

Rapporto Finale

La strada digitale e connessa

Associazione Mondiale della Strada PIARC

Piano Strategico 2020-2023

Tema Strategico 2 “Mobilità”

Comitato Tecnico Nazionale 2.4 “ITS & Road Network Operation”

ASSOCIAZIONE MONDIALE DELLA STRADA PIARC

Comitato Tecnico Nazionale CT 2.4

"ITS & Road Network Operation"

Nel periodo 2020-2023 hanno contribuito ai lavori del comitato i seguenti membri ed esperti:

Ing.	Luigi	CARRARINI	Dirigente ANAS S.p.A.
Prof.	Alessandro	NERI	Università degli studi Roma 3
Prof.	Maurizio	CRISPINO	Politecnico di Milano
Dott.	Francesco	LUPI	ANAS S.p.A.
Prof.	Oliviero	BACCELLI	Università Bocconi
Prof.	Salvatore Damiano	CAFISO	Università di Catania
Ing.	Nicola	BUSATTO	CAV S.p.A.
Prof.	Stefano	CARRARESE	Università degli studi Roma 3
Ing.	Ilaria	DE BIASI	Autostrade del Brennero
Ing.	Daniela	DE NIGRIS	ANAS S.p.A.
Ing.	Fabrizio	FEDERICI	AISCAT Servizi
Ing.	Umberto	FUGIGLANDO	MIT di Boston
Ing.	Andrea	FRANCESCHINI	Leonardo S.p.A.
Ing.	Sabatino	FUSCO	CAV S.p.A.
Prof.	Vincenzo	GALDI	Università di Salerno
Prof.	Francesco	LEALI	Università di Modena
Prof.	Gianluca	MARCHI	Università di Modena
Prof.	Vito	MAURO	Politecnico di Torino
Ing.	Francesco	MONDELLI	Deloitte
Ing.	Mario	NOBILE	Ministero delle infrastrutture e dei trasporti
Ing.	Enrico	PAGLIARI	ACI
Ing.	Paolo	PISANI	Almaviva
Ing.	Rolando	PIZZICONI	ANAS S.p.A.
Ing.	Donatella	PROTO	MIMIT
Ing.	Denise	PROTOPAPA	Deloitte
Ing.	Nicola	RUSSO	ANAS S.p.A.
Prof.	Fortunato	SANTUCCI	Università dell'Aquila
Ing.	Danilo	SILVESTRI	Deloitte
Ing.	Simone	STEFANUCCI	Deloitte

CONTRIBUTI AL PRESENTE RAPPORTO

La presente pubblicazione è stata realizzata sotto gli auspici ed il coordinamento del Comitato Tecnico Nazionale CT 2.4 "ITS & Road Network Operation". Questa pubblicazione è stata possibile grazie al contributo dei seguenti Membri del Comitato ed esperti:

Ing. Luigi Carrarini – ANAS S.p.A.

Dott. Francesco Lupi – ANAS S.p.A.

Ing. Daniela De Nigris – ANAS S.p.A.

Ing. Rolando Pizziconi – ANAS S.p.A.

Ing. Arianna Stimilli – ANAS S.p.A.

Sommario

Il Comitato Tecnico	7
Messaggio del Presidente del Comitato Tecnico	8
Introduzione	9
1. Le strade digitali e connesse	12
1.1 Sistemi ITS e servizi C-ITS delle strade digitali	14
1.1.1 Servizi Cooperativi di Avviso	18
1.1.2 Avvisi puntuali di pericolo	19
1.1.3 Informazioni generiche	20
1.1.4 Monitoraggio	21
1.1.5 RWW – Road Works Warning e Gestione Cantieri Stradali (Sistema AREA)	21
1.1.6 IVS – In Vehicle Signage	22
1.1.7 Probe Vehicle Data	22
1.1.8 Gestione Scenari e Previsioni Future	22
1.1.9 Gestione Operativa del Traffico	22
1.1.10 Gestione e tracciamento veicoli speciali	23
1.2 Definizione contesti d'interesse	23
2. Il ruolo del veicolo nei sistemi ITS	25
2.1 La guida connessa e autonoma	26
2.2 Sistemi di comunicazione veicolare	31
2.3 Nuove forme di mobilità: MaaS	37
3. Digitalizzazione dell'infrastruttura ed esercizio della rete stradale	39
3.1 Sensori per l'osservazione del traffico	45
3.2 Reti di sensori senza fili	45
3.3 Sensori il rilievo del peso dei veicoli in transito (SENTINEL)	46
3.4 Monitoraggio strutturale	47
3.5 Sistemi e centrali di controllo	48
3.6 Possibili scenari futuri (previsioni di breve e medio-lungo termine per l'infrastruttura tecnologica a supporto della guida connessa ed autonoma e per i possibili sistemi di controllo)	49
4. Lo scenario Big Data	57
4.1 La sicurezza delle informazioni sulle strade digitali	57
4.2 Aspetti legali (responsabilità, privacy, gestione dei dati, fallimenti del sistema, ecc.)	59
5. L'infrastruttura fisica delle strade digitali	61
5.1 Architettura di rete sulle strade digitali	63
5.2 Architettura logica di comunicazione fisica ed organizzativa	63
5.3 Differenze tra infrastrutture fisiche urbane ed extraurbane	66
5.4 Possibili scenari futuri	67
6. Gestione, esercizio e manutenzione delle strade digitali	70

7. Bibliografia	75
-----------------------	----

Il Comitato Tecnico

Per il ciclo PIARC 2020-2023 i temi del Comitato Tecnico Nazionale 2.4 "ITS & Road Network Operations" presieduto dall'Ing. Luigi Carrarini, risultano essere in linea con quelli previsti dal comitato internazionale. Il CT 2.4 Nazionale ha l'obiettivo di produrre informazioni su base continua promuovendo il completamento di report e di altri prodotti in un arco di tempo che li renda utili per i suoi membri, redigendo linee guida per i decisori e raccomandazioni espressamente fatte per esperti di alto livello. I temi che sono oggetto di interesse del comitato sono:

- Nuove forme di mobilità:
 - interoperabilità di differenti forme di mobilità;
 - sfide e opportunità delle nuove forme di mobilità (MaaS);
 - modelli di business della Mobility as a Service;
 - linee guida in materia di scelte strategiche in merito alle nuove forme di mobilità.
- Ottimizzazione delle performance e della gestione della rete stradale:
 - opportunità e best practice relative all'utilizzo dei Big Data e al processo decisionale guidato dai dati al fine di aumentare le performance della rete stradale;
 - utilizzo dei dati per il supporto e l'ottimizzazione delle strategie di gestione del traffico in tempo reale e tecniche relative ai sistemi ITS;
 - analisi degli attuali KPI per la gestione e manutenzione della strada e dei sistemi ITS in modo da ottimizzare il processo decisionale.
- Adeguamento ed aggiornamento del manuale RNO/ITS:
 - stato dell'arte;
 - aggiornamento del manuale con case study d'interesse e articoli;
 - individuazione e rimozione delle parti non più rilevanti.

Il Comitato Tecnico 2.4 Nazionale ha fornito pieno supporto al CT internazionale per la raccolta di informazioni a livello italiano da presentare nel contesto internazionale oltre a sviluppare i temi proposti dal piano strategico PIARC 2020-2023.

Messaggio del Presidente del Comitato Tecnico

La strada digitale e connessa è un elemento chiave dello sviluppo tecnologico volto ad innescare e promuovere il processo di "trasformazione digitale" a cui l'infrastruttura stradale deve necessariamente sottoporsi per far sì che i trasporti continuino a rivestire un ruolo centrale nello sviluppo economico e sociale del nostro Paese. L'obiettivo è quello di fornire una rete stradale efficiente al fine di creare servizi innovativi che migliorino la mobilità e monitorino l'infrastruttura stradale attraverso l'impiego delle più moderne tecnologie. Attraverso l'informazione si potrà migliorare ed efficientare il management e il monitoring della propria infrastruttura ed erogare servizi per innalzare i livelli di sicurezza e il grado di fruibilità dei propri utenti. Inoltre, è fondamentale realizzare un'infrastruttura di monitoraggio costante e real-time delle opere d'arte e dello stato della strada stessa, utilizzando tecnologie IoT.

L'utente della strada e la sua sicurezza sono al centro degli obiettivi che si vogliono raggiungere tra i quali figurano:

- assicurare un viaggio sicuro, senza difficoltà, con guida assistita e/o autonoma incrementando la sicurezza e fornendo servizi di infomobilità agli utenti, attuando politiche di sicurezza preventiva e cooperativa;
- eseguire il controllo del traffico attraverso la rilevazione e previsione del traffico ed una gestione della segnaletica dinamica;
- effettuare monitoraggio intelligente, attraverso sistemi IoT (Internet of Things), delle infrastrutture stradali, del traffico e trasporto delle merci, nonché dell'ambiente e delle condizioni meteorologiche;
- fornire servizi all'utenza sin dalle prime installazioni e con possibilità di implementazioni future;
- gestire la mobilità attraverso politiche di mobility management;
- eseguire il monitoraggio ed il controllo in tempo reale delle infrastrutture della strada.



Ing. Luigi CARRARINI

Presidente CT 2.4 "ITS & Road Network Operation"
Responsabile Centre of Excellence Smart Road & SHM
Direzione Technology Innovation & Digital Spoke
ANAS S.p.A.

Introduzione

I trasporti rivestono un ruolo centrale per lo sviluppo economico e sociale di ogni Paese. Un sistema di trasporto efficiente consente di creare nuovi mercati e di potenziare quelli esistenti, costituendo una leva essenziale per sostenere una crescita economica forte e favorire l'occupazione e la ricchezza. In un periodo in cui è fondamentale per qualsiasi sistema produttivo riuscire a vincere la sfida del mercato competitivo globale, un sistema di trasporto non efficiente riduce le possibilità di raggiungere nuovi mercati, allontana l'orizzonte degli scambi, comprime la capacità produttiva, limita le potenzialità di crescita economica e sociale.

Crediamo che il trasporto debba essere ripensato come un sistema integrato e dinamico, nel quale l'informazione, la gestione ed il controllo operano sinergicamente per ottimizzare l'utilizzo delle infrastrutture e l'organizzazione della mobilità. In questo scenario trovano luogo gli ITS - "Intelligent Transport Systems", introdotti dalla Direttiva 2010/40/UE contenente gli standard e le specifiche comuni in tutto il territorio dell'Unione Europea, la quale stabilisce i seguenti settori prioritari:

- uso ottimale dei dati relativi alle strade, al traffico e del trasporto merci;
- continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e del trasporto merci;
- applicazioni ITS per la sicurezza stradale e per la sicurezza (security) del trasporto;
- collegamento tra i veicoli e l'infrastruttura stradale.

Nell'ambito dei settori prioritari si prevedono l'utilizzo di specifiche, norme e azioni per:

- predisporre, in tutto il territorio dell'Unione Europea, servizi di informazione sulla mobilità multimodale;
- predisporre, in tutto il territorio dell'Unione Europea, servizi di informazione sul traffico in tempo reale;
- utilizzo dei dati e procedure per la comunicazione gratuita agli utenti, ove possibile, di informazioni minime universali sul traffico connesse alla sicurezza stradale;
- armonizzare, in tutto il territorio dell'Unione Europea, servizio elettronico di chiamata di emergenza (eCall) interoperabile;
- erogazione di servizi d'informazione e prenotazione per aree di parcheggio sicure per gli automezzi pesanti e i veicoli commerciali.

Inoltre, si osserva che, l'utilizzo dei sistemi intelligenti finora realizzati in tutto il mondo, sia a livello urbano che extraurbano, ha permesso di valutare in modo tangibile i benefici apportati dagli ITS in diversi Paesi, sia negli Stati Uniti che in Europa, quali:

- riduzione dei tempi di spostamento nell'ordine del 20%;
- aumenti della capacità della rete del 5÷10%;
- diminuzione del numero di incidenti del 10÷15%;
- diminuzione delle congestioni del 15%;
- riduzione delle emissioni inquinanti del 10%;
- riduzione dei consumi energetici del 12%.

Bisogna notare che, affinché gli ITS svolgano un ruolo determinante per un uso più efficiente delle infrastrutture, dei veicoli e delle piattaforme logistiche devono subire un processo di digital transformation e dotarsi di tecnologie in grado di supportare i processi di scambio delle informazioni, tra i diversi attori dei sistemi di trasporto. In tal senso, la Commissione Europea sta adottando delle strategie per i C-ITS - Cooperative Intelligent Transport Systems indirizzate

alla mobilità cooperativa bidirezionale, sia interveicolare (V2V - Vehicle-To-Vehicle), che tra veicolo ed infrastrutture di trasporto (V2I - Vehicle-To-Infrastructure).

Ad oggi, diverse case automobilistiche stanno inserendo sul mercato nuovi modelli di autoveicoli in grado di interagire l'uno con l'altro e di interfacciarsi con l'infrastruttura stradale. Tali interazioni sono alla base dei modelli C-ITS, che consentono all'utente stradale e al gestore dell'infrastruttura di condividere informazioni in tempo reale, al fine di incrementare la sicurezza stradale, ottimizzare la gestione del traffico e migliorare il comfort di guida.

Analogamente, in riferimento all'infrastruttura, la digital transformation, rappresenta sia un fattore abilitante per la crescita sostenibile, intelligente ed inclusiva di un Paese, in grado di creare infrastrutture snelle, di valore, più sicure, capaci di generare dati e servizi per una migliore esperienza di viaggio, sia uno strumento a disposizione dei decision maker, per definire le politiche di trasporto e la gestione dei flussi di traffico.

A tale fine, le linee guida sul Cooperative-Intelligent Transport System prevedono la creazione di una rete unificata, a disposizione di tutte le aziende operanti nel settore, in modo da impedire frammentazioni dovute all'adozione di standard differenti tra loro. In questo modo, sia gli automobilisti che le aziende preposte alla gestione stradale, potranno condividere informazioni utili per coordinare azioni e decisioni. Tali tendenze tecnologiche innovative in atto nel settore automotive vengono stimolate da scenari futuri in cui i veicoli si doteranno di un crescente numero di sistemi d'assistenza alla guida, evolvendo rapidamente verso l'ultimo step di self-driving.

La Direttiva 2010/40/UE viene recepita all'interno del contesto normativo italiano con la Legge n.221 del 2012, la quale stabilisce i requisiti per la diffusione, la progettazione e la realizzazione degli ITS. Tali requisiti sono stati adottati dal MIT il 1° febbraio 2013 con il Decreto per la Diffusione dei Sistemi di Trasporto Intelligenti in Italia e riguardano:

- azioni e settori d'intervento per favorire lo sviluppo degli ITS sul territorio nazionale;
- continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e del trasporto merci;
- archivio telematico dei veicoli a motore non coperti dall'assicurazione per la responsabilità civile e Applicazioni ITS per la sicurezza (eCall);
- interconnessione tra i veicoli e l'infrastruttura;
- istituzione del Comitato di indirizzo e coordinamento tecnico delle iniziative in materia ITS.

Il Decreto Interministeriale 446 del 2014 individua nel MIT l'organo nazionale deputato all'adozione del "Piano nazionale per lo sviluppo dei sistemi ITS", avvenuta il 12 febbraio 2014. Tuttavia, nonostante l'elevata quantità di normativa di settore, i target fissati a livello comunitario non sono ancora stati raggiunti. Pertanto, risulta evidente la necessità di procedere all'adozione di specifiche sugli standard tecnologici, nell'ottica del recepimento degli indirizzi del quadro comunitario di riferimento, e di fare chiarezza sulle funzioni e sui servizi da abilitare nell'ambito delle Smart Road, proponendo le specifiche prestazionali di cui avvalersi per inseguire la digital transformation.

Un quadro integrato ed evolutivo, 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 le strutture abilitanti (piattaforme), non necessariamente visibili al fruitore dei servizi, le vere e proprie fondamenta su cui si poggiano, in modo efficace, tutti gli applicativi.

Sono caratteristiche comuni di queste "piattaforme":

- la natura "abilitante" per diverse categorie di funzioni e servizi;

- la natura "aperta" a terzi, per informazioni che potranno essere messe a disposizione per lo sviluppo di applicazioni orientate al mercato, dove 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.

La Smart Road che Anas vuole sviluppare pone il suo focus sull'utente e la sua sicurezza, il cui punto centrale della Vision è abilitare la connettività con gli utenti, con i veicoli e con le merci.

Tutto ciò è reso possibile grazie ai sistemi di connettività con l'utente della strada e fra veicoli ed infrastruttura, prevedendo sistemi wireless che permetteranno la connessione in movimento degli utenti sui veicoli e dei veicoli con i sistemi lungo l'infrastruttura. In particolare, l'utente che percorre la strada riceverà le informazioni opportune, in tutta sicurezza e senza distrazioni, in modalità vivavoce: in questo modo, il mobile device assume il ruolo di OBU - On Board Unit.

"Anas Smart Road" è modulare, indipendente e autonoma; per modulo si intende un vero e proprio lotto funzionale di tratta stradale e/o autostradale servito dalla Green Island, vero e proprio cuore energetico della Smart Road. La Green Island, è un'area che accoglie principalmente i sistemi di generazione e distribuzione elettrica da fonte rinnovabile, capaci di alimentare tutti i sistemi Smart Road in maniera autonoma, per il modulo di competenza, generalmente di 30 km. L'obiettivo è quello di favorire la transizione energetica delle infrastrutture rendendole più sostenibili e riducendo il loro impatto ambientale.

Infine, altro punto caratterizzante la Smart Road Anas riguarda la realizzazione di un'infrastruttura di monitoraggio costante e in real-time di tutte le opere d'arte e dello stato della strada stessa, basata sulle reti IoT - Internet of Things, attraverso sensori a bassissimo consumo elettrico (Low Power), di facile installazione, di connettività diversa e di lungo raggio (Long Range e reti WAN - Wide Area Network).

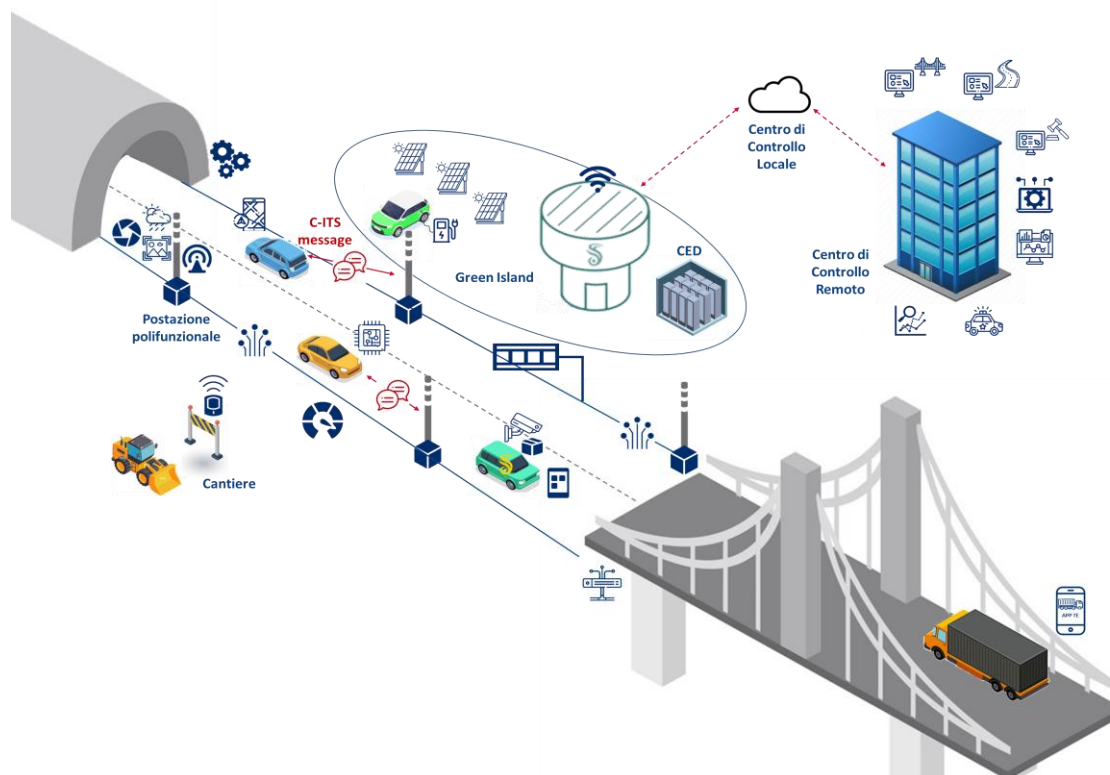


Figura 1. Smart Road Concept (ANAS S.p.A., 2018)

1. Le strade digitali e connesse

Le Smart Road sono un insieme di infrastrutture stradali, piattaforme tecnologiche e servizi che puntano agli obiettivi fondamentali della riduzione della incidentalità stradale, dell'interoperabilità con i veicoli di nuova generazione, della continuità con i servizi europei C-ITS, dello snellimento del traffico, della sostenibilità, della efficienza e della resilienza delle reti.

Esse realizzano quindi un necessario e urgente miglioramento della rete nazionale di trasporto, in grado di renderla adeguata alle sfide antropiche e naturali tradizionali, intervenute e prevedibili.

Le Smart Road si realizzano attraverso un processo graduale di digital transformation della rete stradale esistente ed attraverso l'applicazione degli stessi requisiti alla base della digital transformation alle nuove infrastrutture viarie progettate e realizzate in Italia secondo specifiche priorità applicative. Il processo di digital transformation si pone l'obiettivo di avviare urgentemente la realizzazione di una rete di Smart Road estesa e connessa e si declina attraverso gli strumenti essenziali dell'innovazione, dell'integrazione e dell'inclusione di tecnologie e servizi.

Il processo di digital transformation si articola in coerenza con gli indirizzi e le azioni della strategia Connettere l'Italia e in particolare con la valorizzazione del patrimonio infrastrutturale esistente e la realizzazione di infrastrutture utili, snelle e condivise, supportando il raggiungimento degli obiettivi della globalizzazione dei traffici, della valorizzazione del turismo e del rilancio della industria italiana.

Il processo di digital transformation verso le Smart Road avviene altresì in piena sintonia con i processi di governo e gestione dell'innovazione del settore in atto in Europa, con particolare riferimento alla Piattaforma europea C-ITS e alla iniziativa GEAR 2030. Il processo verso le Smart Road, infatti, si intreccia con gli sviluppi in atto nel settore della

cooperazione tra veicoli ed infrastrutture di trasporto e nello sviluppo di soluzioni di guida connessa e a crescenti livelli di automazione.

Infine, il processo di digital transformation verso le Smart Road pone particolare attenzione al tema dei costi, perseguendo il principio della sostenibilità dei processi e delle attività e del bilanciamento tra oneri da sostenere e benefici ricavabili. Anche in tale ottica deve essere letta la scelta di promuovere soluzioni legate all'innovazione tecnologica e agli Intelligent Transportation Systems, per i quali è ben noto che i tassi di ritorno degli investimenti sono tra i più elevati.

Il principio di proporzionalità tra costi e benefici ottenibili ha anche ispirato la scelta di includere da subito come cogenti per il processo di digital transformation verso le Smart Road alcune specifiche funzionali relative a servizi più maturi, lasciando ad una implementazione più graduale e preceduta da sperimentazioni l'implementazione di servizi meno maturi, caratterizzati da una minore sperimentazione e presenza sul mercato di soluzioni.

Con riferimento alla comunicazione tra veicoli ed infrastrutture ed ai corrispondenti servizi C-ITS, le specifiche funzionali previste da questo documento sono aderenti agli indirizzi presi in sede europea e internazionale e, nel contribuire a risolvere anche in Europa l'impasse di prima partenza tra sistemi di bordo, già previsti in USA per il 2019, e sistemi road-side, si muove nel rispetto del processo europeo di identificazione dei servizi e di identificazione e promozione di standard tecnologici, al fine di evitare la proliferazione di soluzioni proprietarie che impedirebbe la interoperabilità dei sistemi.

Tabella 1. Requisiti funzionali Smart Road (MIT, DECRETO 28 febbraio 2018)

ID	Descrizione Specifica Funzionale
1	Presenza road-side di una rete di comunicazione dei dati ad elevato bit-rate (es.: fibra)
2	Copertura continuativa dell'asse stradale e delle relative pertinenze con servizi di connessione per la IoT e di routing verso la rete di comunicazione dati
3	Road-Side Unit per la comunicazione V2I, localizzati in modo tale da consentire la connessione a veicoli dotati di On-board-unit V2X che soddisfino gli standard di settore
4	Presenza di un sistema di hot-spot Wifi per la connettività dei device personali, dislocati almeno nelle aree di servizio e di parcheggio (ove presenti)
5	Dotazione di un sistema di rilievo del traffico ed enforcement, nonché di rilievo delle condizioni di deflusso, articolato su un livello di maggior dettaglio per le smart road di tipo I, in conformità con quanto descritto nella Sezione A (rilievo del traffico e delle condizioni di deflusso); i sistemi di rilievo devono avere le caratteristiche minime di qualità delle misure e rispondere alle regole di qualificazione descritte sempre nella Sezione A; il sistema deve essere progettato in maniera tale da minimizzare la propria impronta ecologica ed energetica
6	Dotazione di un sistema di archiviazione dei dati provenienti dal rilievo del traffico e delle condizioni di deflusso con funzionalità di archiviazione e storicizzazione, secondo le specifiche della Sezione A (Rilievo del traffico e delle condizioni di deflusso), nel rispetto della normativa in materia di riservatezza e protezione dei dati personali.
7	Dotazione di un sistema modellistico per la previsione delle condizioni di deflusso a medio-breve termine, nonché per la stima/previsione per periodi di tempo successivi, in accordo con le specifiche di dettaglio della Sezione A (Rilievo del traffico e delle condizioni di deflusso)
8	Dotazione di un sistema di monitoraggio in tempo reale delle condizioni climatiche e delle piogge, come dettagliato nella Sezione B (Monitoraggio idro/meteo); il sistema deve essere progettato in maniera tale da minimizzare la propria impronta ecologica ed energetica
9	Capacità, sulla base dei dati di rilievo del traffico e di modelli di previsione di offrire contenuti per servizi avanzati di informazione sul viaggio agli utenti, permettendo eventuali azioni di re-routing; la trasmissione delle informazioni può avvenire utilizzando sistemi di comunicazione V2I, se permesso dagli standard e dalle dotazioni correnti, oppure tramite app web
10	Controllo in tempo reale da una centrale del traffico dotata di programmi di ausilio alla gestione come indicato nella sezione C (Servizi avanzati ITS), che includano la capacità di applicare scenari di gestione del traffico precostituiti (e soggetti a simulazione degli effetti) selezionati e attuati dinamicamente in funzione dei dati di rilievo del traffico e di altre informazioni ricevute da fonti anche eterogenee; gli scenari possono prevedere mix di possibili misure quali ad esempio: 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)
11	Capacità di fornire agli utenti della strada, soprattutto ai guidatori professionisti ed alle flotte aziendali, a richiesta, servizi di gestione dei parcheggi e del rifornimento (con particolare riferimento alla ricarica elettrica)
12	Capacità di fornire, sulla base delle caratteristiche statiche e dinamiche delle infrastrutture, dei dati di rilievo del traffico, delle stime a medio e breve termine delle condizioni di deflusso, del sistema di monitoraggio idro/meteo e di eventuali modelli ed algoritmi specifici, servizi di tipo C-ITS secondo le specifiche di cui alla Sezione C3 (Servizi Avanzati di tipo C-ITS); in prima istanza, i servizi devono potere essere fruiti almeno da veicoli di servizio dell'ente gestore/concessionario della smart-road, nonché dai mezzi pesanti transiti e dotati a bordo di sistemi di comunicazione V2X

I sistemi tecnologici, le piattaforme e i servizi di una Smart Road devono essere progettati e messi in esercizio in modo tale da minimizzare l'impronta energetica aggiuntiva generata dalla trasformazione digitale, valutata

indipendentemente dai benefici diretti ed indiretti sui consumi e le emissioni dovuti alla ottimizzazione ed efficienza delle condizioni e modalità di deflusso.

È possibile prevedere siti di generazione di energia elettrica necessari per alimentare le tecnologie presenti lungo l'infrastruttura. Eventualmente, una Smart Road può essere, ai fini del bilancio energetico, suddivisa in tratte, ognuna di competenza di un sito, le cui funzioni possono consistere in:

- produzione di energia elettrica mediante fonti rinnovabili;
- accumulo dell'energia prodotta e/o collegamento alla rete di distribuzione nazionale e scambio energetico e/o distribuzione di energia elettrica in itinere lungo la tratta di competenza;
- fornitura di servizi locali a disposizione del gestore e/o commercializzati a terzi;
- postazioni di ricarica per veicoli elettrici;
- aree di ricarica e atterraggio/decollo droni;
- ricarica di strumenti tecnologici mobili a servizio della infrastruttura stradale.

La produzione di energia avverrà ricorrendo a fonti rinnovabili ed il mix produttivo deve minimizzare le esigenze di accumulo e di prelievo dalla rete di distribuzione nazionale, temperando tale esigenza con la necessità di garantire la maggiore convenienza economica possibile.

1.1 Sistemi ITS e servizi C-ITS delle strade digitali

Gli ITS - Intelligent Transport Systems nascono dall'applicazione delle tecnologie informatiche e delle telecomunicazioni ai sistemi di trasporto. Questi possono essere sinteticamente definiti come l'insieme di procedure, sistemi e dispositivi che consentono, attraverso la raccolta, l'elaborazione e la distribuzione di informazioni, di migliorare la mobilità, di ottimizzare la gestione dei sistemi di trasporto, ma anche di perfezionare la pianificazione, la progettazione, l'esercizio ed il controllo (Dalla Chiara, et al., 2013). I servizi ITS Sono basati su uno o più supporti telematici, tra cui le reti di comunicazione, che negli ultimi anni hanno subito un notevole sviluppo con tipologie dedicate nel settore dei trasporti:

- tra veicoli (V2V Vehicle to Vehicle), con uno scambio cooperativo di dati in un range fino a qualche centinaio di metri;
- tra veicolo e infrastruttura (V2I, Vehicle to Infrastructure), con l'interazione tra veicoli e dispositivi di comunicazione installati presso l'infrastruttura stradale;
- tra veicolo ed altri soggetti (V2X, Vehicle to other) fra cui biciclette e pedoni, dotati di dispositivi mobili;
- tra veicoli e fornitori di servizi di vario tipo, resi possibili dalla diffusione di tecnologie di comunicazione diffuse (ad esempio web services).

I tre aspetti più rilevanti dell'ITS sono:

- sicurezza dei trasporti;
- efficienza;
- sostenibilità ambientale.

L'obiettivo non è tanto quello di eliminare il traffico stradale, quanto di arrivare ad una mobilità efficiente basata su un flusso veicolare sicuro, omogeneo e non interrotto anche in caso di situazioni congestionate. I vantaggi dei C-ITS si estendono su una serie di settori e comprendono una migliore sicurezza stradale, maggiori efficienza dei trasporti,

mobilità e affidabilità dei servizi, un consumo energetico ridotto, minori effetti negativi sull'ambiente e sostegno allo sviluppo economico.

Per raggiungere questo obiettivo è necessario che ogni Stato e, soprattutto, le sue metropoli si dotino di sistemi di raccolta e trattamento dell'informazione di alta qualità, in grado di supportare il trasporto cross-modale (mezzo privato/mezzo pubblico), grazie alla disponibilità di informazioni dinamiche ed affidabili messe a disposizione del cittadino in mobilità.

La disponibilità di queste informazioni di alta qualità deve partire dalla raccolta strutturata e dall'elaborazione di quantità sempre crescenti di dati resi disponibili da un ecosistema molto strutturato, che oggi definiamo genericamente con i termine Smart City. Inoltre, per sfruttare appieno i vantaggi dei C-ITS sarà necessario garantire la compatibilità tra l'infrastruttura e le soluzioni progettate per i veicoli in tutte l'UE. Un approccio più armonizzato a livello dell'UE è necessario per garantire sinergie efficaci con la diffusione di nuove tecnologie per la sicurezza e la realizzazione della mobilità cooperativa, connessa e automatizzata in tutta l'UE.

In questo contesto, ci si attende che in un futuro prossimo numerosi sensori e attuatori "intelligenti" saranno installati sul territorio e sui veicoli e, comunicando tra di loro e con centri servizi, saranno in grado di prendere decisioni in autonomia e/o su comando di apposite applicazioni centralizzate gestite dalle pubbliche amministrazioni dai fornitori di servizi pubblici e privati. Il divenire attori di una Smart City non può prescindere, quindi, da una forte valorizzazione delle reti TLC, che devono essere sempre più capillari e caratterizzate dall'utilizzo di apposite tecnologie, cosiddette M2M – Machine-to-Machine, adatte a connettere questi nuovi dispositivi.

L'informazione e la conoscenza sono sempre state le chiavi per abilitare servizi e business innovativi, tuttavia in passato la capacità di raccogliere, elaborare, gestire dati in real-time, era molto limitata. Oggi la crescente capacità tecnologica ed elaborativa di trattare e di prendere decisioni in tempo reale, basandosi su queste grandi quantità di dati, diventa un potente abilitatore alla trasformazione del business di quei soggetti che si dotano di capacità di analizzare ed utilizzare i Big Data.

Dal punto di vista tecnologico, si sta sviluppando una nuova generazione di sistemi di computing basati sull'analisi di dati provenienti da sistemi embedded capaci di sfruttare le nuove architetture M2M in cui l'acquisizione, l'immagazzinamento e l'elaborazione del dato si sposta sempre più vicino al sensore intelligente che raccoglie il dato stesso.

Con l'avvento del concetto di Smart City si sta andando verso la creazione di un ecosistema in cui l'enorme quantità di dati raccolta ed elaborata tramite un numero crescente di sensori più o meno sofisticati, così come i dati provenienti da processi di elaborazione e "fusione" dei dati da varie fonti, viene reso disponibile per usi che possono andare ben oltre le motivazioni, per cui quei dati sono stati originariamente raccolti ed elaborati. Possiamo aspettarci che concetti come quelli di M2M, Smart City, Big Data ed Open Data vadano verso una graduale convergenza ed integrazione.

Sebbene i vantaggi siano evidenti, questo obiettivo di integrazione e convergenza non è semplice da raggiungere, in quanto, oltre alla creazione di nuove infrastrutture dedicate alla raccolta ed al trattamento di nuovi dati attualmente non ancora disponibili, sarà necessaria l'armonizzazione e l'apertura di sistemi legacy già in esercizio e, affinché ciò possa avvenire, si dovrà necessariamente dimostrare di poter creare vantaggi anche a tutti quei soggetti che oggi trattano quei dati per le proprie finalità istituzionali o di business.

Per questo motivo, sembra ragionevole promuovere lo sviluppo di sistemi in cui la generazione del dato grezzo o del contenuto elaborato non siano più strettamente ed esclusivamente legati al processo di business per il quale il dato

viene originariamente raccolto e trattato, ma diventano elementi di un processo più generale ed aperto in cui i vari contenuti diventano disponibili a più soggetti che possono utilizzarli per creare servizi attualmente non esistenti.

I sistemi ITS che utilizzano queste connessioni sono noti come C-ITS - Cooperative Intelligent Transport Systems. I C-ITS sono sistemi indirizzati alla mobilità cooperativa bidirezionale, sia interveicolare (V2V -Vehicle to Vehicle), che tra infrastrutture di trasporto e veicolo (I2V- Infrastructure To Vehicle, V2I-Vehicle To Infrastructure) e che consentono la condivisione di informazioni in tempo reale, al fine di incrementare, lato utente stradale, la sicurezza, l'ottimizzazione della gestione del traffico ed il miglioramento del comfort di guida. Lato infrastruttura, in maniera analoga, permettono sia la creazione di infrastrutture più snelle, sicure e di qualità, sia uno strumento per il decision maker, per la definizione di politiche di trasporto e la gestione dei flussi di traffico.

Dalla collaborazione di soggetti pubblici e privati, autorità pubbliche, costruttori di veicoli, fornitori di componenti e di servizi è stata fondata in Europa nel 2014 la C-ITS Platform che ha contribuito significativamente alla definizione di sistemi cooperativi interoperabili nell'Unione Europea, secondo obiettivi, regole e standard comuni.

L'obiettivo UE è la realizzazione di una rete unificata a disposizione di tutti i costruttori, in modo da non frammentare il mercato con standard differenti. La sfida nel lancio di tali tecnologie risiede anche nel controllo della privacy, la protezione dei dati personali, infatti, è uno degli elementi cruciali che determineranno lo scambio di informazioni tra le vetture. Il documento della Commissione Europea in questo ambito sottolinea l'impegno europeo affinché i servizi descritti dalla C-ITS Platform possano svilupparsi già dal 2019.

A partire dal 2018 sono state introdotte le prime leggi ad hoc, frutto del piano C-ITS, avviando il percorso verso l'implementazione dei sistemi C-ITS e lo sviluppo e la produzione di vetture intelligenti, aprendo le porte alla guida autonoma. E' in questo scenario che si inserisce il progetto di innovazione delle infrastrutture stradali "Anas Smart Road", prevedendo la sperimentazione della tecnologia installata su strada in sinergia con i veicoli innovativi, concepiti e sviluppati dai principali carmaker europei e capaci di comunicare con l'infrastruttura.

Tabella 2. Prime applicazioni V2V e V2I (EC, 2016)

#	Day 1 Services			Bundle
1	Emergency electronic brake light	V2V	Safety	1
2	Emergency vehicle approaching	V2V	Safety	1
3	Slow or stationary vehicle(s)	V2V	Safety	1
4	Traffic jam ahead warning	V2V	Safety	1
5	Hazardous location notification	V2I	Motorway	2
6	Road works warning	V2I	Motorway	2
7	Weather conditions	V2I	Motorway	2
8	In-vehicle signage	V2I	Motorway	2
9	In-vehicle speed limits	V2I	Motorway	2
10	Probe vehicle data	V2I	Motorway	2
11	Shockwave damping	V2I	Motorway	2
12	GLOSA / Time To Green (TTG)	V2I	Urban	3
13	Signal violation/Intersection safety	V2I	Urban	3
14	Traffic signal priority request by designated vehicles	V2I	Urban	3

La lista dei Day 1 Services comprende sistemi V2V e V2I, lasciando i servizi che richiedono la tecnologia V2X alla fase successiva Day. I sistemi V2V hanno come obiettivo la sicurezza stradale per segnalare in modo tempestivo: frenate automatiche di emergenza ai veicoli che seguono (1), l'arrivo di veicoli di soccorso (2), la presenza di un veicolo lento o fermo (3) e la formazione di code improvvise nel traffico (4).

I sistemi V2I sono definiti sia in ambito extraurbano, per segnalare a bordo veicolo zone di particolare pericolosità (5), lavori stradali (6), condizioni meteo avverse lungo l'infrastruttura (7), segnaletica e limiti di velocità (8-9), sia in ambito urbano con servizi dedicati alle intersezioni semaforizzate, per migliorare l'efficienza del traffico, suggerendo velocità adeguate per attraversare l'intersezione con il verde (12), di enforcement (13) e di gestione della priorità (14) per veicoli specifici (trasporto pubblico o di emergenza). L'obiettivo di efficienza del traffico è considerato anche a livello extraurbano, includendo i servizi di raccolta dei dati cinematici dai veicoli (10) per ampliare l'osservazione dello stato del traffico e permetterne il controllo e servizi di mitigazione delle onde di shock con suggerimenti dinamici di velocità comunicati ai veicoli (11).

Tabella 3. Successive applicazioni V2V e V2I (EC, 2016)

#	Day 1.5 Services			Bundle
1	Off street parking information	V2I	Parking	4
2	On street parking information and management	V2I	Parking	4
3	Park & Ride information	V2I	Parking	4
4	Information on AFV fuelling & charging stations	V2I	Smart Routing	5
5	Traffic information and smart routing	V2I	Smart Routing	5
6	Zone access control for urban areas	V2I	Smart Routing	5
7	Loading zone management	V2I	Freight	6
8	Vulnerable road user protection (pedestrians and cyclists)	V2X	VRU	7
9	Cooperative collision risk warning	V2V	Collision	8
10	Motorcycle approaching indication	V2V	Collision	8
11	Wrong way driving	V2I	Wrong Way	9

I servizi per il Day 1.5 riguardano ambiti di applicazione più specifici rispetto al primo gruppo di servizi. In particolare, per le aree di parcheggio sono individuati sistemi V2I per servizi di informazione e gestione dei parcheggi su strada (2) e fuori strada (1) nonché per i parcheggi di interscambio (3). Sistemi sempre di tipo V2I sono indicati per servizi smart di routing che forniscano informazioni di traffico (5), informazioni su stazioni di rifornimento e stazioni di ricarica per veicoli a combustibili alternativi (4) e per le zone di accesso limitato in ambito urbano (6). La tecnologia V2I è richiesta inoltre per i sistemi di identificazione di veicoli contromano, viaggianti quindi nella direzione opposta al flusso di traffico (1.1). Le comunicazioni di tipo V2V entrano in gioco nei servizi Day 1.5 con riferimento agli avvisi di potenziale collisione fra autoveicoli (9) e con motocicli (10). Infine, il servizio che richiede la tecnologia V2X è finalizzato alla protezione degli utenti vulnerabili della strada (8). Questi sistemi cercano di estendere la visibilità dei pedoni e dei ciclisti, che possono essere nascosti da ostacoli, e renderli percepibili agli automobilisti, mediante avvisi a bordo veicolo.

I servizi cooperativi C-ITS, se realizzati in modo interoperabile in Europa, produrranno secondo lo studio (Europea, 2016) un rapporto benefici costi fino a 3:1, cumulando costi e benefici nel periodo 2018-2030. Ciò significa che ogni euro investito nei servizi prioritari potrà generare fino a tre euro di benefici".

Dal punto di vista architetturale, i servizi e le applicazioni ITS sono inseriti in una architettura tecnica comune, chiamata architettura della stazione ITS, valida per ogni apparato ITS, sia fisso che veicolare o addirittura portatile (smart phone), definita dallo standard ISO 21217. L'architettura generale di una stazione ITS, che viene istanziata in unità fisiche chiamate ITS-SU, prevede una separazione netta fra le applicazioni e il sistema di comunicazione, per cui la scelta del

canale da usare fra tutti quelli realizzati in ogni ITS-SU viene fatta da funzioni di gestione (ISO 24102) che accoppiano le richieste applicative con le caratteristiche trasmissive disponibili al momento.

Gli standard di comunicazione di rilevanza per le Smart Road ad oggi sono:

- infrarosso: ISO 21214;
- M5 (dizione ISO per G5, o IEEE 802.11): ISO 21215;
- 2G, 3G e LTE V2X: ISO 21212, ISO 21213, ISO 17515-3;
- accesso a reti di sensori via 6LowPan: ISO 19079.

Nei paragrafi che seguono verranno illustrate applicazioni tipiche di Smart Road per ognuna delle categorie di servizi precedentemente individuate.

1.1.1 Servizi Cooperativi di Avviso

I servizi cooperativi di avviso sono tipicamente realizzati da applicazioni basate sullo scambio di informazioni fra entità diverse (veicoli, infrastruttura). Le applicazioni possono coinvolgere o meno l'infrastruttura. Fra queste:

- **veicoli di emergenza:** veicoli di emergenza come, ad esempio, ambulanze inviano segnali per avvisare gli altri veicoli del loro avvicinarsi. L'applicazione che riceve tali segnali di avviso può segnalare il fatto tramite interfaccia audio/video al guidatore, o addirittura, nel caso di veicoli a guida assistita o autonoma, intervenire direttamente per fare accostare o fermare il veicolo;



Figura 1. Segnalazione di frenata di emergenza invalid source specified

- **frenate di emergenza:** al verificarsi di una frenata di emergenza in un veicolo, l'applicazione invia messaggi di tipo CA (Cooperative Awareness – si veda anche in seguito) per avvisare i veicoli circostanti, come rappresentato in Figura 2. Lo stesso tipo di rappresentazione si applica anche al caso precedente e a quello che segue;
- **indicazioni di veicoli lenti o cantieri in lento movimento:** l'applicazione a bordo del veicolo lento segnala agli altri veicoli in avvicinamento la presenza di un possibile ostacolo rappresentato dal veicolo lento. Il comportamento diverso del veicolo ricevente rispetto al caso precedente viene pilotato dal diverso contenuto informativo del segnale di avviso;

- **rischio per immissione o per incroci:** in questo caso, una indicazione permanente di incrocio o di immissione inviata dall'infrastruttura può essere arricchita in contenuto da ulteriori segnali provenienti da veicoli in avvicinamento all'incrocio. Un esempio è mostrato in Figura 3, che schematizza anche i due casi che seguono;

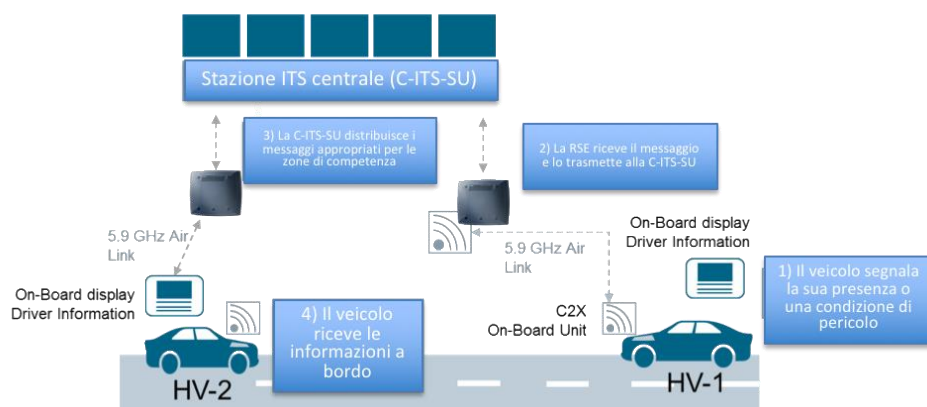


Figura 2. Servizi cooperativi di avviso tramite infrastruttura invalid source specified

- **possibilità di interferenze radio:** l'applicazione di infrastruttura che realizza le tecniche standard di mitigazione dalle interferenze invia segnali ai veicoli in avvicinamento per segnalare, ad esempio, una stazione di pedaggio elettronico i cui apparati di terra potrebbero essere disturbati dalle emissioni radio ITS dei veicoli in avvicinamento. L'applicazione a bordo del veicolo provvede a diminuire la potenza o la frequenza di emissione dei messaggi ITS per tutta l'area segnalata dall'infrastruttura.

1.1.2 Avvisi puntuali di pericolo

Gli avvisi puntuali di pericolo sono tipicamente realizzati da applicazioni di infrastruttura che inviano informazioni a veicoli in transito in vicinanza delle località in cui si possono verificare situazioni pericolose. Fra queste applicazioni:

- **avvisi di immissione di traffico e assistenza all'immissione:** l'infrastruttura, sulla base delle informazioni disponibili, invia ai veicoli in prossimità di un incrocio o di una immissione informazioni sul traffico in avvicinamento. Questa applicazione può essere realizzata in modalità statica (informazioni non basate sulla situazione istantanea) o dinamica (le informazioni inviate riflettono la situazione reale del traffico). Questo secondo caso ricade nella categoria dei servizi cooperativi illustrata in precedenza;
- **avviso di incidente o condizioni stradali pericolose in generale:** le applicazioni di infrastruttura che realizzano questo servizio inviano messaggi tipizzati a seconda del pericolo rilevato da sensori o da centraline locali. L'esempio in Figura 4 mostra il caso di un pericolo rilevato da una rete di sensori (parte dell'infrastruttura) che consiste in una pozza ghiacciata e nella presenza di persone in strada. Le rilevazioni vengono raccolte da una stazione ITS in collegamento con la rete di sensori e immediatamente rimandate sotto forma di messaggi ai veicoli in transito;



Figura 3. Avviso puntuale di pericolo *invalid source specified*

- **segnalazione di senso sbagliato di moto:** l'infrastruttura, dopo aver rilevato che un veicolo sta percorrendo la strada in senso sbagliato tramite due successive rilevazioni di presenza (messaggi CA emessi dal veicolo), invia una segnalazione di senso sbagliato di moto al veicolo stesso (e solo a quel veicolo);
- **avviso di violazione di indicazioni:** l'infrastruttura, dopo avere trasmesso indicazioni ai veicoli (ad esempio riduzione della velocità per nebbia) e avere rilevato che un veicolo non ha rispettato le indicazioni ricevute, invia un avviso di violazione al veicolo stesso (e solo a quel veicolo);
- **frenate di emergenza/veicoli fermi sulla strada:** l'infrastruttura riceve dai veicoli in transito messaggi che segnalano frenate di emergenza, elabora e aggrega tali informazioni e può decidere di avvisare i veicoli che si stanno avvicinando all'area interessata di possibili code o condizioni di traffico critiche;
- **lavori in corso, condizioni stradali pericolose:** l'infrastruttura rileva tramite sensori o da un centro di controllo informazioni sullo stato della strada e delle condizioni meteorologiche e le trasmette ai veicoli che si stanno avvicinando alle aree interessate.

1.1.3 Informazioni generiche

Questa classe di servizi si distingue dalle precedenti per la bassa criticità, che non richiede particolari misure di sicurezza, e per la mancanza di interattività, dato che si tratta di trasmissione di informazioni da un centro remoto ai veicoli in transito. La mancanza di interattività significa che gli stessi servizi possono essere realizzati come applicazioni ITS non cooperative, ad esempio tramite pannelli a messaggio variabile. Se si usano tecniche C-ITS, questo tipo di servizi normalmente viene attuato tramite messaggi IVI - In Vehicle Information, come rappresentato nella seguente immagine, salvo il caso di informazioni sugli incroci, in genere trasmesse tramite protocolli e messaggi specifici.

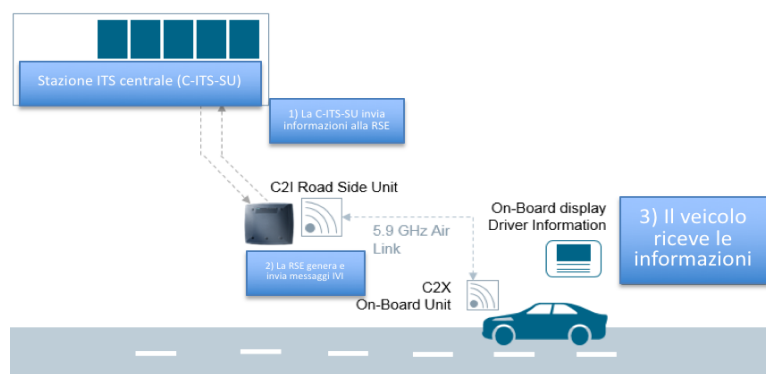


Figura 4. In vehicle information *Invalid source specified*.

Esempi di applicazioni di questo tipo sono:

- **informazioni locali:** l'infrastruttura, in collegamento con strutture locali, trasmette ai veicoli informazioni su parcheggi, orari di mezzi di trasporto pubblico, notifiche di ZTL o punti di interesse o avvenimenti locali;
- **informazioni di traffico:** l'infrastruttura comunica informazioni ricevute da centri di controllo del traffico (nessuna elaborazione locale), ad esempio tempi di percorrenza per le prossime uscite di un'autostrada;
- **informazioni sugli incroci:** l'infrastruttura comunica la topologia degli incroci e possibilmente la situazione in tempo reale dei segnali semaforici e dell'occupazione delle varie corsie.

1.1.4 Monitoraggio

La classe di servizi di monitoraggio, dal punto di vista dei flussi di informazioni prevede che sia l'infrastruttura a ricevere informazioni dai veicoli senza interagire contestualmente con essi e a differenza del caso precedente i servizi vengono realizzati con apparati C-ITS.

Esempi di applicazioni di questo tipo sono:

- **misurazione del traffico:** i segnali di presenza dei veicoli vengono raccolti a bordo strada da applicazioni di infrastruttura, che provvedono ad anonimizzarli, conteggiarli e trasferirli ai centri di controllo per la misurazione del traffico;
- **dati dei veicoli (probe data):** i veicoli trasmettono informazioni sul proprio stato ad applicazioni di infrastruttura, che provvedono a usarle per fini statistici (in forma anonimizzata) o a ricavarne dati di funzionamento (esempio frequenza e intensità delle frenate) da usare per ulteriori elaborazioni;
- **misura del peso dei veicoli (Weigh In Motion):** un'applicazione certificata a bordo dei veicoli (mezzi pesanti) trasmette informazioni sul carico e sul peso del veicolo per controllo da parte di personale autorizzato. Va notato che la stessa applicazione può essere realizzata in modo interattivo, usando l'apposito standard ISO (sviluppato su richiesta della Commissione Europea) che utilizza una connessione sulla banda dei 5,8GHz e un protocollo basato su quello usato per le applicazioni per il pedaggio elettronico.

1.1.5 RWW – Road Works Warning e Gestione Cantieri Stradali (Sistema AREA)

Il servizio RWW riguarda la diffusione di informazioni a bordo dei veicoli sulla presenza di cantieri stradali lungo il viaggio. La trasmissione di informazioni può avvenire in modalità V2V utilizzando gli stessi veicoli che segnalano i lavori stradali opportunamente attrezzati. Infatti, devono essere dotati di sistemi di localizzazione e comunicazione per scambiare informazioni con la centrale di controllo trasmettere messaggi aggiornati ai veicoli in avvicinamento. I canali di comunicazione si basano su ETSI G5 e le informazioni possono essere rese disponibili tramite la centrale di controllo per servizi di terze parti, in modo che i vari fornitori di servizi di informazioni di traffico e di navigazione abbiano la possibilità di integrarle nei loro applicativi.

I principali benefici attesi di questo servizio sono la maggiore sicurezza del personale del cantiere stradale e del traffico in transito, la conoscenza delle posizioni aggiornate dei cantieri con risvolti positivi nella gestione del traffico e delle opere stradali.

1.1.6 IVS – In Vehicle Signage

L'obiettivo del servizio IVS è fornire informazioni sulla segnaletica dell'infrastruttura ai veicoli. In generale fornisce a bordo veicolo informazioni sulla segnaletica fissa dell'infrastruttura, ma può trasferire anche l'informazione dinamica dei segnali stradali a messaggio variabile ai veicoli in transito.

Tali informazioni possono essere elaborate dai sistemi di assistenza alla guida a bordo veicolo, oltre che mostrate al conducente. Il conducente può quindi essere informato sulle norme della circolazione aggiornate e contestualizzate al tronco di strada che sta attraversando, come ad esempio i limiti di velocità. Il vantaggio è evidente rispetto alla segnaletica tradizionale che viene letta dal conducente alla guida solo per un breve periodo di tempo e deve essere quindi ricordata durante il viaggio.

Mediante il supporto del servizio IVS, si prevede di migliorare la consapevolezza del conducente delle norme di circolazione e ridurre il numero e la gravità degli incidenti stradali.

1.1.7 Probe Vehicle Data

La raccolta delle informazioni sul traffico da postazioni mobili è una tecnica adottata da alcuni anni, spesso ad integrazione delle osservazioni eseguite con postazioni fisse. In tale contesto, la presenza di veicoli che si muovono lungo le strade, può essere utilizzata per raccogliere informazioni sul flusso veicolare (Floating Car Data, FCD o Probe Vehicle). Alcune soluzioni sono basate sul rilevamento della posizione e velocità del veicolo opportunamente equipaggiato, che consente di ricavare le condizioni di deflusso presenti sul tronco stesso e, di conseguenza, il tempo di percorrenza nelle varie fasce orarie della giornata.

Il monitoraggio delle condizioni di traffico con questa tecnologia è evoluto, grazie anche alla disponibilità di messaggi CAM - Cooperative Awareness Messages che possono essere inviati dai veicoli mediante il canale di comunicazione ETSI G5, con frequenze elevate (1Hz) e distanze rilevante (circa 500 m in ambito extraurbano e 100 m in ambito urbano).

1.1.8 Gestione Scenari e Previsioni Future

Le funzioni in questa area sono di supporto alla Gestione del Traffico e alla pianificazione che sfruttano 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.

1.1.9 Gestione Operativa del Traffico

In questa area ricadono le funzioni che conducono alla formulazione di decisioni per la gestione del traffico.

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).

1.1.10 Gestione e tracciamento veicoli speciali

Questa classe di servizi, per la gestione ed il tracciamento dei veicoli speciali, è caratterizzata da:

- **transiti eccezionali:** devono essere previste funzioni in grado di abilitare la prenotazione, l'instradamento, il tracciamento e il monitoraggio per i transiti eccezionali;
- **merci pericolose:** devono essere registrati gli incidenti segnalati (attraverso la comunicazione V2I) dai veicoli che trasportano merci pericolose;
- **veicoli di emergenza, di sicurezza, di cantiere:** devono essere tracciati (attraverso la comunicazione V2I), con la esclusione dei veicoli in servizio di polizia.

1.2 Definizione contesti d'interesse

In riferimento al modello di Smart Road occorre prevedere una chiara differenziazione tra reti stradali. Appare chiaro come le esigenze della mobilità urbana ed i servizi ad essa correlati siano differenti da quelle della mobilità extraurbana. Ciò è ancora più evidente nel caso della mobilità autostradale e, specificatamente, di quella afferente la rete a pedaggio italiana, storicamente sviluppata e gestita nell'ambito del meccanismo della concessione.

Si tratta di specifici contratti stipulati tra Società e lo Stato (attraverso il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti e in precedenza, fino al 2012, ad Anas in qualità di concedente) che riguardano e regolamentano i vari aspetti connessi all'autostrada (sviluppo infrastrutturale, manutenzione, gestione, ecc.).

Ciò incide naturalmente anche sui servizi ITS e più generalmente sulle implementazioni di servizi innovativi, poiché i contratti di concessione prevedono l'affidamento in via esclusiva agli operatori concessionari dell'erogazione, o comunque della disponibilità, lungo le arterie ad essi affidate, di una serie di attività, quali ad esempio il monitoraggio, il soccorso, la raccolta dei dati ai fini dell'informazione sul traffico, l'esazione dei pedaggi, ecc.

I concessionari autostradali possono gestire direttamente alcune attività oppure decidere di incaricare, sulla base di strumenti contrattuali trasparenti, altri soggetti. Negli anni le Società concessionarie si sono quindi organizzate in funzione di tali attività per svolgerle in maniera autonoma (es. centri di controllo/Sale radio, gestione del traffico, operazioni invernali, esazione, ecc.) o attraverso strutture esterne dedicate e specializzate (es. Polizia Stradale, soccorso sanitario e meccanico, ecc.), predisponendo, in entrambi i casi, apposite procedure.

L'esercizio quotidiano di infrastrutture come quelle autostradali comprende numerosi aspetti (monitoraggio e gestione dei flussi, dell'infrastruttura, delle condizioni meteo, degli incidenti, gestione viabilità invernale, assistenza all'utenza, informazione, ecc.) strettamente interconnessi e che rispondono a precise filiere operative che includono anche soggetti esterni. La numerosità, l'articolazione e interrelazione delle varie componenti possono quindi far intuire la complessità del sistema che concorre alla produzione di alcuni servizi, nonché ai vincoli cui esso è sottoposto.

Oltre alle clausole convenzionali inerenti ai singoli rapporti concessori, il settore autostradale risponde ovviamente a un corpo normativo consolidatosi negli anni e costituito da leggi, decreti, regolamenti, deliberazioni CIPE, ecc. che non trovano equiparazione nella rete viaria gestita da altri Enti/Amministrazioni (soprattutto pubbliche).

Per quanto riguarda quindi specificatamente la rete autostradale a pedaggio, si tratta di un sistema chiuso già oggi caratterizzato da un elevato indice di sviluppo tecnologico e soprattutto da un sistema di gestione assai peculiare, fondato sulle disposizioni del Codice della Strada: poteri e compiti degli enti proprietari e concessionari delle strade sono infatti stabiliti dall'art. 14 secondo il quale i gestori "... allo scopo di garantire la sicurezza e la fluidità della circolazione, provvedono:

- a) alla manutenzione, gestione e pulizia delle strade, delle loro pertinenze e arredo, nonché delle attrezzature, impianti e servizi;
- b) al controllo tecnico dell'efficienza delle strade e relative pertinenze;
- c) alla apposizione e manutenzione della segnaletica prescritta".

Inoltre, nel sistema di gestione autostradale va considerato il ruolo primario della Polizia Stradale che, ai sensi delle norme in materia (ex artt. 11 e 12 del Codice della Strada, Decreto Ministero dell'Interno 12 febbraio 1992 e Decreto Ministero dell'Interno 28 aprile 2006), opera in esclusiva lungo la rete autostradale (in base ad appositi accordi convenzionali con le Società concessionarie), provvedendo all'espletamento dei servizi tipici di polizia stradale quali "la prevenzione e l'accertamento delle violazioni in materia di circolazione stradale e la tutela e il controllo sull'uso delle strade".

Pertanto, il modello gestionale attuale - costruito nell'ambito degli obblighi normativi vigenti – prevede, come già detto, un'integrazione sinergica tra pattuglie della Polizia Stradale ed operatori delle concessionarie autostradali, cui si aggiunge un'attività coordinata con Vigili del fuoco, Servizio Sanitario Nazionale, organizzazioni di soccorso meccanico (ex art. 175 del Codice della Strada), ecc.

A quanto sopra, si deve aggiungere l'ulteriore peculiarità della rete autostradale italiana a pedaggio, ossia il suo essere un sistema strutturalmente e – unico esempio al mondo - funzionalmente interconnesso, in cui diverse concessionarie operano in modo sinergico, scambiandosi informazioni e condividendo sistemi e standard operativi-gestionali: nello specifico, ad oggi, 5.490 km (pari a ad oltre il 90% dell'intera rete a pedaggio), gestiti da 20 Società differenti, sono regolati da un particolare accordo di interconnessione e sono interamente percorribili senza soluzione di continuità. Ne consegue che l'implementazione di un modello Smart Road su una tratta comporterebbe ricadute automatiche sulle altre tratte della rete (limitrofe in primis).

Il modello è, quindi, complesso ed efficace, oltre che normativamente conforme, ed è organizzato e strutturato per garantire i massimi livelli di sicurezza. Per questi motivi, l'introduzione di nuovi strumenti/tecnologie, estremamente impattanti sul comportamento degli utenti e su tutta la filiera "uomo-veicolo-infrastruttura", vanno opportunamente analizzati e verificati in maniera ampia, con un'ottica a 360° che includa anche gli effetti sul modello gestionale. L'obiettivo – e l'auspicio – comune è, infatti, quello di integrare e potenziare l'esistente attraverso un uso sinergico delle tecnologie finalizzato ad innalzare ulteriormente gli standard di servizio e di sicurezza, ponendo però, al tempo stesso, massima cura e attenzione nel caso in cui si possano paventare dei rischi di contrasto con dinamiche e procedure consolidate.

2. Il ruolo del veicolo nei sistemi ITS

Pur registrandosi tra il 2006 ed il 2016, in Europa un calo del 40% delle vittime di incidenti stradali, si sono avute comunque 26.000 vittime sulle strade nel 2016, cifra simile registratasi nel 2015. La tecnologia delle auto connesse ha il potenziale per migliorare la sicurezza stradale consentendo ai conducenti di acquisire maggiori informazioni in tempo reale sui veicoli, infrastrutture stradali e pedoni nelle loro vicinanze.

I veicoli a guida autonoma dispongono di una serie di sensori, attuatori e un computer centrale per percepire l'ambiente e automatizzare il processo di guida, permettendo così la conduzione autonoma, senza intervento umano. I veicoli a guida autonoma potrebbero modificare non solo il nostro modo di spostarci, ma anche lo stile di vita di noi tutti. Uno dei principali fattori determinanti per l'adozione dei veicoli a guida autonoma è la maggiore sicurezza. Oggigiorno, la sfida più importante per l'adozione dei veicoli a guida autonoma rimane il raggiungimento del necessario livello di precisione affinché la guida sia sicura sulla rete viaria pubblica. Oltre il 90% di tutti gli incidenti stradali è dovuto ad errori umani. Ponendo un certo numero di sensori collocati intorno al perimetro dell'auto, si migliora la percezione che il veicolo ha dell'ambiente circostante. Sensori come i LiDAR, radar, GPS e telecamere raccolgono i dati sull'ambiente circostante il mezzo.

La tecnologia LiDAR consente alle vetture dotate di guida autonoma di gestire in completa sicurezza contesti di traffico complessi e velocità più elevate, dotando queste automobili di capacità di percezione a lunga distanza affidabili. Di fatto i sensori 3D LiDAR che troviamo oggi in commercio sono in grado di misurare con precisione la direzione e la distanza dagli oggetti con un ampio angolo di visione, elemento cruciale per il funzionamento dei veicoli autonomi e, nella fattispecie, per il rilevamento di oggetti al suolo e ruvidità della superficie stradale. Un'altra delle sue funzionalità, che si presta particolarmente al contesto della guida autonoma, è quella di rilevare il corpo umano individuandone persino i singoli arti, come braccia e gambe.

I sistemi di controllo adattativo di crociera di oggi utilizzano il radar per misurare la distanza con il veicolo di fronte. Questa tecnologia opera abbastanza bene in autostrada, ma in un ambiente urbano - in cui le distanze sono più ridotte e i pedoni/veicoli possono avvicinarsi anche da altre direzioni - è necessaria una misura più precisa della posizione. Se il cruise control si limita a mantenere una velocità di crociera preimpostata, il cruise control adattivo non solo è capace di mantenere una determinata velocità di crociera, ma consente di ridurre l'uso dell'acceleratore e in più modifica costantemente la velocità in base alle circostanze del traffico.

La vettura con cruise control adattivo impiega diverse tecnologie per rilevare la presenza di ostacoli o veicoli (radar, sensori, telecamere, ecc.) nell'area che precede la vettura. L'uso del cruise control adattivo è da reputare utile sulle autostrade e in situazioni di traffico più o meno scorrevole. L'utilità del cruise control adattivo sta nel fatto che questo sistema riporta automaticamente l'auto alla velocità di crociera impostata quando le condizioni di traffico lo permettono.

Le tecnologie intelligenti oggi presenti a bordo dei veicoli sono sempre più complesse e variegata e per dare un'idea della capacità di tali sistemi, si citano, a titolo di esempio, quelli sviluppati dalla casa automobilistica Nissan (Nissan Motor Co. Ltd., 2017):

- Sistema intelligente di assistenza al parcheggio: permette al veicolo di sterzare e manovrare per entrare nei parcheggi più stretti;

- Sistema di frenata d'emergenza intelligente: segnala l'eventuale presenza di oggetti sul cammino e in caso di necessità aiuta a ridurre la velocità;
- Sistema di avviso cambio corsia involontario intelligente: segnala se l'auto inizia a deviare dalla corsia senza aver azionato gli indicatori di direzione opportuni;
- Fari automatici intelligenti: i fari anteriori illuminano la strada in maniera intelligente; non solo si accorgono di quando fa buio ma aiutano anche a illuminare il percorso in curva con il sistema Intelligente di inseguimento della traiettoria (AFS);
- Sistema intelligente di copertura angolo cieco: segnala la presenza di veicoli nell'area dell'angolo cieco dietro l'auto;
- Sistema di monitoraggio a 360° (Intelligent Around View Monitor): è un sistema di monitoraggio a 360° del veicolo che utilizza 4 telecamere, offrendo una visione panoramica intorno all'auto per rendere facili le manovre in retromarcia e parcheggio. Inoltre, quando il sistema è in uso, segnala se qualcosa si trova intorno al veicolo, come ad esempio valigie o bambini;
- Sistema intelligente di rilevamento posteriore degli ostacoli in movimento: avvisa della presenza di un eventuale veicolo che ostacoli il percorso alle spalle durante la manovra di retromarcia;
- Sistema di riconoscimento segnaletica stradale: offre informazioni aggiornate sui limiti di velocità rilevando la segnaletica stradale durante la guida;
- Intelligent Trace Control: il sistema di controllo attivo della traiettoria regola la pressione sui freni di ciascuna singola ruota, per agevolare il mantenimento della traiettoria ottimale in ogni curva;
- Intelligent Ride Control: il sistema di controllo della vettura applica una leggera pressione sui freni per evitare fastidi quando si affrontano dossi, assicurando una guida comoda e fluida;
- Sistema di freno motore intelligente: controlla la trasmissione automatica con una leggera flessione, scala la marcia in basso per decelerare senza scosse quando si entra in curva, per poi tornare ad un rapporto di cambio superiore per accelerare mentre si esce dalla curva;
- Intelligent 4x4: fuori strada o sulla strada, massimizza la trazione sulle ruote. Utilizzando un computer e i sensori, il sistema intelligente misura lo scivolamento degli pneumatici e distribuisce immediatamente la coppia, fino al 50% sulla ruota posteriore;
- Stand Still Assist: durante la partenza in salita, blocca il veicolo quando è fermo senza che chi guida debba tenere il piede sul freno o azionare il freno di stazionamento.

2.1 La guida connessa e autonoma

Le applicazioni ITS relative alla sicurezza stradale richiedono una bassa latenza per le comunicazioni V2V e per le comunicazioni V2I. L'occupazione di banda e il controllo della congestione dei canali adibiti allo scambio dei dati, devono essere tali da garantire che i messaggi relativi alla sicurezza abbiano una priorità ed un'affidabilità elevatissima per essere ricevuti dalle altre stazioni ITS. Le future applicazioni ITS hanno requisiti elevati rispetto alle attuali applicazioni dell'ITS in cui sono presenti semplici applicazioni di Alert, supporteranno anche modalità di guida sempre più automatizzate.

Ad oggi le comunicazioni V2V e V2I sono state consentite grazie alla tecnologia DSRC (Dedicated Short Range Communication) con standard ETSI ITS-G5.

V2X o Vehicle-to-everything è una tecnologia di comunicazione wireless di nuova generazione che può collegare un veicolo a qualsiasi oggetto che possa interagire con il veicolo stesso, compresi altri veicoli, pedoni, infrastrutture stradali e reti di comunicazione (Nissan Motor Co. Ltd., 2018). Il V2X ha le seguenti modalità di interazione:

- Vehicle-to-Vehicle (V2V);
- Vehicle-to-Infrastructure (V2I);
- Vehicle-to-Pedestrian (V2P);
- Vehicle-to-Network (V2N).

Il V2X collega pedoni, veicoli, strade, Clouds ed altri elementi consentendo ai veicoli di raccogliere più informazioni e promuovere l'innovazione ed applicazioni di guida autonoma. Il V2X permette di costruire un sistema di trasporto intelligente, sviluppare nuovi modelli per i servizi di trasporto e migliorarne l'efficienza, risparmiare risorse, ridurre l'inquinamento e evitare incidenti stradali.

Per molti anni, gli operatori delle reti di trasporto urbano, con l'impiego degli ITS-Intelligent Transport Systems hanno potuto gestire il traffico, raggiungere gli obiettivi delle politiche locali e soddisfare esigenze sempre crescenti in tutta Europa.

Gli ITS risultano realmente efficienti quando vengono adoperati all'interno di un quadro strategico, seguendo un'attenta pianificazione, allineati con obiettivi politici specifici e con ruoli definiti distribuiti tra tutti gli stakeholders interessati. Per questo motivo, è essenziale un approccio integrato che porti ad un trasferimento modale inclusivo di diverse modalità di trasporto e servizi di mobilità, e che possa unire considerazioni sia tecniche che politiche.

La nuova generazione degli ITS, i C-ITS – Cooperative Intelligent Transport Systems, utilizzano tecnologie di informazione e comunicazione che permettono a diverse parti delle reti di trasporto stradali di condividere informazioni. Questa iterazione permetterà agli utenti della strada e ai gestori del traffico di condividere e usare informazioni, fino ad ora non disponibili, e di coordinare le loro azioni. L'elemento cooperante acquisito dall'impiego della connettività digitale, si presuma migliori significativamente la sicurezza stradale e l'efficienza del traffico, aiutando le persone a prendere le giuste decisioni al momento opportuno, così come ad adattarsi alla situazione del traffico, seguendo le politiche/schemi di gestione della mobilità in atto. Per i viaggiatori questo potrebbe tradursi nel ricevere differenti informazioni di viaggio, addirittura prima di salire a bordo del veicolo così come durante il viaggio stesso, sia che si tratti del passeggero o dell'autista di autobus/tram/ veicolo per il trasporto merci/ pedoni, ...

Usando nuove forme di comunicazione, i veicoli sono ora in grado di trasmettere o ricevere dati che gli consentano di comunicare tra loro e/o con l'infrastruttura. In aggiunta a tutto ciò che i guidatori possono immediatamente osservare attorno a loro e quello che i sensori del veicolo possono individuare, tutte le parti del sistema di trasporto incrementeranno sempre di più la condivisione delle informazioni, per migliorare il processo decisionale dei conducenti e potenziare la sicurezza e le operazioni di trasporto. Le potenziali applicazioni e i servizi per gli utenti finali forniti dai C-ITS sono piuttosto diversi e di ampia portata; nella tabella seguente affianco ad ognuno di essi viene indicato lo scopo principale del servizio (ad es. sicurezza stradale, informazioni sul traffico, servizi di trasporto merci, ...).

Tabella 4. V2V, V2I or V2X communication (V=vehicle, I=infrastructure, X=anything) (EC, 2016)

Emergency electronic brake light	V2V	Safety	Off street parking information	V2I	Parking
Emergency vehicle approaching	V2V	Safety	On street parking information and management	V2I	Parking
Slow or stationary vehicle(s)	V2V	Safety	Park & Ride information	V2I	Parking
Traffic jam ahead warning	V2V	Safety	Information on AFV fueling & charging stations	V2I	Smart Routing
Hazardous location notification	V2I	Motorway	Traffic information and smart routing	V2I	Smart Routing
Road works warning	V2I	Motorway	Zone access control for urban areas	V2I	Smart Routing
Weather conditions	V2I	Motorway	Loading zone management	V2I	Freight
In-vehicle signage	V2I	Motorway	Vulnerable road user protection (pedestrians and cyclists)	V2X	VRU
In-vehicle speed limits	V2I	Motorway	Cooperative collision risk warning	V2V	Collision
Probe vehicle data	V2I	Motorway	Motorcycle approaching indication	V2V	Collision
Shockwave damping	V2I	Motorway	Wrong way driving	V2I	Wrong Way
GLOSA / Time To Green (TTG)	V2I	Urban			
Signal violation/Intersection safety	V2I	Urban			
Traffic signal priority request by designated vehicles	V2I	Urban			

In una rete C-ITS le unità di bordo integrano tutti i dati ricevuti per costruire un'immagine della situazione del traffico locale e generare informazioni e avvertimenti strettamente rilevanti per i conducenti. Ad esempio, basandosi sui dati scambiati tra veicoli e tra veicoli e infrastrutture, un conducente potrebbe ricevere informazioni tramite una HMI - Human Machine Interface relativi a lavori che bloccano la strada da percorrere o avvisi in merito a situazioni che richiedono attenzione. Impiegando i sensori dei sistemi di assistenza alla guida del veicolo e le capacità di comunicazione dei sistemi cooperativi, eventi pericolosi come presenza di lastre di ghiaccio, di strade sdruciolevoli, o fenomeni di aquaplaning rilevati da un veicolo, possono essere comunicati ad altri veicoli in avvicinamento. La figura seguente mostra le interazioni tipiche esistenti all'interno di una rete C-IT.

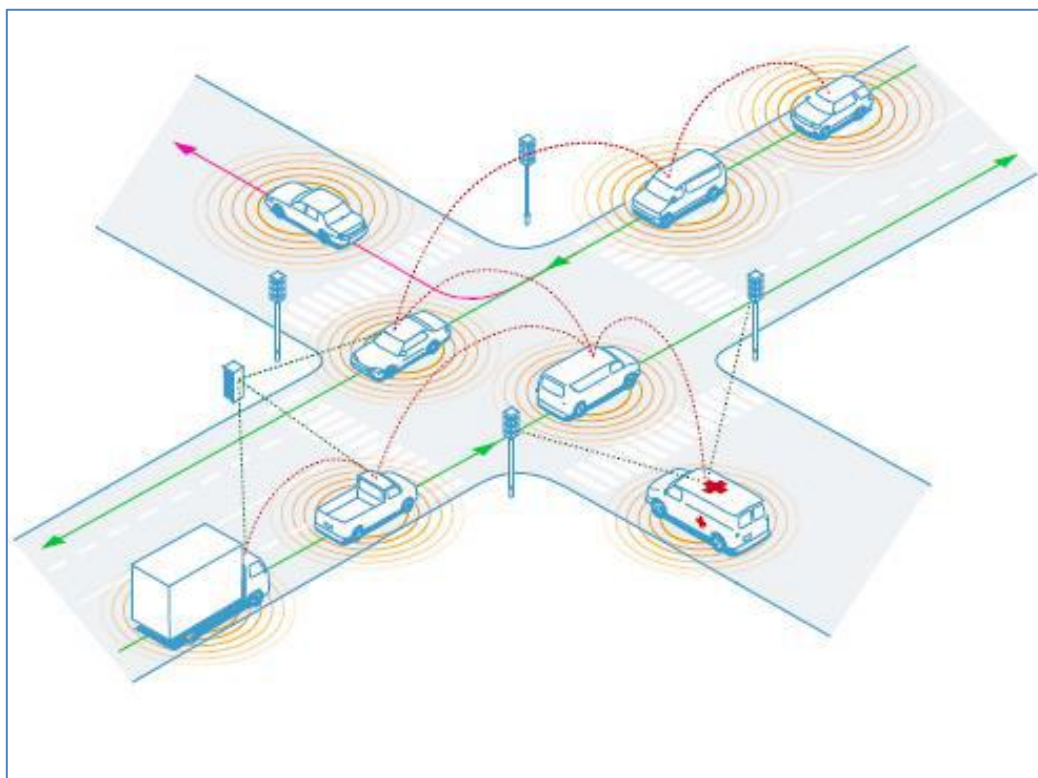


Figura 5. Illustrazione delle tipiche interazioni esistenti in una rete C-ITS (EC, 2016)

Il Third Partnership Project (3GPP) ha pubblicato nel Settembre 2016 le specifiche nella Release 14 per il supporto delle comunicazioni V2X, comunemente indicato come LTE-V2X o Cellular V2X (C-V2X). C-V2X offre due tipi di interfacce di comunicazione: l'interfaccia cellulare, che supporta le comunicazioni V2I nelle tradizionali bande MFCN (chiamate Uu), e l'interfaccia PC5 che supporta le comunicazioni V2V:

- l'interfaccia PC5 è un'interfaccia di comunicazione diretta a breve distanza tra veicoli, pedoni e strade, che permette la comunicazione tra unità a bordo strada (RSU) e veicoli (OBU). Inoltre, supporta la trasmissione di messaggi V2X (in particolare tra veicoli), lo scambio di informazioni dinamiche che cambiano rapidamente (come posizione, velocità, direzione di guida e condizioni del traffico) e applicazioni avanzate di guida automatica, incluso il platooning e la condivisione dei sensori.
- l'interfaccia Uu supporta la trasmissione di dati ad alta velocità su una lunga distanza tra un terminale (RSU / OBU) e una stazione base. Un terminale con accesso alla rete cellulare può scaricare mappe HD in tempo reale e usufruire di vari servizi di intrattenimento dal cloud.

La Release 14 ha introdotto due nuove modalità di comunicazione, mode 3 e mode 4, progettate specificamente per il caso d'uso ITS. Nel 2018 sono partite le prime sperimentazioni su strada, grazie al contributo di alcune case automobilistiche partner del progetto, tra le quali Nissan (Nissan Motor Co. Ltd., 2018).

Mentre nella modalità di trasmissione mode 3 la rete cellulare (eNodeB) controlla la selezione delle risorse radio, la modalità di trasmissione mode 4 si basa sulla selezione autonoma delle risorse radio da parte dei veicoli. In altre parole, quest'ultima modalità può funzionare senza copertura della rete cellulare ed è quindi considerata la modalità V2V di base. Include uno schema di controllo distribuito per i veicoli che selezionano le loro risorse radio e il supporto per la gestione della congestione decentralizzata. Il 3GPP ha specificato un'interfaccia radio da 10 MHz e 20 MHz, in particolare all'interfaccia PC5 è stata assegnata la banda dei 5.9 GHz. La Direct LTE sidelink (o comunicazione da dispositivo a dispositivo), è stata introdotta nella versione 12 per la sicurezza pubblica e migliorata nella release 14 per le comunicazioni V2V nella banda 3GPP 47 (5855-5925 MHz). Si noti che 3GPP sta studiando un'evoluzione tecnologica per LTE-V2X basata su New Radio (NR), supportando l'interazione con LTE-V2X.

In termini di scenari evolutivi, è fondamentale tenere conto del fatto che il Cellular V2X (C-V2X) è una tecnologia di comunicazione wireless globale che include LTE-V2X ed il 5G-V2X.

Oltre alla guida connessa la guida autonoma è l'occasione per affrontare importanti sfide sociali del trasporto su strada: sicurezza, efficienza energetica, congestione, accessibilità urbana e inclusione sociale. Gli impatti dovrebbero essere valutati in senso ampio: non solo dall'introduzione di nuove tecnologie per i veicoli, ma anche considerando i nuovi servizi abilitati dall'automazione e il loro probabile impatto sociale. Quindi è necessario un approccio di sistema per avere una buona panoramica di ciò che può portare l'implementazione della guida autonoma.

I potenziali benefici degli AV – Automated Vehicles includono, ma non sono limitati a:

- a) incremento della sicurezza in autostrada data dall'eliminazione dell'errore umano alla guida, presumendo che gli AV non siano soggetti a guasti e abusi del sistema;
- b) migliore uso del tempo di viaggio del viaggiatore che può dedicarsi, in questo modo, ad attività di svago o lavorative;
- c) possibilità di muoversi in maniera indipendente per anziani, disabili e altri segmenti della popolazione soggetti a limitazioni della mobilità;

- d) riduzione del consumo di carburante e delle emissioni dovute a caratteristiche di accelerazione / decelerazione più fluide e da migliori caratteristiche del flusso del traffico;
- e) incremento della capacità stradale e riduzione della congestione. Inoltre, l'implementazione degli AV rappresenterà un cambiamento nel modo in cui i veicoli operano sulla rete di trasporto. I modelli tradizionali di comportamento del guidatore e risposta agli stimoli comportamentali potrebbero non essere applicabili, e di conseguenza la nostra comprensione di come funzionano i sistemi di trasporto e traffico deve essere reinventata.

I sistemi per la guida autonoma, se sviluppati con elevata consapevolezza di sicurezza, se implementati completamente sulle autostrade e nel traffico misto avranno un impatto importante sul miglioramento della sicurezza stradale oltre a sostenibilità, comfort, ... Questa ipotesi si basa sul fatto che l'errore umano è considerata la causa del 90% degli incidenti stradali. Con la diffusione della guida autonoma, la riduzione del bisogno di intervento umano dovrebbe ridurre il rischio di incidenti. D'altro canto, il completo passaggio alla guida autonoma richiederà tempi lunghi data la complessità dei sistemi che richiedono, quindi, un lungo tempo di sviluppo e convalida. La completa migrazione alla guida automatica per le auto private sarà disponibile sul mercato al più presto il 2030 e la flotta di veicoli sarà completamente aggiornata al più presto 10-15 anni dopo. L'implementazione probabilmente varierà all'interno dell'Europa a causa di problemi locali o regionali.

Attualmente sul mercato esistono diversi sistemi per la guida autonoma di livello 0 e di livello 1. Questi sistemi costituiranno la base per lo sviluppo del percorso di implementazione per i veicoli passeggeri e commerciali con un approccio graduale a un livello superiore di guida autonoma. Questi sistemi, negli anni a venire, con l'implementazione crescente, avranno un impatto significativo sull'efficienza e sulla sicurezza di guida sia durante la guida in modalità automatica che manuale. In modalità manuale, i sistemi funzioneranno come sistemi avanzati di sicurezza attiva. Un altro percorso alternativo è il percorso dei sistemi dell'ambiente urbano. In aree specifiche dell'Europa oggi esiste un'alta presenza di guida autonoma nelle aree di transito ma con bassa velocità e/o infrastrutture dedicate. Questi percorsi di distribuzione principali sono mostrati nella figura seguente.

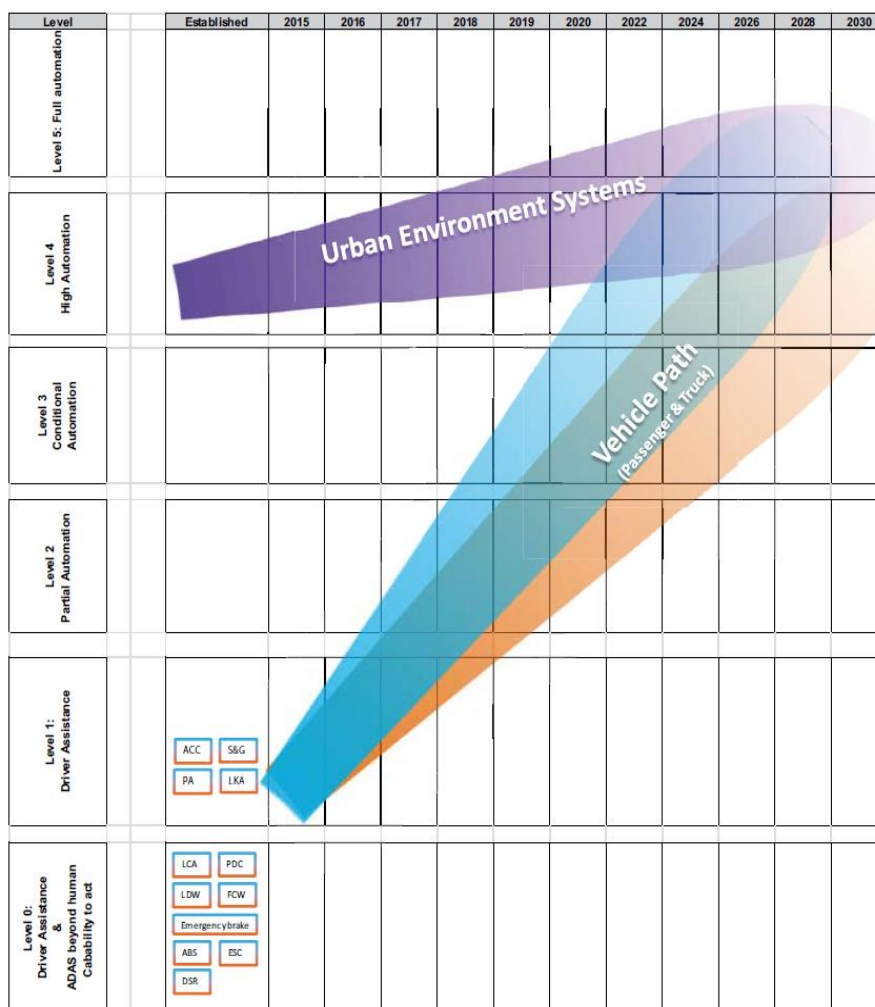


Figura 6. The main automation deployment paths (ertrac, 2015)

Il prerequisito tecnico di base per l'implementazione della guida autonoma è l'affidabilità e la sicurezza del sistema. È necessaria un'architettura fail-safe / fault tolerant per garantire che i veicoli operino in uno stato sicuro in ogni caso o in condizioni avverse. I FOT - Field Operational Trials su larga scala sono state condotte per dimostrare la prontezza tecnologica e analizzare l'interazione tra il conducente, il veicolo e l'ambiente del traffico (compresi gli altri utenti della strada). Questi studi hanno rivelato approfondimenti sulla guida autonoma in condizioni diverse (ad esempio traffico, condizioni meteorologiche, illuminazione, ...). Inoltre, è stato analizzato il comportamento di altri partecipanti al traffico, ad es. veicoli non dotati di sistema di guida autonoma in situazione di traffico misto e VRU (es. pedoni) e generati ulteriori dati per la valutazione dell'impatto (sicurezza stradale, condizioni del traffico, efficienza, ...).

2.2 Sistemi di comunicazione veicolare

La comunicazione V2I (Vehicle-to-Infrastructure) sulle Smart Road prevede sistemi e piattaforme digitali abilitanti, capaci di permettere lo scambio di informazioni tra veicolo ed infrastruttura allo scopo di prevenire incidenti stradali causati da distrazioni del guidatore o pericoli presenti sulla strada. Il sistema di comunicazione wireless previsto per le Smart Road si compone di sistemi di comunicazione DSRC C-V2X - Dedicated Short Range Communication con standard

ETSI ITS-G5, capaci di abilitare comunicazione bidirezionale per lo scambio di informazioni rapide e sicure con applicazioni in ambito safety stradale, abilitando così le infrastrutture stradali a Digital Road.

I dispositivi che permettono la comunicazione V2I, ovvero l'interfacciamento del veicolo con l'infrastruttura e viceversa, possono essere installati direttamente a bordo nei veicoli di nuova produzione, o eventualmente "aftermarket" nel caso di veicoli esistenti. In particolare, la tecnologia DSRC garantisce:

- rapido accesso alla rete;
- latenza in trasmissione inferiore ai 50 ms;
- affidabilità e priorità per le applicazioni in merito alla sicurezza stradale;
- sicurezza e privacy mediante sistemi di autenticazione.

Tra le diverse applicazioni che sfruttano la comunicazione V2I troviamo:

- individuazione di veicoli nei punti ciechi;
- segnalazione di prossima collisione;
- segnalazione di frenata improvvisa.

Attualmente esistono due tipologie standard di messaggi scambiati tra veicoli ed infrastruttura:

- CAM - Cooperative Awareness Message ossia i messaggi scambiati tra veicolo ed infrastruttura;
- DENM - Decentralized Environmental Notification Message ossia i messaggi inviati ai veicoli relativi ad eventi di allarme verificatisi nella strada.

La tecnologia DSRC comprende le seguenti unità:

- OBU - On Board Unit: dispositivi dotati di antenna installati sui veicoli per la comunicazione con l'infrastruttura;
- RSU - Road Side Unit: apparecchiature dotate di antenna destinate all'utilizzo nelle infrastrutture stradali e autostradali.

L'infrastruttura tecnologica abilitante dei servizi C-ITS prevista per "Anas Smart Road" riconosce nella postazione polifunzionale, che prende il nome di "Flying Pole", il suo elemento più emblematico. Ideato dall'architetto Carlo Ratti, con l'obiettivo di dar vita ad un elemento funzionale all'abilitazione della tecnologia che ospita e peculiare dal punto di vista estetico, vuole rivoluzionare il modo di gestire la strada migliorando la manutenzione stradale e la gestione delle infrastrutture, in particolare attraverso l'applicazione dei Big Data e dell'Intelligenza artificiale, nell'ottica di erogare Servizi C-ITS Day 1 e Day 1.5 agli utenti. E' in questi termini che possiamo quindi considerare Anas come uno dei principali stakeholder della strategia europea di implementazione dei Servizi C-ITS, impegnata nella promozione ed attuazione dell'obiettivo di sviluppo strategico europeo di adozione di soluzioni innovative in ambito mobilità per il miglioramento della sicurezza e sostenibilità delle infrastrutture stradali.

Il protocollo IEEE 802.11p è un emendamento del protocollo IEEE 802.11 per le reti wireless che aggiunge miglioramenti dal punto di vista del CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance oltre a modificare parametri del livello MAC - Medium Access Control e PHY - Physical Layer. Il protocollo 802.11p deve garantire:

- range esteso di comunicazione;
- possibilità di operare in un contesto multi-path;
- elevata QoS (Quality of Service);
- supporto alle applicazioni di tipo Safety.

Il livello fisico del protocollo 802.11p si basa su quello del protocollo 802.11a utilizzando di fatto una simile modulazione basata su OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing operando nella banda dei 5GHz. Il livello MAC invece è lo stesso del 802.11 ovvero CSMA/CA - Carrier Sens Multiple Access with Collision Avoidance. Per quanto riguarda l'aspetto del QoS, si riprende la stessa implementazione utilizzata per l'802.11e con quattro differenti categorie di accesso, ognuna delle quali ha a disposizione una coda di trasmissione con priorità definita. Il protocollo 802.11p non eredita soltanto le caratteristiche sopra citate dai precedenti protocolli ma implementa caratteristiche innovative che lo rendono adatto per lo scambio di informazioni all'interno delle Smart Road:

- banda di frequenze dedicata [5.850 – 5925 GHz];
- 10 Mhz per canale invece dei 20 Mhz utilizzati dai precedenti protocolli. Questo implica che la velocità di trasmissione viene dimezzata raddoppiando però il tempo di guardia;
- incremento di SIFS - Short Interframe Space in modo da prevenire problemi di trasmissione sulle lunghe distanze;
- introduzione modalità di operazione WAVE che consente di stabilire una connessione tra dispositivi in modo rapido.

La banda di frequenza approvata per l'802.11p è di 75 MHz [5.850 – 5925 GHz] divisa in 7 canali da 10MHz ciascuno compresi tra i canali 172 e 184:

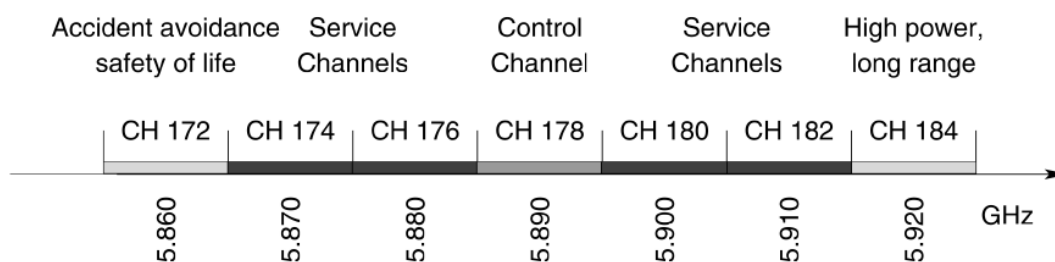


Figura 7. Canali 802.11p (Urmeneta, 2010)

Il canale 178 è stato destinato alle funzioni di controllo e permette la diffusione di informazioni riguardanti la sicurezza. Vista la diffusione su scala mondiale di dispositivi mobili cellulari, si avvalorava sempre di più la possibilità di sfruttare la rete mobile e i dispositivi degli utenti per la comunicazione V2I. Tuttavia, l'attuale rete cellulare 4G consente lo scambio dati in modalità V2I non garantendo però il supporto per le applicazioni a bassa latenza e quindi per le safety application. Queste considerazioni hanno portato allo sviluppo di protocolli di comunicazioni per le Smart Road ibridi che figurano nel C-V2X - Cellular Vehicle to Everything (Nissan Motor Co. Ltd., 2018). La modalità V2X è basata sul concetto di protocol switching ovvero si utilizzano entrambe le modalità V2V e V2I, oltre che le modalità V2P - Vehicle to Pedestrian e N2N - Vehicle to Network in modo da garantire elevata efficienza e affidabilità. Un algoritmo dedicato sceglierà se utilizzare la comunicazione V2I piuttosto che V2V, V2P o V2N. Il V2X espande sempre più le sue capacità consentendo sinergie ed economie di scala. Si elencano di seguito alcuni dei possibili scenari di applicazione del V2X:

- avviso di collisione in avanti;
- avviso di divieto di passaggio;
- avviso di accodamento;
- avviso presenza veicolo di emergenza;

- avviso di riduzione velocità in curva;
- segnalazione di parcheggi disponibili;
- segnalazione presenza stazioni di ricarica per veicoli elettrici;
- Cruise Control adattativo.

La comunicazione C-V2X definisce due modalità di trasmissione complementari:

- comunicazione Diretta: costruita su LTE Direct D2D - Device to Device con migliorie per supportare elevate velocità e densità di traffico;
- comunicazione con la rete: utilizza LTE per trasmettere messaggi da un server V2X ai veicoli e viceversa. I veicoli possono inviare messaggi al server V2X in modalità unicast. Questa modalità sfrutta le reti LTE già esistenti e risulta essere meno sensibile alla latenza.

La tecnologia 5G, prevista con la release 15 di LTE (2022/2023), sarà a supporto della modalità C-V2X grazie ai requisiti minimi:

- supporto per mobilità dinamica e velocità relative tra veicoli ed infrastruttura elevate (500 Km/h);
- basse latenze in trasmissione e ricezione;
- elevata capacità della rete (multi-Gbps) a supporto di un intenso volume di traffico;
- affidabilità e disponibilità;
- sicurezza e privacy.

Con il 5G aumenterà la capacità della rete di scoprire dispositivi nel range di 500 metri gestendo quindi un numero maggiore di connessioni. Sarà resa possibile la comunicazione di tipo multi-hop in grado di supportare applicazioni IoT. Uno dei quesiti ad oggi ancora senza risposta è perché prediligere la rete 5G allo standard 802.11p che conta già 10 anni di sperimentazione. Il 5G permette di estendere il range di copertura garantendo inoltre un throughput maggiore.

Da quanto analizzato fino ad ora è chiaro che nel contesto delle Smart Road il concetto di privacy è di fondamentale importanza, l'utente dovrà comprendere con quali modalità verranno trattati i dati raccolti. I dati scambiati tra veicolo ed infrastruttura sono di seguito riassunti:

- velocità del veicolo;
- accelerazione/decelerazione;
- geolocalizzazione fornita dal GPS a bordo;
- orientamento del veicolo,
- inclinazione;
- operatore telefonico utilizzato;
- lingua/Paese di provenienza;
- marca e modello del dispositivo utilizzato;
- versione del sistema operativo;
- numero di telefono e indirizzo IP assegnato;
- dati di prossimità.

È dunque intuibile il fatto di essere di fronte ad un contesto Big Data. I dati e le informazioni raccolte dovranno essere trattati in maniera conforme con quanto previsto dalla normativa vigente sulla privacy senza la possibilità di cessione a terzi degli stessi, inoltre potranno essere utilizzati al fine di eseguire statistiche e stime del traffico.

Analizzando i servizi e le applicazioni ITS descritte in precedenza, si possono identificare due tipi principali di comunicazione fra veicolo e infrastruttura:

- trasmissione di dati o eventi dal veicolo;
- ricezione di notifiche o informazioni sul veicolo.

I due casi sono trattati da insiemi specifici di messaggi applicativi (message set), che sono trasportati per mezzo di protocolli generici. I protocolli maggiormente impiegati per il trasporto dei messaggi applicativi sono:

- EN 302 637-2: CA - Cooperative Awareness. Nonostante sia nata per la trasmissione di messaggi da veicolo a veicolo e da veicolo a infrastruttura, la struttura dati definita dallo standard permette anche la trasmissione in senso inverso. Un esempio di questo caso è il messaggio usato dalle stazioni di terra per avvisare i veicoli della presenza di un punto di pedaggio (e per quindi abbassare la potenza emessa). In questo particolare caso, lo stesso messaggio può essere inviato da un veicolo che in qualche modo abbia determinato la presenza di un punto di pedaggio (ad esempio dopo avere effettuato una transazione di pedaggio elettronico);
- EN 302 637-3: DEN - Decentralized Environmental Notification. È un insieme di messaggi nato per la trasmissione di informazioni da terra a bordo dei veicoli. Viene usato in quasi tutti i casi di notifiche e messaggi di allerta, come anche per il trasporto di dati tradotti da messaggi DATEX II (informazioni sul traffico). Anche in questo caso, come nel caso dei messaggi CA, lo scopo iniziale è stato esteso, per cui certe categorie di messaggi sono trasmessi via DEN anche dai veicoli;
- ISO 22418: FSAP - Fast Service Announcement Protocol. È un protocollo generalizzato (non fa distinzioni fra stazioni di terra e di bordo) per la trasmissione/ricezione di qualsiasi tipo di messaggio. Essendo lo standard più recente, ha potuto usufruire dell'esperienza di quelli precedenti, sia migliorando in maniera significativa l'efficienza delle strutture dati trasmesse, che realizzando la completa indipendenza rispetto alla tecnologia trasmissiva usata. È richiesto per la trasmissione di messaggi di emergenza (eCall) quando si usi una stazione ITS come mezzo trasmissivo (CEN TS 17182).

La scelta di quali protocolli e insiemi di messaggi usare per realizzare un servizio specifico dipende in gran parte da scelte realizzative e in genere, salvo casi specifici, non è standardizzata.

Dal punto di vista comunicativo, e seguendo i principi dell'architettura ITS (ISO 21217), che prevede la separazione fra livello di applicazione e livello di comunicazione, più che parlare di specifiche tecnologie, si devono considerare i requisiti che le singole applicazioni hanno rispetto alla parte comunicativa. Questi possono essere, con pesi diversi da applicazione ad applicazione:

- latenza: alcune applicazioni richiedono una latenza (assimilabile all'inverso della velocità di trasmissione) molto bassa, come ad esempio messaggi di emergenza e di sicurezza, che devono poter essere trasmessi nel più breve tempo possibile. Per altre applicazioni (ad esempio quelle di infotainment) questo requisito può non essere così stringente;
- affidabilità: le applicazioni di sicurezza (safety) richiedono un canale di comunicazione sempre disponibile. Non si può ad esempio ritardare un messaggio di prossima collisione perché il canale è occupato, ad esempio, da trasmissioni voce;
- throughput: le applicazioni di sicurezza sono in genere realizzate tramite scambio di pochi dati, e non richiedono un throughput (quantità di dati trasmessi nell'unità di tempo) necessariamente elevato. Altre

applicazioni (tipicamente quelle di infotainment, come lo streaming di video), richiedono alto throughput e in genere non hanno bisogno di elevatissima disponibilità.

Nella grande maggioranza dei casi, data la completa simmetria dell'architettura di stazione ITS rispetto all'apparato in cui l'architettura stessa è realizzata (di terra, di bordo, personale), le applicazioni e i servizi ITS sono gli stessi sia nel caso di trasmissione fra veicolo e veicolo che in quello di trasmissione fra veicolo e infrastruttura. Esistono comunque casi d'uso in cui si evidenzia la comunicazione specifica fra veicolo e veicolo.

Il Technical Report ETSI TR 102 688, che elenca l'insieme di base delle applicazioni ITS (Basic Set of Applications) individua una serie di casi d'uso in cui è necessaria la comunicazione fra veicolo e veicolo, e per ogni caso d'uso consiglia il tipo di protocollo applicativo da usare. Quantunque il TR 102 688 non sia prescrittivo (un Technical Report non dà norme, ma illustra uno stato dell'arte o una tecnologia), le indicazioni del rapporto sono state prese in considerazione in molti progetti pilota e dimostrazioni. Va comunque notato che al tempo in cui il rapporto è stato scritto i soli protocolli applicativi di comunicazione noti erano CA e DEN precedentemente citati, quindi gli stessi servizi e applicazioni potrebbero essere realizzati tramite protocolli applicativi più avanzati, come ad esempio il FSAP precedentemente citato.

Nel TR 102 688, in generale servizi e messaggi di emergenza sono da trasmettere via messaggi DEN, mentre quelli di notifica sono da trasmettere via CA. In tutti i servizi elencati nel seguito è un veicolo che, al verificarsi o all'accorgersi di una determinata situazione, invia il messaggio relativo. Questo può essere raccolto da altri veicoli (che devono essere quindi in grado di ricevere messaggi del tipo indicato) o da stazioni ITS di terra (RSU), per essere inviato a un centro di controllo o ritrasmesso ad altri veicoli.

Sono classificati come servizi di emergenza:

- Frenata di emergenza;
- Malfunzionamenti critici del veicolo;
- Veicolo immobilizzato;
- Pericolo-traffico bloccato.

Sono classificati come servizi di notifica:

- Veicolo di emergenza in avvicinamento;
- Veicolo lento in prossimità;
- Motoveicolo in avvicinamento;
- Veicolo in fase di sorpasso o nella corsia adiacente;
- Avviso di incidente non evitabile;
- Veicolo in attraversamento di corsia o in immissione;
- Platooning.

Dal punto di vista trasmissivo, tutti i servizi elencati in precedenza hanno bisogno di elevata o (nel caso di servizi di emergenza) elevatissima disponibilità del canale trasmissivo e di bassissima latenza di trasmissione. Data la brevità dei messaggi scambiati, il throughput (capacità di trasmissione) non è particolarmente critico.

2.3 Nuove forme di mobilità: MaaS

Il settore dei trasporti è in rapida evoluzione e i veicoli si stanno trasformando da semplici mezzi di trasporto a strumenti di informazione mobile. Sistemi di comunicazione, controllo, monitoraggio e di info-mobilità trasformano l'infrastruttura stradale, tramite un approccio interdisciplinare e multi-tecnologico, in una vera e propria infrastruttura digitale. Grazie al dialogo tra la strada ed i veicoli si potrà migliorare ulteriormente la manutenzione programmata, ridurre l'incidentalità, aumentare il comfort di viaggio e l'info-mobilità. L'obiettivo è quello di poter supportare al meglio la guida prima connessa e poi autonoma.

Questa rivoluzione è stata recentemente ampliata dal paradigma del Mobility as a Service (MaaS), un nuovo concetto di mobilità sostenibile, che prevede l'integrazione di molteplici servizi di trasporto pubblico e privato in un'unica piattaforma, accessibile tramite dispositivi mobili. Il MaaS può costituire un'incredibile opportunità per la governance della mobilità pubblica, a sostegno di uno spostamento modale verso modalità di trasporto più sostenibili, efficienti e basati sul principio di equità, per il quale tutti i cittadini possono accedere in modo semplice ed efficace ai mezzi di trasporto.

Il MaaS prevede l'integrazione di molteplici servizi di trasporto sia pubblici che privati, in un unico servizio accessibile attraverso una piattaforma capace di includere funzioni e un unico sistema di pagamento, al fine di rispondere in modo personalizzato a tutte le specifiche esigenze della mobilità per offrire agli utenti libertà di movimento, per i quali il MaaS costituisce la possibilità di accedere in modo semplice e integrato a differenti servizi di mobilità, tra cui:

- trasporto pubblico locale;
- taxi;
- car sharing;
- bike sharing;
- moto sharing;
- e-scooter sharing;
- trasporto a chiamata;
- ride hailing;
- ride sharing;
- servizi a lunga percorrenza;
- parcheggi di interscambio;
- sosta;
- noleggio auto.

I servizi MaaS devono essere completi, accurati, e sempre disponibili e devono offrire servizi di pianificazione, prenotazione e pagamenti di viaggio integrati, per tutti i tipi di spostamento, sistematici e occasionali, in settimana e nel week end al fine di soddisfare tutti i bisogni, dal lavoro al tempo libero, in modo tale da poter costituire un servizio integrato di mobilità di valore paragonabile al possesso di un'auto privata.

L'obiettivo è quello di mettere l'utente (sia nel caso di passeggeri che di merci) al centro dei servizi di trasporto, offrendo loro soluzioni di mobilità su misura basate sui loro bisogni individuali che non dev'essere visto solamente come un'integrazione di applicativi software. La soluzione costituisce un percorso completamente nuovo di trasformazione digitale nella mobilità, rappresentando anche la volontà di crescita e miglioramento di un settore tradizionale, come

quello dei trasporti, che si trova di fronte alla sfida di sapersi innovare per essere capace di offrire agli utenti una customer experience di mobilità come servizio, agile, sicura, su misura, e digitale poichè il MaaS è un'idea, un modo nuovo di concepire la mobilità.

Come è possibile osservare nella figura sopra riportata la situazione attuale, rappresentata sulla sinistra, in riferimento all'accesso ai servizi digitali di mobilità da parte degli utenti, è molto frammentata. Nella stessa figura, a destra, è possibile osservare la modalità in cui la fruizione dei servizi digitali di mobilità degli utenti avverrà in futuri modelli integrati, abilitati dalle piattaforme MaaS.

L'integrazione viene riconosciuta come caratteristica per distinguere le diverse iniziative MaaS e dare una classificazione dei servizi, sulla base dei differenti livelli di integrazione raggiunti. I livelli sono cinque ed in particolare:

- 0 = Nessuna integrazione;
- 1 = Integrazione delle informazioni: pianificatore di viaggio multimodale, informazioni sul prezzo;
- 2 = Integrazione delle prenotazioni e dei pagamenti: viaggio singolo – funzioni cerca, prenota, paga;
- 3 = Integrazione de servizi offerti: building/abbonamenti, contratti, etc.;
- 4 = Integrazione degli obiettivi sociali: politiche, incentivi, etc.

Il servizio MaaS si basa sull'utilizzo di tecnologie digitali avanzate, come il cloud computing, l'Internet delle cose, la blockchain e l'Intelligenza Artificiale, per offrire un'esperienza di mobilità personalizzata e integrata. In questo modo, gli utenti possono prenotare e pagare in anticipo per diversi mezzi di trasporto, e monitorare i loro viaggi in tempo reale. Per fare ciò è necessario disporre di un numero molto ampio di stakeholder chiave e di operatori di trasporto che possono svolgere il ruolo di intermediari digitali tra gli utenti e i fornitori dei servizi di trasporto. In particolare, si stima che il mercato globale della Mobility as a Service, inteso nel suo complesso in termini di sistemi di trasporto pubblici e privati, di servizi di condivisione dei mezzi di tecnologie impiegate (dalle infrastrutture ai sistemi di pagamenti/prenotazione, dalle applicazioni all'assicurazione) potrebbe infatti arrivare a valere più di 106 miliardi di dollari nel 2030.

Anas ha quindi l'opportunità di potenziare, da un lato, la propria rete stradale rendendola più efficiente, sicura e innovativa e di monitorare l'infrastruttura stradale attraverso l'uso delle più moderne tecnologie, migliorando così la mobilità e quindi la qualità di vita, benessere ed equità sociale. Dall'altro lato è essenziale cogliere la necessità di potenziare lo sviluppo di partnership strategiche con player di settore ed Industry affini, nell'ottica di generare servizi innovativi di integrazione tra le differenti modalità di trasporto, al fine di favorire la multimodalità e facilitare l'avvento del Mobility as a Service.

3. Digitalizzazione dell'infrastruttura ed esercizio della rete stradale

La diffusione di veicoli autonomi è oggetto di numerosi lavori e studi. Nella maggior parte dei casi, l'approccio è incentrato sul veicolo, dimenticando la necessaria evoluzione dell'infrastruttura. Al giorno d'oggi, maggiore è il livello di automazione (da 1 a 5), maggiore è il fabbisogno di prestazioni da parte dell'infrastruttura. L'obiettivo di questa parte del documento è quello di sviluppare ulteriormente questo concetto identificando tutte le caratteristiche della strada che sono significative per il veicolo autonomo al fine di garantire un maggior comfort e sicurezza dell'utente.

Per ciascuna delle caratteristiche individuate, potrebbe essere necessario definire una metrica in modo da quantificare il livello di qualità e prestazioni offerto dall'infrastruttura stradale. Questo livello potrebbe essere correlato al livello di automazione richiesto (ad esempio, per la guida autonoma di livello "a" (con "a" tra 1 e 5), è richiesta un'infrastruttura che offre un livello di prestazioni "p" (con "p" tra 1 e 5). Occorre quindi affrontare il tema della digitalizzazione dell'infrastruttura stradale a cui l'infrastruttura stradale deve necessariamente sottoporsi per far sì che i trasporti continuino a rivestire un ruolo centrale nello sviluppo economico e sociale del nostro Paese.

L'obiettivo è fornire una rete stradale efficiente al fine di creare servizi innovativi che migliorino la mobilità e monitorino l'infrastruttura stradale attraverso l'impiego delle più moderne tecnologie. Attraverso l'utilizzo di dati si potrà migliorare e rendere più efficiente il management ed il monitoraggio della infrastruttura stradale erogando servizi per innalzare i livelli di sicurezza e il grado di fruibilità dei propri utenti.

Sistemi di comunicazione, controllo, monitoraggio e di info-mobilità trasformano l'infrastruttura stradale, tramite un approccio interdisciplinare e multi tecnologico, in una vera e propria infrastruttura digitale. Grazie al dialogo tra la strada ed i veicoli si potrà migliorare ulteriormente la manutenzione programmata, ridurre l'incidentalità, aumentare il comfort di viaggio e l'info mobilità. L'obiettivo è quello di poter supportare al meglio la guida prima connessa e poi autonoma.

La classificazione della guida autonoma avviene in 5 livelli. Quando si parla di guida autonoma ci si riferisce ad un'auto che si guida da sola, in grado di rilevare l'ambiente circostante per poter agire di conseguenza ed arrivare destinazione autonomamente. I livelli di guida autonoma SAE sono fissati dalla Society of Automotive Engineers, che ha catalogato sei classi di funzionalità con i quali possiamo distinguere le operazioni automatizzate che un veicolo è in grado di compiere fino ad arrivare alle auto senza conducente. I livelli delle auto a guida autonoma rientrano all'interno di quadro normativo che impone il rilascio di una serie di autorizzazioni specifiche per i test delle vetture a guida autonoma sulle strade pubbliche. Bisogna sottolineare che, i temi relativi alla responsabilità in caso di incidente, alla relativa copertura assicurativa nonché a tutti i possibili problemi morali che ne derivano, sono aspetti che vengono dibattuti ma che ancora non sono entrati o normati nelle leggi attualmente in vigore.

Al livello 1 rientrano tutti quelle automobili sulle quali sono state installati sistemi dedicati alla guida assistita di base. Parliamo quindi dell'ABS, obbligatorio in UE dal 2016 su tutti i veicoli, che in fase di frenata evita il blocco delle ruote, ma anche il Cruise Control che regola in maniera automatica la velocità oppure del Park Assist e di tutte quelle tecnologie in grado di rilevare la corsia. Le auto a guida autonoma di secondo livello racchiude le vetture con parziale automazione. Si tratta delle automobili in grado di intervenire generalmente in frenata e in accelerazione nel caso in cui venga rilevato un pericolo. Il terzo livello è il primo livello della vera automazione, ovvero l'automazione condizionale. Le auto a guida autonoma di livello 3 sono in grado di sostituire completamente il guidatore per eseguire una serie di manovre. La guida autonoma di livello 4 si riferisce ad un alto livello di automazione: in città o in autostrada l'auto a guida autonoma è in grado di capire e monitorare l'ambiente esterno. Il cuore del sistema è un numero elevato di sensori tra i quali

telecamere, sistemi Lidar e computer di bordo in grado di processare un grande numero di dati per ricavare le istruzioni di guida. La guida autonoma di livello 5 rappresenta in fine la totale automazione: l'auto a guida autonoma sarà in grado di scegliere in maniera autonoma il percorso, regolandone velocità, frenata e direzione in qualsiasi scenario, elaborando situazioni complicate e complesse senza richiedere mai l'intervento dell'essere umano. La completa automazione richiede però un forte supporto da parte dell'infrastruttura stradale, oltre che di tutta una serie di tecnologie oggi disponibili ed in continuo aggiornamento.

Le strade non sono sempre in grado di supportare la guida autonoma: si pensi ad una strada con segnaletica orizzontale fortemente degradata, con pavimentazione fortemente degradata o priva di alcun tipo di tecnologia. Questa non sarà in grado di fornire supporto ai sistemi a bordo del veicolo (ADAS o Advanced Driver Assistance Systems) che monitorano l'ambiente circostante al fine di attuare una serie di azioni. È inoltre vero che l'infrastruttura è soggetta a deterioramento, ciò che oggi è in grado di fornire supporto alla guida autonoma, domani potrebbe non esserlo più. Da qui la necessità di classificare digitalmente l'asset stradale in maniera dinamica.

Le tecnologie ad oggi disponibili possono fornire un sostanziale supporto alla classificazione dell'infrastruttura stradale, rendendo quest'ultima dinamica. L'obiettivo primario di questa classificazione è quello di fornire una base per raccogliere opinioni da parte delle autorità e degli operatori stradali sugli elementi della rete stradale che dovrebbero essere prioritari in relazione alla guida autonoma di livello 4 o 5. Inoltre è opportuno informare i conducenti, i produttori e gli sviluppatori di veicoli a guida autonoma sullo stato attuale dell'infrastruttura fisica e digitale su un tratto o collegamento stradale specifico. Le opinioni dell'autorità e degli operatori stradali sul livello di servizio possono influenzare le azioni ed i processi attuati nella gestione del traffico, nella manutenzione stradale, soprattutto quella invernale. Pertanto, le classificazioni dovrebbero anche dare implicazioni a tali attori.

Per l'utilizzo da parte di veicoli a guida autonoma, le classificazioni dovrebbero descrivere le proprietà della rete stradale. Oggi esistono però già diverse metodologie di classificazione della rete stradale. La classificazione ISAD o Infrastructure Support for Automated Driving è stata sviluppata dal progetto INFRAMIX finanziato da Horizon 2020. La classificazione per l'infrastruttura stradale fisica e digitale è stata realizzata secondo il punto di vista dell'operatore stradale. Dal punto di vista del fornitore dell'infrastruttura, la classificazione deve essere effettuata in base alle funzionalità offerte al veicolo automatizzato su un tratto stradale di un determinato livello. La classificazione ISAD si articola in 5 livelli (E, D, C, B e A), da quello meno performante ovvero ISAD D, a quello che supporta completamente la guida autonoma, ovvero ISAD A. Una seconda tipologia di classificazione dell'infrastruttura stradale è stata introdotta dal progetto SLAIN.

Il progetto SLAIN (Saving Lives Assessing and Improving TEN-T road Network safety) finanziato dal CEF della Commissione europea sviluppa e dimostra una classificazione della rete stradale esaminando alcuni fattori rilevanti associati alla prontezza dell'infrastruttura fisica europea per supportare la guida autonoma. Il primo fattore era la leggibilità meccanica della segnaletica stradale orizzontale. La leggibilità delle linee è stata valutata utilizzando sia immagini che LiDAR per valutare gli algoritmi di intelligenza artificiale ed image processing utilizzati nei veicoli connessi ed autonomi. Gli elementi della rete stradale a cui dare la priorità in termini di supporto alla guida autonoma dovrebbero riflettere le esigenze degli utenti. L'obiettivo a lungo termine è quello di determinare una rete stradale, in cui gli investimenti necessari per facilitare la guida autonoma siano realizzabili dal punto di vista socio-economico se si considerano i vantaggi di un sistema di trasporto sicuro, efficiente ed eco-sostenibile. Gli attributi che permettono ad oggi di definire i livelli di servizio sono stati ampiamente introdotti dalla piattaforma CCAM della Commissione europea.

Gli attributi individuati sono stati divisi in quattro categorie principali che riguardano l'infrastruttura fisica, l'infrastruttura digitale, le condizioni ambientali ed infine una serie di elementi dinamici.

Le tecnologie ad oggi disponibili sia sui veicoli che sull'infrastruttura stradale, devono consentire una raccolta di informazioni al fine di fornire supporto alla classificazione della rete stradale. Da questo punto di vista, uno degli elementi chiave è proprio l'immagine processing, ovvero la possibilità di ottenere informazioni dalle immagini catturate da TVCC distribuite lungo le tratte stradali ed autostradali.



Figura 9 - Acquisizione di informazioni in tempo reale da TVCC

Una soluzione di questo tipo utilizza software basati su intelligenza artificiale [Figura 9] per consentire l'estrazione di informazioni ambientali e meteorologiche in tempo reale dalle immagini e video acquisiti. Questo tipo di soluzione è in grado di funzionare correttamente sia in condizioni diurne che notturne vista la disponibilità di illuminatori ad infrarosso. In particolare, è possibile automatizzare l'acquisizione di informazioni in tempo reale classificandole per tipologia: severità delle precipitazioni (pioggia/neve), condizioni di visibilità, condizioni del manto stradale (allagamenti o assestamenti nevosi). Utilizzando una telecamera all'incirca ogni chilometro, è possibile restituire informazioni ad altissima granularità. Queste informazioni contribuiscono sicuramente a caratterizzare le condizioni ambientali oltre a fornire indicazioni a livello di infrastruttura fisica. Quest'ultima però può essere ampiamente caratterizzata grazie ad innovative tecnologie disponibili.

I veicoli che circolano sulle strade sono in grado di raccogliere innumerevoli informazioni sull'ambiente circostante e sullo stato dell'infrastruttura fisica. All'interno dei veicoli sono presenti di fatto innumerevoli sensori tra i quali troviamo accelerometri, giroscopi, sensori di temperatura e molti altri ancora. È importante sottolineare come il vero punto di contatto tra l'infrastruttura fisica e il veicolo è dato dagli pneumatici. Esistono tecnologie e sensori per gli pneumatici in grado di fornire informazioni sull'aderenza e sullo stato di usura del manto stradale. Questi sensori introducono il concetto di "Smart Tires" o pneumatici intelligenti [Figura 10]. L'aderenza della superficie stradale, o in altre parole, la resistenza allo slittamento di una pavimentazione, è un attributo essenziale quando si parla di sicurezza stradale, rappresentando di fatto il collegamento tra la condizione dell'infrastruttura fisica e quella del conducente. Gli pneumatici intelligenti rappresentano uno strumento in grado di migliorare la sicurezza per i modelli di mobilità attuali e futuri, supportando inoltre il monitoraggio del deterioramento della pavimentazione e le best practice esistenti per la valutazione delle condizioni dell'infrastruttura.



Figura 10 - Esempio di sensore per Smart Tire e funzionamento

Concentrandosi sull'interazione pneumatico-pavimentazione, l'importanza di ridurre gli incidenti stradali migliorando le caratteristiche dell'infrastruttura stradale e garantendo livello di guida sicura diventa una priorità assoluta in diversi sistemi di gestione della pavimentazione (PMS) [Figura 11]. I dati che alimentano il PMS possono essere classificati in due categorie: Inventory Data e Condition Data. Gli inventory data sono dati statici nel tempo, legati alle caratteristiche costruttive dell'infrastruttura e alla sua ubicazione (classificazione della strada, le sue caratteristiche geometriche, la Vmax, le condizioni atmosferiche, l'altitudine, coordinate geografiche, pacchetto strutturale), informazioni di questo tipo a cui si aggiungono i cosiddetti condition data, cioè dati che variano nel tempo e che sono legati alle condizioni degli elementi fisici che compongono l'infrastruttura (pensiamo a tutti i parametri correlati alle caratteristiche funzionali e strutturali, al traffico, all'incidentalità).

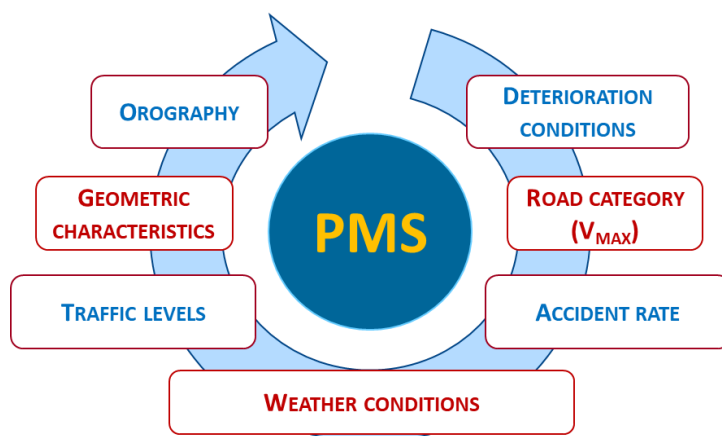


Figura 11 – Esempio di Pavement Management System (PMS)

Il PMS ha appunto il compito di relazionare tutte queste informazioni. E vengono caricati sia i dati storici acquisiti nelle campagne di indagine svolte man mano nel tempo, sia i dati attuali a disposizione. E questo viene fatto per ogni corsia di cui si compone la strada in esame. L'aderenza della superficie della pavimentazione è un elemento essenziale della sicurezza stradale. In questo contesto, misurare l'aderenza diventa un approccio razionale sia per le industrie di pneumatici che per i gestori dell'infrastruttura.

Nell'ingegneria stradale, lo scopo è monitorare periodicamente le caratteristiche del manto stradale a intervalli predefiniti a seconda delle priorità stabilite e della strategia PMS considerata dall'operatore stradale. Esistono diversi sistemi per misurare l'aderenza della pavimentazione o la sua resistenza allo slittamento, misurando sia il coefficiente di attrito longitudinale che quello laterale per esempio. L'obiettivo di tali misure consiste nel valutare le condizioni della

pavimentazione e proporre una tempistica entro la quale attuare azioni di manutenzione per garantire un determinato livello di aderenza [Figura 12] o attuare azioni di ripristino della pavimentazione in caso di forte degrado della stessa.

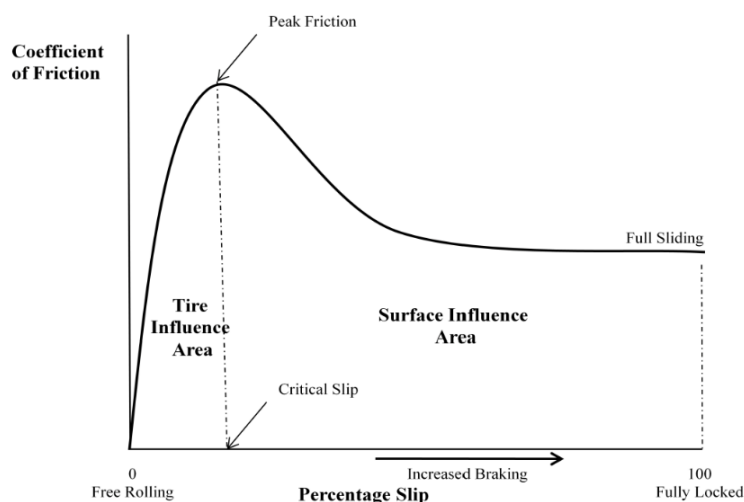


Figura 12 - Coefficiente di aderenza

Alla luce di ciò, sorge una domanda importante riguardo ai potenziali vantaggi nell'utilizzo di sensori intelligenti incorporati negli pneumatici al fine di ottenere informazioni in tempo reale ed eventualmente supporto mediante C-ITS per adeguare lo stile di guida del conducente in determinate situazioni di criticità. Inoltre, i sensori per pneumatici possono fornire informazioni sulle condizioni degli pneumatici (ad esempio, pressione stato di usura, ecc.). La maggior parte dei sistemi di sicurezza attiva nei veicoli, come il sistema di antibloccaggio della frenata (ABS), mirano in definitiva al controllo degli pneumatici, il che significa che le informazioni sullo stato degli pneumatici è particolarmente importante per tutti i tipi di sistemi di sicurezza attiva e soprattutto per i futuri veicoli a guida autonoma.

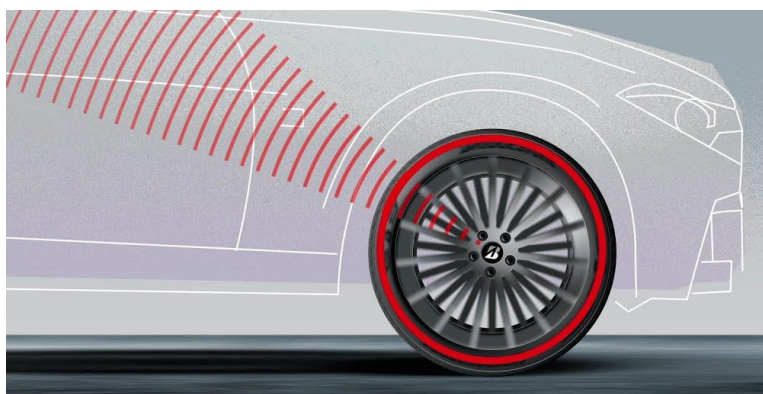


Figura 13 - Esempio di connettività dei sensori negli Smart Tires

I sensori presenti negli smart tires, al fine di condividere le informazioni raccolte, potranno collegarsi con differenti modalità [Figura 14]: possono collegarsi ai dispositivi a bordo del veicolo come le On Board Unit (OBU) condividendo le informazioni raccolte in modalità V2I ovvero Vehicle to Infrastructure; possono collegarsi ad eventuali app per smartphone che provvederà alla condivisione delle informazioni mediante rete cellulare su cloud data center per poter essere raccolte ed elaborate.

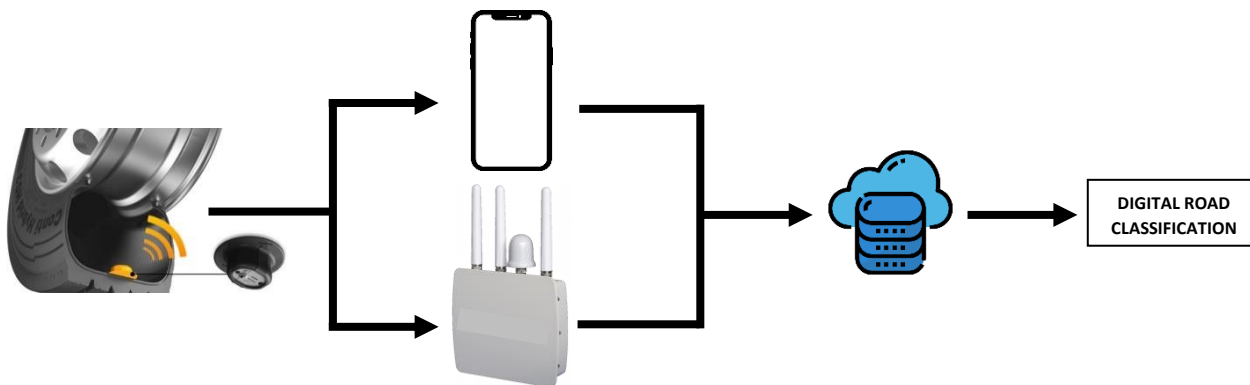


Figura 14 - Esempio di raccolta dati provenienti da Smart Tires

L'associazione delle informazioni raccolte con i dati di posizionamento provenienti dalla OBU o dallo smartphone, permetteranno di geolocalizzare eventuali criticità presenti sulla pavimentazione quali la presenza di cavità o difformità della pavimentazione. Inoltre i dati raccolti saranno utilizzati per classificare o riclassificare, in caso di variazioni degli attributi individuati, l'infrastruttura stradale.

Recentemente sono state condotte importanti ricerche su sensori wireless distribuiti per il monitoraggio di parametri relativi a condizioni ambientali ma tutti i sensori sviluppati fino ad oggi richiedono l'alimentazione solare o a batteria. Questa tipologia di sensori non può essere utilizzata per il monitoraggio della pavimentazione a causa della sua tipologia di alimentazione. Si ritiene che l'energy harvesting possa costituire una valida alternativa. Energy harvesting (spesso indicato come "energy scavenging") è il processo di conversione dell'energia ambientale (cioè, l'energia cinetica dalla vibrazione strutturale o dalla deformazione meccanica) in energia elettrica che può essere utilizzato per alimentare i sensori distribuiti e la diffusione di questi sensori all'interno delle pavimentazioni introduce il paradigma di "smart pavement".

Per essere precisi, la pavimentazione intelligente si riferisce a strade che sono state appositamente progettate e costruite per supportare un'ampia gamma di funzionalità e servizi. Queste possibili caratteristiche includono per l'appunto sensori collegati via radio incorporati in una strada per monitorare e segnalare costantemente le mutevoli condizioni della pavimentazione, l'installazione di trasmettitori WiFi bidirezionali nella sede stradale per offrire servizi a banda larga commerciali migliorati ai veicoli e alle attività/residenze adiacenti e ricaricare le auto elettriche durante la guida, riducendo così la necessità di soste per la ricarica fuoristrada. La pavimentazione intelligente offre tutta una serie di servizi e soluzioni sia agli utenti della strada che ai gestori dell'infrastruttura stradale. Attualmente, il PMS utilizzato dai gestori dell'infrastruttura stradale dipende ancora da metodi empirici di valutazione delle condizioni della pavimentazione e da tecniche manuali di raccolta dei dati.

I gestori dell'infrastruttura sono spesso frenati da metodi di raccolta dei dati che soggetti alla valutazione basata sull'esperienza o da processi automatizzati lenti e ormai obsoleti ma soprattutto dagli inconvenienti e dai costi elevati normalmente associati a questi metodi. I metodi più utilizzati per la raccolta dei dati, in particolare per la valutazione dell'usura del manto stradale, sono le ispezioni visive. I dati che ne derivano vengono tradotti in rapporti basati su valutazioni soggettive, foto o video e misurazioni manuali effettuate durante queste ispezioni. Per le valutazioni strutturali e di rugosità, i gestori di solito dispongono di veicoli dedicati dotati di sensori speciali, come profilatori inerziali, deflettometri, radar penetranti nel terreno, termografia a infrarossi e tecnologia laser.

Sebbene automatici, questi metodi richiedono molto tempo, dipendono da apparecchiature costose e talvolta disturbano il normale flusso del traffico. In generale, i problemi sorgono non a causa della minore efficienza di questi metodi ma a causa dei lunghi periodi che trascorrono tra le valutazioni effettuate, riducendo l'efficienza dell'intero sistema di monitoraggio e potenzialmente compromettendo il processo decisionale. Pertanto, esiste un ampio margine di miglioramento per quanto riguarda sia la raccolta dei dati che i metodi di analisi.

3.1 Sensori per l'osservazione del traffico

I rilevamenti dei dati di traffico possono essere effettuati con sensori di varie tipologie, differenti per applicazioni, prestazioni e costi: di acquisto, installazione e manutenzione. Tali strumenti tecnologici sono utilizzabili per il conteggio dei veicoli transitanti in una postazione fissa di rilievo, per la loro classificazione, per la stima dei parametri del deflusso e in alcuni casi delle manovre di svolta.

Una distinzione importante è quella tra strumenti inseriti nella pavimentazione (intrusivi, talvolta identificati come GD, Ground vehicle Detector) e strumenti posti al di sopra o distante da questa (non intrusivi, anche indicati come AGD, Above Ground vehicle Detector); in quest'ultima categoria rientrano tipicamente i sistemi classificati come b, c, e, g. Alcune di tali tecnologie possono essere impiegate nelle reti di sensori senza fili, come oltre specificato.

Una differenziazione nell'utilizzo delle varie alternative può consistere nelle caratteristiche del traffico che devono essere rilevate. Si possono identificare gli scenari di alto o basso flusso, alta o bassa velocità, tra cui anche i veicoli in coda. Una prima associazione tra strumenti di misura e possibili applicazioni è riportata nella tabella sottostante, nella quale il conteggio di veicoli in movimento - non fermi in coda - è considerata una prestazione scontata per tutti i dispositivi.

Tabella 5. Tipologie e principali applicazioni dei sensori automatici per i rilievi di traffico

Tipologia	Applicazione
Sensori induttivi/spire	Lunghezza, velocità veicolo, classi, numero di assi ed interdistanza, altri usi (con adeguato software)
Sensori a raggi laser, infrarossi, onde elettromagnetiche (radar) ed ultrasuoni	Lunghezza, velocità veicoli, classificazione (con radar)
Sensori pneumatici (tubi)	Velocità, altri usi con calibratura e software (numero assi, classi, più corsie, ecc.)
Video rilevamento con telecamere	Velocità, lunghezze, classi, targhe
Sensori capacitivi	Peso, velocità
Sensori piezoelettrici	Peso, velocità, classi

3.2 Reti di sensori senza fili

Esiste la possibilità di integrare una o più tecnologie tra quelle sopra indicate, aggiungendone altre, ad esempio relative al monitoraggio ambientale, per realizzare le cosiddette "reti di sensori senza fili" (wireless sensor networks). Queste contemplano una serie di dispositivi elettrici ed elettronici di monitoraggio, autoalimentati - per esempio, con alimentazione a batteria, in grado di connettersi tra di loro e con alcuni punti di accesso attraverso reti di comunicazione

senza fili. L'assenza di reti fisse garantisce una maggiore copertura rispetto ai convenzionali sistemi cablati; requisito importante è che la durata delle batterie sia compatibile con i programmi di manutenzione legati all'applicazione.

Le reti di sensori permettono di sostituire o integrare sistemi per la raccolta di dati di traffico (ad esempio, sensori piro elettrici oppure magnetometrici) e sensori ambientali (ad esempio, termometri, igrometri, per la rilevazione nebbia e ghiaccio) in reti di comunicazioni senza fili al fine di ottenere una conoscenza più o meno fitta dell'uso dell'infrastruttura, delle condizioni ambientali circostanti.

3.3 Sensori il rilievo del peso dei veicoli in transito (SENTINEL)

Il progetto SENTINEL (Sistema di pEsatura diNamica inTelligente per la gestioNE deL traffico pesante) rappresenta un sistema integrato intelligente di pesatura dinamica dei veicoli che collabora in una gestione intelligente e predittiva del traffico di veicoli pesanti aventi effettive condizioni di carico non compatibili con le caratteristiche della struttura viaria, con smistamento in tempo reale su viabilità alternativa.

L'installazione del sistema in prossimità di nodi di infrastrutture stradali, quali ponti, viadotti, tratti delicati per le caratteristiche altimetriche e/o ambientali/climatiche, ne consente l'impiego sia per la manutenzione predittiva delle infrastrutture stesse sia a supporto del controllo dei veicoli pesanti in sovraccarico.

Il progetto ha previsto:

- sviluppo di un innovativo dispositivo di pesatura dinamica (Weigh In Motion – WIM) innovativo basato su sensori in fibra ottica che si caratterizza per:
 - misura dei veicoli pesanti con alto grado di precisione, non influenzato dalle condizioni di marcia;
 - immunità da disturbi elettromagnetici (sia impianto motore del veicolo in transito sia apparecchiature fraudolente).
- sviluppo di architetture SW/HW per modelli predittivi e strategie decisionali automatiche o semiautomatiche sulla base di criteri di regolamentazione del traffico pesante, da assumere in relazione alle effettive condizioni di carico dei veicoli;
- la realizzazione e l'installazione di un dimostratore che si pone l'obiettivo di mitigare l'impatto della verifica dei veicoli pesanti su scorrimento e sicurezza del traffico.

Il progetto Sentinel consiste nell'applicazione di pesatura dinamica per veicoli pesanti dunque sistemi WIM - Weigh In Motion, strumenti in grado di effettuare misure continue del traffico, oltre che in termini di conteggio e tipologia di veicolo anche di carico assiale senza fermare i veicoli. Utilizzando sensori, di varie tipologie, inseriti direttamente o per mezzo di profilati, di diversa forma a seconda delle configurazioni, in appositi solchi ricavati nella carreggiata stradale, poi ricoperti generalmente con un primo strato di gomma e un secondo di sabbie silicee al fine di isolare la struttura da agenti chimici e atmosferici esterni. Il sistema presenta carattere originale ed innovativo per diversi aspetti:

- la struttura meccanica di pesa, per il disegno del telaio e la predisposizione in struttura prefabbricata;
- la modellazione e lo sviluppo di soluzioni integrate originali sensore FBG – substrato di supporto;
- la sensoristica, per la tecnologia adottata e la disposizione e numerosità dei sensori;
- il trattamento/analisi dei dati, per il condizionamento rispetto a velocità, accelerazione e direzione di transito.

Al fine di ottenere misure accurate del peso, è necessario un posizionamento dei sensori a regola d'arte, a raso con la pavimentazione, in modo che le deformazioni per effetto del carico dinamico del veicolo siano correttamente

interpretate dallo strumento. La scelta della postazione di rilievo lungo l'infrastruttura è inoltre un aspetto rilevante per garantire la qualità delle misure. Infatti, tratti in pendenza o in curva generalmente sono sconsigliati per l'installazione perché determinano un degrado della taratura del sensore nel tempo.

Le caratteristiche del sistema di pesa dinamica e gli studi effettuati durante il progetto hanno consentito di tracciare ulteriori proposte di particolare interesse per Anas, quali:

- considerazione di ulteriori fonti di raccolta dati statici sul traffico: interazione del sistema di gestione del traffico con la sensoristica della pesa dinamica in corrispondenza di punti critici della rete al fine di migliorare la capillarità del monitoraggio e la puntualità potenziale della risposta;
- implementazione di strategie di sanzionamento dei sovraccarichi: dati affidabili sul volume del traffico, carico per asse e peso totale facilitano l'identificazione dei veicoli sovraccarichi, aiutando pertanto a proteggere in modo affidabile l'infrastruttura stradale, ad aumentare la sicurezza stradale e a sanzionare pecuniarmente i responsabili del traffico;
- implementazione di strategie di pricing differenziate per la concessione di licenze di transito trasporti eccezionali: dati puntuali sul peso a cui è costantemente sottoposta la tratta potrebbero incidere sulla dinamica di definizione del pricing per le licenze di transito;
- implementazione di strategie di selezione preliminare dei veicoli sovraccarichi/pesanti: ai veicoli pesanti così identificati può essere indicata una deviazione del percorso e/o sollecitato uno stop e/o un controllo puntuale per la prosecuzione del percorso.

Il sistema finale nel suo complesso presenta quindi carattere di originalità, di innovatività e di utilità in quanto dota gli ITS di una funzionalità di grande interesse per la sicurezza del traffico e la salvaguardia delle infrastrutture, tramite un Sistema WIM che consente modelli previsionali e strategie decisionali con cui definire le azioni da assumere per migliorare lo scorrimento e la sicurezza del traffico.

3.4 Monitoraggio strutturale

Anas si propone di progettare un 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). Sono richieste in particolare, la posizione del danno ed una stima della sua entità. Uno degli strumenti più efficaci per il controllo delle strutture è il monitoraggio continuo reso possibile oggi grazie alle nuove tecnologie che permettono l'implementazione di micro-sensori a costo contenuto. Le Smart Road propongono proprio il monitoraggio di tutta l'infrastruttura tramite Internet of Things.

I sistemi IoT potranno essere applicati per l'osservazione del piano viabile, delle condizioni idrogeologiche, delle informazioni riguardanti le merci pericolose, le gallerie, la misurazione del peso di veicoli in movimento (Weight In Motion) lungo viadotti o ai varchi dotati di dispositivi tecnologici. Per le Smart Road di tipo I tra le specifiche funzionali richieste è presente la copertura continuativa dell'asse stradale e delle relative pertinenze con servizi di connessione per la IoT e di routing verso la rete di comunicazione dati. L'ottica IoT che estende l'osservazione di infrastrutture nel tempo e nello spazio apre la strada al mondo Big Data, a cui sono collegate le tecniche avanzate di interpretazione dei dati, quali Machine Learning nell'ambito dell'area tematica dell'Intelligenza artificiale.

3.5 Sistemi e centrali di controllo

Le informazioni provenienti dai sensori dislocati lungo l'infrastruttura stradale consentono di attuare varie azioni su diversi livelli per modificare lo stato del sistema e mitigare gli effetti negativi delle condizioni di traffico che possono portare alla saturazione dell'infrastruttura. Si può agire mediante la diffusione dell'informazione, oltre che in modo individuale, mediante i dispositivi di navigazione di bordo, attraverso pannelli a messaggio variabile (VMS) posizionati in nodi di diversione dei percorsi. Le informazioni possono riguardare i tempi di viaggio stimati lungo opzioni di percorso alternative, oppure suggerimenti di deviazione di percorso, pianificati considerando anche il possibile effetto sul traffico nella rete.

Gli effetti negativi di concentrazione del traffico lungo le autostrade e strade extraurbane possono essere regolati anche evitando che la densità traffico superi il valore critico, oltre il quale le condizioni di deflusso diventano instabili e quindi richiedono molto più tempo per essere riportate a valori accettabili.

Una delle tecniche di regolazione può agire sulla velocità massima per i veicoli che si avvicinano al tronco critico. In letteratura è nota come "speed control" ed in sintesi, definisce per alcuni chilometri a monte dei punti critici i valori di velocità che rendono ottimale il deflusso a valle, evitando che si inneschi l'instabilità del deflusso. I valori limite di velocità in genere sono dinamici, in quanto devono adeguarsi alle condizioni di circolazione rilevate nel tempo e possono essere validati in simulazione, anticipando i possibili effetti della strategia proposta.

La gestione della densità nei tronchi critici delle strade può essere attuata anche con strategie alternative, che agiscono drenando il flusso a monte che proviene dalle rampe di accesso. In letteratura questa tecnica è nota come "ramp metering" e regola le condizioni di circolazione a valle, fermando i veicoli sulle rampe di accesso per alcuni secondi, come nel caso degli accessi delle intersezioni semaforizzate. È evidente che la tecnica di controllo richieda l'osservazione delle condizioni di deflusso, non solo sulla rampa di accesso, ma anche sul tronco principale su cui deve monitorare l'evoluzione della densità di traffico.

Una strategia di regolazione che implementa lo stesso approccio può essere ottenuta anche con azioni di "gating" utilizzando le piste di pagamento. Infatti, il numero di piste aperte in una stazione di pedaggio determina un flusso in ingresso nei tronchi a valle che ha una forte relazione anche con il metodo di esazione del pedaggio. Sistemi automatici di esazione richiedono in generale un tempo di servizio inferiore rispetto a quelli manuali, generando flussi maggiori in uscita. La gestione della stazione di pedaggio può svolgere quindi una funzione di regolazione del flusso lungo l'infrastruttura stradale, modificando durante le varie fasce orarie della giornata la numerosità delle piste aperte, considerandone la tipologia.

Infine, si cita l'uso "dinamico" delle corsie di marcia per aumentare la capacità delle strade quando se ne osserva l'esigenza al fine di evitare l'insorgere di fenomeni instabili del traffico. Ad esempio, in alcuni casi è stato applicato l'uso dinamico della terza corsia di emergenza che, quando richiesto dalle condizioni di circolazione, diventa una ulteriore corsia di marcia, supportando la variazione con un'adeguata segnaletica "dinamica" che gestisce sia gli scenari temporanei di variazione della configurazione, sia quelli stazionari.

Tra i requisiti per le Smart Road sia di tipo I che II è richiesta la dotazione di un sistema di archiviazione dei dati provenienti dal rilievo del traffico e delle condizioni di deflusso con funzionalità di storicizzazione nel rispetto della normativa in materia di riservatezza e protezione dei dati personali. Inoltre, per quelle classificabili come tipo I si richiede il controllo in tempo reale da una centrale del traffico dotata di programmi di ausilio alla gestione che includano la

capacità di applicare scenari di gestione del traffico precostituiti (e soggetti a simulazione degli effetti) selezionati e attuati dinamicamente in funzione dei dati di rilievo del traffico e di altre informazioni ricevute da fonti anche eterogenee; gli scenari possono prevedere combinazioni di possibili misure (MIT, DECRETO 28 febbraio 2018).

Nell'ottica della mobilità elettrica, la centrale di controllo potrà inoltre gestire le postazioni di ricarica installate lungo le infrastrutture, considerando anche la logica di "green island" che prevede di concentrare i punti di ricarica in postazioni, distribuite con logica simile alle attuali stazioni di servizio, che siano in grado di produrre l'energia necessaria per i veicoli.

3.6 Possibili scenari futuri (previsioni di breve e medio-lungo termine per l'infrastruttura tecnologica a supporto della guida connessa ed autonoma e per i possibili sistemi di controllo)

In un contesto innovativo fortemente legato all'utilizzo di nuove tecnologie quale è la Smart Road, rappresenta un cardine imprescindibile l'attuazione di concetti quali la guida connessa e quella autonoma nonché di adeguati sistemi di controllo.

La guida connessa rappresenta l'applicazione dei concetti di IoT - Internet of Things all'infrastruttura stradale del trasporto su gomma. In questo modo i normali veicoli di trasporto diventano dei dispositivi connessi non solo alla rete Internet, ma anche agli altri "oggetti connessi" presenti nell'infrastruttura stradale. Questo scenario permette la realizzazione di sistemi di comunicazione cooperativa che prevedono uno scambio di informazioni tra tutti gli attori coinvolti nel trasporto su gomma e l'attuazione quindi di una vasta gamma di nuovi servizi per l'utente, come ad esempio la possibilità di conoscere in maniera precisa lo stato attuale dei volumi di traffico, delle condizioni meteorologiche e di eventuali interventi manutentivi.

La naturale evoluzione della guida connessa è quella autonoma, uno scenario in cui un veicolo, sfruttando tutte le informazioni a sua disposizione, è in grado di giungere a destinazione senza ricevere input da parte dell'utente. Secondo lo standard J3016 della SAE International (Society of Automotive Engineers) esistono 6 differenti livelli di guida autonoma, a seconda del livello di interazione richiesto all'utente. Secondo la classifica riportata in figura, le azioni da compiere per guidare un veicolo vengono riassunte in 4 categorie principali:

- utilizzo del volante e pedali (cambi di direzione e di velocità del veicolo);
- monitoraggio dell'ambiente di guida (stato del veicolo e dell'infrastruttura stradale);
- valutazione e scelta di alternative durante la guida;
- modalità di guida (al variare delle condizioni esterne).

Dalla stessa Figura si evince che l'impatto dell'utente sulla guida decresce al salire dei livelli; infatti, al livello 0 tutti i task individuati sono effettuati dal conducente, mentre al livello 5 non è richiesto alcun intervento umano per compiere le 4 macro-operazioni.

Tabella 6. Livelli di guida autonoma j3016 (sae, 2014)

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Con la guida autonoma, si rafforza ancora di più l'esigenza da parte di un veicolo di acquisire informazioni dall'ambiente esterno. Questo perché tali informazioni rappresentano la base di conoscenza per permettere al veicolo stesso di poter effettuare delle scelte sul proprio comportamento. Le decisioni, in particolare, vengono calcolate utilizzando degli algoritmi di Machine Learning utili allo scopo, in grado cioè di scegliere sempre la soluzione ottima in base allo stato noto dell'ambiente circostante.

La vera sfida di questi algoritmi è di analizzare i dati provenienti da sensori diversi, in modo da fornire una rappresentazione quanto più accurata possibile dello stato attuale, inteso sia come infrastruttura stradale che come comportamento in tempo reale degli altri veicoli presenti su strada. Esempi di moderni algoritmi utili allo scopo solo quelli che utilizzano un approccio definito SLAM - Simultaneous Localization and Mapping, che hanno come obiettivo quello della ricostruzione in tempo reale dell'ambiente circostante e della localizzazione della propria posizione al suo interno (C-ITS Strategy, s.d.).

Alla luce di queste considerazioni, per consentire la realizzazione delle innovazioni sopra citate, è fondamentale adeguare le infrastrutture tecnologiche stradali in modo da implementare i tre paradigmi di comunicazione principali:

- Vehicle-to-Infrastructure (V2I);
- Infrastructure-to-Vehicle (I2V);
- Vehicle-to-Vehicle (V2V).

L'implementazione di servizi e tecnologie a supporto dei trasporti è strettamente correlato alla individuazione dei nuovi standard che emergeranno dalla competizione sul mercato, in particolare quelli che i costruttori di autoveicoli decideranno di utilizzare nelle loro imminenti produzioni di massa.

Gli impianti tecnologici autostradali, di norma, devono durare anni e siccome restano ancora parecchi dubbi su quali saranno gli standard tecnologici che prenderanno il sopravvento, è evidente che qualunque sia la tecnologia installata nel contingente rimane alto il rischio che si riveli una scelta destinata a rivelarsi obsoleta in poco tempo.

Ad oggi resta ancora incerta la scelta dei protocolli di comunicazione da utilizzare per realizzare l'interazione tra i veicoli connessi e le infrastrutture.

La sfida è tra due sistemi:

- DSRC - Dedicated Short-Range Communications;
- C-V2X - Cellular Vehicle-to-Everything: progettato per fornire un percorso di evoluzione al 5G.

Queste diverse tecnologie radio sono probabilmente complementari e soddisfano esigenze diverse.

Entrambe le tecnologie sono progettate per operare sullo spettro ITS a 5,9 GHz e sono in grado di funzionare indipendentemente dalla rete cellulare, dalla copertura o dal coinvolgimento dell'operatore di rete.

Con molta probabilità, tuttavia, il C-V2X potrebbe prendere il sopravvento in ambito automobilistico per le sue caratteristiche di bassa latenza, fattore chiave per l'intelligenza artificiale di un veicolo a guida autonoma (Nissan Motor Co. Ltd., 2018).

Oltre alla presenza dei sensori e all'adozione di protocolli standard per la comunicazione, al fine di permettere una completa e diretta fruizione di tali informazioni da parte degli autoveicoli, è necessario che anche le principali case automobilistiche si adeguino a questo nuovo contesto. Per farlo, una prima azione imprescindibile, è adattare le moderne autovetture alla ricezione e al trasferimento di informazioni da e verso la vettura stessa, in modo da integrarle perfettamente all'interno di questo nuovo contesto.

Dal punto di vista del progetto Smart Road, se appare complessa un'innovazione che porti nell'immediato a servizi di guida autonoma sulle proprie infrastrutture, è però possibile identificare un processo di graduale trasformazione e innovazione tecnologica. Tale processo di miglioramento può essere infatti suddiviso in due fasi distinte: una a breve e l'altra a medio-lungo termine che porti progressivi processi di affinamento delle tecnologie fino a giungere all'obiettivo della guida autonoma.

Nel breve periodo, infatti, Smart Road è attiva nel rendere l'infrastruttura stradale sempre più connessa, nell'ottica di permettere il consolidamento dei primi 3 livelli di supporto alla guida stilati dalla SAE nel J3016. L'idea è di mettere a disposizione dell'utente finale il maggior numero possibile di informazioni utili da utilizzare durante il viaggio, in modo da migliorare la sua esperienza. Se non sarà possibile permettere l'accesso di tali informazioni direttamente ai veicoli, le si renderanno disponibili mediante altri supporti come i device privati degli utenti (ad esempio smartphone e tablet), con metodologie di utilizzo sempre consone al rispetto del codice della strada.

Sulla base di questi principi Anas, infatti, sta realizzando una prima versione della propria applicazione mobile pensata per intraprendere il percorso di avvicinamento alla guida autonoma. In questo modo, anche viaggiatori privi di auto con capacità di comunicazione dati potranno sfruttare i servizi offerti da Smart Road, integrandosi così nel nuovo contesto tecnologico stradale mediante i propri smartphone.

L'applicazione, a partire da misurazioni in tempo reale, raccolte direttamente o provenienti dall'infrastruttura, sarà in grado di offrire all'utente servizi come:

- informazioni relative alla sicurezza;
- volumi di traffico in tempo reale;
- informazioni metereologiche;

- gestione delle informazioni di emergenza (SOS);
- informazioni su eventuali punti di interesse.

È importante sottolineare come, in un contesto del genere, il dispositivo mobile non viene utilizzato solo come un componente passivo di raccolta e fruizione delle informazioni da destinare all'utente (comunicazione I2V), ma anche come sorgente di informazioni per la parte di infrastruttura su cui esso sta transitando (comunicazione V2I). In questo modo anche il centro di controllo potrà avere una conoscenza dello stato attuale, come ad esempio le informazioni sui volumi di traffico o sulla velocità media, molto accurato e puntuale e poter così attuare decisioni appropriate.

In un'infrastruttura tecnologica di questo tipo quindi, le informazioni assumono un ruolo centrale in cui tutti gli attori coinvolti ne traggono enormi benefici, come ad esempio un conseguente miglioramento dello stato di sicurezza alla guida.

A conferma dell'importanza di tali tematiche, Anas non è l'unico stakeholder che sta iniziando ad applicare innovazioni tecnologiche in questo ambito; Android Auto e CarPlay rappresentano esempi evidenti di come i vari player del mercato automobilistico ed IT stanno convergendo verso una stessa visione di innovazione tecnologica finalizzata, in un prossimo futuro, alla guida autonoma.

Le due soluzioni citate in precedenza permettono infatti di integrare i principali sistemi operativi presenti su smartphone (ovvero Android ed iOS) con i moderni veicoli automobilistici. Inoltre, tali soluzioni, evidenziano ulteriormente la necessità di rendere connesse le automobili e, in assenza di On Board Unit standardizzate, di utilizzare uno strumento molto comune ed utile alla causa come lo smartphone.

Una volta consolidata e standardizzata, da parte dei produttori, anche le On Board Unit dei veicoli, sarà possibile sfruttare a pieno l'infrastruttura tecnologica messa a disposizione dal progetto Smart Road. Così facendo si potranno realizzare a pieno gli scenari di comunicazione tra veicoli connessi e tra veicoli ed infrastruttura. In questo modo sarà possibile fornire agli autoveicoli una visione molto accurata dell'ambiente circostante, che possa metterli in grado di prendere le migliori scelte di guida in relazione al loro contesto attuale. Inoltre, anche l'infrastruttura potrà essere in grado di raccogliere utili informazioni dai veicoli in transito, come ad esempio volumi di traffico o presenza di incidenti. Oltre a queste misure dirette, ne sarà possibile ottenere anche altre indirette quali percentuali di incidenti, analisi sui flussi di traffico, e incrociarle con dati diversi come quelli meteorologici o relativi alla presenza di lavori.

All'interno della Smart Road, inoltre, assume un ruolo importante anche quello dei centri di controllo dell'infrastruttura, che dovranno essere in grado di gestire l'enorme quantità di dati prodotti dal sistema e di farne tesoro. Affinché ciò sia possibile è necessario che questi sistemi godano di requisiti non funzionali quali elevata modularità, omogeneità e sicurezza che si sommano a quella di connettività già citata.

Per prima cosa, l'infrastruttura software dei centri di controllo dovrà permettere di acquisire dati dalle diverse ed eterogenee sorgenti presenti su strada e riuscire ad elaborarle in maniera uniforme. In tal senso una prima importante iniziativa di Anas è il software STIG, pensato proprio per fornire un'interfaccia generica e facilmente fruibile riguardo lo stato delle gallerie presenti sul territorio. Inoltre, data l'enorme quantità di dati prodotta da un'infrastruttura del genere, i centri di controllo saranno organizzati in una struttura gerarchica, dove le componenti della parte più bassa di tale disposizione usufruiranno delle informazioni specifiche del loro sottosistema di appartenenza, mentre forniranno una versione aggregata ai centri della parte immediatamente superiore.

Tale organizzazione, dovrà riflettersi anche sui software di cui questi sistemi saranno dotati. In particolare, dato il volume di dati previsto, sarà necessario utilizzare software pensati per lavorare in ambito Big Data, in grado cioè sia di consentire la persistenza che l'elaborazione di enormi quantità di informazioni con performance accettabili.

Uno degli attuali sistemi di riferimento in tale ambito è sicuramente Apache Hadoop, un framework open source modulare che permette di gestire quantità massive di dati in maniera distribuita. I suoi moduli principali consistono nella parte di storage, denominato HDFS - Hadoop Distributed File System, e in quella di elaborazione dati che sfrutta il modello di programmazione MapReduce definito da Google (Apache Software Foundation, 2018).

La caratteristica principale di sistemi del genere è la loro elevata scalabilità che consente, a fronte di volumi di dati molto variabili in input, di avere performance e tempi di risposta accettabili e costanti. Nel dettaglio, la scalabilità viene sfruttata distribuendo il carico di dati in input su diversi nodi di calcolo così da ripartire su di essi la loro elaborazione, in un approccio di tipo divide et impera. Una volta terminata l'elaborazione, i dati vengono quindi riaggregati per ottenere la soluzione finale.

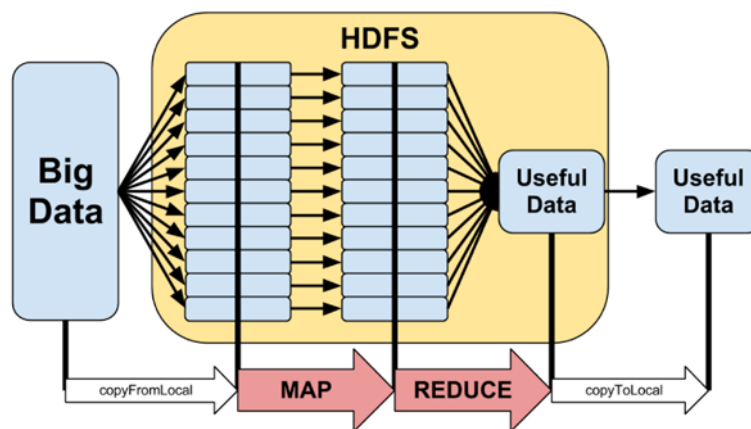


Figura 15. Architettura logica del modello Map Reduce (Lockwood, 2015)

L'altro grande tema inerente i centri di controllo su Smart Road è quello relativo alla sicurezza. L'innovazione tecnologica portata da un progetto del genere, se da un lato offre nuove ed enormi possibilità per l'utente finale, dall'altro purtroppo apre altrettante minacce nell'ambito della cyber security.

Per riuscire a prevenire il più possibile attacchi alla sicurezza dei sistemi, ogni centro di controllo dovrà possedere un adeguato sistema di difesa in ambito informatico. Per fare ciò, indipendentemente dalla topologia complessiva della rete infrastrutturale di Smart Road, sarà necessario munire quest'ultima di strumenti di protezione quali firewall (FW), IPS - Intrusion Prevention Systems e WAF - Web Application Firewall. Tali strumenti permettono di analizzare il traffico di rete a diversi livelli, rilevare eventuali attacchi (utilizzando diversi approcci euristici), segnalandoli o, dove possibile, bloccandoli.

In particolare, i firewall (FW) si occupano di analizzare il traffico a livello di rete (livello 3 del modello ISO/OSI), prendendo in considerazione informazioni come indirizzi IP e numeri di porta; gli IPS invece sono in grado anche di valutare i contenuti semantici dei pacchetti mentre il WAF riesce ad effettuare queste operazioni a livello applicativo (in particolare per traffico dati riguardante applicazioni Web da e verso server specifici). Data la loro diversa natura, è consigliato utilizzare i FW lungo il perimetro della rete da monitorare, inserendo all'interno della stessa un IPS e in prossimità di server specifici i WAF, seguendo la descrizione logica mostrata in figura.

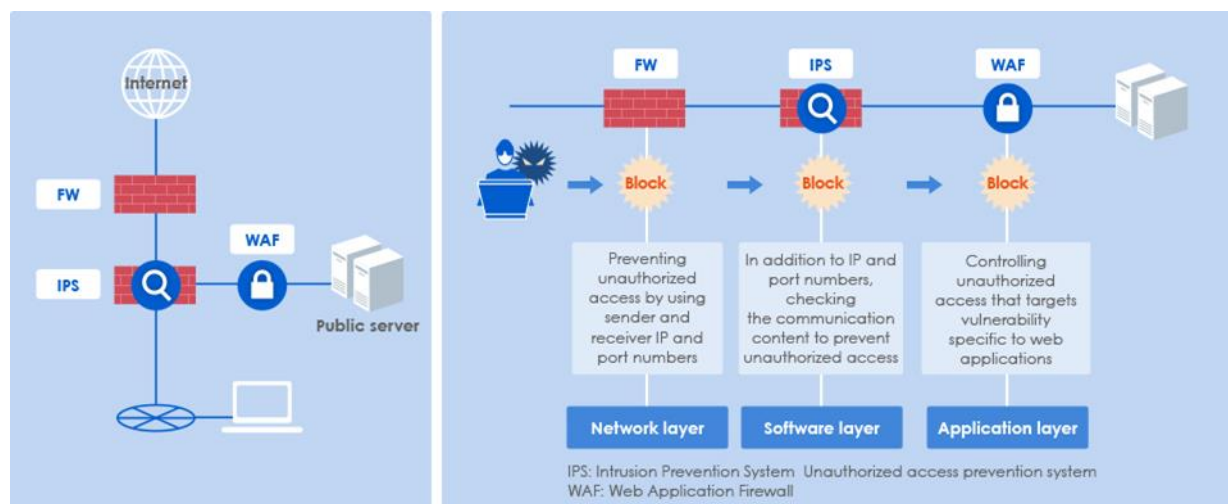


Figura 16. Utilizzo logico FW, IPS e WAF (ChudenCTI Co., Ltd, 2018)

Una possibile iniziale modalità di difesa dell'infrastruttura potrebbe prevedere l'installazione di ciascuno dei componenti di rete citati su ogni sottorete in cui è calato un centro di controllo, oltre che sul perimetro generale dell'intera rete Anas. Ulteriori accorgimenti successivi potrebbero prevedere anche l'aggiunta di ulteriori sniffer di rete in altri punti specifici ai fini di analizzare porzioni sempre più corpose di traffico dati.

In questo modo si potrà attuare un monitoraggio attivo di queste sonde così da avere sempre sotto controllo lo stato software dell'intera infrastruttura. Potrebbero essere previste, sempre nell'ottica della cyber security, anche operazioni manutentive, come quelle di Vulnerability Assessment e di Penetration Testing, tese a valutare lo stato delle vulnerabilità presenti nell'intero sistema e ad attuare una loro progressiva mitigazione.

Dal punto di vista funzionale, un'architettura del genere apre ampi spiragli di innovazione, volte ad un monitoraggio e ad una gestione dinamica in tempo reale dell'infrastruttura stradale. Esempi di applicazioni, potrebbero essere relative a gestione del traffico e suggerimento di percorsi alternativi, incremento della sicurezza su strada e migliore gestione delle emergenze.

Quindi, per quanto riguarda possibili scenari futuri dei sistemi di controllo di Smart Road, è ipotizzabile anche per questi un approccio di tipo incrementale nel corso degli anni seguenti. Partendo da soluzioni già note in ambito Big Data e Cyber Security è ipotizzabile nel prossimo futuro un progressivo miglioramento di tali approcci, mirato ad un loro utilizzo ottimale in ambito Smart Road. Questi sistemi nel lungo periodo presenteranno diverse nuove sfide in ambito tecnologico, tra le quali la più importante è sicuramente quella relativa alla sicurezza della comunicazione con le future On Board Unit presenti sui veicoli.

In conclusione, il progetto Smart Road fa da precursore verso una visione sempre più innovativa del concetto di trasporto su gomma, orientato verso un miglioramento netto dell'esperienza di viaggio dell'utente. Tali miglioramenti saranno apportati a quelli che sono stati fissati come i pilastri del progetto: gestione del traffico, della sicurezza, del monitoraggio delle infrastrutture e delle mobilità in generale senza porsi dei reali limiti.

Lo scenario a breve termine che sta prendendo forma, è quello di una Smart Road che possa almeno consentire connettività all'intera infrastruttura stradale, intesa come unione di veicoli e dispositivi presenti su strada. Solo successivamente, in uno scenario a medio-lungo termine, sarà possibile, mediante raffinamenti continui e con l'apporto

di tutti gli stakeholder, giungere verso soluzioni ancora più impegnative e soddisfacenti come quella della guida autonoma.

Di seguito sono riportati tre esempi di future applicazioni:

- **Telepedaggio:**

Il tema del Telepedaggiamento vede un grosso impegno da parte delle concessionarie per l'adeguamento alla direttiva 2004/52/CE e alla connessa decisione 2009/750/CE. Questi atti che hanno proposto di realizzare l'interoperabilità di tutti i sistemi di telepedaggio stradale nell'Unione europea al fine di evitare la proliferazione di sistemi incompatibili che possano compromettere sia l'armonioso funzionamento del mercato interno sia il conseguimento degli obiettivi della politica dei trasporti.

La direttiva, pertanto, prevede l'istituzione del servizio europeo di telepedaggio (SET), che si estende a tutte le reti stradali e le (infra)strutture a pedaggio dell'Unione nelle quali l'uso delle stesse è confermato per via elettronica tramite un'apparecchiatura di bordo, e definisce le soluzioni tecnologiche consentite per effettuare le operazioni di pagamento elettronico dei pedaggi, vale a dire tecnologia a microonde a 5,8 GHz e sistema di localizzazione satellitare associato ad un sistema di comunicazioni mobili.

Il SET consentirà agli utenti della strada di pagare facilmente i pedaggi dovuti su ogni strada o infrastruttura dell'Unione stipulando un unico contratto di abbonamento con un fornitore del SET e utilizzando un'unica apparecchiatura di bordo. In linea con quanto richiesto, il comparto autostradale italiano sta già adeguando i suoi sistemi per abilitare il Servizio Europeo di Telepedaggio sulle infrastrutture in concessione.

Tale processo viene portato avanti dallo stesso comparto autostradale, avendo particolare attenzione acciocché vengano assicurate adeguate garanzie dal punto di vista tecnico-operativo e di qualità del servizio.

- **Progetto NeMo (Hyper-Network for electroMobility)**

NeMo è un progetto iniziato a settembre 2016 con lo scopo di armonizzare, a livello europeo, una rete di comunicazione dati tra veicoli elettrici, gestori di infrastrutture stradali e società fornitrici di energia con l'obiettivo di agevolare la ricerca di stazioni di ricarica e permettere i pagamenti come analogamente avviene nel campo delle telecomunicazioni mobili (il cosiddetto "roaming").

In questo caso si tratta di "electric-roaming" e il suo scopo principale è quello di porsi come soluzione al problema della scarsa autonomia delle vetture elettriche e alla mancanza di punti di ricarica, fattori limitanti lo sviluppo della mobilità elettrica.

La progressiva diffusione di veicoli elettrici, la cui peculiarità è quella di essere esclusivamente connessi a sistemi informativi appartenenti solo alla propria "casa produttrice", comporta la difficoltà di armonizzare vari standard di comunicazione il che rappresenta un potenziale significativo impatto verso i gestori autostradali intenzionati ad offrire servizi direttamente a bordo veicolo.

Nel corso del 2017 è stata posizionata, all'interno del test-site del progetto presso la pista di "Guida Sicura", una colonnina di ricarica che servirà a portare avanti tutte le prove, indispensabili per sviluppare il software in grado di comunicare dati di traffico e posizionamento delle colonnine di rifornimento.

La collocazione di tale colonnina è stata scelta a metà distanza fra Italia e Francia, in un'ottica di garanzia di rifornimento sicuro, vista la generale scarsità di punti di ricarica al di fuori della città di Torino ed anche al fine di

sperimentare percorsi con infrastrutture critiche, come, per esempio, le numerose gallerie dell'A32 che aumenterebbero il pericolo in caso di esaurimento delle batterie del veicolo.

L'obiettivo è quello di assistere un veicolo elettrico, inviandogli informazioni relative alle condizioni di viabilità ed all'ubicazione del punto di ricarica libero più vicino, in caso lo stato di carica della sua batteria non fosse sufficiente a raggiungere la destinazione voluta.

Sul sistema Cloud della piattaforma verrà creata una Organizzazione Virtuale per NeMo e ciascun partner potrà operare senza obblighi di pagamento. Il Cloud, a sua volta, è connesso ai veicoli tramite i server che ciascun Costruttore utilizza per offrire ai propri clienti la possibilità di sottoscrivere i servizi offerti.

A bordo veicolo la sperimentazione prevede di utilizzare un tablet su cui sarà installata un'applicazione connessa alla rete tramite l'infrastruttura Cloud.

I dati che dovranno essere scambiati a mezzo dei web services sono:

- dati di traffico (code, interruzioni, deviazioni, cantieri): tutto quello che può contribuire alla logica del veicolo elettrico per calcolare se è in grado di raggiungere la destinazione in base alla carica della batteria;
- dati di localizzazione relativi alla mancanza di corsie di emergenza e di zone la cui fermata sia vietata o molto pericolosa, quali le gallerie per:
 - indicare al veicolo le zone da evitare per non rischiare di scaricarsi all'interno, oppure per fargli valutare se riesce a superarle;
 - localizzare il veicolo in galleria dove non arriva il segnale GPS;
 - indicare al veicolo i punti di ricarica liberi presenti sull'autostrada o zone limitrofe. Se il punto non fosse libero dovrebbe essere inviata al veicolo l'informazione sui tempi di attesa.

- **RESIST (RESilient transport InfraStructure to extreme events)**

Il progetto affronterà eventi estremi su strutture critiche, quali ponti e gallerie, attaccabili da tutti tipi di incidenti fisici, naturali o provocati dall'uomo compresi gli attacchi informatici.

La tecnologia RESIST verrà implementata e convalidata in due aree pilota con infrastrutture realmente esistenti: Italia (Autostrada A32) e Grecia (Egnatia Odos). RESIST utilizzerà speciali analisi dei rischi e svilupperà ulteriormente i più recenti risultati della ricerca nell'ambito della robotica, del comportamento umano in condizioni di panico e stress, dando indicazioni sulle informazioni da veicolare in condizioni di emergenza.

Il progetto si pone l'obiettivo di migliorare i seguenti punti:

- la velocità e l'efficacia degli interventi;
- la riduzione dei costi di valutazione della vulnerabilità strutturale con l'utilizzo di droni e robot,
- la valutazione dei danni subiti con modalità assistite da sensori;
- la consapevolezza della situazione creatasi a seguito di eventi catastrofici;
- la maggiore protezione degli utenti in caso di eventi estremi;
- innalzare la resilienza dell'infrastruttura di trasporto su 3 livelli:
 - aumento della resilienza fisica di ponti / gallerie mediante ispezione robotica e analisi predittiva;
 - ripristino rapido di servizi / percorsi di ritorno alla normalità, dopo una catastrofe, con flussi di passeggeri e merci attraverso modi di trasporto alternativi;

- comunicazione chiara ed efficace verso operatori dei trasporti, utenti, squadre di emergenza e la popolazione delle zone limitrofe, per ridurre al minimo l'impatto dell'interruzione delle attività di persone e aziende. Saranno sfruttati dati in tempo reale, social media e tecnologie mobili per consentire istantaneamente la diffusione di informazioni di emergenza.

4. Lo scenario 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. Questi dati stanno sempre più assumendo le caratteristiche dei Big Data, quindi numerosi, rapidi, eterogenei e provenienti da più fonti. Affinché siano fruibili il gestore dovrà predisporre una opportuna piattaforma di archiviazione, ricerca ed elaborazione dei dati tale da rendere semplice ed efficace l'estrazione delle informazioni utili, sia per uso interno (servizi per il gestore), sia per uso da parte di terzi con diritti di accesso. La rete di sensori di traffico è considerata uno dei primi IoT e generatore di Big Data ma si deve pensare anche ai dati raccolti da scatole nere o ai sistemi di tracciamento flotte, che sono gestiti da operatori telefonici o da fornitori di servizi di assicurazione o di gestione flotte. La risoluzione temporale delle posizioni registrate dai veicoli dipende dal servizio e può permettere in alcuni casi di ricostruire anche le singole tracce lungo le infrastrutture stradali di interesse, quando i punti sono disponibili ogni secondo, oppure la missione dei veicoli con soste e movimenti per intere flotte.

4.1 La sicurezza delle informazioni sulle strade digitali

Lo sviluppo e la gestione di infrastrutture tecnologiche abilitanti per i servizi digitali integrati e connessi in rete pongono diversi interrogativi rispetto al tema della sicurezza. Lo scenario "mobility as a service" che si sta prefigurando, dove un guidatore userà più veicoli in poco tempo e lo stesso veicolo potrà essere utilizzato da più guidatori, modifica il paradigma attuale di uso, pone l'utente/viaggiatore al centro del trasporto, offrendo soluzioni personalizzate di "self-driving vehicles" e trasporto "on demand" basate sugli effettivi bisogni di mobilità del singolo.

In considerazione di questi mutamenti dirompenti, la sfida della digital trasformation che si vuole cogliere deve essere pertanto accompagnata sin d'ora dalla implementazione di una serie di meccanismi di prevenzione e protezione che coinvolgano indistintamente l'ambito di Safety, Cyber Security e Privacy in un contesto che si sta rinnovando dove i veicoli connessi sono assimilabili a dei nodi di una rete internet (IoT - Internet of Things) in cui il software e il trasferimento dei dati sono estremamente strategici.

I rischi di sicurezza prefigurabili in uno scenario del genere sono estremamente diversificati. Oggi molti veicoli sono già connessi alla rete tramite tecnologie integrate che abilitano lo scambio dati wireless (Wi-Fi, Bluetooth, SMS, ecc.). Da un lato se questo permette un portfolio di servizi pressoché smisurato, dall'altro genera diverse e potenziali vulnerabilità per il sistema informatico "auto". Si pensi, ad esempio, alla connessione dall'autovettura verso il proprio smartphone, qualora quest'ultimo presentasse delle minacce silenti, come ad esempio un malware, questo potrebbe trasferirsi al sistema informatico dell'autovettura, mettendo potenzialmente in serio pericolo lo scambio dati con le centraline elettroniche funzionali, il corretto funzionamento del veicolo e le informazioni personali che sono memorizzate al suo

interno. In questo contesto possono attivarsi differenti scenari quali furto d'identità, violazioni della privacy e abuso di informazioni personali.

Al contempo, il contesto automotive si sta evolvendo sempre con maggiore energia verso lo sviluppo dei veicoli a guida autonoma. Questo scenario, unito ai rischi precedentemente citati, potrebbe causare, se non opportunamente protetto e gestito, addirittura il controllo del veicolo da remoto e un suo utilizzo per scopi illeciti, criminosi o terroristici. Infatti, la strada verso la guida autonoma «Full Self Driving» tramite l'impiego di applicazioni evolute, come opzione resa attivabile già da alcuni produttori (es. Tesla), pone un problema di responsabilità civile e penale per le azioni riconducibili all'uso del software e/o al suo utilizzatore. Inoltre, a complicare il quadro, si stima che la contraffazione di smartphone nel 2015 nella sola UE ammontasse a circa l'8,3% delle vendite del settore, per un valore pari a 4,2 miliardi di euro. Si possono, pertanto, prefigurare furti d'identità, servizi non volontariamente attivati dall'utente, app controllate da remoto senza consenso, ecc.

La soluzione che prevede l'impiego di documenti di riconoscimento elettronici abbinati ad un software di autenticazione e autorizzazione, consente di adeguare l'uso delle tecnologie ad un livello di massima sicurezza e deterrenza contro i casi di contraffazione dei dati e comportamenti dolosi. Al contempo, questo nuovo scenario permetterà, come già anticipato, soprattutto l'attribuzione della responsabilità all'autore del fatto.

I documenti d'identità elettronici rilasciati dallo Stato, consentono la fruizione di servizi che richiedono requisiti di sicurezza di livello medio/alto, come nel caso della guida autonoma. Per tali servizi, i documenti possono essere impiegati consentendo un'elevata e completa affidabilità nella fonte di certificazione, realizzando un processo di autenticazione forte in rete. Il processo avviene mediante utilizzo del certificato digitale di autenticazione e della relativa chiave privata previa verifica del PIN utente.

Nell'ambito del progetto sperimentale 5G, dove il Ministero dello Sviluppo Economico ha individuato e messo a disposizione, attraverso un bando pubblico, la porzione di spettro 3.6-3.8 GHz per realizzare soluzioni che prevedano l'utilizzo della nuova modalità di connessione dati, il servizio di autenticazione forte per la guida di un veicolo è già in fase prototipale.

È previsto, difatti, un modello di conduzione per l'utilizzo di veicoli speciali (ad es. mezzi di soccorso, mezzi della protezione civile, polizia, trasporto persone e merci) basato sul seguente flusso:

- l'utente che intende utilizzare il veicolo accede e si autentica, previa registrazione, per mezzo di un'applicazione mobile e di un documento d'identità elettronica (la Carta di Identità Elettronica). L'utente autenticato richiede l'autorizzazione all'accensione del veicolo identificandolo tramite un elemento taggante riposto al suo interno;
- il veicolo speciale invia i propri dati CAM direttamente alla Centrale Operativa e i dati veicolo proprietari e sensibili all'OEM Backend Server. Quest'ultimo ha il compito di distribuirli agli enti terzi che li sottoscrivono ed in particolare alla Centrale Operativa stessa;
- la Centrale Operativa analizzando i dati ricevuti è in grado di rilevare quando un veicolo speciale viene avviato;
- la Centrale Operativa, rilevato che un veicolo speciale è stato avviato, contatta il server del Poligrafico tramite le API da esso esposte per chiedere conferma dell'autorizzazione del veicolo alla marcia. In caso di autorizzazione confermata il flusso termina con successo, altrimenti la centrale operativa invierà un messaggio al veicolo che genererà un'azione di "disturbo".

La sperimentazione descritta può supportare situazioni di emergenza ma può essere estesa al miglioramento della sicurezza di veicoli, conducenti e persone.

La responsabilità dell'individuo che guida direttamente o indirettamente il veicolo in questo modo può essere assicurata ed estesa a tutti coloro che vorranno condurre un mezzo sulle Smart Road. Sarà inoltre possibile inibire la conduzione del veicolo sia in caso di non possesso di un documento di riconoscimento elettronico valido sia in caso di assenza dei requisiti necessari (es. età, classe di patente, assicurazione valida, ecc.).

Come ribadito, nel caso ad esempio di un minore che tenta di avviare l'auto, attraverso la combinazione di software di autenticazione certificato e utilizzo di un documento di riconoscimento, il sistema può bloccare l'accensione e inviare dei messaggi informativi al proprietario del veicolo, così come in caso di furto o di altri requisiti non posseduti.

Per innalzare ulteriormente i livelli di sicurezza, incrementare la fruizione di servizi innovativi e permettere una maggiore interoperabilità, l'introduzione di una targa con tecnologia RFID rappresenta la contromisura più efficace per il contrasto ai fenomeni di alterazione, duplicazione o furto della targa. Le informazioni contenute nel dispositivo RFID (incluso il numero di targa) non sono modificabili dopo la produzione, quindi determinano l'assoluta certezza dell'autenticità della targa.

Inoltre, come indicato, l'evoluzione del sistema targa potrà comprendere lo sviluppo della «terza targa», che ha la forma di un'etichetta adesiva da apporre sul parabrezza del veicolo. La terza targa, dotata inoltre di elementi anti-tampering per evitare che possa essere sostituita impropriamente o manomessa, consentirebbe di rendere disponibili le informazioni aggiuntive utili per un miglioramento dei controlli sulla circolazione (es. stato dei pagamenti del bollo, revisione del veicolo, disabilità, ...). Molte Autorità a livello globale stanno adottando la Terza Targa con l'obiettivo di ridurre drasticamente questo tipo di violazioni.

L'accesso alle informazioni abilitate reso possibile dalla tecnologia RFID verrà protetto tramite specifiche soluzioni di sicurezza che ne garantiranno la riservatezza, la confidenzialità e la disponibilità, muovendosi sulle direttive privacy e security.

In particolare, le informazioni memorizzate sui chip RFID, verranno protette da appositi meccanismi di crittografia che ne consentiranno da un lato la lettura solo ai reader abilitati alla comunicazione tramite protocolli proprietari ed abilitati alla chiave crittografica definita, dall'altro però garantiranno una gestione snella delle informazioni senza inficiare in maniera significativa le performance.

In questo modo anche la comunicazione con i dispositivi che formeranno l'infrastruttura di rete delle Smart Road potrà essere adeguatamente protetta, soprattutto nel caso in cui si vogliano veicolare particolari servizi basati su differenti meccanismi di pagamento.

4.2 Aspetti legali (responsabilità, privacy, gestione dei dati, fallimenti del sistema, ecc.)

Non si può non dedicare specifiche valutazioni al tema della responsabilità di quei soggetti terzi (es. Service Provider) che saranno parte attiva del sistema Smart Road e che, offrendo servizi a valore aggiunto all'utente, entreranno nella filiera di "produzione" della mobilità". Per questi andranno quindi definite le responsabilità in funzione dei compiti e delle necessarie relazioni con le componenti del sistema "uomo-veicolo-infrastruttura".

E' chiaro che, mentre per quanto riguarda la gestione dell'infrastruttura i vincoli normativi e di responsabilità sono già oggi ben determinati, per gli altri due livelli l'individuazione e la ripartizione delle nuove responsabilità dovrà coinvolgere in primo luogo i soggetti direttamente interessati.

L'introduzione dei sistemi cooperativi comporterà che soggetti che hanno sempre operato in specifiche aree di business, dovranno invece operare e interagire in settori a loro non del tutto noti o nei quali non hanno sufficiente esperienza. La regolazione di questo ulteriore sviluppo, infatti, così come appare profilarsi per il prossimo futuro, vedrà costruttori di automobili, operatori di telefonia, produttori di servizi alla mobilità, nonché i gestori stradali convivere e svolgere il proprio lavoro in un nuovo ed integrato ambiente, che dovrà essere necessariamente regolato.

Occorre quindi garantire il pieno rispetto dei ruoli, delle responsabilità e delle procedure già indicati dalle attuali norme, nelle more della definizione di un nuovo e più adeguato quadro normativo e regolamentare. Quadro che, in relazione alla creazione di nuovi modelli di business e di servizio connessi alle Smart Road, e all'apertura a diversi operatori, dovrà ben determinare, per ognuno di essi, il ruolo nella filiera, in modo da caricare opportunamente costi e responsabilità relative alla propria competenza.

Guida connessa e guida autonoma porteranno con loro un cambio di paradigma nel modo di concepire e gestire il sistema di trasporto. La proprietà privata come la conosciamo sparirà a favore della condivisione, nuovi e inopinati modelli di business compariranno e, soprattutto, si farà un più largo uso del trasporto pubblico.

Sulla base delle condizioni esistenti, come è possibile arrivare allo stesso livello di sicurezza con un servizio operato da mezzi a guida autonoma? È necessario, allora, esplorare la possibilità di apertura al pubblico di un servizio di trasporto di linea, operato da mezzi autonomi, che sia a tutti gli effetti funzionante, che vada oltre la sola sperimentazione, e che contribuisca a migliorare l'offerta di trasporto pubblico, integrandola fino a sostituirla, con tutti i vantaggi della guida autonoma (costi, ambiente, riduzione del traffico).

Il punto di partenza per un'analisi di fattibilità è rappresentato dallo studio delle condizioni esistenti del funzionamento del trasporto pubblico di linea: necessità, bisogni, vincoli, normativa, gestione dei servizi, ecc. che permettono al veicolo di spostarsi da un'origine a destinazione e di trasportare passeggeri in sicurezza.

Pensando di sostituire i normali mezzi con veicoli connessi a infrastruttura, ad altri mezzi e, soprattutto, ai passeggeri, si deve prestare particolare attenzione a ostacoli, vincoli e alle nuove necessità del sistema. Per fare questo, si procede a ritroso dalla messa in funzione del trasporto, sulla base del servizio odierno e dei risultati della sperimentazione, alla normativa di supporto, creando così un servizio commerciale funzionante ed efficiente.

Concentrandosi sui veicoli responsabili di più persone, piuttosto che su mezzi di trasporto individuale, la tematica che deve emergere riguarda la responsabilità del mezzo verso l'utenza. La normativa odierna deve essere quindi adeguata, per far fronte alle necessità di un sistema senza intermediari.

Per il trasporto pubblico, ogni Paese ha le sue regole ed è lecito pensare che, essendo il trasporto pubblico localizzato, le differenze di gestione che intercorrono tra i diversi Stati non costituiscano un problema ma una possibilità di ottimizzazione del sistema in un'ottica concorrenziale. Tuttavia, nel nuovo modello di business autonomo, la parola che ricorre più spesso è "seamless" ovvero uno spostamento da un'origine a una destinazione multimodale, con minimi tempi di attesa e con la possibilità di gestire tutto grazie ad un'unica applicazione. Per garantire un'accessibilità globale, vi è quindi, la necessità di uniformare lo scheletro normativo del trasporto pubblico, creando nuovi standard ad hoc per il funzionamento e per la gestione del sistema, offrendo così un trasporto pubblico innovativo, inclusivo e sicuro.

5. L'infrastruttura fisica delle strade digitali

In questo capitolo, si descrive ed analizza il ruolo della infrastruttura fisica stradale in riferimento alla transizione a Smart Road per la digitalizzazione delle strade. Infatti, seppur con modifiche sostanziali riguardanti la dotazione tecnologica ed infrastrutturale, la Smart Road risulta comunque basata su di una infrastruttura fisica che potrà essere descritta tramite parametri geometrici e funzionali derivanti da quelli tradizionali.

Per entrambe le categorie di Smart Road (Tipo I e II) identificate nell'allegato al D.M. 28/02/2018, si enumerano infatti di seguito le famiglie di caratteristiche statiche che dovranno descrivere la Smart Road, prescindendo dalla rappresentazione della rete (grafi trasportistici) e dalle informazioni su pedaggi, aree di sosta, ricarica e rifornimento:

- andamento planimetrico (tipo di tratto e informazioni sulla curvatura);
- andamento altimetrico (tipo di tratto e informazioni su pendenza e curvatura);
- opere d'arte (es.: ponti, viadotti, gallerie);
- classificazione della infrastruttura (rete di appartenenza, categoria, velocità di progetto, classificazione amministrativa);
- sezione trasversale (numero, tipo e larghezza media corsie, piazzole di sosta/emergenza);
- limiti di velocità (con limitazioni per alcuni veicoli, corsie e condizioni meteorologiche, presenza di enforcement);
- limitazioni alla circolazione (veicoli non ammessi);
- presenza di segnaletica a inizio tratto;
- caratteristiche per la sicurezza (illuminazione, barriere, rischi, ostruzioni ed eventi catastrofici tipici);
- manufatti (presenza, stato, vetustà e manutenzione).

A tali caratteristiche statiche si aggiunge poi la descrizione delle famiglie di caratteristiche dinamiche, quali: aperture e chiusure al traffico, inversione di marcia, divieto di sorpasso, limiti di velocità dinamici, mezzi speciali, cattive condizioni della pavimentazione.

Indipendentemente, dunque, dalle specifiche funzionali di cui dovrà essere dotata la Smart Road (l'intero set di specifiche, o una parte di esse per le Smart Road di categoria inferiore), la infrastruttura fisica sarà descritta nel prossimo futuro per mezzo di indicatori geometrico-funzionali tradizionali.

Infatti, è importante notare come in diverse aree del mondo, siano cominciate o si stia ragionando sulle prime sperimentazioni da condurre con veicoli a guida autonoma su strade pubbliche ed i relativi standard da applicare (es.: regolamento del California Department for Motor Vehicles).

Dunque, al momento il transito dei veicoli automatici e connessi è pensato per strade esistenti o comunque descritte con parametri geometrico-funzionali tradizionali, ma provviste di apposite specifiche funzionali (dotazione tecnologico-impiantistica).

Tuttavia, l'impianto tradizionale della infrastruttura stradale potrà subire delle per adeguarsi al meglio all'avvento dei veicoli a completa automazione. Sebbene tale aspetto verrà dettagliatamente affrontato in seguito, verranno introdotti in questa sede dei concetti relativi all'organizzazione dello spazio stradale che potrebbero però risentire dell'introduzione dei veicoli automatici e connessi sulle strade pubbliche e quindi evolversi ulteriormente.

Le possibili criticità relative all'organizzazione dello spazio stradale dipartono dalle problematiche emerse in studi scientifici riguardanti l'introduzione dei veicoli automatici e connessi (al netto dei benefici attesi). Tali problematiche riguardano essenzialmente:

- l'interazione tra i veicoli automatici e connessi e i veicoli tradizionali;
- la transizione verso la guida manuale in caso di fallimenti del veicolo automatico (ascrivibili ad una qualsiasi delle dimensioni coinvolte);
- l'accettazione dei veicoli a guida autonoma da parte degli utenti con le relative ricadute sull'interazione uomo-macchina.

Per quanto riguarda la prima problematica, Dixit et al. (2016) e Favarò et al. (2017) ad esempio hanno condotto alcuni studi esplorativi sulle possibili cause di incidenti in cui sono stati coinvolti veicoli automatici. Entrambi gli studi suggeriscono, a partire dall'analisi dei dati, che nella maggioranza dei casi non sono ascrivibili fattori di colpevolezza ai veicoli automatici. Al contrario, si evidenziano problemi nella interazione tra veicoli tradizionali e veicoli automatici, con i guidatori dei veicoli tradizionali che potrebbero avere interpretato in modo non corretto il comportamento dei veicoli automatici (es.: Dixit et al., 2016), non essendo probabilmente tali interazioni frequenti.

Per la seconda problematica elencata, ci sono diversi risvolti di potenziale interesse per l'ambito prettamente infrastrutturale. Infatti, una delle cause di fallimenti del software di guida autonoma potrebbe essere dovuto ad una errata intellegibilità della strada da parte del veicolo (es.: Favarò et al., 2018). Ad esempio, in uno studio sperimentale (Mok et al., 2015), si è analizzato di fatto il possibile fallimento da parte di un veicolo autonomo nel riconoscere l'assenza delle linee di segnaletica orizzontale per determinare la corretta posizione del veicolo nella carreggiata, con conseguente passaggio a guida manuale.

La terza problematica riguarda il consenso degli utenti nei confronti dei veicoli automatici (es.: Piao et al., 2016). Questo aspetto è sicuramente destinato ad evolversi nel corso degli anni a venire in base agli scenari di implementazione. Tuttavia, ciò potrebbe interessare solo marginalmente l'interfaccia infrastrutturale.

In base ai problemi elencati, ci sono due aspetti che riguardano il fattore infrastruttura fisica: la tecnologia necessaria alla corretta navigazione dei veicoli a guida autonoma e alla risoluzione, ove possibile, delle criticità derivanti dall'interazione tra veicoli a guida autonoma e veicoli tradizionali.

In primo luogo, dunque è necessario che l'infrastruttura stradale sia perfettamente delineata dal punto di vista segnaletico e del margine laterale, considerando ad esempio strisce centrali, laterali, di margine ed ostacoli di diversa natura. Con tale dotazione si potrebbero evitare fallimenti del sistema autonomo dovuti alla non corretta comunicazione tra strada e veicolo. Il veicolo autonomo è dotato infatti di sensori che permettono il riconoscimento di ostacoli a corta e media-lunga distanza (Lidar, videocamere, diversi sistemi di connessione, si veda ad esempio Hecht, 2018).

In secondo luogo, la piattaforma stradale potrebbe essere progettata al fine di minimizzare l'interazione tra veicoli a guida autonoma e veicoli tradizionali. Nello specifico, si potrebbe ipotizzare di realizzare corsie separate per il transito dei veicoli automatici (come accade oggi per il trasporto pubblico). In questo modo, le corsie separate permetterebbero, ad esempio, la realizzazione di "platoon" di veicoli che transitano, anche a velocità sostenute, in completa sicurezza, mantenendo le distanze adeguate (es.: Litman et al., 2018) e soprattutto, la divisione fisica rispetto al traffico veicolare tradizionale. Risulta evidente come in questo caso, la differenza tra contesti urbani ed extraurbani sia assolutamente

influenza sulle possibilità di modifica infrastrutturale, argomento che sarà ulteriormente approfondito nel prossimo paragrafo.

In merito ai materiali attualmente concepiti per la costruzione della strada, ad oggi, sembrerebbe che non siano messi in discussione in quanto presenti anche nella definizione di Smart Road, con particolare riferimento all'utilizzo dei tradizionali (o innovativi) conglomerati bituminosi. Tuttavia, la crescente attenzione alla sostenibilità del costruito, gettano luce sull'utilizzo di materiali innovativi che permettano, ad esempio, di generare energia per mezzo della pavimentazione stessa (si veda ad esempio Duarte et al., 2013). Questo è uno dei possibili esempi di come le pavimentazioni stradali potranno subire future modifiche; tuttavia, non direttamente contemplate nelle specifiche delle Smart Road.

5.1 Architettura di rete sulle strade digitali

L'architettura di rete sulle strade digitali si riferisce alla progettazione e alla configurazione delle reti di computer e di comunicazione che consentono il trasferimento di informazioni lungo le autostrade digitali. Queste autostrade digitali sono costituite da una vasta gamma di infrastrutture di comunicazione, tra cui cavi in fibra ottica, satelliti, reti wireless e altre tecnologie.

L'architettura di rete sulle strade digitali prevede l'uso di tecnologie di networking avanzate, come la commutazione di pacchetti, l'indirizzamento IP e il routing, per consentire il trasferimento rapido ed efficiente di grandi quantità di dati tra dispositivi connessi a queste reti. Ciò richiede una pianificazione attenta delle risorse di rete, compresa l'allocazione di banda, la gestione dei flussi di traffico e la sicurezza delle reti.

Inoltre, l'architettura di rete sulle strade digitali deve prevedere la connettività e l'accessibilità universale, che significa che ogni dispositivo e utente devono poter accedere alla rete indipendentemente dalla loro posizione geografica o dal dispositivo utilizzato. Questo richiede la costruzione di reti a banda larga a livello nazionale e internazionale, nonché la collaborazione tra operatori di rete, fornitori di servizi e altri attori della comunità.

5.2 Architettura logica di comunicazione fisica ed organizzativa

L'infrastruttura informatica della Smart Road si inserisce all'interno di un sistema informativo già in esercizio presso i gestori/concessionari stradali. Tale sistema esercita tipicamente le funzioni di Comando e Controllo degli apparati di strada (es. sistema SCADA di galleria). È dunque evidente che apparati, sistemi e dati della Smart Road, devono necessariamente integrarsi all'interno dei sistemi informatici che sono al servizio dell'infrastruttura stradale, anche al fine di evitare duplicazioni funzionali, eccessivi costi organizzativi derivanti dall'introduzione di nuovi sistemi, perdita di una visione di insieme sul flusso dati.

L'infrastruttura Smart Road è tipicamente rappresentata con tre livelli gerarchici di stazioni intelligenti (ITS-S):

- la station a bordo veicolo (V-ITS-S);
- la station di controllo di tratta (R-ITS-S);
- la station centrale (C-ITS-S).

Dal punto di vista dati, i sistemi V-ITS-S veicolari partecipano alla interpretazione, generazione, inoltro delle informazioni "smart" che provengono da altri veicoli o dall'infrastruttura (comunicazioni V2V, V2I, I2V).

La R-ITS-S si occupa di coordinare e comandare le diverse RSU - Road Station Unit, responsabili della parte trasmissiva da/verso i sistemi veicolari (comunicazioni V2I, I2V). I dati di interesse della Smart Road vengono poi condotti in centro (o provengono dal centro) attraverso un sistema centrale di coordinamento ed orchestrazione definito C-ITS-S.

Lo sforzo di integrazione passa attraverso la congiunzione tra i sottosistemi di Smart Road (i diversi layer ITS descritti in precedenza) ed i sottosistemi disponibili all'interno del sistema di Comando e Controllo Stradale - CCS in esercizio presso il gestore. Il CCS è anch'esso organizzato con una struttura gerarchica che possiamo rappresentare nel modo indicato in figura e di seguito descritta:

- impianti su strada (sensori di Traffico, concentratori TVCC, PLC di galleria, ecc.);
- CCL - Centro di Controllo Locale;
- CCR - Centro di Controllo Remoto.

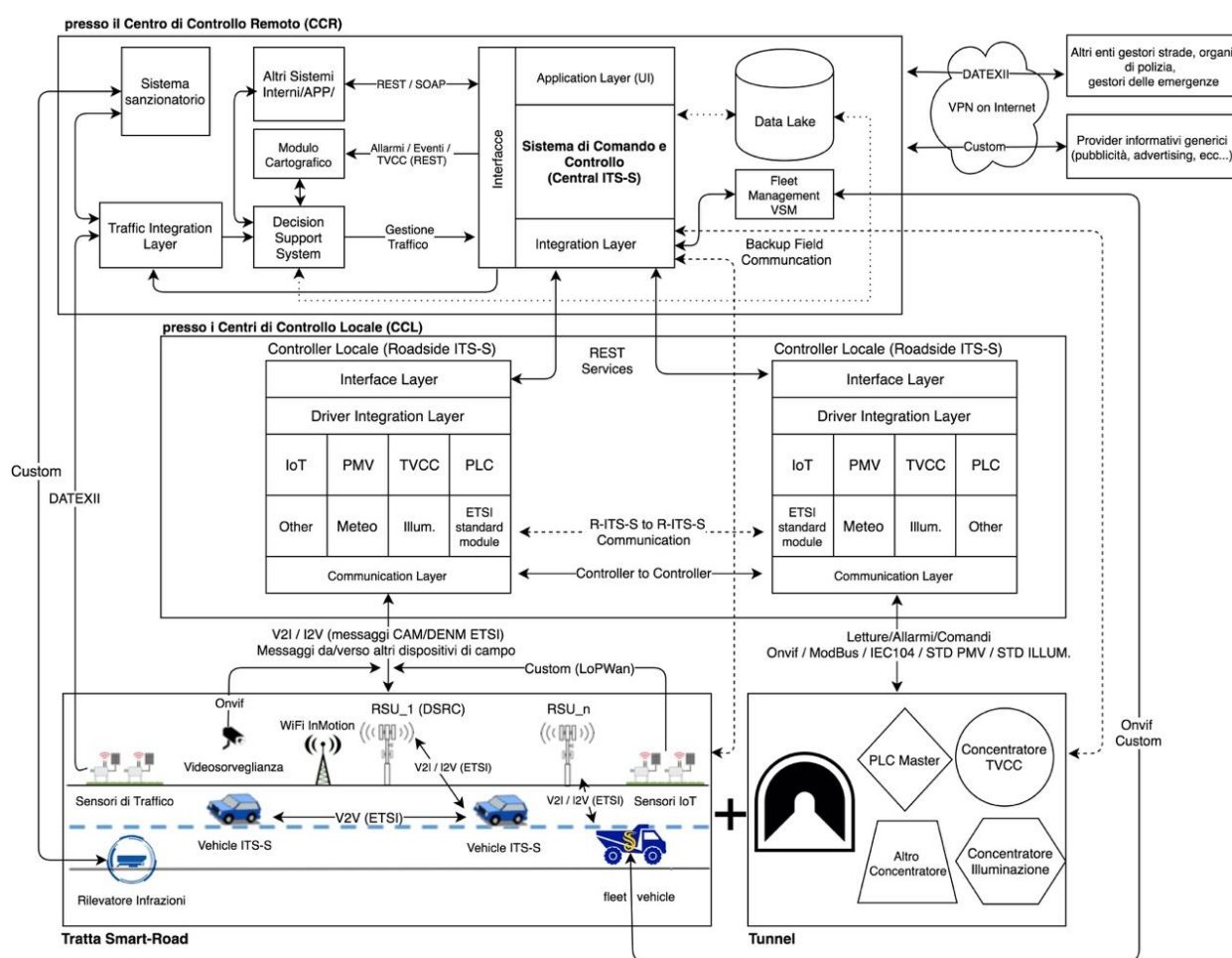


Figura 87. Integrazione Smart Road con sistema di comando e controllo (Anas S.p.A. - DICT)

Gli impianti su strada comunicano tipicamente con diversi standard (Onvif, DATEXII, ecc.) e, in determinati casi, la comunicazione è di tipo custom (es. servizi REST) e dipende dall'implementazione proposta dal fornitore di impianto. Per far fronte a questa eterogeneità è presente il livello CCL, in grado di implementare un servizio di integrazione dei segnali/messaggi provenienti dai diversi impianti, oltre a distribuire/inviare correttamente i comandi.

Il centro di controllo remoto svolge il ruolo di orchestratore dei CCL e implementa logiche di surroga per gli stessi CCL, sostituendosi ad un determinato centro di controllo locale temporaneamente indisponibile. Il CCR deve esercitare il

La strada digitale e connessa

ruolo di integratore di dati provenienti da altri sistemi di acquisizione e trattamento (es. dati di traffico, fleet management, ecc.). Inoltre, il centro di controllo remoto svolge un ruolo di interfaccia per quei dati che possono essere consumati da altri sistemi autorizzati (es. decision support system, sistema cartografico, applicazioni mobili).

Volendo integrare il sistema Smart Road con il Sistema di Comando e Controllo, la soluzione può essere quella di seguito descritta:

- il Controllore Locale insieme alle RSU implementa le funzioni di R-ITS-S;
- il Centro di Controllo Remoto implementa le funzioni di C-ITS-S;
- le V-ITS-S sono viste come ulteriore impianto da gestire.

All'interno del CCL va implementata tutta la logica per l'integrazione ai protocolli di Smart Road, al fine di poter controllare e veicolare dati verso le RSU distribuite sulla tratta. In modo più specifico la CCL implementa la generazione, l'acquisizione e l'interpretazione dei messaggi Smart Road (come quelli CAM/DENM definiti nello standard ETSI 302 637). Il CCL inoltre attiva le logiche di comando degli altri apparati di strada in base al flusso dati proveniente dalla Smart Road o, al contrario, generando messaggi "smart" in base agli stati acquisiti dagli impianti stradali. Si sottolinea il fatto che, alcuni comandi inviati agli impianti da parte del CCL sono frutto di logiche automatiche (scenari), mentre altri sono innescati dall'operatore di sistema che interagisce con messaggi ed allarmi attraverso l'interfaccia fornita dalla CCR, ed attiva i comandi appropriati verso il campo secondo procedure di esercizio ben definite. Si ricorda infatti che il CCR è sempre in contatto con i diversi CCL e ne surroga eventualmente le funzioni in caso di indisponibilità.

Al fine di chiarire la logica di integrazione si intendono illustrare alcuni scenari di esempio:

- allarme incidente generato da un fleet vehicle;
- incendio in galleria;
- allarme da analisi video.

Il primo caso d'uso è quello rappresentato da un veicolo appartenente alla flotta aziendale che rileva un incidente lungo una tratta Smart Road. Il veicolo è dotato dell'infrastruttura di servizio per il fleet management e la videosorveglianza mobile ma, allo stesso tempo, è anche dotato di una V-ITS-S accreditata ed autorizzata alla generazione di messaggi di allarme da segnalare alla Smart Road (V2I) ed ai veicoli smart (V2V). Questo messaggio sarà propagato alle altre V-ITS-S (veicoli) nel raggio d'azione dell'incidente. In questo caso il CCL rileva e consente la propagazione del messaggio (eventualmente ad altri CCL) senza autorizzazione da parte di un operatore di sistema, in quanto la generazione del messaggio di allarme è avvenuta da parte di un fleet vehicle aziendale accreditato. Gli operatori presso il centro remoto possono comunque sfruttare le funzioni di fleet management disponibili sul veicolo che ha generato l'allarme, e collegarsi al sistema di videosorveglianza mobile installato sullo stesso mezzo al fine di verificare la situazione presente sulla strada.

Nel secondo caso d'uso la rete di sensori di galleria rileva un principio di incendio all'interno del tunnel. Il PLC - Controllore Logico Programmabile attiva i comandi di scenario per la gestione dell'emergenza mentre il rispettivo CCL di controllo acquisisce l'allarme tramite il protocollo di colloquio con il PLC. Il sistema locale si farà carico, attraverso l'integrazione della logica da R-ITS-S, di generare i messaggi compatibili con l'infrastruttura Smart Road e propagare l'allarme ai veicoli nel raggio d'azione dell'evento (con logiche trasmissive DSRC). L'allarme viene notificato anche agli operatori della sala di controllo attraverso l'inoltro lungo il canale di comunicazione instaurato tra il CCL ed il centro di controllo remoto, per l'eventuale attivazione delle procedure di emergenza e soccorso.

Nel terzo scenario il sistema di videosorveglianza stradale rileva un allarme di veicolo contromano. I driver del sistema per la videosorveglianza, disponibili nel Centro di Controllo Locale di competenza, acquisiscono il messaggio e lo inoltrano al Centro di Controllo Remoto. L'operatore autorizzato al sistema di Comando e Controllo analizza il flusso video reso disponibile dal sistema di videosorveglianza e conferma l'allarme. Quest'ultimo viene dunque propagato ai CCL interessati che si occupano contemporaneamente di generare i messaggi indirizzati alla Smart Road (e quindi ai veicoli) e di interagire con gli impianti interessati. Si pensi ad esempio ai Pannelli a Messaggio Variabile - PMV sui quali viene impresso un opportuno messaggio di avviso per i viaggiatori.

Quanto descritto in precedenza vuole mostrare l'utilità di integrare i sistemi informativi della Smart Road ed il Sistema di Comando e Controllo stradale. Questo permette di implementare meccanismi di forte permeabilità tra dati e messaggi dei rispettivi sottosistemi; informazioni che collaborano all'attivazione di tutti gli impianti su strada (compresi i sistemi veicolari di bordo). Il tutto sotto il controllo di un unico sistema di regia (CCR) già in esercizio, che ha il grosso vantaggio di avere logiche ben definite e collaudate, oltre a nutrire della fiducia da parte degli operatori. Quest'ultimo aspetto permette all'infrastruttura Smart Road un più facile inserimento nelle procedure di gestione aziendale, passando di fatto attraverso un Sistema di Comando e Controllo già noto.

5.3 Differenze tra infrastrutture fisiche urbane ed extraurbane

Il contesto di riferimento urbano o extraurbano caratterizza in modo definito l'infrastruttura stradale sotto diverse angolazioni. Ad esempio, diversi contesti accolgono e determinano diverse categorie stradali, standard progettuali, velocità di progetto (D.M. 6792/2001). In aggiunta, in ambito urbano le diverse interazioni tra veicoli si sommano alle interazioni con gli utenti vulnerabili (pedoni e ciclisti), che rendono più complessa la gestione dei punti di conflitto. E' lecito considerare che le stesse problematiche di interazione possano permanere anche nel caso delle strade percorse da veicoli a guida autonoma. Ciò significa che in ambito extraurbano sarà preponderante la mitigazione delle interazioni veicolari mentre in ambito urbano tale aspetto dovrà necessariamente essere integrato con le interazioni con gli utenti vulnerabili (pedoni e ciclisti).

L'allegato al D.M. 28/02/2018 prevede di implementare progressivamente le specifiche funzionali di Smart Road alla rete principale di strade nazionali (Livello 1 dello SNIT - Sistema Nazionale Integrato dei Trasporti), oltre che a tutte le tratte autostradali. Tuttavia, in tali reti stradali non vi è presenza di strade spiccatamente urbane, essendo tutte principalmente strade di percorrenza a velocità prevalentemente elevata. Le uniche eccezioni sono formate dalle autostrade e strade primarie/principali periurbane che toccano o si inoltrano nei territori delle grandi città italiane, ma che comunque mantengono ben definite caratteristiche di traffico veicolare, tipicamente extraurbano.

Dunque, mentre nel prossimo futuro si potrà disporre di tecnologie V2X e I2V su arterie importanti del tessuto stradale nazionale (specialmente quelle identificate come di I categoria nel D.M. 28/02/2018), lo stesso aspetto non viene direttamente affrontato dal punto di vista normativo nell'ambito spiccatamente urbano. E' dunque lecito considerare che scenari di elevata automazione possano dapprima realizzarsi in modo controllato su strade che possiedano elevati standard tecnologici, preparati per il transito sicuro e la comunicazione dei veicoli a guida autonoma. Diversi scenari sono stati già considerati in questo ambito di riferimento, ad esempio riguardanti il "platooning", ovvero un plotone di veicoli a guida autonoma (di cui solo il primo eventualmente a guida manuale), possibilmente in viaggio su di una corsia

riservata. A tal proposito si rimanda ad esempio al lavoro svolto durante i progetti SARTRE (Safe Road Trains for the Environment) in ambito Europeo o California PATH in ambito americano.

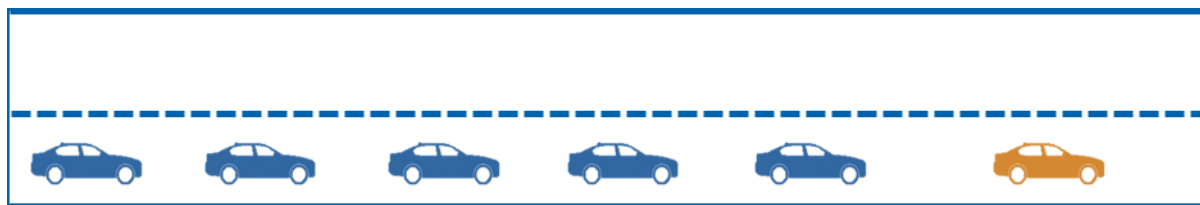


Figura 98. Platoon di veicoli in fila rispetto ad un veicolo capofila a guida manuale (Anas S.p.A.)

I benefici possibilmente derivanti dal “platooning” di veicoli sono evidentemente connessi all’incremento della capacità della sezione stradale, che cresce all’aumentare della percentuale di veicoli a guida autonoma presenti nella corsia riservata. È inoltre evidente come i maggiori benefici derivanti da modifiche infrastrutturali quali la presenza di corsie dedicate, potrebbero in prima istanza, soprattutto per scenari misti di traffico autonomo/tradizionale, riscontrarsi su tratti extraurbani che si prestano maggiormente a lunghi segmenti di corsie dedicate alla guida autonoma, interrotti solo sporadicamente da intersezioni.

In ambito urbano, le modifiche infrastrutturali per i veicoli autonomi possono comunque riguardare l’organizzazione della carreggiata stradale, ma in questo caso il target potrebbe essere quello del trasporto pubblico. Infatti, così come avviene attualmente per le corsie riservate al trasporto pubblico tradizionale, l’automatizzazione veicolare potrebbe riguardare in maniera prioritaria il trasporto pubblico urbano.

Valutazioni molto positive riguardo l’impatto sul comfort urbano per scenari sia di automazione dei veicoli privati che del trasporto pubblico, sono emerse dai risultati ottenuti nel progetto Europeo City Mobil2.

Ad esempio, nello specifico, è stato apprezzato l’aumento della capacità nello scenario inerente al trasporto pubblico. Inoltre, in un altro studio (Friedrich, 2016) si è evidenziato un aumento teorico della capacità in presenza di veicoli a guida autonoma per intersezioni semaforizzate.

Tuttavia, è importante rimarcare come si riportino valutazioni e stime su scenari di cui non si possono conoscere completamente tutte le condizioni al contorno e le possibili evoluzioni a breve, medio e lungo termine. Infatti, diversi autori hanno provato ad effettuare previsioni con svariati orizzonti temporali in differenti ambiti di riferimento (es.: Litman, 2018).

5.4 Possibili scenari futuri

In questo paragrafo, si offre una panoramica generale dei possibili scenari futuri che legano lo sviluppo e l’implementazione dei veicoli a guida autonoma e connessa, alla teoria e alla pratica della progettazione stradale, alcuni dei quali sono direttamente legati ai concetti esposti nel paragrafo iniziale. Si considerano in particolare alcuni degli aspetti tipici della progettazione stradale che potrebbero essere messi in discussione o comunque integrati/modificati in caso di rilevante traffico previsto di veicoli autonomi e connessi. Tale aspetto racchiude un ampio dibattito tuttora in corso e sul quale non vi sono indicazioni precise allo stato attuale, data l’impossibilità di predire con certezza lo sviluppo di scenari a medio-lungo termine. In questa sede, si tratta brevemente il possibile impatto che potrebbe subire

soprattutto la progettazione stradale extraurbana (descritto invece in dettaglio nello studio di Intini et al., 2019), avendo inoltre considerato precedentemente l'ambito urbano.

La progettazione stradale è tipicamente basata sulla considerazione di un "utente di progetto", che idealmente dovrebbe percorrere la strada alla velocità di progetto e che dovrebbe effettuare tutte le manovre in sicurezza, in funzione della velocità, considerando il susseguirsi di elementi stradali plano-altimetrici progettati in armonia tra loro. L'utente scelto come riferimento è da considerarsi un utente "medio", in modo da poter rappresentare svariati comportamenti alla guida di cui il progettista, raramente, può avvedersi nella loro interezza. Ciò riguarda in particolar modo la velocità, in quanto l'ipotesi forte che tutti gli utenti seguano una velocità di progetto ideale è in molti casi contraddetta dalla realtà. Per tale ragione, si considerano infatti altre misure di velocità come ad esempio la velocità "operativa".

Le considerazioni effettuate in precedenza a riguardo della progettazione stradale tradizionale potrebbero chiaramente subire una modifica sostanziale qualora l'utente finale di riferimento non sia più un utente tradizionale ma un veicolo autonomo dotato di intelligenza artificiale e capace di leggere in modo indipendente i segnali che gli vengono forniti dalla strada e dal sistema al contorno. Molti dei concetti fondanti della progettazione stradale potrebbero essere ridiscussi a causa di questo paradigma. La percezione visuale degli utenti tradizionali e le conseguenti reazioni sono in questo senso rimpiazzate dalla capacità visiva di "scan" da parte dei veicoli a guida autonoma, da cui dipendono le conseguenti reazioni automatiche dei veicoli. La filosofia alla base della progettazione stradale si esprime in particolar modo nello scenario extraurbano, dove la successione degli elementi plano-altimetrici acquista una importanza tale per cui le connessioni con la percezione degli utenti sono maggiormente visibili.

Due pilastri della progettazione stradale extraurbana sono discussi in questa sede, considerando in particolare:

- la velocità di progetto;
- la distanza di visibilità.

Come già indicato in precedenza, l'esistenza stessa della velocità di progetto potrebbe essere messa in discussione. Infatti, un veicolo a guida autonoma potrebbe selezionare in modo completamente indipendente la velocità idonea da mantenere per il tracciato in esame, in funzione delle sue caratteristiche geometriche plano-altimetriche, di aderenza stradale (tenendo in considerazione anche le condizioni al contorno, come quelle meteo), e di condizioni di traffico, garantendo la opportuna distanza di sicurezza e di arresto. Ovviamente le caratteristiche geometriche della strada continueranno ad influenzare la velocità del veicolo (che dovrà selezionare velocità minori in curve strette ad esempio), ma potrebbe venir meno l'esigenza di definire diagrammi delle velocità ideali (come nel D.M. 6792/2001) e corrispondenze fisse tra velocità ed elementi geometrici. Risulterà sempre influente invece il ruolo della aderenza stradale (sempre considerando inalterato l'utilizzo delle pavimentazioni attuali). In questo contesto, il limite di aderenza potrebbe essere utilizzato dai veicoli a guida autonoma come parametro di riferimento con cui confrontare l'effettiva aderenza misurata al contatto ruota-pavimentazione in tempo reale (si veda ad esempio Li et al., 2015), allo scopo di ottenere continue informazioni con cui determinare la velocità massima "sicura" per ogni diversa condizione stradale (Colonna et al., 2017).

Il calcolo delle distanze di visibilità è un altro pilastro fondante della progettazione stradale. La distanza necessaria per l'arresto deve essere sempre in ogni condizione inferiore rispetto alla distanza di visuale libera disponibile per l'utente stradale nelle stesse condizioni. La distanza necessaria per l'arresto è essenzialmente funzione della velocità di progetto, della pendenza longitudinale, del coefficiente di aderenza, e del tempo di percezione e reazione. Nella seguente figura

è rappresentata in particolare la relazione esistente tra distanza di arresto e velocità di inizio frenatura (di progetto), per diversi valori del tempo di percezione e reazione (variabile tra 0 e 5 s). Il tempo di percezione e reazione caratterizza il tempo necessario per l'utente per percepire e riconoscere l'ostacolo e decidere di compiere la manovra di frenata. Si evince chiaramente dalla figura seguente come la distanza di arresto sia fortemente dipendente dalla definizione del tempo di percezione e reazione, in cui si percorre una distanza non trascurabile, da sommare alla effettiva distanza necessaria per la frenata.

Differentemente, per i veicoli a guida autonoma, che potrebbero percepire l'ostacolo in un lasso temporale probabilmente istantaneo in diversi casi, il tempo di percezione e reazione potrebbe decrescere notevolmente fino al limite dell'azzeramento. Si noti come ad esempio, il passaggio da PRT = 5 s a PRT = 0 s corrisponda approssimativamente ad un dimezzamento della distanza d'arresto per alte velocità (ad esempio > 100 km/h).

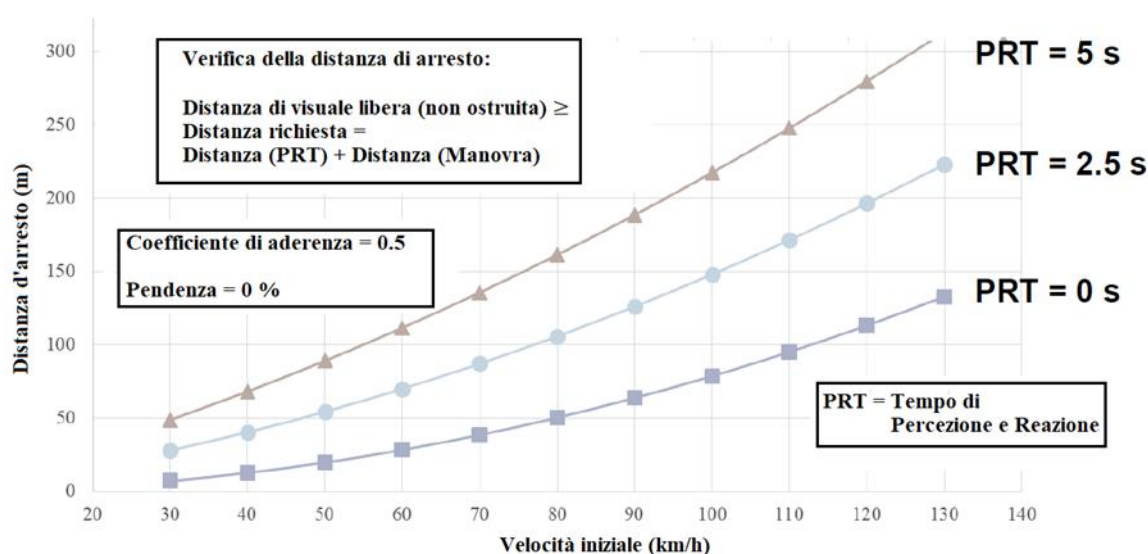


Figura 109. Grafici rappresentativi della distanza di arresto in funzione della velocità iniziale e del tempo di percezione e reazione nelle condizioni indicate (si veda Intini et al., 2019)

Garantire la distanza d'arresto lungo i tracciati stradali è una delle condizioni maggiormente vincolanti e può determinare delle variazioni progettuali importanti. La modifica di tale aspetto potrebbe dunque avere un impatto non trascurabile sulla progettazione stradale, specialmente in ambito extraurbano.

6. Gestione, esercizio e manutenzione delle strade digitali

Nell'ambito del progetto Smart Road, l'identificazione certa del conducente, tramite l'utilizzo dei documenti di riconoscimento elettronici, potrà garantire il miglioramento del livello di sicurezza nella circolazione stradale, mediante l'interdizione alla guida di:

- minore o utente che abbia riportato di condanne di guida in stato di ebrezza;
- persone non autorizzate o non munite della patente di guida per veicoli adibiti al trasporto merci pericolose o ambulanze;
- persone che abbiano subito ritiro della patente di guida per mancato rinnovo o eccesso di velocità;
- persone che non abbiano attivato o rinnovato della RC Auto.

L'innovazione tecnologica delle Smart Road consentirà di utilizzare un approccio proattivo nei confronti degli aspetti di manutenzione ordinaria e straordinaria delle infrastrutture.

In funzione del monitoraggio del traffico, analisi statistiche, feedback ricevuti dai rilevatori installati lungo tutta la rete, veicoli sonda equipaggiati in modo specifico e feedback volontari ("crowdsourcing") dagli stessi utenti sarà possibile determinare, prima che il danno si verifichi, le necessarie attività preventive di manutenzione. Grazie ad una rete pervasiva di rilevatori e software di analisi e monitoraggio, si potranno preavvisare la maggior parte dei danni alle infrastrutture stradali che negli anni hanno determinato numerose vittime per incuria o non previsione. I vantaggi della manutenzione predittiva sono legati da un lato alla riduzione degli incidenti e dall'altro ad un abbattimento dei costi e dei tempi necessari rispetto a un qualsiasi intervento su chiamata.

L'utilizzo dei dati legati all'innovazione tecnologica consentirà quindi di valutare in base all'intensità del traffico e alle condizioni atmosferiche, le performance della superficie stradale e della segnaletica, programmando gli interventi di manutenzione con congruo anticipo rispetto a un eventuale deterioramento. I dati raccolti grazie alla rete di sensori consentiranno quindi di effettuare interventi di ripristino e di adeguamento, ottimizzando le risorse economiche impiegate e i tempi di realizzazione degli interventi. L'elaborazione dei dati potrà essere il risultato dell'uso di piattaforme di analisi predittiva, in grado di simulare scenari e di definire delle roadmap di intervento individuando nel dettaglio i punti specifici sui quali intervenire evitando la propagazione dei guasti.

Durante il tragitto, tramite un software installato a bordo del veicolo, il conducente potrà ricevere delle informazioni sulle condizioni della strada da percorrere e allo stesso tempo sarà in grado di restituire al sistema, sia direttamente che indirettamente, dati su eventuali situazioni critiche al fine di garantire operazioni di manutenzione dell'infrastruttura e quindi condizioni di sicurezza maggiori. Ad esempio, l'utente può segnalare la presenza di buche e manto stradale danneggiato o pericoloso. La fondatezza della segnalazione è garantita dall'autenticazione del conducente, comprovata dal documento di riconoscimento elettronico; pertanto, il sistema è in grado di associare l'autore alla segnalazione inviata.

I servizi possibilmente implementabili potranno basarsi anche su veicoli dotati di telecamere in grado di condividere a richiesta video e immagini acquisite dalla telecamera con la Centrale Operativa, in modo da poter fornire agli operatori una visione della situazione e reagire di conseguenza.

Inoltre, l'individuazione di un modello di mobilità ottenuto dall'analisi dei flussi del traffico permetterà di definire il periodo temporale in cui realizzare l'attività di manutenzione o riparazione. Ad esempio, sarà possibile programmare i lavori di ripristino nelle settimane di minore intensità del traffico oppure limitare i lavori a determinati orari.

Poiché il passaggio a Smart Road presuppone un processo di trasformazione digitale orientato a introdurre piattaforme di osservazione e monitoraggio del traffico, modelli di elaborazione dei dati e delle informazioni, le principali modifiche relative al normale ciclo di manutenzione di una infrastruttura stradale nel passaggio a Smart Road avranno a che fare con i seguenti aspetti:

- garanzia di affidabilità del sistema tecnologico per il suo funzionamento H24 365 gg/anno;
- implementazione di SLA di intervento più stringenti per il ripristino dei malfunzionamenti;
- implementazione di un presidio e reperibilità H24 a garanzia del funzionamento della piattaforma software e tecnologica;
- controllo e verifica periodica delle strutture di sostegno delle dotazioni tecnologiche installate su strada (quali ad esempio antenne RSU);
- implementazione e verifica periodica di sistemi di ridondanza all'alimentazione elettrica (UPS e Gruppi Elettrogeni di Alimentazione);
- implementazione e verifica periodica degli accessi agli impianti esterni in modo tale da non interferire con il traffico stradale.

Le soluzioni tecnologiche proposte per la nuova gestione delle infrastrutture in un'ottica di digital transformation possono essere sintetizzate nel seguente modo:

- un "sistema targa evoluto" costituito dalla targa e, da una così detta, terza targa, entrambe dotate di tag RFID. Nello specifico, la terza targa è un'etichetta adesiva da apporre sul parabrezza del veicolo, in cui sono riportate in forma digitale i dati del libretto di circolazione a garanzia della certificazione di autenticità delle due targhe (anteriore e posteriore);
- un software di gestione e controllo dei dati acquisiti dai veicoli dotati di targa/terza targa con RFID. I dati sono letti da appositi varchi di rilevamento e ricondotti al software di acquisizione in grado di sistematizzarli ed elaborarli. Il software in questione può inoltre integrarsi con ulteriori sistemi di monitoraggio e controllo;
- un software di identificazione e autorizzazione alla guida, che verrà installato all'interno dell'autoveicolo o su un device (es. smartphone, tablet...), e che procederà all'autenticazione servendosi dei principali documenti elettronici di riconoscimento realizzati (es. carta d'identità elettronica, passaporto elettronico, permesso di soggiorno elettronico...);
- un'app per la lettura del tag RFID contenuto nella terza targa che può essere utilizzata dalle Autorità per i controlli e abilitante per i cittadini a una serie di servizi evoluti.

La targa elettronica e la terza targa rappresentano un'evoluzione dell'attuale "sistema targhe" in quanto sono delle soluzioni di anticontraffazione più robuste ed efficaci per il contrasto alle principali violazioni come furto, manomissione e duplicazione delle targhe. Per di più, queste soluzioni abilitano ad una serie di possibili servizi in ambito di smart-mobility.

Grazie alla tecnologia RFID che permette la lettura dei dati a distanza, è possibile utilizzare il nuovo sistema targhe come strumento per lo sviluppo di servizi innovativi collegati all'utilizzo dei veicoli.

Di seguito, un elenco non esaustivo dei principali servizi evoluti che si possono attivare:

- misurazione dei livelli di traffico e delle condizioni di viabilità: i dati del traffico, acquisiti grazie all'implementazione delle tecnologie proposte, possono essere elaborati per definire dei modelli di mobilità.

La scelta della distribuzione dei punti di "park and ride" in determinate zone della città, l'individuazione della

collocazione di servizi aggiuntivi (come zone di sosta, colonnine SOS, impianti per il rifornimento di carburante lungo le autostrade) potranno essere il risultato di analisi e di valutazione dei dati registrati. Le analisi dei flussi degli accessi in entrata e in uscita rilevati dai varchi installati, possono essere adoperati per riprogrammare la gestione della circolazione stradale, modificando in modo efficace i sensi di marcia.

- gestione degli accessi ad aree urbane con limitazioni di traffico:
 - le tecnologie descritte possono abilitare l'ingresso a determinate aree urbane (ZTL) sulla base di "policy" di accesso. Ad esempio si potrebbe prevedere di gestire il flusso dei veicoli in una determinata area, autorizzando l'accesso temporaneo limitato a delle fasce orarie nelle quali i mezzi addetti a carico/scarico merci possano fare il loro ingresso senza determinare un eccessivo impatto sul traffico;
 - l'installazione di varchi e il sistema targhe evoluto possono rendere più efficace il divieto di circolazione ai veicoli inquinanti, permettendo un controllo più pervasivo, aumentando l'incentivo a utilizzare i mezzi pubblici e riducendo l'inquinamento nelle aree urbane.
 - gestione degli accessi ad aree riservate:
 - in casi di emergenza, è possibile consentire l'accesso solo a mezzi autorizzati (es. attacco terroristico);
 - in tutte le ipotesi in cui sia necessario prevedere delle misure di sicurezza limitatamente ad alcune zone della città, è possibile adottare specifici provvedimenti del traffico e di sosta (es. eventi politico-economici di rilievo).
 - pagamento dei parcheggi/pedaggi autostradali:
 - è possibile istituire dei servizi di e-ticketing riferiti ai parcheggi dove, grazie all'uso della targa elettronica, l'utente può effettuare il pagamento delle ore usufruite. In questo modo si migliora il livello dei servizi offerti e si velocizza il processo di pagamento della sosta;
 - il servizio può essere attivato anche per il pagamento "free-flow" del pedaggio autostradale.
 - controllo dei limiti di velocità da parte delle autorità competenti: a supporto delle forze dell'ordine, il sistema Smart Roads permette il controllo del rispetto delle velocità consentite dal Codice della Strada su un determinato tratto;
 - controllo della regolarità dei pagamenti legati alle imposte di circolazione e assicurazioni RC Auto: grazie ai dati contenuti nella terza targa e ai possibili servizi attivabili è possibile verificare tramite un'apposita app lo stato dei pagamenti previsti dalla normativa vigente relativi a RC AUTO, imposta di bollo, revisione, ecc.
- Nell'ambito del progetto Smart Road, l'identificazione certa del conducente, tramite l'utilizzo dei documenti di riconoscimento elettronici, potrà garantire il miglioramento del livello di sicurezza nella circolazione stradale, mediante l'interdizione alla guida di:
- minore o utente che abbia riportato di condanne di guida in stato di ebbrezza;
 - persone non autorizzate o non munite della patente di guida per veicoli adibiti al trasporto merci pericolose o ambulanze;
 - persone che abbiano subito ritiro della patente di guida per mancato rinnovo o eccesso di velocità;
 - persone che non abbiano attivato o rinnovato la RC Auto.

L'innovazione tecnologica delle Smart Road consentirà di utilizzare un approccio proattivo nei confronti degli aspetti di manutenzione ordinaria e straordinaria delle infrastrutture.

In funzione del monitoraggio del traffico, analisi statistiche, feedback ricevuti dai rilevatori installati lungo tutta la rete, veicoli sonda equipaggiati in modo specifico e feedback volontari ("crowdsourcing") dagli stessi utenti sarà possibile determinare, prima che il danno si verifichi, le necessarie attività preventive di manutenzione. Grazie ad una rete pervasiva di rilevatori e software di analisi e monitoraggio, si potranno preavvisare la maggior parte dei danni alle infrastrutture stradali che negli anni hanno determinato numerose vittime per incuria o non previsione. I vantaggi della manutenzione predittiva sono legati da un lato alla riduzione degli incidenti e dall'altro ad un abbattimento dei costi e dei tempi necessari rispetto a un qualsiasi intervento su chiamata.

L'utilizzo dei dati legati all'innovazione tecnologica consentirà quindi di valutare in base all'intensità del traffico e alle condizioni atmosferiche, le performance della superficie stradale e della segnaletica, programmando gli interventi di manutenzione con congruo anticipo rispetto a un eventuale deterioramento. I dati raccolti grazie alla rete di sensori consentiranno quindi di effettuare interventi di ripristino e di adeguamento, ottimizzando le risorse economiche impiegate e i tempi di realizzazione degli interventi. L'elaborazione dei dati potrà essere il risultato dell'uso di piattaforme di analisi predittiva, in grado di simulare scenari e di definire delle roadmap di intervento individuando nel dettaglio i punti specifici sui quali intervenire evitando la propagazione dei guasti.

Durante il tragitto, tramite un software installato a bordo del veicolo, il conducente potrà ricevere delle informazioni sulle condizioni della strada da percorrere e allo stesso tempo sarà in grado di restituire al sistema, sia direttamente che indirettamente, dati su eventuali situazioni critiche al fine di garantire operazioni di manutenzione dell'infrastruttura e quindi condizioni di sicurezza maggiori. Ad esempio, l'utente può segnalare la presenza di buche e manto stradale danneggiato o pericoloso. La fondatezza della segnalazione è garantita dall'autenticazione del conducente, comprovata dal documento di riconoscimento elettronico, pertanto il sistema è in grado di associare l'autore alla segnalazione inviata.

I servizi possibilmente implementabili potranno basarsi anche su veicoli dotati di telecamere in grado di condividere a richiesta video e immagini acquisite dalla telecamera con la Centrale Operativa, in modo da poter fornire agli operatori una visione della situazione e reagire di conseguenza.

Inoltre, l'individuazione di un modello di mobilità ottenuto dall'analisi dei flussi del traffico permetterà di definire il periodo temporale in cui realizzare l'attività di manutenzione o riparazione. Ad esempio sarà possibile programmare i lavori di ripristino nelle settimane di minore intensità del traffico oppure limitare i lavori a determinati orari.

Poiché il passaggio a Smart Road presuppone un processo di trasformazione digitale orientato a introdurre piattaforme di osservazione e monitoraggio del traffico, modelli di elaborazione dei dati e delle informazioni, le principali modifiche relative al normale ciclo di manutenzione di una infrastruttura stradale nel passaggio a Smart Road avranno a che fare con i seguenti aspetti:

- garanzia di affidabilità del sistema tecnologico per il suo funzionamento H24 365 gg/anno;
- implementazione di SLA di intervento più stringenti per il ripristino dei malfunzionamenti;
- implementazione di un presidio e reperibilità H24 a garanzia del funzionamento della piattaforma software e tecnologica;
- controllo e verifica periodica delle strutture di sostegno delle dotazioni tecnologiche installate su strada (quali ad esempio antenne RSU);

- implementazione e verifica periodica di sistemi di ridondanza all'alimentazione elettrica (UPS e Gruppi Elettrogeni di Alimentazione);
- implementazione e verifica periodica degli accessi agli impianti esterni in modo tale da non interferire con il traffico stradale.

7. Bibliografia

- C-Roads Platform publishes harmonised C-ITS specifications for Europe. (s.d.). Tratto da https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/Dokumente/Harmonised_specs_text.pdf
- Köllinger, C. (s.d.). City Mobil 2 EU Project.
- ANAS S.p.A. (2018). SMART ROAD "La strada all'avanguardia che corre con il progresso". SMART ROAD "La strada all'avanguardia che corre con il progresso" - Direzione Operation e Coordinamento Territoriale Infrastruttura Tecnologica ed Impianti.
- ANAS S.p.A. (2023). A C-ITS Services Laboratory for New Mobility Solutions.
- ANAS S.p.A. (2022). AREA (Automatic Road works Extension Alert) SYSTEM: Real Time Road Works IoT Monitoring Devices to Improve Safety and Traffic Management.
- ANAS S.p.A. (2023). How C-ITS Services can Transform Mobility Across Europe.
- ANAS S.p.A. (2023). Innovation for more Sustainable, Efficient and Connected Mobility.
- ANAS S.p.A. (2022). Italian Alps Become Smart: the Experience of Road Innovation at Cortina 2021.
- Andrew Turley, K. M. (2018). C-ITS: Three observations on LTE-V2X and ETSI ITS-G5—A comparison. NXP B.V.
- Apache Software Foundation. (2018). <https://hadoop.apache.org/>. Tratto da <https://hadoop.apache.org/>.
- ARIB, A. o. (2001). Dedicated Short-Range Communication (DSRC).
- Car2Car. (s.d.). FAQ regarding Data Protection in C-ITS . Braunschweig, Germany.
- ChudenCTI Co., Ltd. (2018). Security Service. Tratto da Security Service:
<http://www.cti.co.jp/en/solution/infra/security/>
- C-ITS SERVICES. (2018). Tratto da <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/>
- C-ITS Strategy. (s.d.). Tratto da https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/C-ITS_Strategy_of_the_EC.pdf
- CO2 BASED MOTOR VEHICLE TAXES IN THE EU. (s.d.). (ACEA) Tratto da
<https://www.acea.be/publications/article/overview-of-co2-based-motor-vehicle-taxes-in-the-eu>
- Colonna, P., Intini, P., Berloco, N., & Ranieri, V. (2017). Connecting Rural Road Design to Automated Vehicles: The Concept of Safe Speed to Overcome Human Errors.
connectedautomateddriving.eu. (s.d.). Tratto da <https://connectedautomateddriving.eu/project/sartre/>
- Continental AG. (s.d.). Continental The Future in Motion. Tratto da www.continental-automotive.com:
<https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Chassis-Safety/Software-Functions/Active-Safety/Emergency-Brake-Assist/Electronic-Emergency-Brake-Light>
- D.M. 6972/2001. Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2001).
- Dalla Chiara, Barabino, Bifulco, Corona, Fusco, Rossi, & Studer. (2013). ITS nei trasporti stradali. Forlì: EGAF.
- DATEX II. (s.d.). Tratto da https://www.datex2.eu/implementations/extension_directory
- Dixit, V., Chand, S., & Nair, D. (2016, Dicembre 20). Autonomous Vehicles: Disengagements, Accidents and Reaction Times.
Driving", E. W. (2015). Automated Driving Roadmap. Version 5.0.
- Duarte, F., Casimiro, F., Correia, D., Mendes, R., & Ferreira, A. (2013). A new pavement energy harvest system. 2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC).

- EC. (2016). C-ITS Platform Final Report. Tratto da ec.europa.eu:
<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/doc/c-its-platform-final-report-january-2016.pdf>
- EC. (2017, Settembre). Final report Phase II September 2017. Tratto da ec.europa.eu.
- ERTRAC. (2015, Luglio 21). Automated Driving. Tratto da www.ertrac.org:
https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id38/ERTRAC_Automated-Driving-2015.pdf
- ERTRAC Working Group "Connectivity and Automated Driving". (2017). Automated Driving Roadmap. Version 7.0.
- ETSI. (2012). ETSI EN 302 663 V1.2.0 .
- ETSI. (2016). ETSI CTI Plugtests Guide V0.0.4 56 . Tratto da
https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/CTI/Docs/ITS_CMS_Plugtest5_Tests_FINAL.pdf
- ETSI. (2018). ETSI EN 302 637-2.
- Europea, C. (2016). A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility).
- Fanara, M. (2018). Smart road: a settembre si parte. Tratto da
<https://www.lautomobile.aci.it/articoli/2018/07/31/smart-road-a-settembre-si-parte.html>
- Favarò, F., Eurich, S., & Nader, N. (2018, Novembre 11). Autonomous vehicles' disengagements: Trends, triggers, and regulatory limitations.
- Friedrich, B. (2016). The Effect of Autonomous Vehicles on Traffic.
- Gallizia A. (2017). Analisi e sviluppo di un sistema di rilevamento del carico di veicoli in movimento. Torino: Tesi di laurea, POLITECNICO DI TORINO.
- GdL 2 coordinato da TTS Italia. (2016). Smart Road - Inquadramento / coordinamento con il quadro europeo e con i Piani di Azione ITS.
- Harrer, M. (2018). Road Operator preparedness for Automated Vehicles. ITS Forum 2018.
- Hecht. (2018). Lidar for self-driving cars. Optics and Photonics News.
- Infoblu. (s.d.). Tratto da http://www.infoblu.it/?page_id=99
- Intini, P., Colonna, P., Berloco, N., & Ranieri, V. (2019). Rethinking the main road design concepts for future Automated Vehicles Native Roads. Paper under revision process. European Transport\Trasporti Europei.
- ITS Deployment Guidelines Library. (s.d.). Tratto da <https://dg.its-platform.eu/DGs2012>
- ITS-G5 technology – A Fact Sheet. (2018). Tratto da itsg5-ready-to-roll.eu
- Li, L., Jia, G., Song, J., Yang, K., Ran, X., & Han, Z. (2015, Maggio). Comprehensive tire–road friction coefficient estimation based on signal fusion method under complex maneuvering operations.
- Litman, T. (2018). Autonomous Vehicle Implementation Predictions.
- Lockwood, G. K. (2015, Settembre 14). Conceptual Overview of Map-Reduce and Hadoop. Tratto da
<http://www.glennklockwood.com/>: <https://www.glennklockwood.com/data-intensive/hadoop/overview.html>
- Finnish Transport Infrastructure Agency, Service level framework for automated road transport, Task 2 Service level classification for highly au-tomated driving on motorways (2021, Giugno).
- Jian Xiao, Xiang Zou, Wenyao Xu, Self-Powered Wireless Sensor for Smart and Autonomous Pavement (2017, Settembre).
- Dongwook Lee, Ji-Chul Kim, Mingeuk Kim, Hanmin Lee, Intelligent Tire Sensor-Based Real-Time Road Surface Classification Using an Artificial Neural Network (2021, Maggio).

- Maria Pomoni, Exploring Smart Tires as a Tool to Assist Safe Driving and Monitor Tire–Road Friction (2022, Luglio).
- M. Favarò, F., Nader, N., Eurich, S., Tripp, M., & Varadaraju, N. (2017, Settembre 20). Examining accident reports involving autonomous vehicles in California.
- Mauro, V., Dalla Chiara, B., Deflorio, F., Carboni, A., & Cossu, F. (2017, Giugno). AUTO-MATICA IL FUTURO PROSSIMO DELL'AUTO: CONNETTIVITÀ E AUTOMAZIONE. ACI. Tratto da [fondazioneacaracciolo.aci.it](http://www.fondazioneacaracciolo.aci.it/fileadmin/documenti/pdf/mobilita_sostenibile/Studio_Auto_Autonoma_web.pdf).
- MEF. (2017). Allegato- Connettere l'Italia: fabbisogni e progetti di infrastrutture.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2016). Standard funzionali per le Smart-Road - Position Paper. Roma: MIT.
- MIT. (DECRETO 28 febbraio 2018). Modalità attuative e strumenti operativi della sperimentazione su strada delle soluzioni di Smart Road e di guida connessa e automatica.
- Mok, B., Johns, M., Lee, K., Miller, D., Sirkin, D., Ive, P., & Ju, W. (2015). Emergency, Automation Off: Unstructured Transition Timing for Distracted Drivers of Automated Vehicles.
- Nissan Motor Co. Ltd. (2017, Febbraio 27). Guida autonoma Nissan: i primi test su strada in Europa. Tratto da [italy.nissannews.com](https://italy.nissannews.com/it-IT/releases/release-426183293-guida-autonoma-nissan-i-primi-test-su-strada-in-europa).
- Nissan Motor Co. Ltd. (2018, Gennaio 11). Nissan e la NASA ampliano le ricerche sui servizi di guida autonoma. Tratto da [italy.nissannews.com](https://italy.nissannews.com/it-IT/releases/release-426213933).
- Nissan Motor Co. Ltd. (2018, Gennaio 11). Tecnologia Cellular V2X: primi test annunciati in Giappone. Tratto da [italy.nissannews.com](https://italy.nissannews.com/it-IT/releases/release-426213673#).
- O'Brien E.J., Leahy C. (2011). Review of weigh-in-motion systems. First International Seminar of Weigh in Motion. Florianópolis, Santa Catarina, Brazil.
- path.berkeley.edu. (s.d.). Tratto da [path.berkeley.edu](https://path.berkeley.edu/about).
- Piao, J., McDonald, M., Hounsell, N., Graindorge, M., Graindorge, T., & Malhene, N. (2016). Public Views towards Implementation of Automated Vehicles in Urban Areas.
- Pilots-Implemented Services. (s.d.). Tratto da <https://www.c-roads.eu/pilots/implemented-services.html>
- Pinna I., Dalla Chiara B., Deflorio F.P. (2010). Rilievo automatico dei passeggeri e del carico dei veicoli. Ingegneria Ferroviaria - CIFI, LXV, 101-138.
- Progetto Crocodile. (s.d.). Tratto da <https://crocodile.its-platform.eu/activities/activity-4-implementation-data-access-points>
- Ragno, G. (2018). TRAFFIC INFORMATION SERVICES IN ITALY. ITS Forum 2018.
- SAE, I. (2014). AUTOMATED DRIVING, LEVELS OF DRIVING AUTOMATION ARE DEFINED IN NEW SAE INTERNATIONAL STANDARD J3016. SAE INTERNATIONAL.
- Targhe in UE. (s.d.). Tratto da https://it.wikipedia.org/wiki/Targhe_automobilistiche_nell'Unione_europea
- Tool, O. (2018). C-Roads Platform view. ITS Forum 2018. Utrecht, the Netherlands.
- Trubia, Giuffrè, Canale, & Severino. (2017). Automated Vehicle: a Review of Road Safety Implications as Driver of Change. Automated Vehicle: a Review of Road Safety Implications as Driver of Change.

Urmeneta, P. (2010, Novembre). Simulation and Improvement of the Handover process in IEEE 802.11p based VANETs (Vehicle Ad-hoc NETWORKs). Simulation and Improvement of the Handover process in IEEE 802.11p based VANETs (Vehicle Ad-hoc NETWORKs). Shanghai.

www.dmv.ca.gov. (s.d.). Tratto da <https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/auto>



L'Associazione Mondiale della Strada

PIARC, Associazione Mondiale della Strada, è la più antica associazione Internazionale che si occupa di ingegneria stradale, di politica stradale e di gestione delle reti stradali ed ha lo scopo di favorire il progresso in campo stradale in tutti i suoi aspetti, con l'obiettivo di promuovere lo sviluppo delle reti stradali, e di studiare i problemi della sicurezza stradale e rappresentare il punto focale di interscambio delle tecnologie stradali nel mondo. Questo obiettivo viene perseguito mediante il confronto e la diffusione dei risultati conseguiti dalle ricerche effettuate dai vari Paesi.

Guarda come operiamo su www.piarc-italia.it.