione di distribuzione di velocità) Per ogni categoria di veicoli Per ogni corsia | |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di velocità istantanee rilevate all'interno di prefissate classi di velocità Per ogni corsia | |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di velocità istantanee rilevate all'interno di prefissate classi di velocità | |
| Lunghezza veicolo | Media sull'intervallo di aggregazione Per ogni corsia | |
| | Media sull'intervallo di aggregazione | |
| Headway tra veicoli successivi | Media sull'intervallo di aggregazione Per ogni corsia | |
| | Media sull'intervallo di aggregazione | |
| Time-to-collision tra veicoli successivi | Media sull'intervallo di aggregazione della quantità $-\Delta X/\Delta V$, con $\Delta X = V_F H - L_F$ e $\Delta V = V_L - V_F$, da valorizzare solo per $\Delta V < 0$ e tenendo conto che V_F = velocità del secondo veicolo, H = headway temporale del secondo veicolo rispetto al primo, L_F = lunghezza del secondo veicolo, V_L = velocità del primo veicolo. Per ogni corsia | |
| | Media sull'intervallo di aggregazione della quantità $-\Delta X/\Delta V$, da valorizzare solo per $\Delta V < 0$ | |

B. Aggregazione in dati correnti di osservazioni del rispetto dei limiti di velocità (enforcement)

| Misura | Modalità di aggregazione | Intervallo di aggregazione |
|-------------------------------|---|--------------------------------------|
| Numero di violazioni rilevate | Somma sull'intervallo di aggregazione Per ogni categoria di veicoli Per ogni corsia | 15 minuti, a partire dalle ore 00:00 |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione Per ogni categoria di veicoli | |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione | |
| Entità delle violazioni | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di osservazioni superiori ai limiti di velocità ricadenti all'interno di prefissate classi di velocità Per ogni categoria di veicoli Per ogni corsia | |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di osservazioni superiori ai limiti di velocità ricadenti all'interno di prefissate classi di velocità Per ogni corsia | |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di osservazioni superiori ai limiti di velocità ricadenti all'interno di prefissate classi di velocità | |

C. Elaborazione e Aggregazione in dati correnti di misure ed osservazioni lagrangiane

| Misura | Modalità di elaborazione/aggregazione | Intervallo di elaborazione/aggregazione |
|--|---|---|
| Differenza temporale tra il rilevamento dello stesso veicolo a due postazioni e calcolo della velocità commerciale (rapporto tra spazio intercorrente tra le postazioni e differenza temporale di rilevamento) | Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità * Per ogni coppia di segmenti successivi su uno stesso ramo del layer delle connessioni | Ogni 15 minuti, a partire dalle ore 00:00. Il dato è associato al primo segmento della coppia rilevata come forward travel-time e nell'intervallo in cui ricade il tempo di individuazione nel primo punto della coppia. |
| | Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità * Per i segmenti estremi di uno stesso ramo del layer delle connessioni | Il dato è associato al secondo segmento della coppia rilevata come backward travel-time e nell'intervallo in cui ricade il tempo di individuazione nel secondo punto della coppia |
| | Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità * Per coppia notevoli di segmenti iniziali di rami diversi del layer delle connessioni e situati su percorsi predeterminati e significativi | |

I dati identificati in tabella con un asterisco (*) sono considerati dal punto 3 dell'allegato al regolamento delegato europeo 962/2015, quelli caratterizzati con doppio asterisco sono contemplati anche dal decreto interministeriale del febbraio 2013 (cosiddetto Decreto ITS).

D. Storicizzazione di misure ed osservazioni euleriane

| Misura | Modalità di aggregazione | Intervallo di aggregazione |
|--|--|--|
| A partire dai conteggi classificati aggregati ogni 15 minuti (dato a livello corrente) | Flusso orario Per categoria di veicoli Per corsia | Per ogni ora del giorno, per ogni giorno degli ultimi 120 mesi |
| A partire dalle velocità di transito aggregate ogni 15 minuti (dati a livello corrente) | Velocità media nell'ora Per categoria di veicoli Per corsia | |
| A partire dagli headway aggregati ogni 15 minuti (dati a livello corrente) | Headway medi nell'ora Per corsia | |
| A partire dalle lunghezze medie dei veicoli aggregate ogni 15 minuti (dati a livello corrente) | Lunghezza media oraria dei veicoli transitanti Per corsia | |
| A partire dal time-to-collision medio aggregato per ogni 15 minuti (dati a livello corrente) | Time-to-collision medio orario Per corsia | |
| A partire dai flussi orari per categoria e corsia | Valore minimo, medio, massimo e deviazione standard del flusso orario Per categoria di veicoli Per corsia | Per ogni giorno degli ultimi 120 mesi |
| A partire dalle velocità di transito per singolo passaggio (dato disaggregato) | Numerosità delle velocità istantanee rilevate all'interno di prefissate classi di velocità (propedeutica alla funzione di distribuzione di velocità), calcolato con riferimento alla fascia di maggior flusso orario (cumulato su tutte le corsie ed espresso in autoveicoli equivalenti). • Per ogni corsia | |
| A partire dalle velocità di transito per singolo passaggio (dato disaggregato) | Numerosità delle velocità istantanee rilevate all'interno di prefissate classi di velocità (propedeutica alla funzione di distribuzione di velocità), calcolato con riferimento alla aggregazione di tutte le fasce orarie con flusso non superiore ad 1/10 del flusso giornaliero massimo. • Per ogni corsia | |
| A partire dagli headway rilevati per singolo passaggio (dato disaggregato) | Numerosità degli headway all'interno di prefissate classi di headway (propedeutica alla funzione di distribuzione), calcolato con riferimento alla fascia di maggior flusso orario (cumulato su tutte le corsie ed espresso in autoveicoli equivalenti). • Per ogni corsia | |
| A partire dagli headway rilevati per singolo passaggio (dato disaggregato) | Numerosità degli headway all'interno di prefissate classi di headway (propedeutica alla funzione di distribuzione), calcolato con riferimento alla aggregazione di tutte le fasce orarie con flusso non superiore ad 1/10 del flusso giornaliero massimo. • Per ogni corsia | |

E. Storicizzazione di osservazioni del rispetto dei limiti di velocità (enforcement)

| Misura | Modalità di aggregazione | Intervallo di aggregazione |
|-------------------------------|---|--|
| Numero di violazioni rilevate | Somma sull'intervallo di aggregazione Per ogni corsia | Per ogni ora del giorno, per ogni giorno degli ultimi 120 mesi |
| Entità delle violazioni | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di osservazioni superiori ai limiti di velocità ricadenti all'interno di prefissate classi di velocità Per ogni corsia | |
| Numero di violazioni rilevate | Somma sull'intervallo di aggregazione, calcolato con riferimento alla fascia di maggior flusso orario (identificata cumulando il flusso su tutte le corsie ed espresso in autoveicoli equivalenti) Per ogni corsia | Per ogni giorno degli ultimi 120 mesi |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione, calcolato con riferimento alla aggregazione di tutte le fasce orarie con flusso non superiore ad 1/10 del flusso giornaliero massimo Per ogni corsia | |
| Entità delle violazioni | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di osservazioni superiori ai limiti di velocità ricadenti all'interno di prefissate classi di velocità, calcolato con riferimento alla fascia di maggior flusso orario (identificata cumulando il flusso su tutte le corsie ed espresso in autoveicoli equivalenti) Per ogni corsia | |
| | Somma sull'intervallo di aggregazione del numero di osservazioni superiori ai limiti di velocità ricadenti all'interno di prefissate classi di velocità, calcolato con riferimento alla aggregazione di tutte le fasce orarie con flusso non superiore ad 1/10 del flusso giornaliero massimo Per ogni corsia | |

F. Storicizzazione di misure ed osservazioni lagrangiane

| Misura | Modalità di aggregazione | Intervallo di aggregazione |
|---|--|---|
| Velocità media di percorrenza tra una coppia di punti notevoli: <u>forward travel-time a partire dal punto iniziale</u> | Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità Per ogni coppia di segmenti successivi su uno stesso ramo del layer delle connessioni Per i segmenti estremi di uno stesso ramo del layer delle connessioni Per coppie notevoli di segmenti iniziali di rami diversi del layer delle connessioni e situati su percorsi predeterminati e significativi | Per ogni ora del giorno e per ogni giorno degli ultimi 120 mesi |
| | Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità, calcolato con riferimento alla fascia di maggior flusso orario (identificata cumulando il flusso su tutte le corsie ed espresso in autoveicoli equivalenti) Per ogni coppia di segmenti successivi su uno stesso ramo del layer delle connessioni Per i segmenti estremi di uno stesso ramo del layer delle connessioni Per coppie notevoli di segmenti iniziali di rami diversi del layer delle connessioni e situati su percorsi predeterminati e significativi | Per ogni giorno degli ultimi 120 mesi |

| | | |
|--|---|---|
| | <p>Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità, calcolato con riferimento alla aggregazione di tutte le fasce orarie con flusso non superiore ad 1/10 del flusso giornaliero massimo</p> <p>Per ogni coppia di segmenti successivi su uno stesso ramo del layer delle connessioni</p> <p>Per i segmenti estremi di uno stesso ramo del layer delle connessioni</p> <p>Per coppie notevoli di segmenti iniziali di rami diversi del layer delle connessioni e situati su percorsi predeterminati e significativi</p> | |
| Velocità media di percorrenza tra una coppia di punti notevoli: <u>backward travel-time a partire dal punto finale</u> | <p>Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità</p> <p>Per ogni coppia di segmenti successivi su uno stesso ramo del layer delle connessioni</p> <p>Per i segmenti estremi di uno stesso ramo del layer delle connessioni</p> <p>Per coppie notevoli di segmenti iniziali di rami diversi del layer delle connessioni e situati su percorsi predeterminati e significativi</p> | Per ogni ora del giorno e per ogni giorno degli ultimi 120 mesi |
| | <p>Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità, calcolato con riferimento alla fascia di maggior flusso orario (identificata cumulando il flusso su tutte le corsie ed espresso in autoveicoli equivalenti)</p> <p>Per ogni coppia di segmenti successivi su uno stesso ramo del layer delle connessioni</p> <p>Per i segmenti estremi di uno stesso ramo del layer delle connessioni</p> <p>Per coppie notevoli di segmenti iniziali di rami diversi del layer delle connessioni e situati su percorsi predeterminati e significativi</p> | Per ogni giorno degli ultimi 120 mesi |
| | <p>Somma delle occorrenze rilevate in predeterminate classi di velocità, calcolato con riferimento alla aggregazione di tutte le fasce orarie con flusso non superiore ad 1/10 del flusso giornaliero massimo</p> <p>Per ogni coppia di segmenti successivi su uno stesso ramo del layer delle connessioni</p> <p>Per i segmenti estremi di uno stesso ramo del layer delle connessioni</p> <p>Per coppie notevoli di segmenti iniziali di rami diversi del layer delle connessioni e situati su percorsi predeterminati e significativi</p> | |

3.2.2 Previsioni a breve-medio termine

A partire dai dati rilevati sul campo, l'ente gestore delle infrastrutture è tenuto, attraverso l'utilizzo di strumenti analitici e modelli opportuni a fornire una previsione di traffico e condizioni di deflusso a medio-breve termine. In particolare, la seguente tabella riporta le informazioni da prevedere. Le previsioni devono essere aggiornate ogni 15 minuti e proiettate in avanti con una tecnica di *rolling-horizon*, con orizzonti temporali di 15, 30 e 45 minuti.

Quantità da stimare/prevedere

| Misura | Riferimento spaziale della stima | Orizzonte di stima | Frequenza aggiornamento stima |
|---|--|----------------------|-------------------------------|
| Flusso complessivo (autoveicoli equivalenti) per verso di marcia | Postazioni di misura delle grandezze euleriane | A 15, 30 e 45 minuti | Ogni 15 minuti |
| Tempi di percorrenza tra gli estremi di uno stesso ramo del grafo (layer delle connessioni) | Forward travel-time | | |
| | Backward travel-time | | |

| | | | |
|---|----------------------|--|--|
| Tempi di percorrenza tra una coppia di punti notevoli estremi di rami diversi del grafo (layer delle connessioni) posti su un percorso di rilevante interesse | Forward travel time | | |
| | Backward travel-time | | |

Inoltre, per ogni ramo del layer dei segmenti (Smart Road di tipo I) deve essere fornita una stima delle condizioni della pavimentazione effettuata in funzione dei sensori ambientali; tale stima deve prevedere almeno l'occorrenza di pavimentazione bagnata o scivolosa per la formazione di ghiaccio.

I metodi per ottenere le stime/previsioni devono essere sviluppati, implementati, certificate e ciclicamente sottoposti a processi di manutenzione, aggiornamento e revisione, con cadenze non più che biennali, a cura di tecnici con alta qualificazione nel settore della ingegneria dei sistemi di trasporto.

3.2.3 Previsioni su periodi di tempo omogenei successivi

A partire dai dati rilevati sul campo sia in termini di serie storiche, opportunamente clusterizzate e stagionalizzate, sia in termini di dati correnti (es.: grandezze riferite al giorno ed alla fascia oraria corrente) devono essere prodotte stime di traffico e di tempi di percorrenza valide per successioni di periodi omogenei successivi. Ad esempio, devono essere disponibili, ad un certo giorno, previsioni di traffico e tempi di percorrenza per tutti i giorni feriali successivi di una settimana e per i giorni festivi della settimana stessa; tali stime devono essere almeno espresse in termini di traffico giornaliero medio e fattore dell'ora di punta, raffrontati al traffico giornaliero medio ed al fattore di ora di punta medi dello stesso periodo di riferimento (es.: giorno feriale medio o giorno di fine settimana). Ove possibile, utilizzando una tecnica di selezione e raffronto di pattern osservati e proiezione, o altre tecniche di stima esperta, o infine, almeno, tecniche di estrapolazione per analogia, deve essere operata una previsione del traffico e dei tempi di percorrenza in caso di implementazione di lavori di manutenzione, modifiche alle regole di circolazione, ecc.

I metodi per ottenere le previsioni devono essere sviluppati, implementati, certificate e ciclicamente sottoposti a processi di manutenzione, aggiornamento e revisione, con cadenze non più che biennali, a cura di tecnici con alta qualificazione nel settore della ingegneria dei sistemi di trasporto.

3.2.4 Verifiche di qualità

I dati rilevati dagli enti gestori devono essere sottoposti a verifiche di qualità. Le verifiche devono essere eseguite rispetto agli strumenti ed alle tecnologie utilizzate per la misura/osservazione dei dati, con riferimento sia a quelli euleriani che lagrangiani e validando i risultati delle misure in termini di accostamenti alla realtà. L'accuratezza dei dati euleriani deve assicurare che i conteggi classificati siano corretti, in termini di accuratezza della classificazione, in almeno il 90% dei casi. Le velocità di attraversamento misurate alle postazioni euleriane deve differire da quella reale al più del 10% in almeno il 90% delle misure verificate. Analogamente, l'errore nell'headway misurato deve essere al più del 10% in almeno il 90% dei casi. Per le misure lagrangiane, almeno il 10% del flusso transitante nelle sezioni soggette a misura deve essere campionato. I tempi di percorrenza campionati devono presentare un errore massimo del 20% rispetto a quelli reali in almeno l'85% dei casi. Sia per le misure di velocità euleriane che per quelle lagrangiane la funzione di densità di probabilità misurata dalle

attrezzature poste sul campo deve risultare simile a quella ottenuta con le misure di controllo e validazione.

Le misure euleriane devono essere sottoposte a verifica in un duplice modo: a) utilizzando gli stessi strumenti adottati per le misure di campo in un ambiente controllato e con caratteristiche del tutto omologhe a quelle reali; b) in maniera duale alla precedente, utilizzando sul campo soggetto a misure strumenti diversi da quelli posizionati/utilizzati dall'ente gestore e procedendo a verificare l'ottenimento di misure simili.

Le misure lagrangiane devono anche esse essere sottoposte a verifica con logiche simili, sia eseguendo validazioni in ambiente controllato degli strumenti utilizzati in campo reale, sia effettuando le misure contemporaneamente a quelle reali ma con strumenti diversi. In questo ultimo caso è opportuno utilizzare idonei veicoli strumentati. Per la parte di verifiche effettuate in campo controllato, occorre procedere in condizioni di traffico realistiche e non idealizzate; le condizioni di installazione devono essere rappresentative di quelle che saranno realizzate su campo e le operazioni di messa in opera devono essere eseguite a regola d'arte a cura dell'operatore economico/fornitore (o dell'ente gestore realizzatore).

Le verifiche di qualità ed accuratezza delle misure devono essere effettuate:

1. A cura dell'ente gestore, in fase di realizzazione/fornitura delle soluzioni di digital transformation. Occorre obbligatoriamente verificare la conformità alle specifiche funzionali qui definite. Per tale verifica occorre riferirsi a quanto previsto dall'art. 82 del nuovo codice degli appalti (D. Lgs 50/2016). Ove la soluzione sia realizzata direttamente dal gestore della strada ad esso spetta l'onere obbligatorio di provare la conformità alle specifiche. Ove la soluzione sia fornita all'ente gestore da un operatore terzo, l'ente assume il ruolo di amministrazione aggiudicatrice e l'obbligo si manifesta attraverso la obbligatorio per l'ente gestore di esigere le prove di conformità di cui all'art. 82. Ai fini della prova di conformità, in mancanza di un organismo accreditato ai sensi del regolamento (UE) n. 765/2008, occorre rivolgersi ad un organismo terzo di chiara alta qualificazione. Le prove di conformità devono avvenire in almeno tre fasi di realizzazione/fornitura della soluzione:
 - a. Prima della messa in opera, testando soluzioni e piattaforme in un sito controllato, a cura dell'organismo terzo di alta qualificazione;
 - b. In fase iniziale, con riferimento ad una installazione completa da un punto di vista funzionale ma in scala ridotta, realizzata/fornita a scopo prototipale ed installata in campo su un sito campione scelto nell'ambito della infrastruttura da sottoporre a digital transformation.
 - c. In seguito alla realizzazione/fornitura completa della soluzione, operando sul campo e verificando almeno il 10% del sistema realizzato.
2. A cura del gestore, successivamente al termine di realizzazione/fornitura della soluzione, con campagne di verifica cadenzate ogni 6 mesi, su almeno il 5% del sistema realizzato ad ogni campagna di verifica e con l'obbligo di non ri-sottoporre a verifica la stessa parte di sistema prima di avere realizzato la verifica di tutte le altre parti.
3. A cura del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, non obbligatoriamente, sottoponendo a verifica non più del 10% del sistema, scelto a campionamento e per non più di due campagne di verifica ogni 6 anni su uno stesso sistema.

Allo scopo di implementare in maniera efficace le azioni di qualificazione di cui ai precedenti punti, le postazioni che implementano l'osservazione e misura di dati euleriani devono essere dotate di telecamere di contesto atte ad osservare il traffico misurato.

La validazione delle misure deve riportare la funzione di distribuzione dell'errore rispetto al dato di confronto.

I sistemi di stima e previsione devono essere anche essi validati. Trattandosi di previsione di dati che saranno misurati dal sistema, la loro validazione può essere operata attraverso un raffronto ex-post. La validazione delle stime deve essere operata, su base campionaria e con cicli di verifica ripetuti nel tempo.

3.2.5 Elaborazione e Aggregazione delle misure provenienti dal monitoraggio strutturale

Il trattamento dei dati provenienti dal monitoraggio strutturale (ponti, viadotti, gallerie ecc.) segue un processo analogo a quanto previsto per i dati provenienti dalle infrastrutture viarie.

Per tutte le opere, misure in tempo reale da registrare localmente con possibilità di accesso ad un mese di storia nel caso di eventi straordinari (sisma, frana ecc). I dati disaggregati riferiti al monitoraggio strutturale devono essere conservati in un *repository* per un tempo minimo di un mese.

Il primo processo di aggregazione richiede un'analisi via cloud almeno bi-giornaliera, in periodi di presenza e di assenza di traffico.

Annualmente, o nei casi ove se ne ravvisi la necessità con cadenza superiore, il professionista incaricato del monitoraggio strutturale dovrà emettere un rapporto sullo stato della struttura e sulla eventuale necessità ed urgenza di interventi di riparazione.

In ogni caso il sistema esegue un primo controllo in automatico mediante la definizione di soglie di allarme. Le soglie di allarme devono essere definite dal professionista che ha progettato il monitoraggio e sono stabilite in funzione del modello strutturale, del numero di sensori, dalle soglie di sicurezza ecc..

Il superamento delle soglie di allarme deve essere analizzato da un professionista che deve emettere un report sulle possibili cause e prevedere in maniera proattiva possibili interventi che possono prevedere:

- › Ulteriori indagini sulla struttura;
- › Intensificazione della frequenza di monitoraggio;
- › Proposte di ri-verifica strutturale;
- Proposte di intervento.

Deve altresì essere previsto un sistema di allarme automatico, provvisto delle necessarie ridondanze e sicurezze per ridurre la possibilità di falsi allarmi e di comunicazione multicanale (SMS, email, ecc) per avvertire i gestori della infrastruttura e le Autorità Preposte alla Sicurezza (VVFF, Protezione Civile ecc) nel caso il sistema dovesse rilevare significative anomalie nella sicurezza della struttura monitorata.

Le analisi provenienti dal monitoraggio strutturale consentono al gestore di sviluppare piani di manutenzione associati ai livelli di rischio ed alle esigenze di interventi urgenti. Questo consente di ottimizzare le risorse disponibili per la manutenzione delle strutture.

Ringraziamenti

Il presente documento è stato curato dalla *Struttura Tecnica di Missione* del *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*. Il gruppo di lavoro è stato costituito da:

- › Vito Mauro
- › Gennaro Bifulco

Si ringraziano per i contributi:

- › Maurizio Crispino
- › Gianluca dell'Acqua
- › Pierpaolo D'Agostino
- › Alberto Meda
- › Andrea Cuomo
- › Giuseppe Mancini
- › Giampiero Meani
- › Edoardo Cosenza