

VEICOLI AUTONOMI

SFIDE E OPPORTUNITÀ PER GLI OPERATORI E LE
AUTORITÀ STRADALI

TASK FORCE B.2 *VEICOLI AUTONOMI: SFIDE E OPPORTUNITÀ
PER GLI OPERATORI E LE AUTORITÀ STRADALI*

Automated drive

Destination: 35° 23' 33.12" N 6° 10'

Arrival: 05:45 pm - Distance 483 miles

TCP/IP: 192.5.1.684.1

Sensors: active | Ca

35.174" E

cameras: active

Automated

Destination: 5

Arrival: 08:55

TCP/IP: 192.5

SYNC: enable



DICHIARAZIONE

L'Associazione mondiale della strada (PIARC, World Road Association) è un'organizzazione no-profit fondata nel 1909 per migliorare la cooperazione internazionale e promuovere il progresso nel campo delle strade e dei trasporti stradali.

Lo studio oggetto del presente rapporto è stato definito nel Piano Strategico PIARC 2016-2019 e approvato dal Consiglio dell'Associazione mondiale della strada, i cui membri sono rappresentanti dei governi nazionali membri. I membri del Comitato Tecnico responsabile di questo rapporto sono stati nominati dai governi nazionali membri per le loro competenze specifiche.

Tutte le opinioni, i risultati, le conclusioni e le raccomandazioni espresse in questa pubblicazione sono quelle degli autori e non riflettono necessariamente le opinioni delle loro organizzazioni o agenzie madri.

Questo rapporto è disponibile sul sito internet dell'Associazione mondiale della strada (PIARC): <http://www.piarc.org>

Diritto d'autore della World Road Association. Tutti i diritti sono riservati.

*World Road Association (PIARC)
Arche Sud 5° niveau
92055 La Défense CEDEX, FRANCIA*

Numero di libro standard internazionale: 978-2-84060-663-5

Front cover © Adobe Stock

VEICOLI AUTONOMI

SFIDE E OPPORTUNITÀ PER GLI OPERATORI E LE AUTORITÀ STRADALI

***TASK FORCE B.2 VEICOLI AUTONOMI – SFIDE E OPPORTUNITÀ PER GLI
OPERATORI E LE AUTORITÀ STRADALI***

AUTORI/ RINGRAZIAMENTI

Questo rapporto è stato preparato dal gruppo di lavoro Task Force "Automated vehicles: challenges and opportunities for road operators and road authorities" della Task Force B.2 della World Road Association (PIARC).

I collaboratori (in ordine alfabetico) alla preparazione di questo rapporto sono:

- Martin Böhm (Austria)
- Rudi Botha (Sudafrica)
- Domenico Crocco (Italia)
- Luigi Carrarini (Italia)
- Ugo Dibennardo (Italia)
- Jian Gao (Cina)
- Wayne George (Regno Unito)
- Matthew Hall (Australia)
- Darina Havlickova (Repubblica Ceca)
- Abdelmenname Hedhli (Francia)
- Yuji Ikeda (Giappone)
- Ana Luz Jiménez Ortega (Spagna)
- Jiwoon Kang (Corea del Sud)
- Matt Krech (Canada)
- Eric Ollinger (Francia)
- Ian Patey (Regno Unito)
- Hirotaka Sekiya (Giappone)
- Martin Thibault (Canada-Québec)
- Cen Yanqing (Cina)
- Petr Zamecnik (Repubblica Ceca)
- Hamid Zarghampour (Svezia)

La Task Force B.2 era presieduta da Eric Ollinger (Francia), mentre Abdelmenname Hedhli (Francia), Ian Patey (Regno Unito) e Ana Luz Jiménez Ortega (Spagna) erano rispettivamente il segretario francese, inglese e spagnolo.

2021R03IT

VEICOLI AUTONOMI

SFIDE E OPPORTUNITÀ PER GLI OPERATORI E LE AUTORITÀ STRADALI

L'automazione dei veicoli - ai livelli SAE 3, 4 e 5 - è ancora in una fase di test nella maggior parte dei paesi. Molti test al livello 3 sono stati eseguiti con successo su strade aperte senza alcuna modifica all'infrastruttura stradale e senza alcun impatto osservato sulla congestione. Ci sono varie situazioni che richiedono che un conducente prenda il controllo del veicolo - una soluzione di ripiego che è ancora consentita al livello 3, ma non al livello 4 o 5.

È probabile che sia necessario un certo supporto da parte dell'infrastruttura per raggiungere livelli più alti di automazione. In particolare, una segnaletica orizzontale ben mantenuta e la fornitura di segnali di riferimento sembrano essere caratteristiche chiave. I veicoli autonomi non possono, tuttavia, fare affidamento solo sull'infrastruttura fisica, a causa di limitazioni pratiche; la segnaletica orizzontale si deteriora nel tempo, e non è pratico prevedere quando diventa inefficace per il funzionamento automatizzato. Pertanto, è necessaria un'infrastruttura digitale, compresi i dati forniti attraverso mappe ad alta definizione e/o attraverso la connettività veicolo-infrastruttura. Le prime intuizioni su questa infrastruttura digitale sono state fornite in questo rapporto.

Per quanto riguarda l'impatto sulla congestione, devono essere considerati due fattori. Il primo è la capacità operativa delle infrastrutture fisiche. Alcuni studi indicano che la capacità probabilmente diminuirà a bassi tassi di penetrazione e potenzialmente migliorerà solo entro il 2050 o il 2055 a causa della riduzione delle distanze tra veicoli. Il secondo è il cambiamento nella domanda di traffico. È stato previsto che entro i prossimi 20 anni, il 60% della popolazione mondiale vivrà nelle città. Se l'uso dei veicoli aumentasse senza regolamentazione a causa dell'aumento dei viaggi a vuoto dei veicoli autonomi e del cambiamento della disponibilità di parcheggio, la congestione potrebbe aumentare ulteriormente. La promozione di navette automatizzate potrebbe aiutare ad affrontare questo rischio.

Alcuni studi mostrano anche che l'impatto sulla sicurezza stradale dovrebbe essere positivo ad alti tassi di penetrazione, come già osservato a causa della maggiore penetrazione dei sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS, *Advanced Driver Assistance Systems*). Questo presuppone che vengano considerati molti fattori umani, come l'eccessiva dipendenza del conducente o la perdita di abilità di guida.

Il rapporto cita 11 sfide chiave da affrontare per quanto riguarda le questioni sociali al fine di rendere l'automazione un successo.

Infine, in termini di responsabilità, dovrà emergere un nuovo equilibrio tra la responsabilità dell'operatore stradale e la responsabilità dei costruttori di automobili (o anche dell'automobile stessa). Questo equilibrio potrebbe essere legato a un certo livello di servizio, ma la definizione di questo livello non è ancora matura.

INDICE

1	INTRODUZIONE	6
2	METODO	8
3	INFRASTRUTTURA FISICA	9
3.1	SEGNALETICA STRADALE.....	9
3.2	SEGNALETICA STATICA O DINAMICA.....	10
3.3	SEGNALETICA ORIZZONTALE: UN SISTEMA NON ROBUSTO VS POSIZIONAMENTO GNSS.....	13
3.4	NECESSITÀ DI SEGNALI DI RIFERIMENTO	14
3.5	GEOMETRIA STRADALE, PROGETTAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA.....	14
3.6	PLATOONING: L'IMPATTO SULL'INFRASTRUTTURA.....	19
3.7	PIANIFICAZIONE URBANA	20
3.8	STRATEGIE DI MANUTENZIONE.....	21
4	INFRASTRUTTURA DIGITALE - CONNETTIVITÀ	25
4.1	BISOGNO DI CONNETTIVITÀ.....	25
4.2	CASI D'USO CHE RICHIEDONO CONNETTIVITÀ.....	26
4.3	REQUISITI PER LA CONNETTIVITÀ	33
4.4	MISURE DI COMUNICAZIONE	34
5	INFRASTRUTTURA DIGITALE - MAPPE DIGITALI E POSIZIONAMENTO	36
5.1	INTRODUZIONE.....	36
5.2	STANDARD PER LE MAPPE DIGITALI.....	38
5.3	GEMELLO DIGITALE	38
5.4	POSIZIONAMENTO	39
5.5	PUNTI CIECHI DEL SATELLITE	41
6	INFRASTRUTTURA DIGITALE – PROBLEMI DI DATI COMUNI ALLA CONNETTIVITÀ E ALLE MAPPE DIGITALI.....	42
6.1	GESTIONE DEI DATI PER GLI OPERATORI DELLE RETI STRADALI.....	44
6.2	ACCESSO AI DATI.....	46
7	IMPATTI SULLE OPERAZIONI DELLA RETE STRADALE (RNO)...	52
7.1	IMPATTI DELL'AUTOMAZIONE SULLE RNO.....	52

7.2	IMPATTI SULLE OPERAZIONI DI TRAFFICO E SULLA CAPACITÀ STRADALE	52
7.3	<i>PLATOONING</i>	56
7.4	LA NAVETTA AUTOMATIZZATA DEVE ESSERE VALUTATA IN UN AMBIENTE URBANO E RURALE.....	58
7.5	COME LE RNO POSSONO AIUTARE IL CAV NELLE ZONE DI LAVORO/INCIDENTI	60
7.6	LA GESTIONE DEL TRAFFICO DA PARTE DELLE RNO.....	60
8	RESPONSABILITÀ E FINANZIAMENTI	62
8.1	RESPONSABILITÀ E ASSICURAZIONE	62
8.2	COSTI, BENEFICI E FINANZIAMENTI.....	63
9	QUESTIONI SOCIALE E LA CONSIDERAZIONE DEI FATTORI UMANI.....	65
9.1	PRINCIPALI DOMANDE DAL PUNTO DI VISTA DELLA SOCIETÀ.....	65
9.2	LA LIMITAZIONE DEI POTENZIALI BENEFICI DELL'AV DA UNA SERIE DI FATTORI UMANI.....	66
9.3	POSSONO PRESENTARSI NUOVI FATTORI UMANI.....	67
9.4	RACCOMANDAZIONI DAL PUNTO DI VISTA DELLA SOCIETÀ.....	71
10	CONCLUSIONI	73
11	RACCOMANDAZIONI	74
11.1	RACCOMANDAZIONI PER I RESPONSABILI	74
11.2	RACCOMANDAZIONI PER GLI OPERATORI E LE AUTORITÀ STRADALI	76
11.3	RACCOMANDAZIONI PER I PAESI A BASSO E MEDIO REDDITO	76
11.4	RACCOMANDAZIONI PER PIARC.....	77
12	GLOSSARIO.....	78
13	FONTI	80

LISTA DELLE IMMAGINI

Immagine 1: SAE J3016 Livelli di automazione della guida [33]	6
Immagine 2: Esempi di differenze nelle implementazioni della Convenzione di Vienna [2].....	9
Immagine 3: Esempi di differenze nelle implementazioni influenzate dal MUTCD	10
Immagine 4: Pannello a messaggio variabile (VMS, <i>Variable message sign</i>) (fonte: MTO).....	11
Immagine 5: Pannello a messaggio modificabile (CMS, <i>Changeable message sign</i>)	11
Immagine 6: Segnale di limite di velocità variabile (VSL, <i>Variable Speed Limit sign</i>)	11
Immagine 7: Segnale di gestione dell'uso della corsia (LUMS, <i>Lane Use Management Sign</i>)	11
Immagine 8: Esempi dell'effetto dei tassi di aggiornamento dei LED - sezioni annerite.....	12
Immagine 9: Segnalatori magnetici e linee di induzione magnetica (fonte: NILIM, MLIT, Giappone)..	14
Immagine 10: Esempio di segnale di riferimento per navetta automatizzata a bassa velocità	14
Immagine 11: Posizionamento dei segnali di riferimento così come vengono usati in Germania.....	14
Immagine 12: Segnaletica orizzontale	15
Immagine 13: Esempio di corsia di emergenza (sinistra) e di piazzola di sosta d'emergenza (destra)...	17
Immagine 14: Rappresentazione LIDAR di una nevicata – nuvola di numerosi punti viola (fonte: Waymo) ...	19
Immagine 15: Cespugli visibili sul lato della strada (fonte: NILIM, MLIT, Giappone)	22
Immagine 16: Esempio di fogliame che blocca un segnale di riferimento per la navetta a bassa velocità [4]....	22
Immagine 17: Larghezza della strada in condizioni di neve (fonte: NILIM, MLIT, Giappone).....	23
Immagine 18: Esempi di problemi di segnaletica orizzontale e di manutenzione della segnaletica stradale [14]	24
Immagine 19: Limitazione del raggio d'azione in base al rilevamento del sensore	25
Immagine 20: Le informazioni che i sensori di bordo non sono in grado di rilevare.....	25
Immagine 21: Fusione dei dati [16]	26
Immagine 22: <i>Vehicle to Everything (V2X)</i> [17].....	26
Immagine 23: Servizio di informazione sugli ostacoli stradali	27
Immagine 24: Fasi del progetto sulla zona di lavoro del DoT degli USA (WZDx).....	28
Immagine 25: Servizio di trasmissione delle informazioni sulla congestione.....	28
Immagine 26: Servizio di trasmissione delle informazioni sul casello	29
Immagine 27: Servizio di supporto all'immissione.....	29
Immagine 28: Assistenza per la svolta a sinistra (LTA, <i>Left Turn Assist</i>).....	30
Immagine 29: Veicolo che gira a destra davanti all'avviso di un autobus	31
Immagine 30: Avviso di violazione del semaforo rosso (RLVW, <i>Red Light Violation Warning</i>)	31
Immagine 31: Avviso del punto di impatto meteorologico (SWIW, <i>Spot Weather Impact Warning</i>)..	32

Immagine 32: Avviso di coda (Q-WARN, <i>Queue Warning</i>)	32
Immagine 33: Servizi di informazione ITS in un'intersezione [20].....	33
Immagine 34: Concept del servizio di supporto all'immissione	34
Immagine 35: Guida autonoma [22].....	35
Immagine 36: <i>Platooning</i> [22].....	35
Immagine 37: Guida remota [22].....	35
Immagine 38: Modello a livelli di una mappa dinamica locale [25]	37
Immagine 39: Processo a bordo del veicolo per creare un modello ambientale	42
Immagine 40: Livelli di supporto dell'infrastruttura per la guida autonoma (ISAD) [33]	43
Immagine 41: Esempi di livelli ISAD lungo la rete stradale [33]	44
Immagine 42: Parti interessate nello scambio di dati delle RNO [36]	46
Immagine 43: Risultati della simulazione che rappresentano la variazione percentuale della capacità di ogni segmento di superstrada rispetto allo scenario di base	54
Immagine 44: Impatti degli AV sulla capacità delle autostrade in Germania.....	55
Immagine 45: Guida automatizzata di navetta in zona rurale (villaggio Kamikoani, Giappone)	59

1 INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, i veicoli con diversi livelli di automazione sono stati testati in tutto il mondo. La *Society of American Engineers* ha identificato cinque livelli di automazione della guida (livelli SAE):



Immagine 1: SAE J3016 Livelli di automazione della guida [33]

I livelli SAE 1 e 2 sono funzioni di supporto al guidatore, molte sono state autorizzate e distribuite in diversi paesi. I livelli da 3 a 5 rappresentano caratteristiche di guida autonoma e sono ancora in fase di test da parte delle case automobilistiche con prototipi che utilizzano diverse combinazioni di sensori, posizionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*, sistema satellitare globale di navigazione) e talvolta connettività.

Un aspetto importante da considerare sono i domini di progettazione operativa (ODD, *Operational Design Domains*) per i quali una caratteristica è stata progettata per funzionare al loro interno. Gli ODD sono definiti nello stesso standard SAE come "condizioni operative in cui un dato sistema di automazione della guida o le sue caratteristiche sono specificamente progettate per funzionare, comprese, ma non solo, restrizioni ambientali, geografiche e di orario, e/o la presenza o l'assenza di determinate caratteristiche del traffico o della strada". Ciò include i tipi di strade, la gamma di velocità, le condizioni ambientali (tempo atmosferico, giorno/notte, ecc.), e le leggi e i regolamenti sul traffico prevalenti.

Gli operatori e le autorità stradali sono desiderosi di capire gli impatti dei veicoli autonomi (a diversi livelli SAE) sulla gestione del traffico, i requisiti delle attrezzature, la sicurezza stradale, le strategie di manutenzione, il controllo adattivo e l'ottimizzazione delle prestazioni della rete e la progettazione delle infrastrutture.

Questo rapporto fornisce lo stato attuale della comprensione di tutte queste domande, sulla base dell'esperienza raccolta dai test e dalle esperienze con l'automazione dei veicoli in tutto il mondo.

Il rapporto fornisce una spiegazione iniziale del metodo usata per la raccolta e la sintesi del contenuto.

Vengono discusse le implicazioni dell'infrastruttura fisica esistente e le sue condizioni sull'efficacia dell'automazione, nonché l'impatto dell'automazione stessa sull'infrastruttura fisica.

Indipendentemente dalla qualità e dalle condizioni dell'infrastruttura fisica, è evidente che i veicoli automatizzati avranno sempre più bisogno di fare affidamento su un gemello digitale di questa infrastruttura, comprendente dati trasmessi attraverso la connettività o attraverso mappe digitali. Questo è discusso nei capitoli che riguardano lo sviluppo di questa necessaria infrastruttura digitale.

Viene anche discusso l'impatto dell'automazione sulle operazioni della rete stradale e sulla gestione del traffico, con implicazioni per la pianificazione della rete stradale e le competenze delle agenzie stradali.

I capitoli finali affrontano questioni legali, economiche (responsabilità, assicurazione e finanziamento) e sociali (fattori umani, compresa la sicurezza stradale).

2 METODO

Nel preparare questo rapporto, la Task Force ha innanzitutto definito le principali sfide e opportunità che gli operatori della rete stradale e le autorità stradali dovranno probabilmente affrontare a causa dei veicoli autonomi. Una riunione iniziale di workshop ha definito gli argomenti principali da considerare per la Task Force - questi argomenti formano i capitoli di questo rapporto.

Il rapporto inizia con una considerazione delle implicazioni e delle responsabilità per gli operatori della rete stradale e le autorità sulle infrastrutture fisiche e digitali. I seguenti aspetti dell'infrastruttura fisica sono stati considerati: segnaletica stradale, segnaletica delle corsie, segnaletica statica e dinamica e geometria stradale, nonché pianificazione e manutenzione urbana; comprese le potenziali modifiche alla progettazione delle infrastrutture per facilitare il *platooning*.

L'infrastruttura digitale è stata identificata come un'area significativa di interesse, prendendo in considerazione mappe digitali, aspetti di posizionamento e dati. È stato riconosciuto che i veicoli automatizzati avranno un impatto su aree non tecniche come le responsabilità e l'assicurazione, nonché sulle questioni sociali. Il rapporto si conclude con diverse raccomandazioni, comprese alcune riguardanti specificamente i paesi a basso e medio reddito.

È stata intrapresa un'ampia ricerca nella letteratura per comprendere l'attività dei veicoli autonomi - progetti, ricerche, prove e sviluppo di politiche - in tutto il mondo. Ciò è stato seguito da sessioni di workshop che hanno identificato una lista di casi studio esistenti da utilizzare come materiale di partenza - da Australia, Austria, Canada, Cina, Repubblica Ceca, Francia, Italia, Giappone, Kenya, Corea, Spagna, Sud Africa, Svezia e Regno Unito. Una sessione di fecondazione incrociata si è tenuta anche con esperti di *platooning* dall'Europa per arricchire il rapporto durante il Congresso mondiale PIARC tenutosi ad Abu Dhabi. Un nucleo di scrittori è stato assegnato a ogni capitolo, con revisioni da parte del resto dei membri della Task Force - per discutere e arricchire il contenuto e la prospettiva. Questo è stato seguito da un processo di consolidamento e di editing per finalizzare il rapporto.

3 INFRASTRUTTURA FISICA

3.1 SEGNALETICA STRADALE

3.1.1 Armonizzazione della segnaletica stradale

La segnaletica stradale è un aspetto critico di una rete stradale sicura, allineata alla capacità dei conducenti di riconoscerla e comprenderla. I conducenti sono relativamente adattabili nella loro capacità di riconoscere e capire i segnali che sembrano familiari anche se non esattamente come si aspettavano. Le macchine non sono necessariamente così adattabili. Riconoscendo che i veicoli sono prodotti per i mercati globali, sono necessari sforzi significativi a livello internazionale per armonizzare i segnali e la segnaletica stradale per garantire un riconoscimento coerente della macchina e prestazioni di sicurezza [1]. A causa delle economie di scala, l'industria manifatturiera automobilistica ha una capacità limitata di personalizzare il software e la progettazione del sistema di sensori per ogni singola giurisdizione. Pertanto, sono necessari forum tra industria e governo a livello internazionale per sostenere l'armonizzazione della segnaletica stradale. La Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite ha un gruppo di lavoro sull'armonizzazione [2].

Ci sono due standard principali per l'armonizzazione della segnaletica stradale: il Manuale statunitense sui dispositivi uniformi di controllo del traffico (MUTCD, *Manual on Uniform Traffic Control Devices*) per strade e autostrade e la Convenzione di Vienna sulla segnaletica stradale. C'è anche la Convenzione della Comunità di sviluppo dell'Africa meridionale e la Convenzione del Sistema d'integrazione centroamericano. Molti paesi usano anche sistemi individuali che combinano i principi di progettazione sia del MUTCD che della Convenzione di Vienna. È anche comune avere differenze regionali nella segnaletica all'interno dei paesi stessi e persino all'interno delle sotto-giurisdizioni, nonché su terreni privati. Molte autorità stradali hanno standard nazionali per la segnaletica stradale, ma la regolamentazione e l'applicazione sono lasciate ai governi locali. Le autorità stradali che hanno un'agenzia nazionale responsabile dell'attuazione e dell'approvazione della segnaletica hanno dimostrato sistemi significativamente più uniformi [3].

SEGNALI STRADALI	Regno Unito	Grecia	Paesi Bassi	Polonia	Serbia
Stop (e dare la precedenza)					
Dare la precedenza (al traffico sulla strada principale)					
Divieto d'accesso al traffico veicolare					

Immagine 2: Esempi di differenze nelle implementazioni della Convenzione di Vienna [2]

Alcune delle differenze chiave e delle sfide per l'armonizzazione includono:

- Unità - uso del sistema metrico rispetto al sistema imperiale; alcuni paesi non indicano le unità sulla segnaletica stradale
- Forma - uso di segnali a diamante, pentagonali o triangolari per vari scopi di avvertimento
- Colore - uso dell'arancione per la segnaletica temporanea nel MUTCD, uso del blu per le informazioni obbligatorie nella Convenzione di Vienna rispetto alle informazioni supplementari nel MUTCD
- Lingua - uso del testo in varie lingue



Immagine 3: Esempi di differenze nelle implementazioni influenzate dal MUTCD

I benefici derivanti dall'investimento nell'armonizzazione della segnaletica stradale includono il miglioramento delle prestazioni del sistema di visione artificiale e dell'algoritmo, nonché la limitazione delle barriere ai livelli più alti di implementazione e collaudo degli ODD. Ci sono anche i vantaggi di una ridotta necessità di alternative costose (digitalizzazione), un migliore riconoscimento umano e l'opportunità di migliorare la conformità attraverso avvisi più coerenti e affidabili a bordo del veicolo.

Si raccomanda di dare la priorità alla risoluzione dei problemi di segnaletica stradale sulle superstrade/autostrade, perché è qui che si verifica il maggior volume di traffico e dove è più probabile che appaiano per primi i livelli più alti di guida autonoma[3]. Gli sforzi di armonizzazione dovrebbero anche concentrarsi sulla forma dei segnali, che è il metodo principale di riconoscimento, poiché i sistemi di riconoscimento dei segnali stradali (TSR, *Traffic Sign Recognition*) non distinguono bene il colore [3].

L'armonizzazione richiederà tempo, e anche dopo che sarà stato raggiunto un consenso, cambiare fisicamente i segnali lungo ogni strada in tutto il mondo sarà una notevole sfida. Nel frattempo, i costruttori di veicoli e i produttori di apparecchiature originali (OEM, *original equipment manufacturers*) stanno introducendo diversi database di segnali nazionali nei loro sistemi.

3.1.2 Approcci alternativi – aumentare la digitalizzazione e la connettività

La Task Force ha notato che alcune giurisdizioni stanno adottando un approccio alternativo per prepararsi a livelli più alti di automazione. Piuttosto che aspettare che gli sforzi di armonizzazione avanzino, le giurisdizioni possono scegliere di digitalizzare tutte le forme di segnaletica aggiungendo la connettività infrastruttura-veicolo (I2V, *infrastructure-to-vehicle*) o il codice leggibile dalla macchina (per esempio, il codice Quick Response - QR code). L'HMI (*Human Machine Interface*, interfaccia uomo-macchina) deve essere definita correttamente. Con milioni di segnali stradali in ogni giurisdizione, l'armonizzazione dovrebbe essere vista come un obiettivo a lungo termine. Ciononostante, ci sono ulteriori benefici nella ridondanza di avere sia l'armonizzazione che la digitalizzazione della segnaletica stradale.

3.2 SEGNALETICA STATICA O DINAMICA

Come notato nella sezione precedente, ci sono molteplici standard di segnaletica in tutto il mondo per la segnaletica statica. La maggior parte si ispira alla Convenzione di Vienna del 1968 o al MUTCD statunitense pubblicato per la prima volta nel 1935.

I sistemi di riconoscimento dei segnali AV devono leggere tutti questi segnali, siano essi statici, dinamici o elettronici.

Ci sono quattro tipi principali di segnali dinamici attualmente in uso su strade e autostrade, costruiti da molti produttori secondo una varietà di standard e specifiche.



Immagine 4: Pannello a messaggio variabile (VMS, Variable message sign) (fonte: MTO)



Immagine 5: Pannello a messaggio modificabile (CMS, Changeable message sign)



Immagine 6: Segnale di limite di velocità variabile (VSL, Variable Speed Limit sign)



Immagine 7: Segnale di gestione dell'uso della corsia (LUMS, Lane Use Management Sign)

3.2.1 Riconoscimento dei segnali stradali

Il riconoscimento dei segnali stradali o TSR (*Traffic Sign Recognition*) è una tecnologia che permette a un veicolo di rilevare e riconoscere i segnali stradali sul bordo della strada, ad esempio "limite di velocità" o "bambini" o "svolta più avanti". Questo è un esempio di un sistema avanzato di assistenza alla guida (ADAS, *Advanced Driver Assistance System*). La tecnologia viene sviluppata da una varietà di fornitori automobilistici. I produttori di veicoli si stanno muovendo verso l'abilitazione di sistemi di assistenza alla velocità e di sistemi di guida autonoma che utilizzano la tecnologia TSR; i benefici di un'introduzione di successo saranno probabilmente significativi per la sicurezza stradale.

Il TSR utilizza tecniche di elaborazione delle immagini per rilevare e riconoscere i segnali stradali. I metodi di rilevamento possono essere generalmente divisi in metodi basati sul colore, sulla forma e sull'apprendimento.

Un AV dotato di un sistema TSR può leggere e riconoscere i segnali stradali. L'affidabilità della lettura e del riconoscimento dei segnali statici standard (limite di velocità, avvisi, ecc.) da parte del TSR è molto alta; in Australia e in Francia progetti pilota hanno dimostrato un tasso di riconoscimento di questi segnali di quasi il 100%. Tuttavia, i sistemi TSR non sono ancora in grado di leggere e riconoscere i segnali di indicazioni, i segnali non standard e informativi.

I sistemi TSR si basano sul fatto che i cartelli siano posizionati e mantenuti correttamente (compresa la pulizia) in modo che la luce visibile e il colore possano essere catturati dalle telecamere.

3.2.2 Sistema di riconoscimento dei segnali stradali con segnali dinamici

I casi di studio raccolti per questo rapporto indicano che i sistemi TSR non sono attualmente in grado di leggere in modo coerente i cartelli dinamici (cartelli stradali o cartelli montati a cavalletto). La letteratura e le interviste agli stakeholder indicano che la frequenza di aggiornamento dei segnali e la variabilità dell'illuminazione dei pixel possono variare a seconda delle marche e dei design. Altri fattori potrebbero includere le dimensioni del cartello, l'altezza e l'angolo di avvicinamento, nonché il livello di illuminazione della fonte di alimentazione.

3.2.3 Segnali CMS, VMS, VSLS e LUMS

I TSR non riconoscono generalmente i segnali a messaggio variabile (VMS) e i segnali a messaggio modificabile (CMS) perché tendono a concentrarsi sul riconoscimento dei segnali a velocità fissa. Anche i segnali di limite di velocità variabile (VSLS) e i segnali di gestione dell'uso della corsia (LUMS) non sono riconosciuti dagli attuali sistemi TSR.

3.2.4 Frequenza di aggiornamento

La frequenza di aggiornamento dei segnali elettronici è progettata per permettere all'occhio umano di vederli correttamente, senza sfarfallio. È necessario sviluppare uno standard che permetta a un sistema TSR di fare lo stesso. Attualmente esistono diversi standard: sia lo standard neozelandese che le linee guida dell'UE raccomandano che la frequenza della luce emessa sia "non inferiore a 90 Hz", mentre lo standard australiano è un significativamente più alto 2 kHz.

Lo sfarfallio del display elettronico può essere osservato dalla telecamera del sistema TSR, causandogli difficoltà nel riconoscimento del cartello. Questo si verifica su alcuni cartelli elettronici e non su altri. In alcuni casi, i segmenti del segnale possono avere frequenze di aggiornamento fuori sequenza con altri segmenti del cartello. Le prove suggeriscono che questo effetto di sfarfallio potrebbe non essere evidente nelle insegne alimentate a corrente continua, o nelle insegne di certi produttori di cartelli. Questo potrebbe essere migliorato sia migliorando le insegne che le telecamere. Dato che le telecamere migliorano di anno in anno, la priorità raccomandata sarebbe quella di migliorare le telecamere.

3.2.5 IVS - In Vehicle Signage (segnaletica bordo veicolo)



Immagine 8: Esempi dell'effetto dei tassi di aggiornamento dei LED - sezioni annerite.

Una possibile soluzione alla difficoltà di rilevamento della segnaletica fissa o variabile da parte dei sistemi TSR è l'uso della connettività infrastruttura-veicolo (V2I, *vehicle-to-infrastructure*). Con l'aiuto di RSU (*Road Side Units*, unità a bordo strada) e OBU (*On Board Units*, unità a bordo macchina) nei veicoli, i segnali possono essere identificati, letti e compresi dai veicoli equipaggiati. Questa soluzione aggiunta ai sistemi TSR può migliorare il rilevamento, l'interpretazione e la risposta della segnaletica.

3.3 SEGNALETICA ORIZZONTALE: UN SISTEMA NON ROBUSTO vs POSIZIONAMENTO GNSS

3.3.1 Ruolo e sfide della segnaletica orizzontale

Il funzionamento dei veicoli autonomi si basa attualmente su una segnaletica stradale chiara, coerente e ben mantenuta per indicare la strada. La segnaletica orizzontale è uno dei principali elementi di riferimento per i veicoli automatizzati per mantenere la loro posizione sulla strada e all'interno delle corsie. Tuttavia, l'attuale segnaletica orizzontale non soddisfa pienamente le esigenze dei veicoli autonomi. Per esempio, ci sono vari layout stradali e situazioni (lavori stradali, piazze di pedaggio ... ecc.) in cui non ci sono segnali di corsia. I regolamenti per la rete stradale secondaria in Austria non richiedono la segnaletica orizzontale. Le condizioni atmosferiche possono causare problemi, in quanto alcuni segnali di corsia possono essere oscurati dalla pioggia o quando il sole è ad angoli bassi. Per sostenere gli attuali livelli di automazione, è necessaria la valutazione e la manutenzione della segnaletica stradale (compresi i test e la garanzia della retroriflettenza).

Una delle principali sfide per gli operatori stradali è che è tecnicamente impossibile prevedere o rilevare il "fallimento" della segnaletica orizzontale (degrado al punto che l'automazione è compromessa). È inevitabile che i veicoli automatizzati dovranno far fronte a segnaletica danneggiata o assente, che potrebbe richiedere informazioni supplementari attraverso mappe digitali. Queste mappe digitali dovranno anche essere mantenute, manualmente o attraverso un processo semi-automatico.

Dalle informazioni raccolte, non vi è alcuna indicazione che vi sia la necessità di un cambiamento significativo nella progettazione della segnaletica orizzontale o della segnaletica stradale, poiché gli standard attuali sono ragionevolmente ben definiti nella maggior parte delle giurisdizioni. Le preoccupazioni sollevate dagli OEM riguardano prevalentemente lo stato di degrado della segnaletica orizzontale e dei cartelli stradali, e non il loro design.

3.3.2 Segnaletica orizzontale per il posizionamento

È possibile che, poiché i veicoli utilizzano sempre più spesso altre forme di infrastruttura digitale e di mappatura per posizionarsi e navigare, la questione della segnaletica stradale possa diventare meno critica. Tuttavia, c'è una sfida che, dal momento che molti sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS) esistenti si basano sulla segnaletica stradale, potrebbe continuare ad esserci una dipendenza da loro per qualche tempo.

Un'alternativa è stata sperimentata su alcune navette automatizzate a bassa velocità, che dovevano considerare la ridotta disponibilità di segnali GNSS in aree montuose e gallerie, e anche la ridotta funzionalità dei sensori in condizioni meteorologiche avverse come nebbia e accumulo di neve, ecc. Sono stati installati marcatori magnetici e linee a induzione magnetica che i veicoli dovevano seguire e per identificare la loro posizione lungo sezioni di percorsi di guida definiti. Anche se questo approccio richiede un investimento aggiuntivo per fornire l'infrastruttura dedicata, sia nella strada che nei veicoli, ha permesso ai veicoli di localizzarsi e posizionarsi in modo affidabile lungo sezioni attrezzate. Di conseguenza, gli standard per i marcatori magnetici e le linee a induzione magnetica sono allo studio per alcune tecnologie di guida automatizzata da realizzare nelle prime fasi in Giappone.

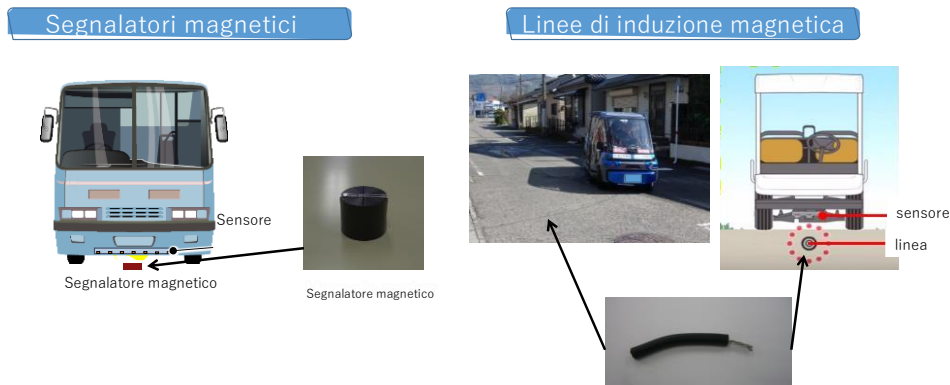


Immagine 9: Segnalatori magnetici e linee di induzione magnetica (fonte: NILIM, MLIT, Giappone)

3.4 NECESSITÀ DI SEGNALI DI RIFERIMENTO

Le unità a bordo strada (RSU) possono anche essere usate per fornire informazioni sui punti di riferimento. Segnali statici o elettronici con informazioni sui punti di riferimento, come codici QR, WiFi o DSRC (*Dedicated short-range communications*, comunicazioni dedicate a corto raggio) potrebbero essere forniti per assistere i veicoli autonomi. Diversi paesi come la Germania e la Cina stanno progettando nuovi sistemi che utilizzano i punti di riferimento.

Alcuni sistemi AV, come le navette AV a bassa velocità, possono avere limitate capacità di localizzazione e possono utilizzare i dati dei sensori in combinazione con mappe ad alta definizione per determinare l'esatta posizione lungo un percorso (cioè la vicinanza a un punto di riferimento). Edifici, pali della luce, cartelli o altre caratteristiche distintive del paesaggio possono essere usati come punti di riferimento o posizioni di montaggio per i dispositivi di posizionamento, purché sia improbabile che siano ostruiti da condizioni ambientali variabili [4].



Immagine 10: Esempio di segnale di riferimento per navetta automatizzata a bassa velocità



Immagine 11: Posizionamento dei segnali di riferimento così come vengono usati in Germania

3.5 GEOMETRIA STRADALE, PROGETTAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA

3.5.1 Posizionamento dei segnali

Un fattore importante per i sistemi TSR è la posizione, la vicinanza e l'applicabilità dei segnali da dove possono essere visti - il sistema TSR deve leggere solo i segnali che riguardano il veicolo. Alcune prove sul campo hanno scoperto che i sistemi TSR possono leggere i segnali stradali che non sono applicabili alla strada o alla corsia dove l'AV sta viaggiando, come i segnali di limite di velocità che si applicano a una strada parallela separata. Si dovrebbe cercare di garantire che il posizionamento minimizzi la confusione, sia per i veicoli autonomi che per quelli a guida umana. Le variazioni nella posizione dei segnali stradali possono portare alla loro illeggibilità a causa della distanza dal bordo della strada e dell'angolo della faccia del segnale rispetto alla direzione del traffico. Una manutenzione inadeguata che si traduce in cartelli sporchi, disallineati o con una retroriflettenza ridotta può anche aggravare un posizionamento non ideale.

3.5.2 Marcatura della pavimentazione e corsie dedicate

Durante le prime fasi di sviluppo della guida automatizzata, i percorsi nominati dovrebbero cercare di evitare gli ostacoli "dinamici" come i veicoli parcheggiati, i pedoni e/o le biciclette. Per aiutare i veicoli a guida automatizzata a operare in modo fluido e prevedibile, dovrebbero essere prese in considerazione misure per sopprimere i parcheggi su strada, i conflitti con i pedoni e le biciclette. In alcune giurisdizioni si stanno prendendo in considerazione approcci per definire chiaramente il percorso di guida per i veicoli autonomi (ad esempio, segnaletica stradale dedicata) e corsie dedicate.



Immagine 12: Segnaletica orizzontale

3.5.3 Deve essere promossa una progettazione universale

Una progettazione universale richiede che i prodotti siano utilizzabili da tutte le persone senza bisogno di adattamento o di soluzioni stigmatizzanti, e questo dovrebbe ora includere anche i CV (veicoli connessi) e gli AV (veicoli autonomi). I principi della progettazione universale devono essere incorporati non solo nella progettazione dei veicoli, ma anche nella progettazione delle infrastrutture correlate, come le stazioni di ricarica dei veicoli elettrici. Una delle adozioni tecnologiche più comuni per i CAV (veicoli connessi e autonomi) è la fornitura delle informazioni necessarie tramite unità a bordo strada. Questo richiede una rete di alimentazione stabile e una rete di comunicazione ad alta capacità lungo tutta l'infrastruttura interconnessa per fornire servizi sufficienti e costanti ai CAV.

C'è la possibilità di ridurre la larghezza delle corsie in alcuni contesti con il potenziale per il CAV di seguire una traiettoria stabilita con una minore oscillazione laterale rispetto ai veicoli guidati da una persona. Più corsie potrebbero essere ospitate all'interno dell'attuale larghezza dell'infrastruttura, aumentando la capacità dell'infrastruttura stessa in alcuni punti. Questa riduzione della larghezza potrebbe essere applicata in luoghi altamente vincolati come ponti e gallerie, a condizione che sia stata intrapresa una sufficiente analisi di sicurezza e considerazione di tutti i design dei veicoli (specialmente per le larghezze fisiche dei veicoli più grandi e i percorsi in curva).

L'impatto di alcuni aspetti della progettazione delle infrastrutture fisiche (per esempio la geometria delle strade) sulle prestazioni dei veicoli potrebbe essere migliorato dalle funzioni AV. L'automazione potrebbe riconoscere senza problemi gli allineamenti orizzontali e le pendenze e regolare le prestazioni. Cambiamenti improvvisi nella geometria o nella larghezza della strada e intersezioni non segnalate potrebbero rivelarsi più difficili.

3.5.4 Incroci

Le intersezioni a raso sono uno dei punti più cruciali dell'infrastruttura fisica che potrebbe influenzare la progettazione di AV e CV e il funzionamento sicuro. L'interazione tra i pedoni e gli AV sarà diversa dalle interazioni con i conducenti umani. Una sfida è la determinazione della responsabilità tra AV e pedoni. Ad esempio, ci si dovrebbe aspettare che i pedoni siano consapevoli della presenza degli AV, assicurandosi che non procedano davanti a un CAV nel momento sbagliato, oppure i sistemi AV dovrebbero essere interamente responsabili del rilevamento dei pedoni. I limiti pratici dei sistemi di rilevamento a bordo possono portare al mancato rilevamento dei pedoni in alcune condizioni. Gli ambienti stradali possono anche avere oggetti e arredi che possono oscurare la vista dei pedoni da un veicolo e i sistemi di rilevamento potrebbero non distinguere in modo affidabile un essere umano da un oggetto.

- Luoghi di attraversamento pedonale non controllati o casuali: i pedoni non sono una parte "conforme" o prevista di un sistema che può essere diretto e controllato. I pedoni possono essere variabili casuali e caotiche per l'automazione da considerare vulnerabili. I pedoni come potenziali ostruzioni sulle autostrade sono generalmente abbastanza rari, anche se l'esposizione può variare nei paesi in via di sviluppo, devono quindi ancora essere considerati per la sicurezza. Su altri tipi di strada, l'esposizione a comportamenti di attraversamento imprevisti può essere maggiore e l'ambiente di velocità può essere più basso, ma le implicazioni per le funzioni di automazione devono ancora essere considerate in una vasta gamma di condizioni ambientali.
- Strisce pedonali: i veicoli sono tenuti a fermarsi quando i pedoni passano o si avvicinano a un attraversamento pedonale. Ci si può aspettare che i pedoni aspettino che un veicolo in avvicinamento rallenti significativamente prima di attraversare, ma questo potrebbe non essere sempre il caso. Anche se la priorità a un attraversamento pedonale è meglio definita, le funzioni automatizzate avrebbero ancora bisogno di considerare come guidare in tali aree poiché i pedoni potrebbero non percepire la differenza tra veicoli automatizzati e non automatizzati.
- Incroci segnalati: un CAV che si avvicina a un incrocio segnalato deve essere consapevole dello stato del segnale. Bisogna anche riconoscere che i pedoni possono non sempre aspettare la fase corretta del segnale e possono attraversare in ritardo o in anticipo senza che la strada sia sgombra quando i segnali cambiano a una fase veicolare. L'impostazione della fase del segnale, come la lunghezza dei tempi del rosso e la visualizzazione del giallo lampeggiante, se utilizzata, potrebbe avere effetti sul funzionamento del CAV, e alcune strategie e modifiche al design potrebbero essere necessarie per migliorare la chiarezza.

Nelle aree in cui c'è una ragionevole aspettativa di pedoni che attraversano la strada, che ci sia un controllo formalizzato o meno, gli operatori stradali devono considerare i potenziali limiti dei sistemi di rilevamento AV e anche i comportamenti casuali che i pedoni potrebbero avere. Ciò può comportare la limitazione o la rimozione di alcune aree da ostacoli visivi che possono oscurare le linee di vista vicino a una strada in cui gli AV possono operare. Potrebbe anche essere necessario prendere in considerazione una migliore separazione tra pedoni e veicoli e incanalare i pedoni in punti di attraversamento controllati o più chiari per migliorare la visibilità reciproca e la priorità sia per i pedoni che per gli AV.

3.5.5 Piazzole di sosta d'emergenza / corsie d'emergenza

Il Transport Systems Catapult nel Regno Unito (TSC) ha valutato la situazione attuale e il cambiamento dello spazio delle piazzole di sosta e delle corsie d'emergenza. Tradizionalmente, le corsie d'emergenza sono state previste lungo le autostrade, che forniscono una striscia continua che delimita un'area di stazionamento per la sosta dei veicoli in caso di emergenza.

Tuttavia, in anni più recenti diversi tratti di autostrada sono stati convertiti in sole corsie di marcia (ALR, *All Lane Running*) per aumentarne la capacità. Il sistema ALR fornisce aree di porto sicuro (denominate aree di rifugio di emergenza), che sono spazi a intervalli fino a 2,5 km". Alcune autostrade sono state convertite alla "Dynamic Hard Shoulder Running", che comporta il mantenimento della linea bianca piena per indicare la presenza di una corsia d'emergenza e l'apertura della corsia al traffico generale o agli autobus in transito durante le ore di punta tramite cartelli e segnali.



Immagine 13: Esempio di corsia di emergenza (sinistra) e di piazzola di sosta d'emergenza (destra)

3.5.6 Diversi fattori per cui l'AV dovrebbe fermarsi in una zona sicura

In modalità pilota completa su autostrada o strada statale, i veicoli viaggiano ad alta velocità con il conducente disimpegnato dal compito di guida. È possibile che il conducente non sia pronto a riprendere il controllo del veicolo prima che questo raggiunga la fine del suo ambito operativo. Questo potrebbe essere dovuto a diverse ragioni, come ad esempio:

- Il conducente si addormenta, soffre di un incidente debilitante (per esempio un infarto) o si distrae in altro modo;
- Un malfunzionamento del Sistema AV o il veicolo presenta problemi meccanici;
- Deterioramento delle condizioni ambientali;
- Rilevamento di incidenti davanti, come veicoli in panne nella carreggiata, che l'AV non è in grado di affrontare.

In questa situazione, il veicolo avrà bisogno di un'area sicura in cui sostare e attendere fin quando il conducente non è pronto, o fin quando le condizioni non migliorano al punto che il sistema di controllo automatico è in grado di procedere.

3.5.7 Aree di rifugio sicuro o corsie d'emergenza?

Sono necessari studi per determinare la forma più appropriata di aree di rifugio sicuro per gli AV, che potrebbe anche cambiare nel tempo con i cambiamenti nelle capacità di automazione e i tassi di penetrazione degli AV nel parco veicoli. Il vantaggio di una corsia d'emergenza continua è che c'è sempre un posto dove fermarsi con poco preavviso. Uno svantaggio è che le corsie d'emergenza in ambienti ad alta velocità non sono un posto sicuro per fermarsi, specialmente per lunghi periodi di tempo. I veicoli che viaggiano nella corsia laterale dell'autostrada possono deviare nella corsia d'emergenza a causa di una mancanza di concentrazione da parte dei conducenti.

Uno scenario altamente indesiderabile emergerebbe se un conducente si addormentasse e rimanesse addormentato per un lungo periodo, mettendo il veicolo e l'occupante in una situazione altamente esposta e pericolosa.

I rifugi sicuri potrebbero aver bisogno di essere progettati in modo appropriato e contenere abbastanza spazio per la sosta di un numero appropriato di veicoli, e abbastanza regolari lungo un percorso in modo che gli AV possano accedervi quando necessario. Si potrebbero anche considerare delle disposizioni per prevenire l'uso improprio di queste aree, riconoscendo che gli AV potrebbero aumentare notevolmente l'uso di tali aree.

La frequenza e la spaziatura di questi rifugi è un'area che gli operatori stradali potrebbero dover considerare. La distanza tra i rifugi dipenderà dalla domanda di traffico e dalle condizioni, e anche dal tipo di AV che potrebbe essere presente sul segmento di strada. L'ODD dovrà considerare la disponibilità di corsi d'emergenza o rifugi sicuri e i rischi associati, che a loro volta potrebbero influenzare quale livello di automazione potrebbe essere raggiungibile in vari orizzonti temporali.

3.5.8 Come funzionano i sensori in condizioni di maltempo

Il clima ha un impatto sulla sicurezza stradale che è stato chiaramente dimostrato dai dati storici. Secondo il Dipartimento dei trasporti degli Stati Uniti [5], ogni anno si verificano in media più di 5,89 milioni di incidenti automobilistici, di cui circa 1,24 milioni possono essere attribuiti a condizioni meteorologiche avverse tra cui neve, pioggia, nebbia e vento forte. Gli incidenti più comuni legati alle condizioni meteorologiche sono dovuti al manto stradale bagnato e alle condizioni di pioggia, che rappresentano rispettivamente il 76% e il 46% degli incidenti.

Ai fini di questo rapporto, il maltempo è generalmente definito come pavimentazione bagnata, pioggia/grandine, neve, pavimentazione ghiacciata, neve/pavimentazione fangosa e nebbia. Per gli AV, così come per il guidatore umano, le implicazioni del basso attrito e l'impatto sull'efficacia dei sensori dei veicoli sono importanti.

3.5.9 Basso attrito

In condizioni di pavimentazione bagnata o ghiacciata, o invecchiata, l'aderenza tra gli pneumatici di un veicolo e la strada può essere sostanzialmente ridotta. Gli operatori stradali possono avere bisogno di fornire informazioni sull'attrito della pavimentazione e sulle condizioni meteorologiche potenzialmente pericolose attraverso applicazioni di mappatura digitale dal vivo e avvisi, anche se questo può essere un'operazione che richiede molti dati e tempo per essere mantenuta e aggiornata. Gli AV devono essere in grado di valutare le condizioni della strada e determinare come manovrare al meglio durante le curve, come procedere al meglio da una posizione di arresto e come valutare al meglio la distanza di arresto richiesta. Perdere la trazione quando si accelera o avere una distanza insufficiente per fermarsi in sicurezza può portare a risultati di guida potenzialmente non sicuri.

3.5.10 Sensori

Gli AV usano tipicamente un mix di diversi tipi di tecnologie di sensori a bordo, tra cui LIDAR, RADAR e GNSS, per aggiornare continuamente la loro consapevolezza e posizione digitale e per navigare in sicurezza nell'ambiente circostante. Le condizioni meteorologiche avverse possono influenzare la precisione e l'affidabilità di queste tecnologie di sensori. Per esempio, la pioggia, la sporcizia, le foglie o la neve possono ostruire le lenti delle telecamere, e la necessaria elaborazione delle immagini può essere compromessa o impedita senza un'immagine chiara. Questo sistema è meno utile se le lenti non vengono tenute sempre pulite.

Le precipitazioni e le neviccate sono interpretate dai sensori LIDAR come rumore che si sovrappone all'ambiente fisico di fondo. L'immagine 14 dimostra la distorsione dell'ambiente circostante con un mare di oggetti viola proiettati intorno al veicolo a causa della neve.



Immagine 14: Rappresentazione LIDAR di una neviccata – nuvola di numerosi punti viola (fonte: Waymo)

Un problema comune per gli AV è la progettazione di un sistema che possa funzionare in cattive condizioni atmosferiche. La pioggia e la neve che cadono tendono a corrompere le misurazioni dei sensori, in particolare per i sensori LIDAR. Sono state pubblicate pochissime ricerche sui metodi per rimuovere le nuvole di punti raccolte dai LIDAR in condizioni di pioggia o neve. In un progetto [7] dell'Università di Waterloo in Canada, i ricercatori hanno identificato un metodo per rimuovere il rumore della neve elaborando le nuvole di punti utilizzando un algoritmo di rilevamento 3D esterno. Il metodo si basa sulla variazione della densità delle nuvole di punti con l'aumentare della distanza dal sensore, con l'obiettivo di rimuovere il rumore causato dalla neve mantenendo il dettaglio delle caratteristiche ambientali. Alcune aziende (come la Waymo [6]) stanno anche utilizzando l'apprendimento automatico nel loro sistema di sensori per filtrare la neve e vedere solo ciò che è sulla strada, anche se ci sono veicoli parcheggiati vicino al marciapiede. Non è chiaro se l'auto può distinguere le corsie, ma tali capacità del sistema potrebbero essere sufficienti per evitare collisioni.

Prove recenti indicano che si raccomandano test approfonditi in una serie di condizioni atmosferiche, tra cui forti neviccate, pioggia, nevischio, nebbia, fumo, polvere, alta umidità, venti forti, strada ghiacciata, accumulo di acqua nel terreno o condizioni di flusso [4].

Gli operatori stradali devono comprendere i limiti dei sistemi di sensori e le capacità di filtraggio, poiché alcune condizioni possono rimanere difficili da risolvere per l'automazione e possono richiedere ulteriori infrastrutture fisiche / segnalatori, attività per mantenere le strade libere da alcune ostruzioni / blocchi insieme a una mappatura digitale affidabile per assistere durante le condizioni meteorologiche avverse.

3.6 PLATOONING: L'IMPATTO SULL'INFRASTRUTTURA

3.6.1 Effetto dell'aumento della capacità dei veicoli su strade e ponti

Alcune previsioni indicano che i plotoni di veicoli automatizzati potrebbero aumentare la capacità per corsia di un fattore fino al 40% quando i veicoli convenzionali sono esclusi dalla corsia. Più breve

è il plotone e maggiore è la percentuale di penetrazione, maggiore è la densità del traffico e la capacità della strada [8].

C'è preoccupazione per i ponti a lunga campata che trasportano plotoni strettamente distanziati dove il momento flettente positivo del carico dinamico e le forze trasversali possono essere sostanzialmente maggiori [9]. Potrebbe essere necessario rivedere i modelli che assumono la diluizione dei veicoli pesanti con i veicoli leggeri. Gli aspetti della resistenza dei ponti che potrebbero aver bisogno di essere rivisti includono la collisione sui supporti, la collisione sui ponti, le forze centrifughe sui ponti curvi e le forze di frenata - aumentare la resistenza dei ponti deve essere fatto strategicamente (per esempio collegare le aree chiave per il trasporto merci adatte al platooning) a causa del costo elevato. Le aree che non sono adatte possono essere recintate in modo che i plotoni si dissolvano prima di entrare nella zona limitata. In alcuni casi, il platooning a distanze di soli 4 metri non provocherà danni all'infrastruttura esistente, tuttavia potrebbe essere necessario rivedere i pesi degli assi e la distanza tra i veicoli successivi quando si elabora una norma sugli spazi minimi di platooning [8].

Anche l'affaticamento della pavimentazione (cioè l'ormaiamento) è una preoccupazione, ma questo può essere mitigato dal naturale vagare dei conducenti nei plotoni di livello 1 o dal vagare casuale programmato ai livelli più alti di automazione [10]. Ogni giurisdizione dovrà rivedere i propri parametri di progettazione stradale nel determinare i segmenti di strada adatti al platooning.

3.6.2 Potenziali cambiamenti nella progettazione dell'infrastruttura per facilitare il platooning

Le corsie dedicate potrebbero migliorare la sicurezza del platooning poiché il comportamento degli altri veicoli sarebbe più prevedibile e la velocità del plotone sarebbe più coerente. Le corsie dedicate per il platooning potrebbero anche impiegare una segnaletica orizzontale più coerente e avanzata che faciliti il controllo laterale e il funzionamento sicuro a livelli più alti di automazione [8]. La creazione di corsie dedicate ai camion è un modo potenziale per facilitare il platooning con un impatto minimo sull'infrastruttura esistente, migliorando anche la sicurezza e l'efficienza del flusso di traffico esistente. Questi benefici in termini di efficienza sono probabilmente ridotti in modo significativo a meno che non venga sviluppata un'infrastruttura separata [11]. Altre modifiche alla progettazione autostradale che potrebbero aiutare a facilitare il platooning includono corsie di sorpasso estese, corsie di accelerazione modificate, misurazione delle rampe e marcature più ampie sulla pavimentazione [8].

Tuttavia, dove la capacità stradale è limitata, le autorità stradali devono anche considerare corsie dedicate per le esigenze del transito pubblico e gli obiettivi di interesse pubblico devono essere bilanciati. L'uso più efficiente delle strade esistenti può impiegare corsie ad azionamento dinamico che sono personalizzate per soddisfare le esigenze dell'area locale; si potrebbe anche considerare l'uso di corsie HOV (*high-occupancy vehicle lane*, corsia per veicoli ad alta occupazione) e HOT (*high-occupancy toll lane*, corsia a pedaggio ad alta occupazione) per il platooning.

Potrebbe anche essere necessario considerare le lunghezze su cui il platooning può essere efficace. Per esempio, i segmenti autostradali con interscambi o intersezioni ravvicinate possono subire un cambio di corsia dirompente o un'alta frequenza di cambi di plotone che potrebbe avere un impatto sull'efficienza del platooning.

3.7 PIANIFICAZIONE URBANA

La prospettiva di veicoli altamente automatizzati presenta sia sfide che opportunità rispetto alla pianificazione della città e al modo in cui le comunità crescono e si sviluppano. Lo spettro dei modelli AV privati rispetto a quelli condivisi può avere impatti diversi sui vari tipi di comunità: selvaggio/remoto, extraurbano, suburbano, anello interno, nucleo urbano.

3.7.1 Espansione urbana incontrollata contro densificazione

Nel modello di espansione urbana incontrollata, gli AV hanno il potenziale di rendere il viaggio più conveniente e comodo permettendo ai pendolari di riposare, lavorare o intraprendere attività ricreative e quindi sviluppare una crescente tolleranza ai tempi di percorrenza più lunghi.

Al contrario, nel modello di densificazione urbana, gli AV hanno anche il potenziale di ridurre le esigenze di parcheggio attraverso modelli di mobilità condivisa o servizi di parcheggiatori automatizzati, permettendo alle città di recuperare terreno prezioso utilizzato per parcheggi e garage e riconvertirlo in abitazioni, percorsi pedonali, piste ciclabili, spazi verdi, ecc.

Va notato che l'espansione urbana incontrollata e la densificazione non si escludono a vicenda e possono verificarsi in tandem con le crescenti esigenze della popolazione [12].

3.7.2 Trasporto pubblico

Le navette elettriche AV a bassa velocità offrono il potenziale per estendere il trasporto pubblico e migliorare la mobilità in aree che non sono ben servite dai sistemi esistenti. Gli autobus automatizzati sulle vie di transito potrebbero potenzialmente fornire alternative convenienti al transito su tranvia veloce. Gli autobus automatizzati che operano in un plotone cooperativo offrirebbero un servizio simile a quello ferroviario con controllo di corsie strette e accelerazione/decelerazione ottimizzata con un costo di capitale significativamente inferiore [13].

Si raccomanda alle autorità stradali di incorporare l'analisi dell'impatto CV/AV nelle loro decisioni di pianificazione per le nuove infrastrutture e gli investimenti nel trasporto pubblico.

3.8 STRATEGIE DI MANUTENZIONE

3.8.1 Il ruolo della manutenzione delle strade nel consentire l'impiego sicuro degli AV

La condizione e la leggibilità dei segnali stradali possono degradarsi a causa di vari fattori ambientali. Oltre all'armonizzazione della segnaletica stradale, è necessario lo sviluppo di codici e standard per basare le pratiche di ispezione e manutenzione e stabilire soglie accettabili per la misura in cui la segnaletica orizzontale e quella stradale possono incrinarsi, sbiadire e deteriorarsi senza compromettere il riconoscimento del sistema di visione artificiale. Il cattivo stato della segnaletica orizzontale e dei cartelli stradali può ostacolare la diffusione dei CAV nelle aree interessate [14].

Nelle aree rurali spopolate del Giappone, le strade sono tipicamente molto strette e ci può essere della vegetazione lungo il bordo della strada. Nell'esempio mostrato nell'immagine seguente, i cespugli sono stati rilevati come ostacoli e il veicolo autonomo si è fermato anche se non era una situazione pericolosa.

Scarsa manutenzione della strada rurale



Immagine 15: Cespugli visibili sul lato della strada (fonte: NILIM, MLIT, Giappone)

L'efficacia e la precisione dei sistemi TSR è influenzata dalla visibilità dei dispositivi di controllo del traffico che può essere influenzata da rotazione, ostruzione, deterioramento, vandalismo e furto.

Nelle regioni con forti nevicate durante l'inverno, la larghezza della strada diventa più stretta a causa della neve accumulata. Così, le strade con carreggiata a doppio senso a volte diventano strade con una corsia a senso unico alternato. In queste condizioni, i veicoli autonomi devono cambiare le loro traiettorie, o devono far fronte a una situazione di "dare la precedenza alle auto in arrivo".



Immagine 16: Esempio di fogliame che blocca un segnale di riferimento per la navetta a bassa velocità [4]



Immagine 17: Larghezza della strada in condizioni di neve (fonte: NILIM, MLIT, Giappone)

È anche importante che le strade siano mantenute libere da oggetti naturali come il fogliame troppo cresciuto o i cumuli di neve, perché questi possono essere scambiati per ostacoli dai sistemi di visione artificiale e causare agli AV di cambiare le loro traiettorie o fermarsi inaspettatamente [11]. Anche i punti di riferimento su cui fanno affidamento i sistemi AV (ad esempio le navette autonome a bassa velocità) devono essere posizionati e mantenuti in modo da essere liberi da ostacoli naturali [4].



Immagine 18 : Esempi di problemi di segnaletica orizzontale e di manutenzione della segnaletica stradale [14]

3.8.2 Casi d'uso dell'AV per migliorare la manutenzione stradale

Ci sono anche opportunità di usare i veicoli autonomi per casi di manutenzione come il platooning dello spazzaneve, così come il monitoraggio e la riparazione delle risorse. Per esempio, le telecamere e i sistemi di visione artificiale su veicoli specializzati possono essere usati per controllare la segnaletica sulle reti stradali [15]. I CAV di proprietà pubblica possono anche essere in grado di usare i loro sensori e le loro funzioni di comunicazione per segnalare problemi di manutenzione in tempo reale alle autorità stradali [14].

4 INFRASTRUTTURA DIGITALE - CONNETTIVITÀ

4.1 BISOGNO DI CONNETTIVITÀ

Per "connettività" si intende la connessione di un veicolo a un terminale ICT attraverso una rete, o a un altro veicolo. L'attuale tecnologia di guida autonoma si basa principalmente sui sistemi di rilevamento all'interno del veicolo automatizzato stesso, che ha molte limitazioni. Per esempio, i veicoli da soli sono:

- incapace di rilevare efficacemente la linea di visuale non lineare e i punti ciechi
- vulnerabile a pioggia, neve, nebbia, foschia e altre condizioni meteorologiche avverse
- incapace di rilevare efficacemente il ghiaccio sulla strada e di regolare le manovre di svolta
- limitato a una breve distanza di percezione
- incapace di realizzare una guida automatizzata per tutte le stagioni.

Le immagini seguenti illustrano esempi del raggio entro i quali i sensori riescono a rilevare. I sistemi di riconoscimento dei sensori funzionano entro limiti - come il raggio e la risoluzione di rilevamento - la connettività può integrare questi limiti, migliorando ed estendendo le capacità del veicolo. La guida altamente automatizzata richiede una fusione di dati che integri vari dati forniti da più sensori di bordo e dall'infrastruttura digitale.

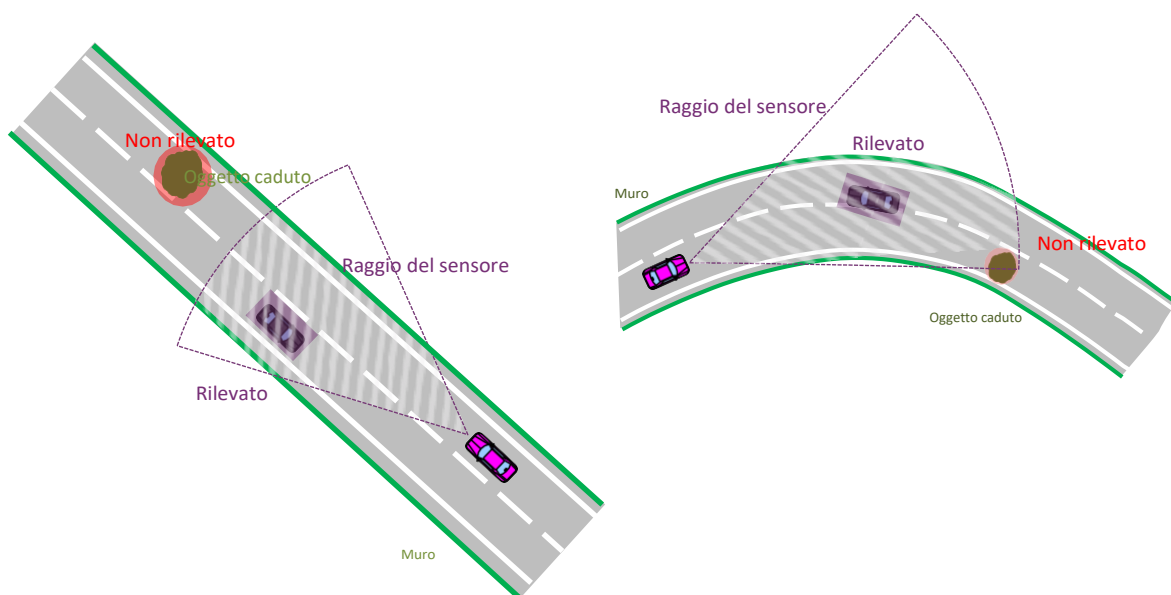


Immagine 19: Limitazione del raggio d'azione in base al rilevamento del sensore

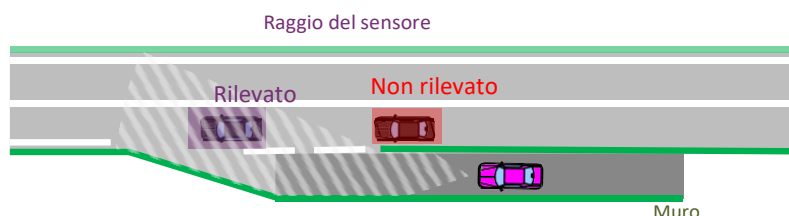


Immagine 20: Le informazioni che i sensori di bordo non sono in grado di rilevare

La tecnologia di fusione dei dati, che è definita come la conoscenza sinergica da diverse fonti, può aiutare a creare la comprensione globale di una situazione e potrebbe essere una potenziale soluzione alle limitazioni dei sensori.

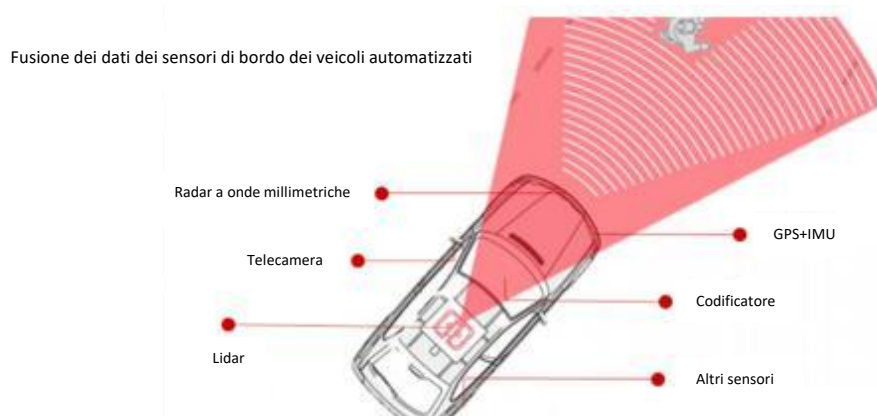


Immagine 21: Fusione dei dati [16]

Come mostrato nell'immagine qui sopra, sensori multipli installati nel veicolo migliorano la capacità di rilevamento. Inoltre, lo sviluppo e la diffusione di tecnologie e infrastrutture V2X (connettività *vehicle to everything*, veicolo verso qualsiasi entità) forniscono ai veicoli la capacità di comunicare tra loro, risolvendo in qualche misura il problema delle informazioni insufficienti che possono essere disponibili dai sistemi di bordo.



Immagine 22: Vehicle to Everything (V2X) [17]

4.2 CASI D'USO CHE RICHIEDONO CONNETTIVITÀ

I casi d'uso che richiedono la connettività dall'infrastruttura (V2I) dovrebbero essere considerati separatamente per le strade a scorrimento veloce (incluse superstrade, autostrade, strade senza pedaggio) e le strade ordinarie a causa delle differenze nella velocità di viaggio, la presenza/assenza di pedoni, biciclette e veicoli parcheggiati sulle strade.

4.2.1 Strade a scorrimento veloce

Servizio di fornitura di *Look Ahead Information (LAI)*

Il LAI è l'informazione degli eventi previsti che non possono essere rilevati dai sensori di bordo. Il LAI include le informazioni riguardo la strada da percorrere, tra cui, per esempio, incidenti, auto in panne, altri ostacoli, eventi, incidenti gravi, guida contromano, ecc.

Il National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM), Ministero del Territorio, Infrastruttura, Trasporto e Turismo (MLIT) del Giappone sta conducendo una ricerca congiunta pubblico-privata per la prossima generazione di C-ITS (sistemi di trasporto intelligenti cooperativi, *Cooperative Intelligent Transport Systems*). Per quanto riguarda il LAI, i seguenti servizi di fornitura di informazioni sono identificati per realizzare i benefici della guida autonoma sulle superstrade. Gli enti di altri paesi stanno anche testando le implementazioni di connettività nelle loro giurisdizioni che sono discusse nelle sezioni seguenti.

Informazioni sugli ostacoli stradali

Poiché gli attuali sensori di bordo possono rilevare gli ostacoli solo fino a c100m davanti, è difficile per i veicoli autonomi evitare gli ostacoli in modo sicuro da soli a velocità autostradali. Con le informazioni sugli ostacoli davanti, i veicoli automatizzati saranno in grado di cambiare i loro percorsi, cambiare corsia o applicare i freni in modo sicuro.

Le informazioni permettono anche la prevenzione di incidenti secondari e l'apertura anticipata delle corsie grazie alla rapida identificazione degli ostacoli stradali. Alcune case automobilistiche gestiscono un servizio di chiamate d'emergenza. Per esempio, quando l'airbag del conducente si gonfia, le informazioni di emergenza vengono inviate automaticamente al loro call center per le emergenze. La disponibilità di queste informazioni per gli operatori stradali permette loro di rispondere prontamente a un incidente.

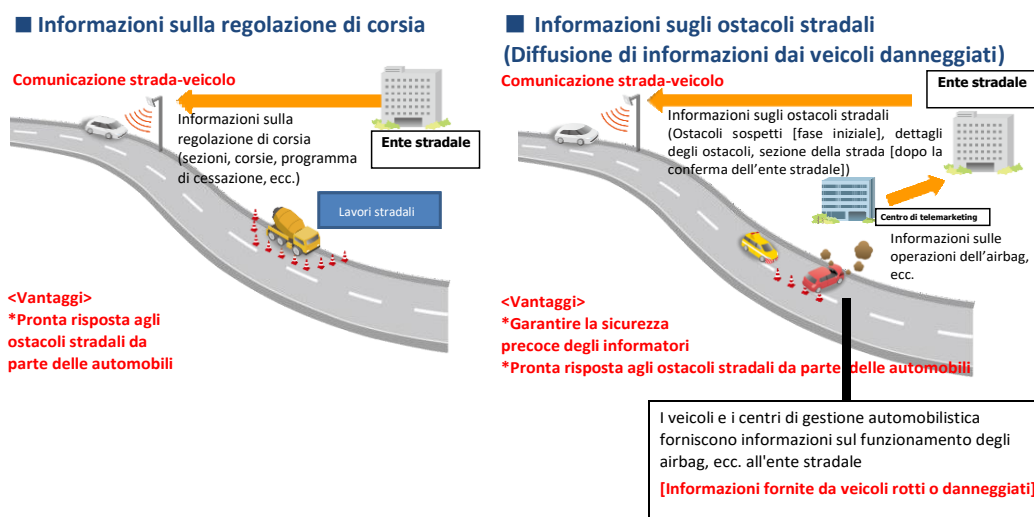


Immagine 23: Servizio di informazione sugli ostacoli stradali

Un progetto sul corridoio di veicoli connessi A2/M2 nel Regno Unito ha testato le opzioni per un sistema di avviso di lavori stradali connessi (RWW, *Road Works Warning*) che comunica informazioni sui lavori stradali imminenti, come la posizione dei lavoratori della strada, la configurazione del cantiere e i requisiti di limite di velocità per i veicoli mentre passano il sito. Ci si aspetta che un sistema come questo utilizzi una combinazione di hardware temporaneo come i fari e i sensori del cantiere e un'infrastruttura permanente come i dispositivi di comunicazione su strada per comunicare i dati sulle condizioni del sito ai veicoli connessi [14].

Le specifiche tecniche sullo scambio di dati in una zona di lavoro (WZDx, *Work Zone Data Exchange*) permette agli operatori stradali di rendere disponibili i dati armonizzati delle zone di lavoro per l'uso da parte di terzi. L'intento è quello di rendere il viaggio sulle strade pubbliche più sicuro e più efficiente attraverso l'accesso onnipresente ai dati sull'attività delle zone di lavoro. In particolare, il progetto mira a fornire dati sulle zone di lavoro nei veicoli per aiutare i sistemi di guida automatica (ADS, *automated driving system*) e le persone che guidano a viaggiare in modo più sicuro.

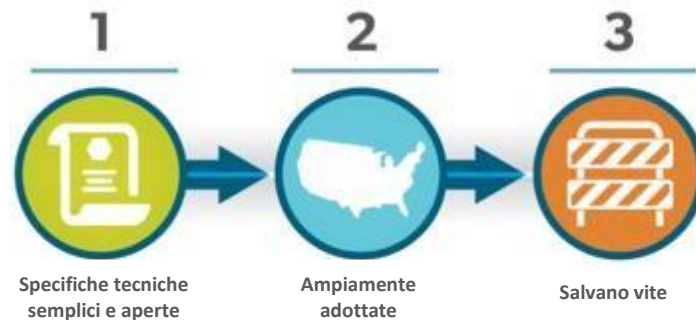


Immagine 24: Fasi del progetto sulla zona di lavoro del DoT degli USA (WZDx)

Il Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti (U.S. DOT) ha rilasciato un avviso di opportunità di finanziamento (NOFO, *Notice of Funding Opportunity*) da 2,4 milioni di dollari per la dimostrazione WZDx, che si è chiusa il 3 agosto 2020. [18] Lo scopo di questo programma di ricerca è quello di aumentare la sicurezza del pubblico viaggiante attraverso la produzione di feed di dati coerenti sulle zone di lavoro pubbliche in tutte le giurisdizioni. Questo finanziamento fornisce agli operatori delle strade pubbliche l'opportunità di rendere i feed di dati unificati delle zone di lavoro disponibili per l'uso da parte di terzi e di collaborare allo sviluppo delle specifiche tecniche WZDx.

Informazioni sulle congestioni

Il servizio di fornitura di informazioni sulle congestioni invia ai veicoli a monte informazioni sugli ingorghi (sezione congestionata, corsia di fine congestione, ecc.) sugli svincoli e altre uscite. Queste informazioni possono essere utilizzate dagli AV per consentire loro di cambiare corsia in anticipo, per unirsi a una coda se intendono uscire allo svincolo o selezionare una corsia libera se intendono proseguire oltre un'uscita congestionata.

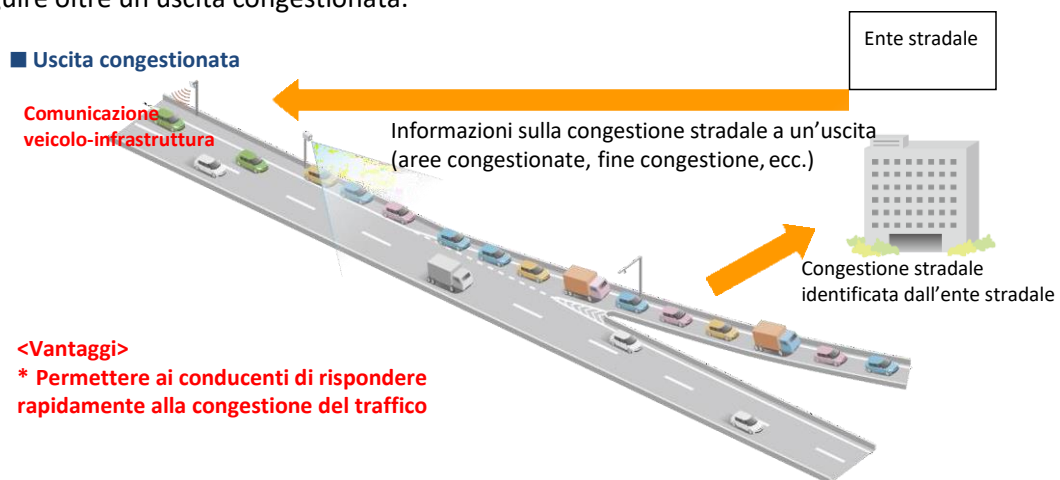


Immagine 25: Servizio di trasmissione delle informazioni sulla congestione

Informazioni sul casello

Gli attuali sensori di bordo non sono in grado di riconoscere con il 100% di precisione quali caselli possono essere aperti. Il servizio di fornitura di informazioni sui caselli assicura una scelta affidabile dei caselli e fornisce un passaggio più sicuro e fluido attraverso un piazzale di pedaggio, fornendo informazioni operative su ogni corsia.

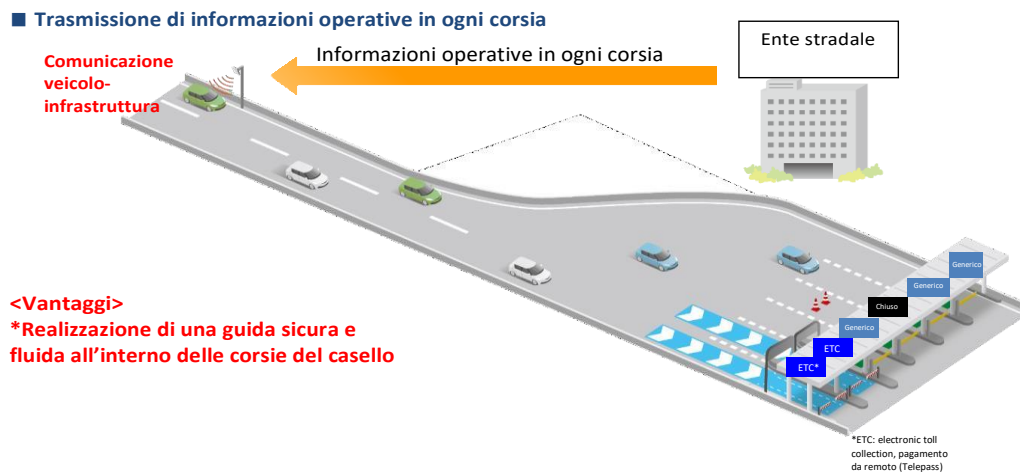


Immagine 26: Servizio di trasmissione delle informazioni sul casello

Servizio di supporto all'immissione

Per l'immissione, i veicoli autonomi devono rilevare le condizioni del traffico sulla corsia principale, trovare lo spazio per l'immissione e coordinare la loro velocità.

Alcune superstrade urbane possono avere corsie di accelerazione relativamente corte che possono anche avere linee di visione limitate e limitare la capacità di manovra nell'area di convergenza. Al fine di supportare i veicoli automatizzati a convergere senza problemi, la NILIM sta sviluppando un sistema attraverso una ricerca congiunta pubblico-privata che fornisce informazioni sulle condizioni del traffico sulla corsia principale ai veicoli che si immettono, in modo che lo spazio appropriato per immettersi senza problemi possa essere identificato quando i veicoli autonomi si avvicinano regolando la loro velocità.



Immagine 27: Servizio di supporto all'immissione

AutopleX nel Regno Unito è un progetto che migliora la visione e la percezione di un veicolo autonomo, consentendo una convergenza del traffico più efficiente ed efficace in situazioni difficili di immissione delle corsie e nelle rotatorie. Il progetto sta studiando l'immissione delle informazioni dei sensori del veicolo esterno con la mappa allineate ai sensori dell'infrastruttura (rilevamento di tutti gli utenti della strada) che possono essere trasmesse agli AV in tempo reale, insieme al contesto

delle regole stradali applicabili, tramite metodi standard dell'internet delle cose (IOT, *Internet of Things*) [19].

Navigazione in una intersezione

- Assistenza per la svolta a sinistra - *Left Turn Assist* (LTA)

Un'applicazione in cui gli avvisi vengono dati al conducente quando tenta una svolta a sinistra non protetta (o filtrata) attraverso il traffico (o una svolta a destra attraverso il traffico), per aiutarlo ad evitare incidenti con il traffico in conflitto dal senso opposto.



Immagine 28: Assistenza per la svolta a sinistra (LTA, Left Turn Assist)

- Veicolo che gira a destra davanti all'avviso di un autobus

Un'applicazione che avverte gli operatori di autobus di transito della presenza di veicoli che tentano di attraversare davanti all'autobus stesso per svoltare mentre l'autobus parte da una fermata.



Immagine 29: Veicolo che gira a destra davanti all'avviso di un autobus

- Avviso di violazione del semaforo rosso - *Red Light Violation Warning (RLVW)*

Un'applicazione che trasmette in che fase è il segnale del semaforo e la tempistica (SPaT, *signal phase and timing*) e altri dati a un dispositivo a bordo del veicolo, consentendo avvisi per imminenti violazioni del semaforo rosso.



Immagine 30: Avviso di violazione del semaforo rosso (RLVW, *Red Light Violation Warning*)

- Avviso del punto di impatto meteorologico - *Spot Weather Impact Warning (SWIW)*

Un'applicazione che avverte i conducenti di condizioni meteorologiche pericolose locali trasmettendo il centro di gestione e altri dati meteorologici all'attrezzatura stradale, che poi li ritrasmette ai veicoli vicini.



Immagine 31: Avviso del punto di impatto meteorologico (SWIW, Spot Weather Impact Warning)

- Avviso di coda - Queue Warning (Q-WARN)

Un'applicazione che mira a fornire ai conducenti avvisi tempestivi sulle code esistenti e imminenti.

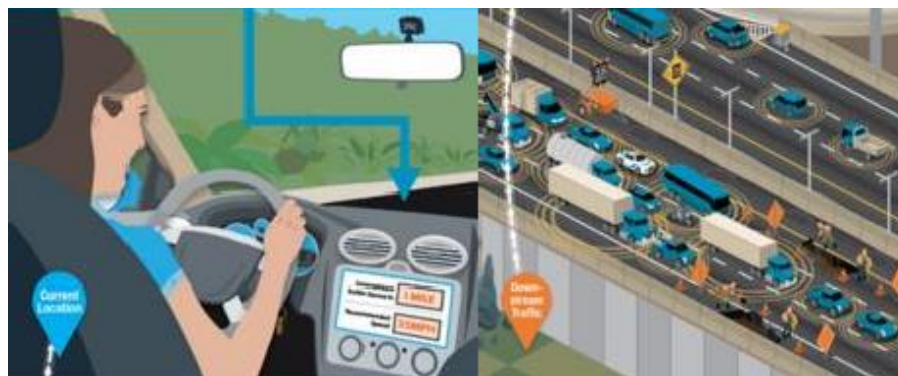


Immagine 32: Avviso di coda (Q-WARN, Queue Warning)

4.2.2 Viabilità ordinaria

Fornire informazioni sui semafori attraverso la connettività è stato preso in considerazione al SIP-adus (il programma di promozione dell'innovazione strategica interministeriale: Innovazione della guida automatizzata per i servizi universali – *Innovation of Automated Driving for Universal Services*) in Giappone. La comunicazione degli stati dei semafori e dei cambiamenti imminenti è considerata superiore alle telecamere di bordo convenzionali, poiché è stato dimostrato che è difficile rilevare gli stati dei segnali con una precisione del 100% in varie condizioni, compreso il controluce.

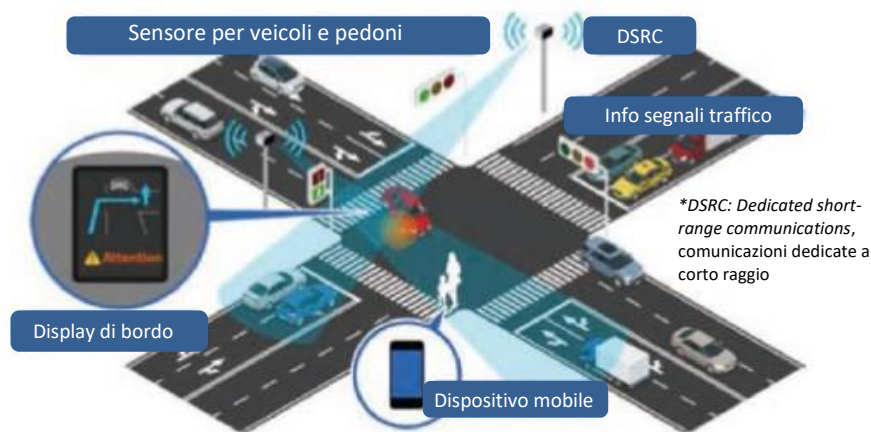


Immagine 33: Servizi di informazione ITS in un'intersezione [20]

4.3 REQUISITI PER LA CONNETTIVITÀ

È necessario determinare quali metodi di comunicazione devono essere usati tra quelli disponibili, poiché i requisiti di connettività differiscono per ogni caso d'uso. I seguenti criteri possono avere diversi requisiti di prestazione per i casi d'uso che utilizzano la connettività:

- Certezza: Se le informazioni sono comunicate con piena precisione
- Latenza: Ritardo nell'invio e nella ricezione della comunicazione
- Velocità di trasferimento dati (MBps)

Per esempio, nel supporto all'immissione, un veicolo autonomo sulla corsia principale potrebbe dover accelerare o decelerare immediatamente dopo aver acquisito le informazioni, e quindi è necessario un metodo di comunicazione adatto allo scopo con bassa latenza. In questo esempio i seguenti passi possono essere coinvolti per illustrare le fasi del processo e la necessità di comunicazioni ad alta velocità.

- (i) I sensori rilevano le condizioni del traffico sulla corsia principale.
- (ii) Il server locale genera rapidamente le informazioni di supporto all'immissione. Le informazioni sono elaborate localmente il più rapidamente possibile per permettere agli AV di regolare le loro velocità.

L'edge processing, che può includere l'esecuzione di aggregazione, manipolazione dei dati, riduzione della larghezza di banda e altra logica direttamente su un sensore o dispositivo IoT, può essere utilizzata perché la latenza del sistema è molto importante. *L'edge processing* è l'elaborazione in loco dei dati piuttosto che l'invio al cloud o a un server di elaborazione centralizzato. *L'edge processing* può ridurre la quantità di tempo impiegato per fornire una "risposta" elaborata, e anche ridurre la quantità di dati trasmessi calcolando localmente e fornendo solo le informazioni richieste.

- (iii) L'antenna stradale fornisce informazioni sul tempo di passaggio dei veicoli sulla corsia principale nel punto di immissione agli AV con bassa latenza e metodi di comunicazione affidabili.
- (iv) Alla ricezione delle informazioni, gli AV regolano la loro velocità prima di entrare nella corsia principale per immettersi senza problemi nello spazio della corsia principale stessa.

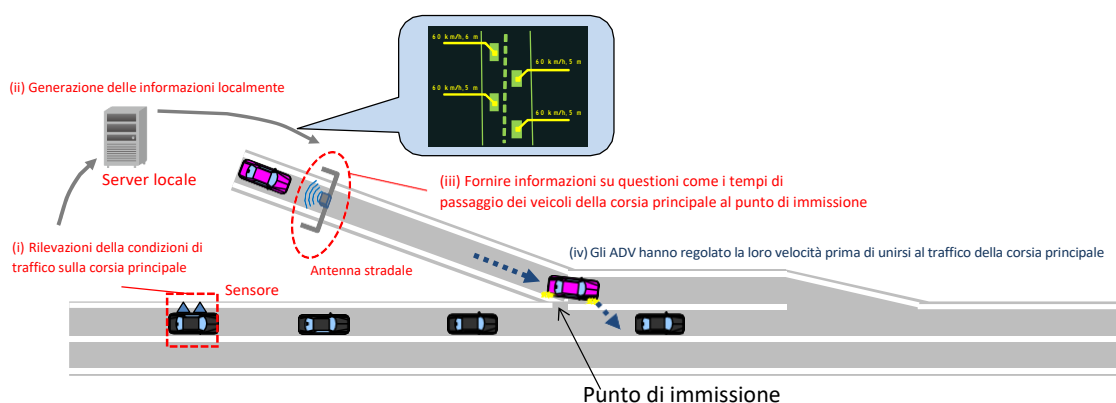


Immagine 34: Concept del servizio di supporto all'immissione

Inoltre, gli enti stradali devono prendere in considerazione i costi per distribuire la connettività all'interno della loro giurisdizione, compreso il costo dell'investimento iniziale, le spese di comunicazione e il costo operativo, e chi sosterrà alla fine il costo.

4.4 MISURE DI COMUNICAZIONE

I metodi di comunicazione usati per i C-ITS (sistemi di trasporto intelligenti cooperativi) sono classificati come segue nel rapporto TF B.1 [21].

- Comunicazioni a corto raggio: 5.8 GHz, 5.9 GHz DSRC (*Dedicated short-range communications*, comunicazioni dedicate a corto raggio) o ITS G5 e l'imminente C-V2X PC5. Le caratteristiche di questa categoria sono il breve raggio (distanza geografica) che copre, la bassa latenza, la capacità di comunicazione bidirezionale e le piccole dimensioni dei pacchetti di dati consegnati.
- Comunicazioni a lungo raggio: le reti cellulari includono UMTS (3G), LTE (4G) e l'imminente 5G. Le caratteristiche sono la portata a lungo raggio, la bassa o media latenza, le comunicazioni bidirezionali e le dimensioni dei pacchetti di dati più grandi.
- Trasmissione su un'ampia area: la radio digitale (per esempio DAB+) e la radio analogica. Le caratteristiche sono la lunga distanza, la latenza medio-alta, la limitazione alla comunicazione unidirezionale e i pacchetti di dati di medie dimensioni.

Per il sistema di supporto all'immissione spiegato sopra (Immagine 34 : Concept del servizio di supporto all'immissione), l'ETC2.0 viene adottato in Giappone per sviluppare un prototipo. L'ETC2.0 è stato adottato come metodo di comunicazione perché il sistema richiede bassa latenza e certezza nella comunicazione.

4.4.1 Il metodo di comunicazione futuro

L'uso della tecnologia 5G per ottenere la prevenzione delle collisioni e la guida autonoma è simile all'uso di Cellular- V2X, DSRC, e altri metodi. In questa fase si prevede che il 5G avrà ritardi più brevi e maggiore affidabilità. Il 5G consentirà la trasmissione di dati ad alta capacità per facilitare mappe 3D dettagliate e anche il potenziale per fornire il controllo remoto dei veicoli automatici, se autorizzato.

Ci sono diverse applicazioni avanzate che utilizzano la tecnologia 5G che sono state promosse nelle seguenti aree [22]:

Guida autonoma: gli aggiornamenti delle informazioni sul traffico potrebbero ridursi a meno di un minuto.

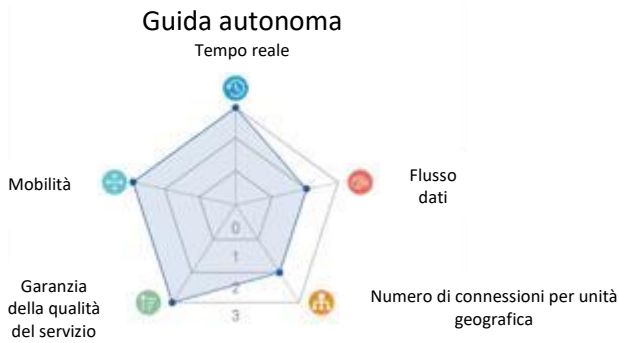


Immagine 35: Guida autonoma [22]

Platooning: i veicoli operano a una distanza molto ravvicinata per risparmiare carburante e migliorare l'efficienza del trasporto di merci che richiede trasmissioni di dati ad alta velocità e affidabili.

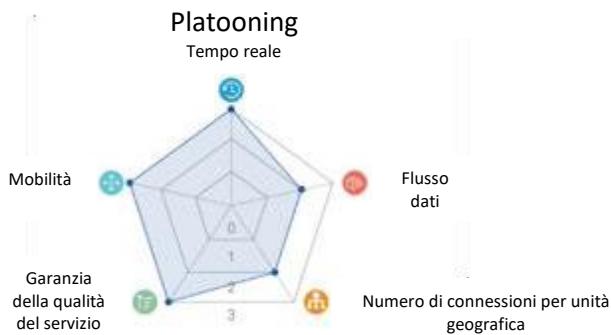


Immagine 36: Platooning [22]

Guida remota: quando il ritardo E2E (end-to-end) è controllato entro 10ms, lo spazio di frenata generato dalla frenata di emergenza remota ad una velocità di 90 chilometri all'ora non supera i 25 cm.

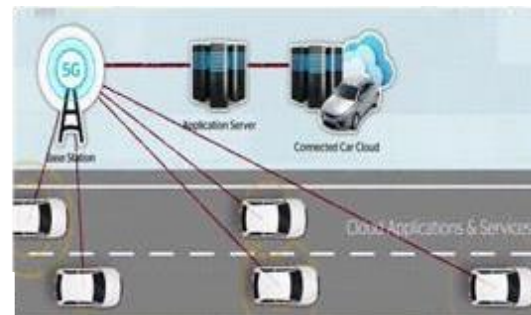
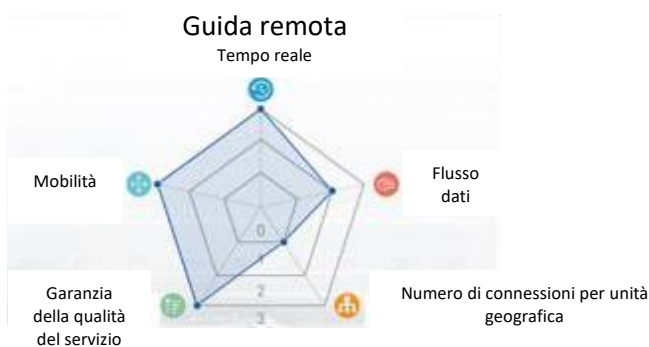


Immagine 37: Guida remota [22]

Il 5G per il V2X ha realizzato una standardizzazione in 3GPP (3rd Generation Partnership Project) nel 2020, che sarà seguita da un periodo di alcuni anni di sviluppo commerciale.

La domanda dell'industria gioca un ruolo importante nei processi e nei requisiti di ricerca e sviluppo della tecnologia 5G. L'Internet dei veicoli è diventato un importante scenario di applicazione per il 5G. La tecnologia di comunicazione 5G considera la domanda dell'industria automobilistica e dei trasporti, e "alta affidabilità e basso ritardo" è diventato uno dei tre principali scenari di applicazione definiti dall'ITU e uno dei quattro principali scenari di applicazione determinati dalla Cina.

5 INFRASTRUTTURA DIGITALE – MAPPE DIGITALI E POSIZIONAMENTO

5.1 INTRODUZIONE

5.1.1 Cos'è una mappa digitale?

Una mappa digitale è una rappresentazione digitale di un ambiente fisico o di una risorsa, che combina elementi grafici e informazioni elettroniche per formare una rappresentazione virtuale. Si basano su informazioni geospaziali - informazioni che hanno una componente geografica o di localizzazione - per localizzare caratteristiche e beni. A differenza di una mappa fisica che è fissa una volta creata, una mappa digitale può essere aggiornata in tempo reale. Le mappe digitali sono costruite a livelli, utilizzando sistemi di informazione geografica (GIS, *Geographical Information Systems*), dove ogni strato è dedicato a un tipo di informazione, come strade o curve di livello. Gli utenti possono scegliere quali strati sono di interesse e rimuovere efficacemente i dettagli o le informazioni indesiderate per permettere loro di leggere meglio le mappe. Poiché le mappe sono virtuali ed elettroniche, possono essere lette su qualsiasi scala. Le mappe digitali possono essere ottenute da organizzazioni nazionali come la Ordnance Survey (Regno Unito), l'Institut Géographique National (Francia), il National Geographic Information Institute (NGII) in Corea. Queste mappe digitali possono essere considerate come "mappe di base" e sono simili alla più tradizionale mappa cartacea, mostrando una rappresentazione digitale dell'ambiente fisico. Queste mappe di base sono utili per il *wayfinding* e la navigazione da A a B. I sistemi di navigazione disponibili in commercio usati nei veicoli (per esempio i sistemi di navigazione satellitare o satnav) si basano sulle mappe digitali per calcolare il percorso ottimale da fare; vari parametri come "percorso più veloce" o "evitare i pedaggi" possono essere programmati in questi sistemi.

Un livello più sofisticato di mappatura è la mappa ad alta definizione (HD) che include dati aggiuntivi come la segnaletica orizzontale, i segnali, i limiti di velocità e le regole stradali [23].

L'attuale generazione di sistemi di navigazione a bordo dei veicoli utilizza mappe HD e informazioni sul traffico in tempo reale, compresi i contenuti dei social media, per prevedere il percorso ottimale. Anche questi sistemi si affidano a un conducente umano per correggere eventuali discrepanze all'interno della raccolta di dati, gli operatori della rete stradale non accettano la responsabilità degli errori [24].

5.1.2 Perché le mappe digitali sono importanti per un AV

L'operato sicuro ed efficiente di un AV si basa su:

- Navigazione – capire in tempo reale in che punto il veicolo è in relazione con la sua destinazione pianificata
- Posizionamento su strada – guidare il veicolo sulla strada e in relazione alle corsie
- Guidare nel traffico – capire la posizione relativa di altri veicoli e utenti della strada e guidare in modo appropriato per evitare collisioni.

Mentre i sensori forniscono una visibilità in tempo reale nelle immediate vicinanze del veicolo, le mappe conferiscono una visione più ampia che permette ai veicoli di anticipare potenziali situazioni critiche dall'ambiente circostante. La vera sfida per la generazione di mappe in HD è l'attuale livello di frammentazione dell'industria automobilistica insieme alla mancanza di standard. Il concetto di Local Dynamic Map proposto da Shimada et al [25] illustra i vari tipi e livelli di dati e informazioni che i veicoli connessi e autonomi possono richiedere per un funzionamento sicuro.

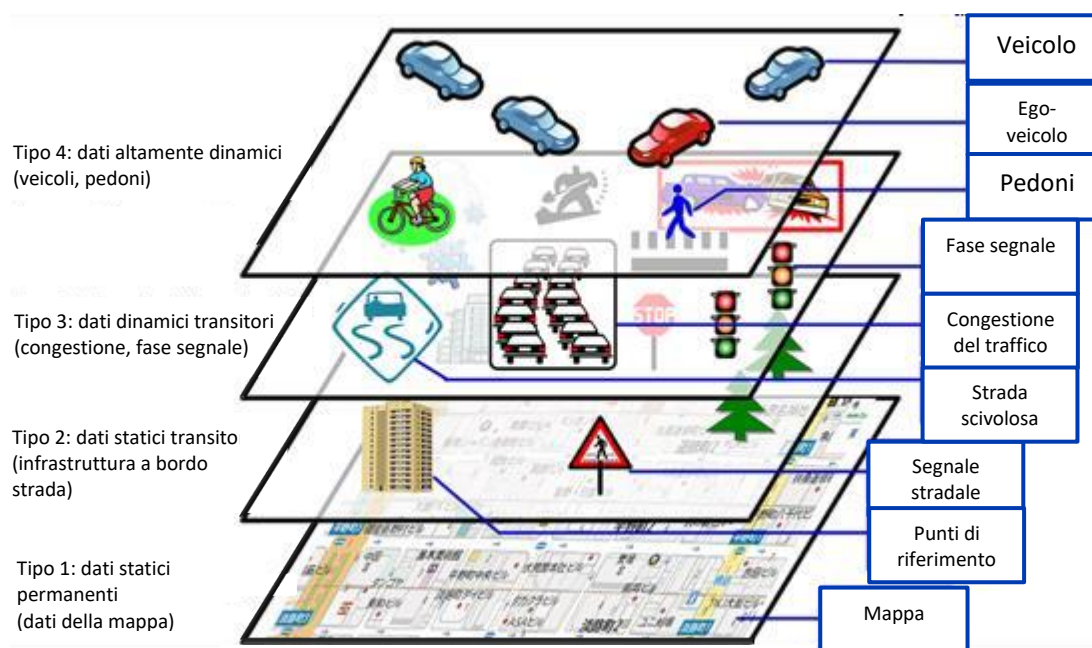


Immagine 38: Modello a livelli di una mappa dinamica locale [25]

Navigazione – (Tipo 1 e 2) il funzionamento di un AV si basa sulla capacità dei sistemi di controllo del veicolo di navigare in sicurezza dal punto di partenza alla destinazione su una strada interagendo con l'infrastruttura stradale, altri veicoli e gli utenti della strada. I sistemi di navigazione satellitare si basano su mappe digitali per tracciare un percorso e poi per tracciare la posizione del veicolo in transito, controllando che rimanga sul percorso desiderato e reindirizzandolo quando richiesto - a causa di un incidente segnalato per esempio, o quando il veicolo prende una svolta sbagliata. In questo processo di navigazione, il veicolo si affida al GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*, sistema satellitare globale di navigazione) per abbinare la posizione del veicolo alla mappa digitale. Molti fornitori di sistemi di navigazione aggiornano le loro mappe usando i dati dei veicoli che usano la loro applicazione tramite le Application Program Interfaces (API). Un risultato di questo approccio è che diversi fornitori possono usare diverse varianti della mappatura di base, perdendo una "singola fonte di verità".

Posizionamento su strada – (Tipo 2 e 3) il funzionamento sicuro ed efficiente di un AV richiede che il veicolo (e i suoi sistemi di controllo) capisca dove si trova e manovri in modo sicuro usando i sensori di bordo per rilevare l'ambiente e "vedere" caratteristiche come la segnaletica orizzontale e i cartelli. Un AV usa una varietà di sistemi per capire dove si trova in relazione alla strada - sensori come Lidar, mappe digitali, linee guida/segnali magnetici e sistemi satellitare globali di navigazione (GNSS) sono usati in varie combinazioni.

Guidare nel traffico – (Dati di tipo 3 e 4) l'affrontare in modo sicuro il traffico e gli altri utenti della strada si basa su una sofisticata serie e combinazione di sensori di bordo per comprendere un ambiente altamente dinamico e complesso, piuttosto che una mappa digitale che è relativamente statica.

Alcuni sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS) e sistemi di guida altamente automatizzati si basano sulla mappatura per aumentare le informazioni provenienti dai loro sensori [26]. È improbabile che la tecnologia attuale permetta una guida completamente automatizzata senza l'uso di dati da mappe digitali per supportare o integrare i sensori di bordo e i sistemi di posizionamento - questo aumenterà la dipendenza dalla connettività per facilitare le comunicazioni V2I [23].

5.2 STANDARD PER LE MAPPE DIGITALI

5.2.1 Mappa di base

Le mappe di base sono quelle fornite dalle organizzazioni cartografiche nazionali o statali - tra cui l'Ordnance Survey (OS) nel Regno Unito, l'Institut Géographique National (IGN) in Francia, il National Geographic Information Institute (NGII) in Corea. Gli utenti possono abbonarsi per gli aggiornamenti automatici della mappa di base. Le mappe di base stesse non sono utilizzabili dagli AV per la navigazione - a differenza di un lettore di mappe umano - e si basano sulla loro conversione nel relativo standard digitale che l'AV può "leggere" e utilizzare. Le mappe di base sono usate da organizzazioni commerciali (come i fornitori di servizi di navigazione e wayfinding) per produrre i propri sistemi di mappatura da usare sui veicoli.

Diversi standard per la mappatura digitale sono usati in diversi paesi - il programma INSPIRE della Commissione Europea mira a creare una standardizzazione per la mappatura [27].

5.2.2 Proprietà

Prendendo di nuovo come esempio il Regno Unito, la proprietà della mappa di base appartiene all'OS.

5.2.3 Cambiamenti alla mappa di base

Le modifiche permanenti sono fornite dal creatore della mappa, come menzionato sopra, a cui si può accedere tramite abbonamento. Le modifiche dinamiche o temporanee possono avere un impatto significativo sul funzionamento degli AV, come i lavori stradali, i cambiamenti nell'uso delle corsie (ad esempio una corsia per gli autobus), ecc. poiché non sono incluse nelle modifiche alla mappa di base e richiedono un Digital Twin (gemello digitale) o una mappa ad alta definizione. Una considerazione importante per gli operatori stradali e gli utenti/operatori AV è la disponibilità delle modifiche proposte al layout della strada e quanto velocemente possono essere implementate nella mappa in modo che l'AV riconosca il cambiamento non appena avviene [28]. La maggior parte degli attuali sistemi di navigazione non include aggiornamenti automatici delle mappe, il che può essere frustrante per i conducenti ma non generalmente pericoloso; tuttavia, la sincronizzazione in tempo reale tra le informazioni digitali e fisiche è essenziale per il funzionamento sicuro degli AV. Il programma TN-ITS INSPIRE [29] della Commissione europea mira a fornire una piattaforma per consentire agli operatori della rete stradale di pubblicare le modifiche alle loro reti in modo che i produttori di mappe e i fornitori di servizi possano aggiornare le loro mappe e renderle disponibili agli AV.

5.3 GEMELLO DIGITALE

5.3.1 Definizione

Un gemello digitale è "una rappresentazione digitale realistica di risorse, processi o sistemi nell'ambiente costruito o naturale"[30]. Nel contesto di una rete stradale, un gemello digitale è costruito su un modello digitale della strada e tutte le sue caratteristiche - segni, marcature, strutture, drenaggi, recinzioni, ecc. Piuttosto che essere un modello statico, un gemello digitale è collegato all'asset fisico usando flussi di dati in tempo reale da sensori che immettono i dati sulle prestazioni attuali dal gemello fisico e i feedback nel gemello fisico tramite un controllo in tempo reale. Pertanto, il digitale e il fisico sono gemellati in tempo reale. I gemelli digitali possono esistere su ogni scala, dalla strada alla città alla rete stradale nazionale. I gemelli digitali sono utili per gli operatori della rete stradale durante la progettazione, la costruzione e la manutenzione delle loro reti; tuttavia, non è realistico aspettarsi che i gemelli digitali siano creati come un esercizio retrospettivo; il costo della digitalizzazione delle reti esistenti sarebbe proibitivo. Man mano che l'uso di strumenti digitali diventa comune, le strade nuove e migliorate avranno sempre più un gemello digitale.

5.3.2 Mappe HD

Le mappe HD (ad alta definizione) sono come gemelli digitali in quanto contengono molte più informazioni di una mappa digitale standard - corsie, segnali, segnaletica orizzontale, limiti di velocità e altre restrizioni al traffico. Le mappe HD rendono disponibili livelli di informazioni e dettagli per supportare e consentire le operazioni AV. Le organizzazioni commerciali hanno creato prodotti per sviluppare e vendere mappe HD. Il team del progetto Austroads non è riuscito a trovare mappe HD disponibili in commercio dell'Australia o della Nuova Zelanda nel 2019 [23]. I ricercatori hanno concluso che la mancanza di mappe disponibili in commercio era probabilmente dovuta a una mancanza di domanda di mercato.

L'uso delle mappe HD e dei gemelli digitali è un'area emergente e anche gli standard e le responsabilità per la generazione, il possesso, l'aggiornamento e la pubblicazione stanno emergendo.

5.3.3 Interazione con l'AV

Un gemello digitale migliorerà l'affidabilità del funzionamento dell'AV consentendo un'interazione digitale tra le informazioni contenute nel gemello e l'AV, piuttosto che affidarsi ai sensori per leggere, elaborare e comprendere le informazioni sui segnali fisici e sulla segnaletica orizzontale. Man mano che la penetrazione degli AV aumenta verso il 100%, il ruolo della segnaletica per il controllo del traffico diventa sempre più ridondante. Questo non si applica però a pedoni, ciclisti, scooter e altre modalità e richiederebbe ulteriori indagini sulla gestione e il funzionamento di una rete di trasporto multimodale con vari livelli di automazione tra le modalità.

5.4 POSIZIONAMENTO

5.4.1 Posizionamento satellitare

I sistemi satellitare globali di navigazione (GNSS) sono utilizzati per determinare la posizione di un veicolo dotato di un ricevitore appropriato, utilizzando segnali dai satelliti. La navigazione satellitare ha un ruolo centrale nel mix di tecnologie che è attualmente necessario per eseguire il livello di posizionamento richiesto dai veicoli autonomi; in una recente indagine svolta nell'UE tra i progetti pilota, è risultato che tutti fanno uso di GNSS e allo stesso tempo uniscono il posizionamento GNSS con diversi altri sensori di bordo. Dato che il GNSS, così come altri sensori di bordo, è influenzato dalle condizioni esterne, è essenziale che venga usato un GNSS di alta qualità; questo richiede l'ottimizzazione di alcuni parametri chiave come disponibilità, integrità, precisione, sensibilità e robustezza alle interferenze sfruttando tutti i nuovi segnali/servizi GNSS e lo sviluppo recente dei ricevitori (ad esempio la doppia frequenza).

Il GNSS è una tecnologia consolidata che fornisce un posizionamento assoluto, indipendentemente dalle condizioni meteorologiche. Il GNSS è indipendente da qualsiasi sensore basato sulla percezione e può risolvere qualsiasi ambiguità data dai sensori. Fornisce informazioni accurate sulla tempistica, che sono necessarie per la fusione dei sensori, per sincronizzare i dati in uscita dei sensori di bordo. Anche se il GNSS potrebbe funzionare da solo per le funzioni meno automatizzate, c'è una continua influenza delle condizioni ambientali e degli errori locali. Pertanto, il GNSS che lavora in modo complementare e interoperabile con altre tecnologie automobilistiche è essenziale in tutti i livelli di automazione definiti dall'industria.

Anche i sistemi SBAS (sistemi di potenziamento basati su satellite, *Space Based Augmentation Systems*) sono utilizzati per fornire i requisiti di posizionamento per l'AV [28].

Galileo

In Europa, i responsabili politici hanno capito che Galileo, il GNSS europeo, potrebbe sostenere meglio i veicoli autonomi per la cooperazione tra i veicoli e per un migliore posizionamento. La dichiarazione di Amsterdam del 2016 ha lavorato per affrontare queste barriere e ha sviluppato una strategia europea condivisa sulla guida connessa e automatizzata. Più recentemente, il Parlamento europeo ha adottato la strategia europea sui sistemi di trasporto intelligenti cooperativi (C-ITS, *European Strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems*) nel marzo 2018, in cui anche Galileo ha un ruolo critico.

Australia e Nuova Zelanda

Il libero accesso a un SBAS non è disponibile in Australia o in Nuova Zelanda [28], il che ha il potenziale di essere una barriera al funzionamento degli AV. La soluzione potrebbe essere un sistema ibrido che utilizza il GNSS e altre tecnologie di posizionamento a terra. Il risultato sarebbe un requisito per un hardware diverso sui veicoli in questi mercati che potrebbe non essere commercialmente attuabile.

5.4.2 Livello di precisione richiesto

Il livello di precisione richiesto per la guida autonoma dipende dai livelli di automazione:

LIVELLO 2 – Automazione parziale:

- Il requisito di posizionamento delle funzioni ADAS di base è una precisione a livello di metro (nell'intervallo di 2 - 10m)
- La soluzione GNSS soddisfa questi requisiti, integrata da navigazione inerziale, odometria e navigazione stimata.
- Tipo di soluzione GNSS: normalmente ricevitore a frequenza singola (recentemente multi-GNSS)

LIVELLO 3 – Automazione condizionata:

- Il requisito di posizionamento delle funzioni Advanced Cruise Control è una precisione a livello di mezzo metro (nell'intervallo di 40 - 50 cm)
- La soluzione GNSS risponde a questi requisiti, completata da sensori radar e a ultrasuoni, eHorizon, Computer Vision e SLAM (localizzazione e mappatura simultanea, *Simultaneous Localization and Mapping*)
- Tipo di soluzione GNSS: da singola a doppia frequenza, misurazione del codice più precisa aumentata da GNSS differenziale (DGNSS) e SBAS.

LIVELLO 4 – Automazione elevata:

- Il requisito di posizionamento delle funzioni di guida autonoma è a livello di precisione decimetrica (nell'intervallo di 25 - 45 cm)
- La soluzione GNSS soddisfa questi requisiti, completata da sensori simili a quelli del livello 3 e da mappe 3D, comunicazione V2V e V2I.
- Tipo di soluzione GNSS: dalla doppia frequenza alla tripla frequenza, misure di fase della portante ad alta precisione tra cui Real-Time Kinematic (RTK, navigazione satellitare cinematica in tempo reale) o Precise Point Positioning (PPP, posizionamento preciso del punto), o una combinazione di entrambi, e crittografia di autenticazione

LIVELLO 5 – Automazione completa:

- Il requisito di posizionamento delle funzioni completamente senza conducente è a livello di precisione decimetrica/cm
- La soluzione GNSS soddisfa questi requisiti, integrata da sensori simili a quelli del livello 4, e da apprendimento automatico e intelligenza artificiale.
- Tipo di soluzione GNSS: come il livello 4, ma garantendo una maggiore robustezza da frequenza multipla, una migliore autenticazione, una migliore disponibilità e una soluzione molto efficiente di alta precisione / alta integrità.

5.4.3 SF-PPP

Il posizionamento preciso del punto a frequenza singola (SF-PPP, Single Frequency Precise Point Positioning) utilizza un ricevitore a basso costo con una singola frequenza, una singola antenna e una singola costellazione GNSS per fornire maggiori livelli di precisione posizionale per l'AV. Questo ha dimostrato di raggiungere una precisione di 50 cm [31].

5.5 PUNTI CIECHI DEL SATELLITE

Il posizionamento GNSS si basa sulla linea di visuale dal veicolo al satellite (o ai satelliti), quindi quando un veicolo è all'interno di una galleria il collegamento con il satellite viene perso e il veicolo non è più in grado di comunicare e stabilire la sua posizione. Ci sono varie soluzioni tecniche progettate per superare i problemi all'interno delle gallerie per mantenere le informazioni di posizionamento mentre il veicolo è fuori dalla vista dei satelliti. Così, il GNSS è normalmente assemblato con un sistema di navigazione inerziale (INS, *Inertial Navigation System*), tecniche di map-matching e di navigazione stimata. La navigazione nelle gallerie è anche supportata dalle informazioni fornite da radar, sensori video o correzioni differenziali dalle tecnologie delle stazioni a terra.

Lo stesso problema si verifica in alcune situazioni cittadine in cui gli alti grattacieli creano "canyon" in cui i segnali satellitari non possono raggiungere i ricevitori nei veicoli, la guida all'interno di parcheggi a multipiano o seminterrati presenta lo stesso problema. In questo caso, l'uso di segnali GNSS a multifrequenza può essere una soluzione appropriata per ridurre sostanzialmente le conseguenze della riflessione negli edifici (il cosiddetto "effetto *multipath*") che distorce il calcolo del posizionamento.

6 INFRASTRUTTURA DIGITALE – PROBLEMI DI DATI¹ COMUNI ALLA CONNETTIVITÀ E ALLE MAPPE DIGITALI

L'infrastruttura digitale è la rappresentazione digitale dell'ambiente stradale richiesta dai sistemi di guida automatica (ADS). Include la connettività tra il veicolo e l'infrastruttura stradale, l'infrastruttura di posizionamento, le mappe digitali e i collegamenti ai sistemi avanzati di gestione stradale. [32]

Il ruolo dell'infrastruttura digitale è quello di fornire:

- Supporto alle procedure interne
- Servizi agli utenti esterni, inclusi servizi di informazione per i viaggiatori
- Supporto ai veicoli connessi e autonomi.

Si prevede che i veicoli autonomi e le funzioni automatizzate che supportano l'ADAS a bordo del veicolo dovranno essere supportati da ulteriori dati e servizi digitali forniti dagli operatori della rete stradale (RNO, Road Network Operators). A questo proposito è importante capire la logica di base delle funzionalità ADAS. Un veicolo utilizza i dati di diversi sensori di bordo (tra cui telecamere, lidar e radar) e li fonde con dati esterni, ad esempio i dati delle mappe forniti da un fornitore di servizi cartografici o i dati ricevuti tramite interfacce C-ITS. In una cosiddetta "fase di percezione" tutti i dati dei sensori aggregati sono usati per costruire oggetti che risultano in un'analisi della situazione. Tutti i dati vengono interpretati per creare un "modello ambientale" che costituisce un requisito di base per le decisioni a bordo del veicolo di attivare o disattivare specifiche funzioni automatizzate. Se le funzioni automatizzate sono attivate, il "modello ambientale" è allineato con il dominio di progettazione operativa (ODD) dove le funzionalità automatizzate sono attivate.

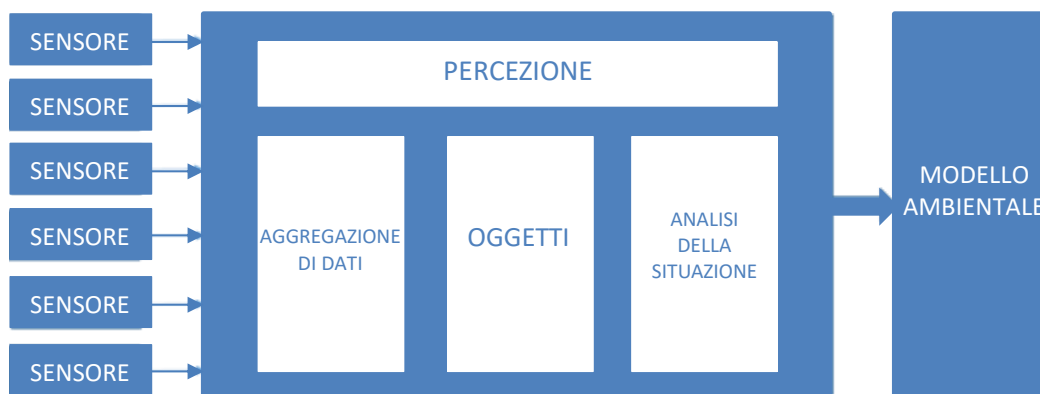


Immagine 39: Processo a bordo del veicolo per creare un modello ambientale

Nel contesto della "fase di percezione", i dati degli operatori della rete stradale sono altamente desiderati per supportare i compiti di guida automatizzata. Oltre ai requisiti di base dei dati in Europa, è attualmente in corso una discussione sul supporto delle funzioni automatizzate a bordo del veicolo in caso di eventi, come condizioni meteorologiche avverse, lavori stradali o altri incidenti sulla rete stradale. I cosiddetti "livelli di supporto dell'infrastruttura per la guida autonoma" (ISAD, Infrastructure Support levels for Automated Driving) si concentrano sulle condizioni di traffico misto e definiscono il livello di supporto per gli ADAS e per i veicoli non equipaggiati per consentire a tutti i veicoli della rete stradale di essere supportati con i rispettivi servizi.

¹ Vedi anche il rapporto PIARC "Dati relativi alla strada e come usarli" pubblicato nel dicembre 2020.

Questi livelli possono essere utilizzati per classificare l'infrastruttura stradale per i veicoli supportati, sia automatizzati che convenzionali. Una "strada di livello E" non fornisce alcun supporto infrastrutturale, mentre una "strada di livello A" fornisce pieno supporto alle funzioni ADAS tramite informazioni digitali e tramite infrastrutture fisiche come i pannelli a messaggio variabile (VMS) per i veicoli convenzionali. Si prevede che, sulla base delle informazioni ricevute dall'operatore della rete stradale, un veicolo decida di attivare/disattivare una funzione di guida automatica.

	Livello	Nome	Descrizione	Informazioni digitali fornite agli AV			
				Mappe digitali con segnali stradali statici	VMS, avvisi, incidenti, clima	Situazione microscopica del traffico	Assistenza: avviso di velocità, distanza, corsia
Infrastruttura convenzionale	E	Infrastrutture convenzionali /nessun supporto AV	Infrastrutture convenzionali senza informazioni digitali. Gli AV devono riconoscere la geometria stradale e i segnali stradali.				
	D	Informazioni digitali statiche/ supporto mappa	I dati della mappa digitale sono disponibili con i segnali stradali statici. I dati della mappa potrebbero essere completati da punti di riferimenti fisici. Semafori, lavori a breve termine e VMS devono essere riconosciuti dagli AV.	X			
Infrastruttura digitale	C	Informazioni digitali dinamiche	Tutte le informazioni infrastrutturali dinamiche e statiche sono disponibili in forma digitale e possono essere fornite agli AV.	X	X		
	B	Percezione cooperativa	L'infrastruttura è in grado di cogliere situazioni microscopiche di traffico e fornire questi dati agli AV in tempo reale.	X	X	X	
	A	Guida cooperativa	Basandosi sulle informazioni in tempo reale sui movimenti del veicolo, l'infrastruttura è in grado di guidare gli AV (gruppo di veicolo o veicolo singolo) per ottimizzare il flusso del traffico generale.	X	X	X	X

Immagine 40: Livelli di supporto dell'infrastruttura per la guida autonoma (ISAD) [33]

È evidente che non tutte le strade forniranno la stessa gamma o qualità di servizi agli utenti della strada, diversi segmenti lungo una strada forniranno diversi livelli di supporto. I colli di bottiglia e i tratti stradali critici per la sicurezza e gli incroci forniranno probabilmente un maggiore supporto AV, mentre un supporto più tradizionale sarà probabilmente fornito lungo le strade rurali e remote e nelle aree periferiche. Tali scenari riflettono anche la situazione attuale, in cui ci si può aspettare una migliore infrastruttura fisica, per esempio sulle autostrade piuttosto che sulle strade rurali di montagna nei boschi. L'immagine 40 mostra come potrebbe apparire una tale classificazione ISAD delle strade. Le informazioni di livello ISAD per tutti i tratti stradali devono essere descritte per fornire informazioni sull'ambiente operativo ai sistemi di bordo e ai fornitori di servizi associati. Di conseguenza, i conducenti verrebbero informati su quali servizi possono aspettarsi su quali collegamenti stradali.

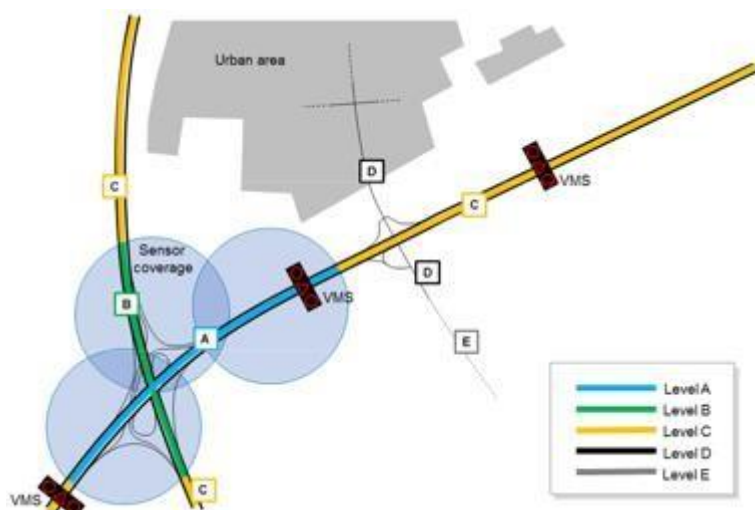


Immagine 41: Esempi di livelli ISAD lungo la rete stradale [33]

Le sezioni seguenti espandono ulteriormente sui dettagli degli elementi digitali necessari per supportare le funzioni ADAS da parte degli operatori della rete stradale, in particolare in relazione ai processi di elaborazione e gestione dei dati.

6.1 GESTIONE DEI DATI PER GLI OPERATORI DELLE RETI STRADALI

Se un operatore della rete stradale intende fornire informazioni digitali nei veicoli, è necessario stabilire processi adeguati oltre ai sistemi tecnici e alle attrezzature necessarie. La Task Force B.1 di PIARC ha pubblicato un rapporto tecnico su "Big Data for Road Network Operations" [21], descrivendo il quadro per la gestione e l'utilizzo dei big data basato sulle migliori pratiche globali. In particolare, la gestione dei big data si occupa delle capacità di elaborare grandi quantità di dati e di eseguire una corretta analisi dei dati utilizzando l'intelligenza artificiale (AI) e le tecniche di apprendimento automatico. Per facilitare la creazione di un'infrastruttura digitale, le competenze su big data, AI, Internet of Things (IoT) ecc. sono molto utili agli operatori della rete stradale per fornire informazioni accurate e affidabili in un veicolo. L'impostazione di adeguate procedure di analisi dei dati si tradurrà in servizi di grande valore a sostegno delle funzioni ADAS. La fornitura di servizi con contenuti tempestivi di alta qualità, con informazioni di posizionamento accurate (anche con dettagli specifici della corsia) saranno indubbiamente utilizzati nei sistemi dei veicoli.

6.1.1 Requisiti sui dati

Ci sono principalmente due tipi di dati che devono essere usati dai veicoli autonomi, statici e in tempo reale. I dati statici forniscono una descrizione generale delle caratteristiche della strada così come i requisiti legali (ad esempio, le regole della strada e le priorità degli utenti generali per prendere decisioni). I dati in tempo reale forniscono informazioni accurate sulle condizioni attuali della strada, sugli incidenti e sui regolamenti attivi attuali (ad esempio, limiti di velocità variabili o restrizioni della corsia dinamica). La "qualità nota" è un requisito fondamentale per entrambi i tipi di dati. I dati intelligenti sono definiti come dati accurati strutturati con benefici noti che servono a casi d'uso specifici.

La proprietà e le risorse di base dei dati utilizzati per supportare le funzioni ADAS devono essere risolte. È importante sapere da dove vengono i dati e chi possiede i dati forniti. Solo se la risorsa è conosciuta e convalidata, i dati possono essere utilizzati per il supporto dell'infrastruttura digitale.

Per i dati stessi è di grande importanza una raccolta di dati strutturato, dove i dati grezzi sono strutturati in modo da eliminare gli outlier spuri. I dati falsi devono essere eliminati e solo i dati affidabili devono essere utilizzati nella raccolta di dati che costituisce la base per i servizi degli RNO che supportano le funzioni ADAS.

Anche lo scopo della raccolta originale dei dati deve essere compreso, specialmente quando è possibile che i dati raccolti possano essere riutilizzati per altri scopi, ad esempio per supportare le funzioni ADAS. I dati raccolti da un incrocio stradale (cioè un'intersezione) per questioni di pianificazione del traffico possono avere un livello di aggregazione intrinseco nel processo di raccolta che non può essere facilmente disaggregato. La qualità di tali dati potrebbe non soddisfare le esigenze di altri usi che richiedono informazioni più disaggregate (ad esempio, quando sono necessarie informazioni specifiche sulla corsia). Di conseguenza, i dati che hanno un'alta qualità per uno scopo potrebbero avere una qualità bassa o addirittura nulla per un altro caso d'uso. Per il supporto delle funzioni ADAS, è importante essere chiari sulla potenziale utilità dei dati preesistenti, specialmente per quanto riguarda la sicurezza, l'efficienza, l'assistenza ambientale o l'applicazione della legge.

Per le ragioni descritte, è necessaria una corrispondente e chiara spiegazione della raccolta di dati, indicata come metadati-informazioni. I metadati descrivono idealmente il contenuto e la struttura dei dati così come lo scopo principale per cui i dati sono stati raccolti. A questo proposito la Commissione europea ha pubblicato la specifica DCAT-AP (Data Catalogue Vocabulary - Application Profile) per i metadati [34], che fornisce una guida per descrivere la raccolta di dati in una struttura armonizzata. Questa specifica è usata come base per l'accesso ai dati nei punti di accesso europei per i dati relativi ai trasporti [35].

6.1.2 Elaborazione e gestione dei dati

I dati sono la base per abilitare nuovi servizi, come quelli per i servizi di supporto ai veicoli autonomi. Tuttavia, i dati grezzi hanno solo un beneficio marginale o un valore utile limitato da loro stessi. Di solito i dati devono essere elaborati per creare nuove informazioni o combinati con altri dati complementari per migliorare i servizi esistenti. Questa generazione di servizi a livello di operatore della rete stradale viene fatta in centri di gestione del traffico integrati e olistici. Pertanto, è molto importante istituire processi interni e competenze tecniche per elaborare i dati in tempo reale per consentire un supporto altamente affidabile e di qualità alle funzioni ADAS nei veicoli equipaggiati.

Nell'impostare adeguati meccanismi di elaborazione dei dati è importante che i servizi risultanti non servano solo ai veicoli automatizzati, ma a varie interfacce per le parti interessate interne ed esterne che hanno bisogno di beneficiare di una qualità del servizio migliorata. Questi servizi con una qualità migliorata non solo supporteranno la gestione interna delle risorse e le questioni di pianificazione, ma assisteranno anche le parti interessate esterne che possono beneficiare di un'ampia gamma di servizi, come mostrato nell'immagine 42. Questa fornitura di servizi attraverso diverse interfacce deve essere supportata da strutture adeguate di gestione dei dati in cui sia gli utenti interni che quelli esterni devono avere accesso allo stesso insieme di dati attraverso accordi e controlli appropriati. Tale infrastruttura deve evitare la duplicazione dei dati o la fornitura di dati simili con contenuti opposti e di qualità diversa.

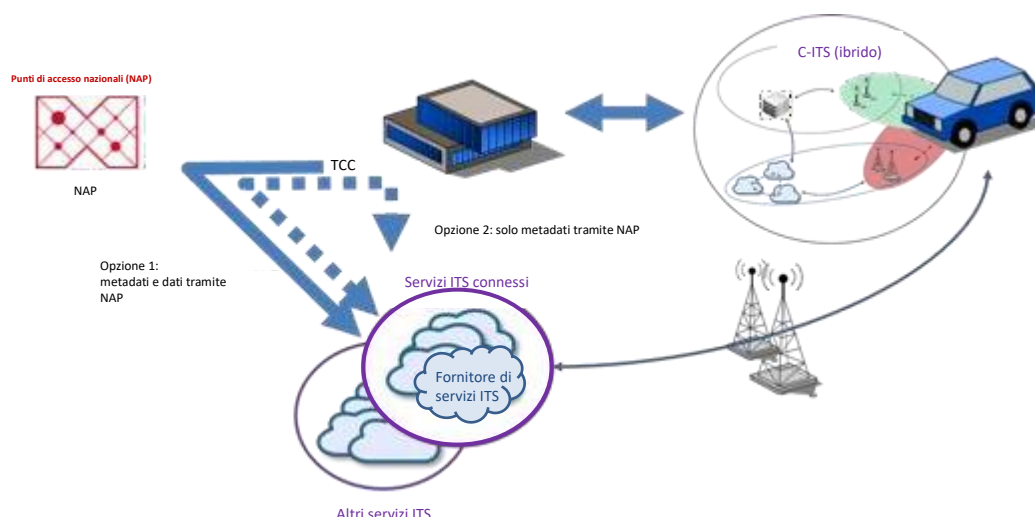


Immagine 42: Parti interessate nello scambio di dati delle RNO [36]

All'interno dell'immagine 42 l'attenzione si concentra sui dati e sulla fornitura di servizi dalle autorità della rete stradale verso le parti interessate esterne, compresi i veicoli connessi e autonomi. Il centro di gestione del traffico (TMC, *traffic management centre*) o centro di controllo del traffico (TCC, *traffic control centre*) come mostrato nella figura, gestito da un operatore della rete stradale, elabora tutti i dati e fornisce l'accesso ai dati così come a servizi migliori attraverso diverse interfacce. Tutte le parti interessate esterne sono servite dallo stesso sistema centrale. In questo esempio, i dati possono essere forniti attraverso punti di accesso nazionali (NAP, National Access Points) (opzione 1), che è un obbligo europeo da istituire nei paesi dell'UE. I fornitori di servizi ITS possono accedere a questi dati tramite il NAP. In alternativa, il NAP può fornire solo un tipo di servizio di catalogo basato su metadati che reindirizza la richiesta all'autorità della rete stradale, nel qual caso l'accesso ai dati potrebbe essere dato direttamente dall'operatore della rete stradale (opzione 2). Un fornitore di servizi ITS potrebbe quindi utilizzare i dati ricevuti per i propri servizi, ad esempio informazioni per i viaggiatori o servizi di navigazione.

Inoltre, il TMC (o TCC) può anche scambiare dati e servizi con i veicoli connessi utilizzando la propria infrastruttura C-ITS. I servizi C-ITS possono basarsi sulla comunicazione diretta a corto raggio o tramite servizi cloud per la comunicazione a lungo raggio utilizzando le reti cellulari come esempio. È importante ribadire che qualunque sia l'interfaccia utilizzata, i dati scambiati o trasmessi devono sempre provenire da una struttura centrale di gestione dei dati istituita presso il TMC (o TCC) dell'operatore della rete stradale.

Ci si aspetta anche che i dati raccolti dai veicoli siano accessibili per l'uso da parte degli operatori della rete stradale. I singoli veicoli potrebbero servire come sensori in movimento migliorando i dati e la qualità del servizio dell'operatore della rete stradale. Questo scambio di dati e l'accesso ai dati apre diverse questioni aggiuntive riguardanti l'accesso ai dati in generale e in particolare sull'uso dei dati, gli aspetti legali e il costo dei dati.

6.2 ACCESSO AI DATI

Per permettere l'uso corretto dei dati per la gestione del traffico, così come per la creazione di servizi a supporto delle funzioni ADAS, l'accesso ai dati è fondamentale. L'uso di interfacce standardizzate per lo scambio di dati, basate su standard universali, è altamente raccomandato. Tali interfacce standardizzate permettono un facile accesso e utilizzo dei dati senza processi intermedi di conversione complessi, poiché durante i processi di conversione gli elementi di dati e le conoscenze critiche potrebbero andare persi. Le interfacce proprietarie sono usate principalmente per rafforzare una dipendenza diretta tra un fornitore di dati o di componenti e un utente di dati.

Tuttavia, in un mondo che si muove velocemente, l'uso di interfacce standardizzate è altamente raccomandato per assicurare la flessibilità in termini di relazioni commerciali, anche dopo l'installazione di componenti o la creazione di una cooperazione. Inoltre, ulteriori fornitori di dati che contribuiscono a nuovi livelli di qualità, o la creazione di nuovi servizi, possono essere facilmente aggiunti utilizzando un'interfaccia di scambio dati standardizzata.

Oltre agli aspetti tecnici della qualità, dell'accesso e dell'uso dei dati, devono essere considerate diverse altre questioni relative agli aspetti commerciali e legali quando si discute dell'accesso e dell'uso dei dati. Le questioni di responsabilità, in particolare, sono sviluppate in [Austroads Report (AP-R581-18) Sezione 2.1]

6.2.1 Disponibilità a fornire accesso ai dati

I dati hanno un valore monetario. In linea di principio tutti gli attori devono essere ragionevoli quando condividono i dati e danno accesso a terzi. Di solito, la condivisione dei dati si basa su modelli di cooperazione tra diversi attori che chiariscono il contenuto dei dati, sulla base di descrizioni di metadati, e i dettagli del contratto commerciale. Prima di discutere ulteriormente i modelli di cooperazione, i principi di accesso ai dati relativi ai diversi attori nel campo della guida autonoma devono essere discussi e concordati.

Dati di proprietà degli operatori della rete stradale

In molti casi gli operatori della rete stradale sono enti pubblici e devono seguire i regolamenti nazionali sull'accesso ai dati. In molte aree, i dati pubblici sono trattati come esistenti per il bene pubblico, il che si traduce generalmente in una politica di dati aperti. In Europa, per esempio, diversi regolamenti europei definiscono l'accesso ai dati di proprietà di enti pubblici. A volte ci sono solo regolamenti molto generici per tutti i tipi di dati pubblici, ma ci sono anche regolamenti nel settore dei trasporti che definiscono le categorie di dati che devono diventare disponibili al pubblico. Questi regolamenti hanno lo scopo di dare accesso ai dati pubblici da parte delle aziende private per la generazione di nuovi servizi. Così, di solito gli operatori della rete stradale sono obbligati a dare accesso ai loro dati sulla base di un principio di costo marginale. Questo principio del costo marginale può essere utilizzato anche per la fornitura di servizi da parte dell'operatore della rete stradale.

Attualmente la maggior parte degli operatori della rete stradale non sono disposti a fornire alcuna garanzia (limitando così la loro responsabilità) per qualsiasi dato fornito [37]. Questo è il caso soprattutto perché l'attuale legislazione per le operazioni sicure della rete stradale (nella maggior parte, se non in tutte le giurisdizioni) considera ancora l'infrastruttura fisica, compresi i segnali stradali e la segnaletica orizzontale, come l'elemento normativo. La necessità di operare un'infrastruttura digitale che fornisca regolamenti in un formato digitale leggibile dalla macchina, compresa la digitalizzazione degli atti nazionali sul traffico stradale, può essere richiesta per funzioni più automatizzate a bordo del veicolo. A questo proposito, gli organismi di standardizzazione hanno già iniziato a lavorare sulla gestione dei regolamenti elettronici del traffico (METR, *management of electronic traffic regulations*); in futuro potrebbero sorgere questioni di responsabilità nei confronti delle autorità della rete stradale.

Dati di proprietà di privati

I privati associati alle operazioni dei veicoli automatizzati includono i produttori di veicoli, gli operatori di telecomunicazioni, i fornitori/operatori di mappe digitali e altri fornitori di servizi C-ITS. Di solito, i privati non sono direttamente interessati dalla legislazione nazionale sulla fornitura di dati. Ciò è dovuto al fatto che i dati e i servizi forniti ai privati sono parti incrementali del loro sviluppo commerciale e delle loro offerte di prodotti. Pertanto, i privati sono in linea di principio molto cauti nel permettere l'accesso ai loro dati. Questo può impedire ai concorrenti di fornire la

stessa qualità di servizio, permettendo allo sviluppatore di un prodotto di mantenere un legittimo vantaggio di mercato basato sul suo investimento. Poche aziende saranno probabilmente disposte a condividere i loro dati - per evitare che i loro concorrenti ottengano informazioni sul loro attuale stato di sviluppo.

Per i veicoli autonomi, lo scambio di dati di tipi specifici tra diversi attori e veicoli di marche diverse sarà una preconditione per il successo della loro diffusione. La comunicazione veicolo-veicolo (V2V), dove un veicolo informa l'altro su possibili situazioni pericolose, è molto importante e richiede un livello di collaborazione e scambio di dati. Attualmente non è definito che tipo di dati dovranno essere scambiati tra diversi veicoli per un normale compito di guida, e quali dati saranno generati dai sistemi di bordo. Per i veicoli che viaggiano ad alta velocità in un ambiente di veicoli misti, lo scambio di dati veicolo-veicolo sarà di grande importanza per allargare l'orizzonte operativo di un singolo veicolo. Gli attuali sensori di bordo forniscono una visione d'insieme dei dintorni di un veicolo fino a circa 300 metri più avanti. Per un veicolo che viaggia a 120 km/h, avrebbe potenzialmente una panoramica ragionevole delle condizioni imminenti entro i successivi 9 secondi, a seconda del traffico e delle condizioni ambientali. La relativa brevità di questo periodo potrebbe portare a movimenti improvvisi e incontrollabili che potrebbero essere sperimentati in flussi di traffico non armonizzati. Lo scambio di dati tra i singoli veicoli amplierebbe drasticamente il potenziale orizzonte operativo, consentendo un funzionamento più sicuro dei veicoli e flussi di traffico più efficienti.

Gli operatori della rete stradale beneficerebbero dei dati generati dai privati. Se, per esempio, i dati statici sulla geometria forniti dagli operatori della rete stradale non sono abbastanza accurati, un ciclo di feedback da parte dei privati riguardo a una modifica della geometria aiuterebbe tutti gli attori del settore. I dati dinamici relativi all'efficienza o alla sicurezza sono di grande importanza per gli operatori della rete stradale. I dati generati privatamente potrebbero aiutare gli operatori a migliorare i processi di manutenzione. Attualmente i dati di questo tipo detenuti da privati sono difficilmente accessibili a costi ragionevoli, soprattutto per questioni di business, dove altri privati potrebbero anche beneficiare ingiustamente di servizi basati su questi dati.

Tuttavia, quando è in gioco il benessere pubblico, come la sicurezza degli utenti della strada, potrebbe essere necessaria una legislazione sull'accesso ai dati che deve essere seguita dai privati. Un esempio è con le chiamate di emergenza, dove i produttori di veicoli devono fornire l'accesso ai dati relativi agli incidenti tramite gli operatori di telecomunicazione ai servizi di emergenza.

Una situazione simile per quanto riguarda la sicurezza sta ora emergendo nei veicoli connessi. In Europa, esiste una legislazione [38] che identifica le categorie in cui i privati devono fornire accesso ai dati gratuitamente. Questo include categorie come l'identificazione di un manto stradale scivoloso o l'identificazione di conducenti che guidano contromano. In questi casi, i privati sono obbligati a fornire l'accesso ai loro dati, se questo contribuisce al miglioramento della sicurezza stradale.

Dati di proprietà di singoli individui

In linea di principio, è l'individuo che deve decidere se i dati generati dai suoi veicoli possono essere inoltrati e utilizzati. [39] Tuttavia, di solito l'individuo ha solo un'influenza limitata sui suoi dati - quando si firma un contratto (ad esempio per un veicolo o per un operatore di rete mobile), anche i diritti sull'uso dei dati sono generalmente consegnati al produttore o al fornitore di servizi.

In alternativa, quando si considerano i veicoli connessi in cui i veicoli scambiano dati con veicoli o infrastrutture, è prevedibile che il proprietario del veicolo possa decidere se fornire l'accesso ai dati generati dal veicolo stesso. Questo principio è seguito in Europa [40], dove il proprietario del veicolo

deve dare il suo consenso all'uso dei dati e a chi può essere dato, compreso lo scopo specifico per l'uso dei dati e quindi per il servizio identificato. È prevedibile che ci sarà sempre un'opzione di out-out per i clienti finali e gli interessati ai dati.

Sulla base di questo principio generale è importante che gli operatori della rete stradale informino i viaggiatori sullo scopo per cui i loro dati saranno utilizzati. La disponibilità dei viaggiatori ad accettare un livello ridotto di privacy probabilmente aumenterà se si percepisce un chiaro beneficio reciproco. Rendere la strada più sicura o migliorare l'efficienza potrebbe essere un buon argomento per convincere i conducenti a fornire l'accesso ai loro dati. In parallelo i servizi di supporto devono essere esposti e resi comprensibili per gli utenti della strada. Per altre categorie di servizi (come l'applicazione della legge), la legislazione nazionale deve essere preparata in quanto la maggior parte dei conducenti non sarebbe disposta a consegnare volontariamente i dati alle autorità stradali per l'applicazione della legge. Soprattutto nei paesi a basso e medio reddito (LMICs, *low and middle income countries*), le strategie di applicazione della legge potrebbero avere un impatto significativo sulla sicurezza. Pertanto, la legislazione nazionale deve essere preparata per implementare tali servizi.

Modelli di cooperazione per dare accesso ai dati

In generale, i privati si preoccupano di aprire i loro dati ad altri, principalmente per questioni di concorrenza. Tuttavia, per permettere il successo attraverso l'automazione di parti del sistema di mobilità, la cooperazione e lo scambio di dati tra tutti gli attori coinvolti - pubblici, privati e individuali - è essenziale.

Pertanto, è necessario preparare dei modelli di cooperazione, soprattutto per quanto riguarda l'accesso ai dati da parte di privati. Tali modelli di cooperazione devono garantire che i dati forniti ai fini della sicurezza stradale da privati non siano utilizzati per scopi commerciali dai concorrenti. Inoltre, è necessario garantire che i dati a cui si accede siano utilizzati per lo scopo specifico in questione (ad esempio per informazioni sulla sicurezza stradale) e non per servizi commerciali concorrenti senza contribuire all'obiettivo in questione [41].

Insieme ai principi generali e legali di un modello di cooperazione, deve essere preparato anche il quadro tecnico. Di solito, i formati di dati utilizzati e le descrizioni delle interfacce per accedere ai dati fanno parte del modello di cooperazione. Idealmente tale cooperazione è impostata in modo ampio, coinvolgendo una vasta gamma di attori. Questo è importante per evitare accordi contorti e potenzialmente contraddittori tra i singoli attori coinvolti.

6.2.2 Aspetti legali sui dati

Come discusso in precedenza, per quanto riguarda l'accesso ai dati, la legislazione statale e nazionale deve essere di supporto per consentire lo scambio di dati tra tutti gli attori coinvolti nel settore dei veicoli autonomi. Oltre agli elementi di accesso ai dati, devono essere considerate anche le questioni di privacy e sicurezza.

Privacy

La protezione delle informazioni personali è un principio chiave quando si tratta di dati. Il rapporto tecnico PIARC su "Big Data for Road Network Operations" [21] fornisce una panoramica degli esempi internazionali di regolamentazione dei dati personali. In linea di principio, un approccio "privacy by design" deve essere seguito quando si tratta di dati e servizi. Questo principio deve essere implementato usando misure tecniche e organizzative. Quando si tratta di dati personali (per esempio i dati individuali raccolti dal veicolo), devono essere messi in atto meccanismi per rendere anonimi i dati personali prima di trasmetterli a qualsiasi entità di trattamento dei dati.

Inoltre, i principi della privacy dovrebbero essere chiaramente documentati e applicati all'interno degli accordi di cooperazione tra i diversi attori. Solo se la legislazione legale lo permette (ad esempio per questioni di applicazione), la raccolta di dati privati può essere permessa e l'approccio "privacy by design" può essere evitato.

Protezione dei dati

La protezione dei dati è un elemento centrale, quando si tratta di scambio e accesso ai dati per quanto riguarda i veicoli autonomi. Devono essere considerati due aspetti diversi per quanto riguarda la protezione dei dati. In primo luogo, la protezione dei dati all'interno delle entità che detengono ed elaborano i dati, che possono essere entità pubbliche o private o un veicolo autonomo. In secondo luogo, il canale di comunicazione per lo scambio di dati tra entità deve essere sicuro.

Per un'azienda pubblica o privata la protezione dei dati è un principio fondamentale, come discusso nel rapporto tecnico PIARC su "Big Data for Road Network Operations." [21] Quando si tratta della protezione dei dati all'interno del sistema di guida autonoma all'interno del veicolo, diventa più difficile. Concetti olistici per la cybersicurezza per evitare qualsiasi manipolazione dei dati che abilitano o supportano le funzioni di guida autonoma sono ancora in fase di sviluppo.

Per garantire una comunicazione sicura, in primo luogo bisogna riconoscere che solo i dati necessari devono essere scambiati tra i diversi attori. Inoltre, per lo scambio di questi dati necessari tra diversi attori, deve essere messa in atto una metodologia di crittografia adeguata per garantire che ogni attore che interagisce possa fidarsi dei dati scambiati. Questo è necessario come misura preventiva contro gli attacchi e l'uso improprio dei dati. Per quanto riguarda la crittografia del canale di comunicazione stesso, le diverse strategie sono discusse nel rapporto tecnico PIARC su "Connected Vehicles - Challenges and Opportunities for Road Operators" [21].

6.2.3 Costo dei dati

La fornitura di dati e servizi da parte di un operatore della rete stradale basata sul principio del costo marginale, come discusso in precedenza, deve servire i principali interessi dell'operatore - migliorare la sicurezza e l'efficienza e ridurre l'impatto ambientale della mobilità. Di conseguenza, dovrebbe essere nell'interesse dell'operatore della rete stradale fornire dati rilevanti per servire le funzioni che contribuiscono agli impatti positivi. Anche se un ente pubblico decide di fornire gratuitamente i dati secondo il principio dei dati aperti, ciò non significa che questi dati non abbiano un costo (per l'ente pubblico). Il denaro del contribuente o dell'utente della strada viene solitamente utilizzato per acquistare o raccogliere i dati necessari per fornire servizi adeguati nel veicolo automatizzato.

Quando si tratta di dati di proprietà di entità private, dove i dati sono parte del loro business quotidiano, l'accesso ai dati è di solito basato su modelli commerciali, dove gli operatori della rete stradale potrebbero acquistare specifiche raccolte di dati. Questo è l'attuale stato della situazione per le questioni di gestione del traffico così come per i servizi di informazione ai viaggiatori forniti dagli operatori della rete stradale. Tuttavia, in un sistema di mobilità automatizzato tutti gli attori dovranno lavorare in stretta collaborazione per ottenere i benefici desiderati in termini di sicurezza, efficienza e impatto ambientale. Dal punto di vista degli operatori della rete stradale, l'acquisto di dati in base al principio del costo marginale potrebbe essere un'opzione. Ma usare il denaro dei contribuenti per acquistare dati da società private ai prezzi correnti di mercato può essere difficile da giustificare, insieme alla complicazione della potenziale inclusione dei dati personali degli individui. A questo proposito, le attuali politiche degli operatori della rete stradale in tutto il mondo sono altamente frammentate e non adattate alle questioni emergenti o future con i *big data* in relazione al sistema di mobilità automatizzata.

Tuttavia, come indicato nella sezione 6.2.1, sono attualmente in corso processi legislativi che faciliterebbero l'accesso ai dati generati a bordo dei veicoli da parte degli operatori della rete stradale. L'accesso ai dati rilevanti per la sicurezza è il punto di partenza, a cui potrebbe seguire l'accesso ai dati sul flusso di traffico.

Quando si guarda alle funzioni future dei sistemi di guida autonoma, anche i dati sulle emissioni dei singoli veicoli possono essere interessanti per gli operatori della rete stradale. In tutto il mondo si stanno introducendo "zone a basse emissioni" nelle città e in altre aree sensibili. Se un'auto automatizzata può indicare che può operare con basse emissioni, dovrebbe essere autorizzata a entrare nelle "zone a basse emissioni". Le politiche future potrebbero concentrarsi sul dare alla mobilità fisica l'accesso ad aree specifiche basate sull'accesso reciproco ai dati rilevanti dei veicoli o di altri utenti della strada.

Quando si discute dei costi dei dati, è necessario considerare le esigenze individuali degli utenti. Un futuro viaggiatore accetterà costi aggiuntivi per lo scambio di dati? Molto probabilmente no, poiché i viaggiatori hanno una disponibilità limitata a pagare per le funzioni di connettività dei veicoli. Tuttavia, tutti gli attori, compresi i produttori di veicoli e gli operatori di telecomunicazioni, dovranno cercare dei modi per rendere i servizi più accessibili e attraenti per aumentare la disponibilità a pagare.

6.2.4 Ambienti di dati affidabili

Per quanto riguarda l'accesso e la protezione dei dati, la creazione di un ambiente di dati affidabili è fondamentale. Tutti gli attori sono desiderosi di fidarsi dei dati che vengono utilizzati per supportare le funzioni di guida automatizzata. Tuttavia, la fiducia diventa ancora più difficile da ottenere quando partecipano più dati e fornitori di servizi. Un aspetto chiave per l'ulteriore sviluppo delle funzioni automatizzate all'interno dei veicoli è come garantire che i dati trasmessi dai veicoli di marche diverse possano essere affidabili. Allo stesso modo, come garantire che i dati provenienti da diverse autorità possano essere affidabili - come gli operatori autostradali, le autorità stradali regionali e gli operatori stradali urbani. La creazione di un ambiente affidabile va ben oltre i semplici principi di protezione dei dati discussi nella sezione 6.2.2 e deve essere basata sui modelli di cooperazione discussi nella sezione 6.2.1.

Ci sono due modi principali per impostare un ambiente fidato. O può essere impostato come infrastruttura centrale con un server neutrale per la condivisione dei dati, o deve diventare un sistema decentralizzato, ad esempio come infrastruttura basata su cloud, dove l'accesso ai dati è basato su accordi comuni.

Quando si crea un'infrastruttura server centrale, una parte fidata avrà accesso a tutti i dati rilevanti attraverso interfacce definite. Sulla base di modelli di cooperazione, la parte fidata fornirà l'accesso ai dati per le singole parti con i necessari controlli di accesso e di privacy. Questo permetterà a tutti gli attori di avere accesso ai dati concordati per preparare i servizi per le funzioni automatizzate a bordo dei veicoli. Un tale modello assicura che tutti i dati siano memorizzati centralmente, ma la domanda rimane "chi è nella posizione di gestire l'infrastruttura centrale di condivisione dei dati?"

In un sistema decentralizzato un'entità centrale ha bisogno di curare un servizio-catalogo che fornisca informazioni sui metadati delle raccolte di dati accessibili, comprese le questioni contrattuali per l'accesso ai dati, come i costi o l'uso appropriato dei dati. Il successivo trasferimento dei dati è direttamente tra diverse entità in base al modello di cooperazione concordato. Anche se il secondo modello sembra più complicato, da una prospettiva commerciale sembra attualmente più promettente.

7 IMPATTI SULLE OPERAZIONI DELLA RETE STRADALE (RNO)

7.1 IMPATTI DELL'AUTOMAZIONE SULLE RNO

I veicoli autonomi e le varie funzioni automatizzate, associate ai veicoli a guida umana e a quelli connessi, stanno attualmente emergendo e devono ancora maturare o essere in uso diffuso. Anche se molte giurisdizioni stanno rendendo possibile l'uso di strade pubbliche a veicoli con vari livelli di automazione, il numero di veicoli automatizzati o parzialmente automatizzati che operano sulle strade pubbliche è ancora molto basso. Attualmente, non ci sono veicoli autonomi di livello 4 o 5 disponibili in commercio. La maggior parte dei veicoli con alti livelli di automazione sono oggetto di prove e progetti pilota.

Con numeri così bassi e con la tecnologia e l'automazione ancora in fase di sviluppo e test, la valutazione dell'impatto dell'automazione sulle operazioni della rete stradale (RNO, Road Network Operations) non può attualmente essere misurata nella maggior parte delle applicazioni previste. Alcuni progetti pilota stanno valutando specifiche funzioni automatizzate e sono in grado di indicare alcuni primi impatti in contesti operativi molto ristretti. Le aspettative attuali degli impatti sulle RNO tendono ad essere in gran parte basate su varie forme di modellazione o previsione. Nell'ultimo decennio o più sono state rese pubbliche molte previsioni che sostengono che una più ampia adozione dell'automazione dei veicoli porterà a significativi cambiamenti positivi. Più recentemente si può osservare che le previsioni precedenti sui grandi cambiamenti positivi sono state riviste in alcune aree con previsioni più moderate e forse più realistiche, dato che la nuova ricerca e la comprensione si stanno sviluppando con una maggiore esposizione al mondo reale alle interazioni complesse dei veicoli.

In questo ambiente di aspettative mutevoli, molti operatori della rete stradale stanno cercando di capire il loro contributo per sostenere e permettere il funzionamento su strada dei veicoli autonomi. Ci si aspetta un ampio impatto su come le strade funzioneranno e saranno gestite in un futuro automatizzato. L'adozione di veicoli automatizzati può avere un impatto su come e dove gli operatori investono in strade e infrastrutture stradali. I cambiamenti nel modo in cui i veicoli interagiscono e come le strade vengono utilizzate potrebbero avere un impatto sui sistemi e sugli strumenti di controllo del traffico esistenti e su come vengono utilizzati dagli operatori sia per le condizioni operative ricorrenti che per quelle interrotte.

Due aree principali di attenzione sono il probabile impatto sulla capacità o la congestione delle strade e gli impatti sulla sicurezza stradale. Una terza grande area di attenzione è la mutata efficienza del viaggio dei veicoli (per esempio, la riduzione dei costi del carburante e di altri costi operativi associati attraverso aspetti di platooning e altre forme di formazione di stringhe), specialmente per certe classi di veicoli come i camion coinvolti nel trasporto merci. I casi d'uso emergenti che coinvolgono le navette automatizzate e lo spostamento in corso verso la mobilità condivisa e la mobilità su richiesta (mobilità come servizio - MaaS, *mobility as a service*) hanno anche il potenziale per influenzare le RNO in modi diversi. Il potenziale impatto sulla sicurezza stradale è discusso più in dettaglio nel Capitolo 9.

7.2 IMPATTI SULLE OPERAZIONI DI TRAFFICO E SULLA CAPACITÀ STRADALE

Una delle aree chiave di attenzione e dei potenziali benefici dell'AV sulle RNO è l'aumento nella capacità delle infrastrutture stradali esistenti.

Ci sono diverse interazioni tra conducente e veicolo che in parte determinano la quantità di traffico che può essere servita, per unità di tempo. Per esempio, c'è un'aspettativa generale che i veicoli connessi e autonomi (CAV) saranno in grado di viaggiare in sicurezza con una distanza tra

veicoli molto inferiore rispetto a quella degli attuali veicoli controllati dall'uomo. Distanze più brevi portano all'ipotesi generale che più automobili, viaggiando più vicine tra loro per unità di tempo, saranno in grado di passare attraverso un tratto di strada, aumentando così il flusso in uscita e aumentando teoricamente la capacità operativa di un segmento stradale.

Un secondo aspetto che deve essere considerato per realizzare qualsiasi impatto tecnologico è il livello di penetrazione della tecnologia all'interno della più ampia flotta di veicoli e i servizi disponibili che i conducenti desiderano sottoscrivere e utilizzare. Per alcune funzioni automatizzate, i tassi di penetrazione potrebbero non aver bisogno di essere elevati per ottenere un cambiamento ragionevole nei risultati complessivi, tuttavia, altre funzioni potrebbero richiedere una penetrazione molto alta o praticamente al 100% prima che si possano raggiungere traguardi considerevoli.

La combinazione di funzioni automatizzate mature e collaudate che possono davvero avere un impatto sulla capacità (positivamente) e sulle soglie minime di penetrazione (ad esempio, maggiori del 40% per alcune funzioni) devono essere soddisfatte prima che si possano misurare gli impatti reali sulle reti stradali pubbliche. In assenza di queste due condizioni, la modellazione dei trasporti (a vari livelli di dettaglio) è attualmente lo strumento principale utilizzato per tentare di capire una vasta gamma di scenari "e se...?".

Alcuni studi recenti hanno indagato l'impatto delle operazioni dei veicoli modificati in una microsimulazione, che permette di tenere conto nella valutazione delle interazioni dei singoli veicoli. I veicoli sono modellati con varie ipotesi di comportamento del "conducente" applicate che controllano come potrebbero interagire con altri veicoli modellati, simulando l'inclusione di funzioni del veicolo autonomo. Utilizzato in combinazione con stime ragionevoli di penetrazione all'interno della flotta di veicoli complessiva, sono stati pubblicati alcuni risultati utili e illuminanti che considerano i potenziali cambiamenti alla capacità operativa della strada nel tempo con una maggiore penetrazione CAV e cambiamenti tecnologici.

Per esempio, il Karlsruhe Institute of Technology, l'Institute for Transport Studies insieme alla Technical University di Monaco in collaborazione con PTV Group hanno intrapreso uno studio dettagliato, concentrandosi sull'impatto dei veicoli autonomi sul flusso ininterrotto sulle autostrade (Autobahn) tedesche. Il lavoro è stato intrapreso per conto e con la cooperazione dell'Associazione tedesca di ricerca sulla tecnologia automobilistica (FAT) [42].

I risultati indicano che piuttosto che esserci un aumento significativo previsto nella capacità operativa delle autostrade tedesche, si è scoperto che i probabili risultati erano meno ottimistici di molti studi precedenti. Di impatto primario sono stati i fattori di lenta penetrazione CAV e le restrizioni sulla capacità delle funzioni di automazione di spingere veramente i limiti e prendere "rischi" al di là di ciò che i conducenti umani avrebbero attualmente considerato.

Nel breve-medio termine (fino al 2050), lo studio ha indicato che la capacità operativa dovrebbe diminuire. Questo è dovuto ai bassi tassi di penetrazione combinati con le limitazioni dell'automazione in cui i veicoli autonomi sarebbero tenuti a interagire in modo più conservativo rispetto ai conducenti umani. Questo comportamento più conservativo è dovuto ai limiti attuali dei sensori, alla maturazione in corso delle tecnologie e dei sistemi di comunicazione e, in una certa misura, all'esposizione al rischio che la tecnologia in via di sviluppo non funzioni, non reagisca come previsto o non sia rapida come richiesto.

A più lungo termine (oltre il 2050), sono previsti modesti aumenti della capacità operativa media, tuttavia, sono necessari cambiamenti significativi nelle tecnologie connesse e di controllo, nonché livelli significativi di penetrazione dei veicoli con livello di automazione 4 / 5.

Anche sotto questi scenari, lo studio riconosce che diversi tipi di segmenti stradali saranno soggetti a livelli variabili di aumento della capacità operativa. L'estensione dei risultati della modellizzazione all'intera rete autostradale in Germania nello studio suggerisce che è possibile ottenere un aumento del 30% della capacità e quindi una riduzione dei ritardi del traffico e dei costi per gli utenti. Si nota che i risultati derivati da un approccio simile alla modellizzazione del traffico nelle reti autostradali di altri paesi possono mostrare risultati diversi a causa della natura unica dei tipi di segmenti autostradali e della misura in cui essi possono avere un impatto sulla capacità complessiva della rete.

L'immagine 43 mostra i cambiamenti di capacità previsti per i diversi tipi di segmenti autostradali. I tipi di segmento valutati erano tratti di base, di intersezione, divergenti e tronchi di scambio e sono coerenti con le definizioni di segmento all'interno dell'HBS tedesco. Si riconosce anche che nelle reti stradali, i limiti di capacità isolati possono limitare il traffico dall'accesso o dall'utilizzo delle porzioni a valle e a monte della rete, sia limitando il flusso attraverso un collo di bottiglia, sia causando la congestione e le code in avvicinamento. L'immagine 44 mostra la diminuzione prevista della capacità sulle autostrade tedesche, con aumenti di capacità superiori a quelli attuali non previsti fino a oltre il 2050.

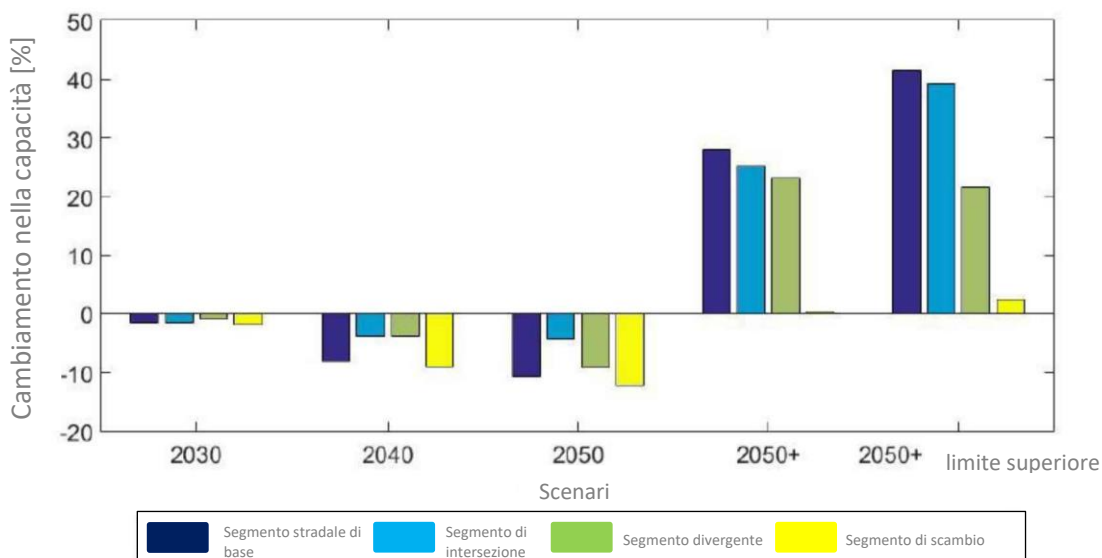


Immagine 43: Risultati della simulazione che rappresentano la variazione percentuale della capacità di ogni segmento di superstrada rispetto allo scenario di base

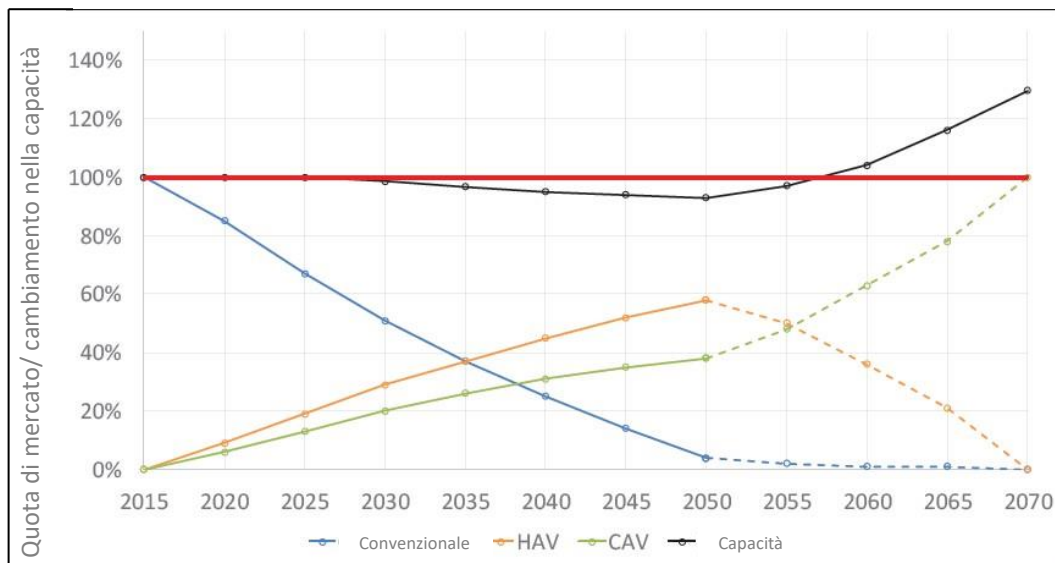


Immagine 44: Impatti degli AV sulla capacità delle autostrade in Germania

I risultati di questo studio possono sembrare conservativi, ma sono considerati plausibili in base alle ipotesi applicate nell'analisi. Le procedure tengono conto di una miscela di interazioni più complesse tra i veicoli, al di là della semplice riduzione della distanza tra veicoli. La simulazione tiene conto dei cambi di corsia e dei movimenti di immissione che richiedono spazi minimi necessari tra i veicoli, e questo impone una limitazione su quanto piccole possano essere praticamente le distanze tra essi. Tassi significativi di cambio di corsia sono stati identificati come necessari per le autostrade per operare a flussi di capacità, specialmente sulle strutture a più corsie nelle aree urbanizzate. Stanno anche emergendo prove che le distanze tra veicoli esistenti nei flussi di capacità prossima sono inferiori a quelle utilizzate per le precedenti ipotesi di capacità utilizzando le distanze medie. Anche l'automazione del cambio di corsia in condizioni altamente complesse, dinamiche e caotiche richiede uno sviluppo futuro significativo per limitare le interazioni tra veicoli dirompenti e garantire operazioni sicure.

Lo studio sulle autostrade tedesche è limitato alle condizioni operative delle superstrade, che dovrebbero essere la parte della rete stradale più incline alle prime operazioni dei veicoli automatizzati. La variazione delle condizioni operative in altre parti della rete stradale potrebbe avere un impatto diverso sulla capacità operativa. In modo simile all'ambiente autostradale, bisogna fare attenzione che non si assuma necessariamente un aumento generalizzato della capacità. Le molte interazioni complesse che avvengono sulla rete stradale, come le interazioni con altri utenti della strada (pedoni e ciclisti) potrebbero rendere l'automazione completa e il ricorso all'assistenza automatica/semiautomatica difficili da attuare in modo efficiente e sicuro.

Oltre alle autostrade, valutazioni e monitoraggi simili sono necessari per le arterie stradali dove avvengono diverse interazioni, specialmente con una maggiore varietà di modi di trasporto diversi, compresi quelli attivi (a piedi e in bicicletta). I veicoli autonomi sono "difensivi" e sono programmati per fermarsi o intraprendere azioni evasive quando vengono rilevati "ostacoli". L'ambiente delle arterie stradali presenta molte più situazioni potenziali simili a queste che possono innescare tali risposte difensive e portare a eventi dirompenti e alla riduzione della capacità.

Il potenziale per tali eventi dirompenti ha spinto a considerare la possibilità di separare o dedicare spazio (percorsi) ai veicoli autonomi. Se la separazione fosse prevista, gli impatti potrebbero ancora essere sperimentati nelle zone di transizione e il disagio potrebbe essere concentrato vicino al punto o ai punti di separazione desiderati.

Sono stati intrapresi alcuni studi dettagliati di microsimulazione di aspetti isolati delle operazioni delle arterie stradali, come l'aumento del flusso di traffico attraverso i segnali stradali durante le finestre verdi. I risultati devono essere considerati in relazione alla varietà di interazioni che possono verificarsi nelle situazioni del mondo reale e che potrebbero non essere state incorporate nelle considerazioni di modellazione. Gli impatti dei vincoli di capacità a monte e a valle della rete (alle origini e/o alle destinazioni) possono anche influenzare i risultati e possono non essere considerati nei modelli con estensioni limitate. L'interazione con altre classi di utenti stradali tende ad essere più varia nel mondo reale rispetto agli scenari di modellazione ed è probabile che abbia un impatto significativo sui risultati delle arterie. Anche se i benefici possono emergere per le arterie stradali nel tempo, possono essere ridotti rispetto alle condizioni operative ideali in cui esiste una maggiore complessità.

Le RNO devono essere realistiche sui potenziali cambiamenti nella capacità stradale. Mentre l'impatto a lungo termine sulla capacità può essere positivo, sta emergendo il riconoscimento che l'ambiente operativo stradale passerà probabilmente attraverso un periodo di transizione in cui la capacità all'inizio sarà probabilmente ridotta. Sono stati avanzati alcuni suggerimenti secondo cui gli enti stradali potrebbero essere in grado di investire meno in infrastrutture stradali ampliate nel tempo se la capacità operativa aumenta, anche se l'aumento della domanda potrebbe aumentare i costi di manutenzione a causa dell'affaticamento accelerato della pavimentazione. Tuttavia, se lo scenario probabile è una riduzione della capacità operativa a breve termine, è necessario assicurarsi che venga mantenuta una capacità fisica adeguata e/o che vengano presi in considerazione miglioramenti appropriati per il breve e medio termine. La comprensione emergente indicherebbe che ridurre la capacità fisica nell'aspettativa che i CAV aumentino la capacità operativa non sarebbe saggio.

Attualmente c'è una limitata indicazione nel mondo reale di una crescente automazione che induce ulteriori richieste veicolari sulle reti stradali, a causa della limitata diffusione dei veicoli automatizzati. Ci sono aspettative che l'automazione possa portare a un maggior numero di veicoli che circolano sulla rete stradale, alcuni senza occupanti che ritornano a un'origine o che transitano per soddisfare una domanda di mobilità su richiesta. Sia che la capacità si riduca, rimanga relativamente fissa o aumenti, tali aumenti della domanda su strada avrebbero inevitabilmente un impatto sulla capacità della rete stradale e sulle operazioni, specialmente negli ambienti urbani.

7.3 PLATOONING

Il platooning è la capacità di più veicoli connessi e autonomi di viaggiare insieme alla stessa velocità e con brevi distanze tra di essi, seguendosi a vicenda in un gruppo concentrato o plotone. La connettività tra i veicoli è necessaria perché il platooning funzioni in modo efficiente e sicuro. Un collegamento diretto di comunicazione V2V (veicolo-veicolo) è considerato necessario per il funzionamento appropriato del platooning. Inoltre, la connettività V2I può anche essere auspicabile per consentire il monitoraggio delle attività di platooning e permettere potenziali operazioni di ottimizzazione (ad esempio l'attivazione di operazioni di segnalazione per assistere l'avanzamento del plotone).

Sono stati identificati diversi benefici che le operazioni di platooning potrebbero offrire:

- Risparmio energetico e riduzione del consumo di carburante attraverso la riduzione delle oscillazioni del traffico e anche della resistenza aerodinamica, specialmente per i camion e i veicoli pesanti,
- Riduzione delle emissioni attraverso la riduzione del consumo di carburante
- Miglioramento della sicurezza stradale applicando efficacemente la frenata simultanea attraverso la comunicazione V2V e la riduzione della velocità e delle oscillazioni del traffico

- Alcuni potenziali miglioramenti nell'efficienza della capacità sono considerati possibili poiché generalmente più veicoli potrebbero operare a distanza ravvicinata (maggiore densità).

Negli ultimi tre decenni, molti progetti pilota ed esperimenti sono stati condotti per testare e provare le tecnologie necessarie per il platooning, essendo una fusione di molte funzioni automatizzate esistenti. In alcuni casi più recenti, sono stati valutati gli impatti del platooning, anche se su un campione relativamente limitato.

Le misure degli impatti del platooning sono state principalmente limitate al risparmio energetico indicato dalla riduzione del consumo di carburante. I risultati dei primi progetti pilota hanno indicato un miglioramento del 10-17% in queste misure, anche se è stato notato che una serie di fattori può ridurre la capacità di raggiungere questi benefici, come le interazioni con i veicoli convenzionali (non automatizzati), la geometria della strada e le configurazioni dei veicoli. Oltre ai miglioramenti dell'efficienza, le operazioni di platooning possono avere il potenziale per migliorare la sicurezza stradale e la capacità operativa, anche se questi sono attualmente difficili o non possibili da misurare data la portata limitata degli studi e dei test di platooning, e i loro ambienti operativi limitati.

La pianificazione e la valutazione delle operazioni di platooning hanno evidenziato alcune sfide:

- La lunghezza del plotone è vincolata dalla velocità V2V e dall'affidabilità per mantenere la stabilità della stringa
- La lunghezza del plotone deve essere gestita per evitare colli di bottiglia alle entrate e alle uscite delle autostrade/superstrade
- Teoricamente, più lungo è il plotone, maggiore è il risparmio di carburante, quindi i plotoni più corti possono limitare i benefici di efficienza
- In pratica, i plotoni lunghi possono disturbare la necessaria immissione e scambio del traffico non facente parte del plotone
- Limitazione della capacità di un plotone di cambiare corsia se necessario e per lunghezze significative (come le riduzioni di corsia sulle autostrade)
- Nel traffico misto, le intrusioni da parte del traffico non in plotone rappresentano la sfida maggiore per mantenere l'integrità del plotone

La necessità di un'interruzione limitata dei plotoni e il desiderio di plotoni più lunghi piuttosto che più corti ha portato a considerare dove meglio utilizzare il platooning all'interno della rete stradale. Le autostrade urbane e rurali potrebbero aver bisogno di essere ulteriormente studiate. Le autostrade urbane, per esempio, hanno tipicamente una stretta spaziatura di interscambio, viaggi brevi e flussi elevati, con un conseguente maggiore "turnover" dei veicoli nella carreggiata rispetto alle autostrade rurali. Un alto turnover può avere un impatto sulle operazioni di platooning, anche se i veicoli in entrata o in uscita non fanno parte di un plotone operativo, a causa della necessità di interagire con, passare attraverso o passare vicino.

Per limitare gli intralci, le corsie dedicate potrebbero essere considerate per migliorare la sicurezza del platooning, poiché il comportamento dei veicoli in platooning sarebbe più prevedibile e la velocità sarebbe più costante; tuttavia, sarebbe necessario capire gli impatti per il traffico che accede/esce dalle corsie dedicate. L'intralcio causato dalle manovre in entrata e in uscita dalle "corsie di platooning" potrebbe anche ridurre i benefici complessivi delle operazioni di platooning. Le operazioni iniziali potrebbero anche risultare in una sottoutilizzazione delle corsie dedicate, laddove previste, richiedendo potenzialmente un periodo di transizione con una sottoutilizzazione dello spazio stradale fisico.

Il platooning potrebbe non essere fattibile o appropriato in aree con una variazione significativa della pendenza della strada, poiché potrebbero essere necessari aggiustamenti aggressivi della velocità per mantenere l'integrità del plotone, riducendo la capacità di soddisfare le efficienze operative desiderate. I sistemi di monitoraggio e controllo intelligenti potrebbero tenere conto della topografia e ottimizzare l'efficienza del carburante durante il viaggio su terreni collinari. I sistemi di controllo del plotone avrebbero anche bisogno di considerare la risposta combinata a eventi inaspettati come il guasto del veicolo, la foratura degli pneumatici o gli attacchi di animali selvatici.

I plotoni di veicoli pesanti possono avere un impatto sugli asset stradali attraverso una maggiore usura delle pavimentazioni stradali. Anche le implicazioni strutturali devono essere valutate e monitorate a causa dei carichi vivi ravvicinati. L'aumento delle risorse per il monitoraggio, la manutenzione e l'implementazione di misure preventive porrà probabilmente ulteriori carichi sugli operatori della rete stradale e sulle compagnie di gestione delle risorse. Sono inoltre necessarie ulteriori indagini per determinare la necessità di infrastrutture stradali di supporto che devono essere fornite e mantenute dall'operatore della rete stradale.

Sono necessarie ulteriori valutazioni per identificare i casi d'uso del platooning che sono in grado di fornire i migliori risultati per gli utenti della strada, come i veicoli pesanti. La funzionalità di platooning può essere possibile solo su un numero limitato di strade pubbliche, come le superstrade, e anche in quel caso, alcune condizioni potrebbero dover preesistere per livelli ragionevoli di platooning da considerare. Un altro aspetto chiave è la necessità di un autista principale (o controllore del plotone). Questa può essere un'abilità considerata essenziale per la formazione del plotone, il che pone problemi quando un controllore di plotone (e il veicolo associato) non ha più bisogno o non desidera più rimanere con un plotone formato. Questo può implicare che tutti i conducenti abbiano un minimo di abilità e di formazione per consentire il controllo del plotone in base alle necessità, che un operatore stradale può avere un certo coinvolgimento nella definizione dei requisiti.

Gli operatori stradali hanno anche un ruolo nell'influenzare e cambiare i regolamenti che possono consentire il platooning all'interno delle loro giurisdizioni. Il quadro per considerare tali cambiamenti dovrebbe considerare sia i benefici reali che possono essere raggiunti sia i rischi operativi associati alle complesse condizioni che esistono sulla rete del traffico. Si nota che alcuni produttori leader di camion hanno recentemente aggiornato la loro valutazione dei benefici economici del platooning, il che potrebbe avere un impatto sui benefici reali che ci si potrebbe aspettare nelle flotte logistiche.

7.4 LA NAVETTA AUTOMATIZZATA DEVE ESSERE VALUTATA IN UN AMBIENTE URBANO E RURALE

L'impiego della tecnologia digitale e delle nuove tecnologie permette risultati che prima erano irraggiungibili. Fornisce l'accesso a nuovi servizi - car pooling, car sharing, trasporto su richiesta, o anche biciclette e scooter. Promuove l'organizzazione delle connessioni tra le modalità e dà un accesso molto ampio a tutti i servizi di mobilità.

7.4.1 Sistemi di trasporto pubblico automatizzato, un'opportunità per sviluppare nuovi servizi

Il rapido sviluppo dei sistemi di trasporto pubblico automatizzato li posiziona come una componente futura dell'offerta di servizi di trasporto pubblico o privato. Alcuni sono già presenti in modo marginale in varie giurisdizioni, in particolare nelle aree urbane, e con prospettive di ulteriore applicazione in aree periurbane o rurali. Sebbene i modelli di business debbano ancora maturare, è ragionevole considerare la prospettiva di un aumento di tali servizi in futuro. I sistemi di trasporto pubblico automatizzato hanno il potenziale per fornire soluzioni per le richieste di mobilità insoddisfatte accanto ai servizi di trasporto pubblico esistenti, come il trasporto in aree a bassa densità (rurali), bassi flussi o richiesta di viaggi di primo e ultimo chilometro.

7.4.2 Servizi per aree urbane e rurali

Nelle zone rurali, migliorare la disponibilità dei trasporti è fondamentale. Le aree rurali sono spesso scarsamente servite dai sistemi di trasporto pubblico e possono lottare per fornire un trasporto pubblico adeguato ai loro residenti. Il perdurare di questa mancanza di accesso ai servizi di mobilità può aumentare il rischio di isolamento della popolazione colpita. I sistemi di trasporto pubblico automatizzati sono una potenziale soluzione per affrontare questa necessità, specialmente per gli anziani che non sono più in grado di guidare. In Giappone, dove più del 25% della popolazione attuale ha 65 anni o più, diversi progetti di diffusione della guida autonoma avviati dal governo giapponese nelle aree rurali sono specificamente mirati a occuparsi delle persone anziane. A seguito dei test di funzionamento sul campo (FOT) da parte del programma di promozione dell'innovazione strategica interministeriale (SIP), le navette sono in funzione con tariffe raccolte da una NPO locale dal novembre 2019.



Immagine 45: Guida automatizzata di navetta in zona rurale (villaggio Kamikoani, Giappone)

Secondo le Nazioni Unite [43], nei prossimi 20 anni, il 60% della popolazione mondiale vivrà nelle città urbane. Questo porterà a un grande aumento della domanda di viaggi urbani che può essere facilitato da sistemi di trasporto pubblico automatizzato. In molte città urbane, ridurre l'uso delle auto individuali è un obiettivo chiave. Molte città hanno adottato tale cambiamento di modalità (dall'uso di auto individuali al trasporto pubblico) come pilastro centrale della loro politica dei trasporti. Un tale cambiamento richiede la promozione di soluzioni di trasporto alternative che incoraggino gli automobilisti a ridurre o cessare l'uso del veicolo privato: le navette automatizzate sono viste come una delle future alternative chiave.

I casi d'uso previsti per il trasporto pubblico / condiviso dal Ministero francese per la transizione ecologica e inclusiva (responsabile dei Trasporti) includono:

- Accesso/uscita dalle stazioni per il primo e l'ultimo chilometro in zone scarsamente popolate
- Servizio in un territorio limitato, con punti di fermata predefiniti (es. zona commerciale, ospedale, università, centro turistico)
- Servizi notturni su corsie esistenti migliorando la portata geografica e la frequenza
- Adattamento della capacità (platooning modulare) (capacità di trasporto passeggeri che si adatta alla domanda modulando il numero di navette in modalità plotone in base alla domanda)
- Mobilità condivisa integrata + servizi di parcheggio
- Mobilità condivisa su HOV in zone periurbane.

7.5 COME LE RNO POSSONO AIUTARE IL CAV NELLE ZONE DI LAVORO/INCIDENTI

I sensori a bordo del veicolo autonomo sono un componente chiave per analizzare la strada e l'ambiente operativo circostante. Se i sensori di bordo non sono in grado di operare efficacemente, è necessario un sistema di mappatura digitale a bordo per integrare le informazioni mancanti. I lavori stradali o gli incidenti possono anche alterare il layout della strada, cambiando dove i veicoli dovrebbero viaggiare. La sfida per i CAV è che la scena intorno a un incidente può essere difficile da interpretare. Le normali regole della strada possono cedere il passo a un approccio di buon senso in cui i veicoli navigano lentamente intorno a ostacoli insoliti, come veicoli in panne o detriti sulla strada.

Ai conducenti può essere richiesto di interpretare i segnali manuali degli agenti di polizia o di altro personale di gestione del traffico. Mentre la segnalazione dell'incidente dal vivo può offrire alcuni dettagli sulla natura dell'incidente, l'esatta configurazione di qualsiasi misura di gestione del traffico nell'avvicinamento all'incidente può non essere nota fino a quando il CAV arriva sul luogo dell'incidente e può anche essere soggetta a cambiamenti nel tempo.

Una soluzione per affrontare queste sfide è quella di trasferire il controllo del veicolo autonomo al conducente; tuttavia, questo potrebbe non essere l'ideale se il conducente non è preparato a prendere il controllo e la situazione potrebbe peggiorare. Un'altra soluzione è che l'operatore della rete stradale, attraverso la connettività, fornisca servizi I2V volti a trasmettere ai veicoli autonomi informazioni affidabili, accurate e complete sui lavori stradali (ad esempio: RWW- Road Works Warning, avvisi di lavori stradali - vedi sotto) o incidenti. Dal punto di vista di un operatore stradale e del traffico, la comunicazione di questo tipo di informazioni ai CAV può anche migliorare la sicurezza dei lavoratori della strada, per i quali le zone di lavoro possono essere pericolose o addirittura mortali.

Avviso di lavori stradali (RWW, Road Works Warning)

Il concetto generale di questo servizio è quello di consentire a un operatore della rete stradale di comunicare con i conducenti attraverso la comunicazione infrastruttura-veicoli (I2V) riguardo lavori stradali, restrizioni e istruzioni modificate. Il servizio fornisce informazioni ai veicoli in avvicinamento sulle condizioni di una zona di lavoro più avanti, come le caratteristiche della zona di lavoro e le attività che potrebbero presentare condizioni non sicure. Questo include informazioni come ostruzioni nella corsia o nelle corsie più avanti, chiusure di corsie, spostamenti di corsia e riduzioni di velocità. Il cantiere stradale può essere fisso o mobile, pianificato o non pianificato. In entrambi i casi, i conducenti sono avvisati dello stato delle corsie interessate e della presenza di lavoratori vulnerabili. Esempi di progetti che utilizzano gli RWW includono lo SCOOP@F (FR), il progetto di scambio dati dell' US DOT (USA), il progetto Eco-AT (AUS - GE -NL), il progetto pilota C-ITS (Corea del Sud).

Per quanto riguarda le situazioni di risposta immediata/emergenza, potrebbe essere sviluppata una "Procedura del primo soccorritore conforme al CAV". Tale procedura delinea una serie di passi che la prima autorità sulla scena dovrebbe seguire. Un primo passo appropriato potrebbe essere quello di predisporre cartelli/segnali di avvertimento/unità mobili lungo la strada (RSU) che avvertano i CAV vicini che l'area è in uno stato insolito e che dovrebbe essere evitata o percorsa con attenzione. I cartelli/segnali per questo scopo dovrebbero essere facilmente identificabili dai CAV. Sarebbe necessaria una stretta collaborazione con le organizzazioni che sviluppano la tecnologia CAV per mettere a punto tali procedure. Sintesi del rapporto - Transport Systems Catapult – 2017.

7.6 LA GESTIONE DEL TRAFFICO DA PARTE DELLE RNO

Come discusso in precedenza, i sensori a bordo dei veicoli autonomi analizzano la strada e l'ambiente operativo circostante. Se l'analisi è insufficiente, è necessario un sistema di mappatura

digitale a bordo che possa integrare le informazioni mancanti. In generale, la capacità di un veicolo autonomo di percepire il suo ambiente si basa su dati uniti da sensori incorporati, navigazione GNSS/mappatura e V2X.

Le informazioni sull'infrastruttura fisica circostante diventeranno quindi sempre più digitali. La sfida è quindi quella di costruire questa infrastruttura digitale e di mantenerla aggiornata man mano che le condizioni cambiano. I CAV hanno bisogno di informazioni aggiornate per consentire la selezione del percorso migliore e anche per assicurarsi di posizionarsi in modo appropriato e sicuro sulla carreggiata. Queste informazioni devono includere i lavori stradali, le chiusure delle strade e le deviazioni, compresi i dettagli sull'ubicazione, le date di disagio e l'entità del disagio. Questa infrastruttura digitale solleva anche la questione degli standard e dei formati di scambio dei dati.

In Australia, Austroads ha pubblicato un rapporto Connected and Automated Vehicles (CAV) Open Data Recommendations il 23 agosto 2018 [24]. Secondo questo rapporto, c'è la necessità di un quadro di messaggistica costante che consentirebbe agli operatori della rete stradale di interrogare i dati richiesti dai veicoli. I tipi di dati RNO che sono stati identificati per essere un'alta priorità per i CAV includono:

- a. Informazioni in tempo reale dai sistemi di gestione del traffico per i limiti di velocità variabili e le chiusure di corsia
- b. Informazioni in tempo reale sulla fase del semaforo e sui dati di temporizzazione (come la messaggistica SPaT)
- c. Dati disponibili per chiusure stradali di emergenza (incendi, inondazioni, ecc.)
- d. Dati disponibili per condizioni temporanee associate a lavori, eventi e incidenti
- e. Notifica anticipata di strade nuove e modificate (che potrebbero non essere state mappate)
- f. Coordinarsi con le azioni già in corso sui dati dei limiti di velocità ed estendersi per coprire altre restrizioni al traffico (dimensioni e massa dei veicoli).

Potrebbero essere necessari dei cambiamenti nei processi aziendali affinché le RNO forniscano i dati più adatti ai CAV. Un esempio è la necessità per le RNO di essere in grado di fornire i dati più rilevanti e utili su lavori stradali, eventi e incidenti sulle reti stradali principali, che possono richiedere un livello più alto di accuratezza e tempestività adatto per l'ODD che potrebbe non essere il caso in uno scenario non-CAV.

8 RESPONSABILITÀ E FINANZIAMENTI

8.1 RESPONSABILITÀ E ASSICURAZIONE

Ci sono una serie di sfide e incognite per quanto riguarda le responsabilità e gli obblighi dei vari attori coinvolti nel dispiegamento e nelle operazioni CAV, tra cui:

- Responsabilità e obblighi dei conducenti e dei proprietari: chi o cosa determina se il conducente di un veicolo autonomo deve essere vigile? Le regole esistenti di responsabilità civile sono sufficientemente chiare per le compagnie di assicurazione?
- Responsabilità e obblighi dei produttori di automobili: a quali condizioni un produttore di automobili può testare e commercializzare i suoi veicoli? Le deviazioni esistenti dalle regole di responsabilità penale e civile in vigore sono giustificabili in modo dimostrabile?
- Responsabilità e obblighi degli operatori della rete stradale: cosa devono fornire e a quale livello di servizio? Cosa succede se questo livello di servizio non viene garantito?

The following sections provide some aspects for RNO to consider.

8.1.1 Assicurazione e responsabilità del conducente

In Francia, fin dal 1985, esiste una legge che assicura un risarcimento finanziario rapido alle vittime di incidenti d'auto (legge "Badinter"). La vittima può chiedere il risarcimento al conducente o, se lui/lei non è identificato, al proprietario del veicolo, che ha l'obbligo di avere un'assicurazione che copra la responsabilità civile. Quindi, dal punto di vista della responsabilità civile, nel caso di un veicolo autonomo non cambia nulla. L'assicurazione del proprietario, se non del conducente, risarcirà le vittime.

I costi assicurativi di un'auto autonoma sono incerti quanto i benefici per la sicurezza stradale. È probabile che le prime auto autonome avranno costi assicurativi più elevati a causa di alcuni recenti incidenti negli Stati Uniti che hanno coinvolto operazioni automatizzate, anche se questo dovrebbe diminuire una volta che la responsabilità del sistema sarà ampiamente ammessa.

La responsabilità penale, tuttavia, dipenderà dalle istruzioni date al conducente, e sarà ancora a carico del conducente per i livelli SAE inferiori, se il conducente deve rimanere attento alle condizioni della strada e reagire quando richiesto..

8.1.2 Responsabilità del produttore di automobili o del veicolo

Se si verifica un incidente quando la modalità automatica è attiva e il veicolo non ha chiesto al conducente di riprendere il controllo, la responsabilità può essere applicata al produttore dell'auto. Questa responsabilità sarebbe legata all'omologazione del veicolo e alla sua conformità al quadro di omologazione.

Questo quadro includerà probabilmente la capacità di aggiornamento, dato che è improbabile che i sistemi introdotti nei prossimi anni siano perfetti o rimangano in vigore per periodi prolungati. Man mano che le versioni diventano obsolete è probabile che molti veicoli precedenti conformi saranno ancora in funzione sulla strada. Un obiettivo chiave dovrebbe essere quello di limitare il rischio fisico di questi sistemi attraverso una varietà di strumenti tecnici e contrattuali per consentire il monitoraggio, gli aggiornamenti over-the-air, e anche i richiami virtuali, se necessario.

Alcuni avvocati ritengono che le automobili automatizzate e più in generale i robot debbano essere considerati soggetti giuridici, e che un nuovo marchio di leggi debba essere dedicato a loro, basandosi sulle "3 leggi della robotica" dello scrittore di fantascienza Isaac Asimov:

- 8.1.2.1 Un robot non può recar danno a un essere umano né può permettere che, a causa del suo mancato intervento, un essere umano riceva danno
- 8.1.2.2 Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non entrino in contrasto alla Prima Legge.
- 8.1.2.3 Un robot deve proteggere la propria esistenza, se la salvaguardia di essa non entra in contrasto con la Prima o con la Seconda Legge.

8.1.3 Responsabilità degli operatori della rete stradale

In Francia, la responsabilità dell'operatore della rete stradale è di eseguire la "manutenzione normale". Se questo non è il caso, l'operatore può essere considerato responsabile in caso di incidente.

La questione è come il concetto di "manutenzione normale" si evolverà con le auto automatizzate. È ragionevole aspettarsi che venga definito un livello minimo di servizio per il contrasto della segnaletica orizzontale per supportare le operazioni CAV, ad esempio. Tuttavia, è tecnicamente impossibile prevedere o rilevare il momento esatto in cui il contrasto scenderà al di sotto di una determinata soglia di intervento e quindi attuare il rimedio istantaneamente. Tale deterioramento al di sotto di una soglia è un risultato casuale legato al numero di ruote che hanno attraversato la linea, alle condizioni meteorologiche nel tempo e alla qualità dell'asset quando fornito. Ciò implica che i veicoli dovranno sempre far fronte a situazioni con segnaletica orizzontale danneggiata (potenzialmente con l'assistenza di un algoritmo di ricostruzione della segnaletica o di informazioni da una mappa HD) e che la "manutenzione normale" può essere piuttosto definita da una frequenza di sorveglianza della segnaletica. Un approccio simile deve essere applicato alla connettività, che non può essere garantita per funzionare al 100% del tempo. Questo tende ad essere ben integrato dalle case automobilistiche fino ad oggi, con la connettività considerata come un sensore aggiuntivo, fornendo così ridondanza e includendo soluzioni di ripiego basate sui sensori ottici e altri sensori del veicolo, mappe HD e considerazione dell'ODD.

Alcuni casi d'uso innovativi dell'automazione si basano sull'infrastruttura per fornire una parte dell'intelligenza artificiale (percezione migliorata attraverso sensori sull'infrastruttura, guida attraverso waypoint in zone di lavori stradali, o anche supervisione di flotte specifiche come il trasporto pubblico o i plotoni). Questo implica una maggiore responsabilità da parte dell'operatore stradale e/o del fornitore di attrezzature stradali sia per distribuire l'ulteriore infrastruttura fisica e digitale di supporto che per fornire le informazioni ai CAV.

8.2 COSTI, BENEFICI E FINANZIAMENTI

8.2.1 Benefici previsti

In generale, la maggior parte della ricerca oggi, indica l'incertezza sui possibili effetti di sistema dello sviluppo tecnico e digitale in corso sul sistema di trasporto stradale. Dal punto di vista del business, tuttavia, è più chiaro che l'automazione, l'elettrificazione e la digitalizzazione nel breve e medio termine produrranno benefici significativi. Per quanto riguarda i viaggiatori, il quadro è più frammentato, poiché le loro scelte non sono governate solo dalla razionalità economica, ma anche da valori individuali, stili di vita e accettazione di nuovi servizi.

The Lo sviluppo della nuova tecnologia, indipendentemente dal tipo di traffico, ha il potenziale per migliorare l'accessibilità al sistema di trasporto stradale, l'utilizzo della capacità, l'aumento della sicurezza del traffico e la riduzione delle emissioni climatiche. Questi benefici, tuttavia, richiedono un'implementazione ben ponderata dei nuovi servizi e funzioni nelle società con effetti collaterali

negativi minimi (come ad esempio: tariffazione, sicurezza informatica, neutralizzazione delle separazioni digitali, ecc.), e sufficienti incentivi che promuovano cambiamenti comportamentali (economia circolare e condivisa).

8.2.2 Stima dei costi

È piuttosto difficile dare consigli sugli investimenti necessari per la trasformazione digitale dei sistemi di trasporto stradale, poiché la dimensione del divario tra le comunità di investitori e l'industria digitale varia pesantemente da un paese all'altro. La sfida per il settore pubblico in questo contesto è il suo basso impegno di investimento nonostante il riconoscimento dell'importanza della trasformazione digitale per sviluppare un sistema di trasporto stradale più sicuro ed efficiente. Tuttavia, il divario tra lo stato attuale e la digitalizzazione desiderata deve essere studiato, gli investimenti necessari devono essere stimati e attentamente pianificati e gli organi di finanziamento (sia privati che pubblici) devono essere identificati al fine di attuare misure efficaci per portare avanti lo sviluppo. Il piano deve anche prendere in considerazione l'integrazione digitale, dato che la maggior parte degli investimenti di capitale oggi tende a concentrarsi sulle aree urbane. Sviluppare iniziative e soluzioni di finanziamento per i progetti di digitalizzazione nelle aree rurali è un aspetto importante in questo contesto.

Uno studio recente stima il costo dell'investimento necessario nell'infrastruttura di comunicazione IT per consentire la diffusione su larga scala del V2I in 5-8 miliardi di euro nell'UE e 7-12 miliardi di dollari negli Stati Uniti. Questo studio è stato condotto da Ricardo Energy & Environment per conto della 5G Automotive Association e presentato nell'agosto 2020 [44]. Per il raggiungimento di questa scala di investimenti il rapporto sollecita un'ampia cooperazione tra città, operatori stradali e operatori di rete mobile.

9 QUESTIONI SOCIALI E LA CONSIDERAZIONE DEI FATTORI UMANI

9.1 PRINCIPALI DOMANDE DAL PUNTO DI VISTA DELLA SOCIETÀ

9.1.1 Motivi per cercare l'automazione

All'inizio, una domanda fondamentale che raramente è articolata appieno ma che dovrebbe essere posta è "perché automatizzare in primo luogo?" [45] Secondo [46] ci sono una serie di potenziali motivazioni per cercare di automatizzare le funzioni umane, tra cui:

- Quando è pericoloso per gli esseri umani svolgere un compito (ad esempio, guida in stato di alterazione).
- Quando è impossibile per gli esseri umani svolgere un compito (ad esempio, rilevamento notturno accurato o rilevamento oltre la linea di visuale).
- Quando l'esecuzione di un compito è difficile per gli esseri umani (ad esempio, reagire rapidamente a ostacoli improvvisi).
- Solo per il gusto dell'automazione (per esempio come modo di creare un mercato anche se nessun beneficio di sicurezza è conferito agli utenti).

L'attuale sviluppo dei sistemi di guida autonoma è motivato da tutti questi in misura diversa.

Forse un modo più rilevante per la sicurezza di affrontare la questione di ciò che motiva l'automazione è incentrato sulle due domande: "Quali compiti possono svolgere i sistemi automatizzati meglio degli umani (dal punto di vista della sicurezza)" e "Quali compiti possono svolgere gli umani meglio dei sistemi automatizzati?" Queste sono domande centrali che hanno accompagnato molti sviluppi tecnologici del passato e articolate da Fitts [47] in riferimento alle macchine in generale, in un quadro che è rimasto sorprendentemente rilevante oggi, anche nel contesto dell'automazione dei veicoli e delle tecnologie che erano appena immaginabili all'epoca [48], [49].

9.1.2 Potenziali vantaggi per la sicurezza

Il primo tra i benefici previsti di una maggiore e completa automazione dei veicoli è la promessa di una maggiore sicurezza. Con poche eccezioni [50], [45] questo beneficio previsto è accettato acriticamente sulla base del tasso osservato di incidenti con errori umani. Le affermazioni di una riduzione di oltre il 90% delle morti per incidenti stradali derivanti dall'automazione che elimina gli incidenti legati all'errore umano non sono testate. Sembra probabile che il numero di vittime della strada diminuirà con l'automazione, ma gli incidenti non scompariranno. In alcune circostanze, potrebbero verificarsi più incidenti tra i conducenti "medi" che non sono inclini a comportamenti rischiosi. Questo è particolarmente probabile in circostanze in cui ai conducenti è richiesto di prendere il posto della guida automatizzata in situazioni di emergenza.

Gran parte dell'attenzione sui potenziali benefici per la sicurezza della guida autonoma è stata incentrata sull'eliminazione dell'errore umano nel compito di guida. Questo perché gli esseri umani commettono errori di giudizio, possono guidare in stato di alterazione o distrazione, possono semplicemente non essere adeguatamente consapevoli dell'ambiente di guida o possono non reagire abbastanza velocemente a cambiamenti rapidi o inaspettati. L'approccio Safe System riconosce intrinsecamente le capacità e i limiti degli esseri umani nella progettazione e nel funzionamento dei sistemi di trasporto su strada.

Gli errori derivanti dall'interazione con il traffico e l'ambiente stradale possono essere limitati dalla comprensione di queste interazioni e dalla progettazione del sistema di trasporto stradale a partire da queste interazioni, al fine di guidare l'utente della strada a comportarsi nel modo più sicuro allo

stesso tempo, mitigare le conseguenze degli errori. In termini semplici, questo principio di base di un possibile. Tuttavia, poiché l'errore umano non può essere completamente sradicato, è necessario, sistema sicuro parte dall'intuizione che l'errore umano non dovrebbe più essere la causa principale degli incidenti. Invece, gli incidenti stradali sono una conseguenza di fallimenti latenti creati da decisioni e azioni all'interno del più ampio sistema organizzativo, sociale o politico che stabilisce il contesto in cui agiscono gli utenti della strada.

La mancanza di esperienza e di dati complica la valutazione di quanto sia realmente sicura la guida autonoma. È ulteriormente complicata dalla mancanza di un quadro comune per tale valutazione delle prestazioni di sicurezza e dai rapidi cambiamenti nel suo obiettivo; un'auto a guida autonoma è un sistema combinato di hardware e software le cui caratteristiche di prestazione critiche possono cambiare radicalmente con un aggiornamento del software.

Le strategie di automazione dei veicoli che mantengono gli esseri umani coinvolti nel compito di guida sembrano rischiose. Una responsabilità condivisa per la guida tra i sistemi automatizzati e gli esseri umani può rendere il processo decisionale più complesso piuttosto che più semplice. Pertanto, il rischio di conseguenze indesiderate che renderebbero la guida meno sicura, e non più sicura, potrebbe aumentare.

Le persone mantengono un vantaggio rispetto ai sistemi automatizzati basati su singoli sensori in molti contesti. Superare questo divario richiede la combinazione di input da diversi sensori. In alcuni casi, il funzionamento sicuro richiederà che i veicoli comunichino tra loro e con le infrastrutture oltre la linea di visuale. Tuttavia, fare affidamento su questa connettività per le prestazioni di sicurezza comporta dei rischi, soprattutto per quanto riguarda la cybersicurezza. Se l'automazione dei veicoli debba passare da un paradigma di sicurezza reattivo (in cui i veicoli si affidano alle proprie capacità) a un quadro di sicurezza proattivo (in cui i veicoli sono integrati in una rete comunicativa) è ancora dibattuto. Gli usi potenziali variano nei diversi paesi in base al PIL, alla densità della popolazione, ai progressi tecnologici, ecc.

9.2 LE LIMITAZIONI DEI POTENZIALI BENEFICI DELL'AV DA UNA SERIE DI FATTORI UMANI

È possibile che i potenziali benefici per la sicurezza dei C-ITS e degli AV possano essere minati da una serie di fattori umani se non vengono affrontati adeguatamente. I C-ITS e l'automazione modificheranno il compito di guida, fornendo fonti di informazione aggiuntive o automatizzando alcuni o tutti gli aspetti del compito di guida. Questo può portare a cambiamenti nel comportamento del conducente, alcuni dei quali possono essere non voluti dai progettisti del sistema. Nella sicurezza stradale, il termine "adattamento comportamentale" (si veda ad esempio [51]) è tipicamente usato per riferirsi ai cambiamenti comportamentali inattesi o non voluti che appaiono in risposta all'introduzione di un cambiamento nel veicolo o nell'ambiente stradale, che possono influenzare i benefici previsti per la sicurezza di questo cambiamento. I fattori di adattamento comportamentale previsti che portano a cambiamenti nel comportamento del conducente non sono sempre previsti dai progettisti di veicoli e sistemi. Alcuni dei fattori umani includono:

- Eccessiva dipendenza dalla tecnologia, che causa problemi quando i conducenti devono riprendere il controllo del veicolo o utilizzare un veicolo non equipaggiato.
- Sovraccarico del conducente (dal monitoraggio dello stato del sistema), o sottocarico o perdita di vigilanza che potenzialmente porta a una ridotta consapevolezza della situazione e a difficoltà nell'affrontare aumenti improvvisi della domanda, come durante la ripresa del controllo manuale. I problemi di perdita di vigilanza e di consapevolezza della situazione possono essere particolarmente evidenti con il livello 3 SAE o "automazione condizionata".

- Distrazione del guidatore quando viene spaventato dagli avvisi, quando la sua attenzione viene distolta da informazioni critiche o quando si impegna in attività che distraggono mentre è al comando di un veicolo autonomo.
- I conducenti non si fidano e/o non accettano la tecnologia, il che porta a un uso improprio del sistema o al suo disuso.
- Perdita di abilità del conducente, con conseguenti problemi in caso di guasto dell'automazione e ripresa del controllo manuale.

9.3 POSSONO PRESENTARSI NUOVI FATTORI UMANI

9.3.1 Eccessiva dipendenza del conducente (compiacimento dell'automazione)

L'eccessivo affidamento, chiamato anche "compiacimento dell'automazione" [52] o "delega di responsabilità" è un importante fattore umano quando si introducono C-ITS e automazione. L'eccessivo affidamento si verifica quando i conducenti delegano la piena responsabilità dei compiti di guida al sistema (indipendentemente dal fatto che il sistema sia destinato ad assumersi la piena responsabilità o meno), o delegano la responsabilità di altri compiti di guida che il sistema non è stato progettato per affrontare. L'eccessivo affidamento può verificarsi a causa di una perdita di vigilanza o di un'incomprensione da parte dei conducenti delle funzionalità e dei limiti della tecnologia. Questo crea problemi quando il sistema non è più attivo, come quando i conducenti usano un veicolo non equipaggiato o quando i conducenti devono riprendere il controllo del veicolo. L'eccessivo affidamento è stato osservato in diversi studi dell'assistenza intelligente alla velocità (ISA, *Intelligent Speed Assistance*), dove i conducenti dimenticano di cambiare la velocità quando entrano in una zona a velocità diversa quando l'ISA non è più attivo [53]; [54]. Sono stati riportati anche numerosi casi di eccessivo affidamento sui sistemi di controllo della velocità di crociera adattivi (ACC, *Adaptive Cruise Control*). Per esempio, è stato osservato che i conducenti frenano più tardi in risposta alla frenata di un veicolo di testa quando usano l'ACC [55]; [56] e alcuni conducenti non sono riusciti a recuperare il controllo del veicolo e si sono scontrati con un veicolo di testa quando l'ACC si è guastato senza preavviso [57]. Tuttavia, i conducenti possono assumere efficacemente il controllo dall'ACC in situazioni di frenata critiche se viene fornito un avvertimento [58].

Educare i conducenti sulle capacità e i limiti delle tecnologie C-ITS e AV e fornire avvisi tempestivi quando il sistema si muove al di fuori del suo ambito di prestazioni può aiutare a ridurre il rischio di un affidamento eccessivo.

9.3.2 Adozione di comportamenti di guida rischiosi

Se i C-ITS e la tecnologia AV sono percepiti come vantaggiosi per la sicurezza, possono cambiare la percezione del rischio di guida nei conducenti e incoraggiare comportamenti di guida rischiosi. I conducenti possono adottare stili di guida rischiosi per regolare il loro livello di rischio preferito, per sperimentare il sistema, o per migliorare la loro mobilità e compensare fattori come il tempo perso, a causa di velocità inferiori create da alcuni sistemi. Quando si utilizzava l'ISA, per esempio, i conducenti compensavano le velocità generali più basse guidando più velocemente sulle strade dove l'ISA non era attivo, o in situazioni che giustificavano una velocità inferiore, come quando si svoltava o in caso di maltempo [53]; [54]. Il periodo di traffico misto, in cui i veicoli autonomi condivideranno la strada con veicoli non autonomi, può anche presentare problemi in termini di comportamento dei conducenti di veicoli non automatizzati. I problemi possono verificarsi, per esempio, se i conducenti di veicoli non automatizzati si aspettano che i veicoli automatizzati si comportino nello stesso modo (subottimale) dei veicoli non automatizzati e questa aspettativa non viene soddisfatta [59]. Un'analisi preliminare dei tassi di incidenti dei veicoli automatizzati [50] ha trovato che, sebbene i veicoli automatizzati avessero un tasso di incidente quasi cinque volte più alto dei veicoli convenzionali,

nessuno degli incidenti era colpa dei veicoli automatizzati. Tali risultati suggeriscono che i conducenti di veicoli convenzionali possono avere incertezze o difficoltà a conciliare come si aspettano che i veicoli automatizzati si comportino. In alternativa, i conducenti di veicoli non automatizzati possono adottare comportamenti simili ai plotoni di veicoli autonomi che sono incompatibili con una guida manuale sicura. Per esempio, in uno studio al simulatore [60], i partecipanti alla guida di veicoli non autonomi sono stati osservati adottare un comportamento simile a quello dei plotoni di veicoli autonomi, guidando a una distanza ridotta dai veicoli di testa.

9.3.3 Perdita di abilità

L'automazione di parti del compito di guida può portare a una perdita di abilità e questo problema è destinato ad aumentare con l'aumento del livello di guida automatizzata [61]. Se gli esseri umani non eseguono un compito per un certo periodo, cominciano a perdere l'abilità di eseguire quel compito in modo efficace, anche se prima erano in grado di eseguirlo ad un livello elevato. La perdita di abilità può portare a problemi in caso di guasto dell'automazione, quando il conducente deve riprendere il controllo manuale. Questo richiede un autista esperto che deve eseguire i compiti di controllo manuale, così come l'automazione, che spesso avviene sotto pressione temporale. Una sfida per gli sviluppatori di sistemi, i produttori e i governi sarà la progettazione dell'automazione e l'attuazione di politiche, per garantire che i conducenti possano mantenere un livello minimo di abilità di guida (ad esempio richiedendo un controllo manuale intermittente) o eliminando la necessità che i conducenti intervengano affatto nel compito di guida.

9.3.4 Altre questioni

Carico di lavoro del conducente

Un tentativo di ridurre il carico di lavoro attraverso i sistemi di supporto alla guida può potenzialmente aumentare il carico di lavoro mentale del conducente, poiché questi sistemi aggiungono informazioni che devono essere monitorate dai conducenti. Gli esseri umani sono poco abili nei compiti di monitoraggio [62] e la ricerca ha dimostrato che il monitoraggio dei sistemi è stressante e può causare alti livelli di carico di lavoro [63]; [64].

Distrazione del conducente

I sistemi automatizzati possono essere un rischio di distrazione, se spaventano il conducente con avvisi, se presentano avvisi confusi, eccessivi o falsi, o se distolgono l'attenzione del conducente da eventi critici per la sicurezza. Possiamo anche aspettarci che ci saranno limitati standard comuni per gli avvisi e gli allarmi tra le diverse case automobilistiche concorrenti.

Accettazione e fiducia del conducente

L'accettazione degli AV da parte dei conducenti è un fattore critico che influenza il successo dell'adozione di queste tecnologie e la loro efficacia nel migliorare la sicurezza stradale. La mancata accettazione di una tecnologia da parte dei conducenti può portarli a non utilizzare il sistema nel modo previsto o a non utilizzarlo affatto. L'accettazione è strettamente legata alla fiducia dei conducenti - se i conducenti non credono che un sistema sia affidabile, sicuro ed efficace, allora è improbabile che lo trovino accettabile. Ma la realtà dimostra che la gente accetta le nuove tecnologie più di quanto non appaia nei sondaggi sulle opinioni.

Riprendere il controllo manuale

Tutta una serie di fattori, tra cui la perdita di abilità, la perdita di consapevolezza della situazione e l'eccessivo affidamento, possono causare problemi al conducente nel riprendere il controllo di un veicolo autonomo. Una ridotta consapevolezza della situazione, per esempio, è stata associata a un

ritardo nella frenata appropriata quando si è verificato un guasto all'ACC [65], [66]. Alcune ricerche mostrano che gli AV parziali peggioreranno la guida distratta, cullando i conducenti nella condiscendenza. I test del Virginia Tech hanno rilevato che i conducenti hanno impiegato una media di 17 secondi per rispondere alle richieste di acquisizione da parte degli AV di livello 3.

Problemi riguardo l'HMI (Human Machine Interface, interfaccia uomo-macchina)

Con l'introduzione di più sistemi nei veicoli, l'integrazione, in particolare dei sistemi post-vendita, diventerà sempre più importante, poiché i conducenti dovranno essere in grado di distinguere tra le informazioni provenienti da più sistemi, e i sistemi dovranno comunicare tra loro per garantire che qualsiasi avviso o informazione fornita sia prioritaria in modo da non sovraccaricare e confondere il conducente con più fonti di informazioni contemporaneamente [67].

9.3.5 Esempi di 11 nuove questioni sociali e sfide che emergeranno

Sfida 1: Oggi, il lavoro dell'industria e le discussioni con le parti interessate nazionali ed europee (i governi e i loro enti) si concentrano su ricerca, test e omologazione. Le prime attività che si concentrano sullo sviluppo delle regole del traffico sono iniziate in alcuni paesi. Qual è la portata totale della politica e delle regolamentazioni interessate?

Sfida 2: Sulla regolamentazione dell'omologazione, il livello 2 è ancora in forte discussione, il livello 3 non è ancora iniziato, e per quanto riguarda i livelli 4 e 5 non c'è una visione chiara su come procedere. Come può evolvere l'approccio all'omologazione? Come impostare la regolamentazione in modo tempestivo per garantire che sia in atto quando la tecnologia è pronta? Come sviluppare la regolamentazione e la tecnologia in parallelo, in modo armonizzato, senza creare il dilemma dell'uovo e della gallina? Come affrontare gli aggiornamenti del software?

Sfida 3: Come e in che misura sarebbe necessario adattare e armonizzare le regole del traffico per una rapida introduzione di livelli di automazione più alti?

Sfida 4: Quale quadro di responsabilità deve essere messo in atto per facilitare la penetrazione del mercato da un punto di vista legale/di responsabilità?

Sfida 5: Gli AV aumenteranno potenzialmente le miglia totali percorse dai veicoli (VMT, *vehicle miles travelled*) del 14% [68]. Quali politiche dovrebbero essere adottate per motivare le persone a ridurre l'uso dell'auto o a condividere? In che misura i governi dovrebbero limitare la libertà di viaggio? Che tipo di nuove politiche di tariffazione del traffico dovrebbero essere adottate?

Sfida 6: Il periodo di transizione in cui le strade saranno condivise da veicoli convenzionali e automatizzati sarà probabilmente molto impegnativo. Non è chiaro se le strade saranno più sicure o più pericolose durante questo periodo di transizione. L'aumento del rischio è, in parte, dovuto alla probabilità che i conducenti diventino troppo dipendenti dalla tecnologia e prendano rischi che altrimenti potrebbero evitare. Alcuni conducenti potrebbero semplicemente scegliere di disattivare le nuove funzioni di sicurezza. Come possiamo influenzare le persone a rispettare le nuove caratteristiche di sicurezza?

Sfida 7: Equità - Una delle questioni principali è il ruolo degli AV e dei CV nel promuovere l'inclusione sociale. Una società socialmente inclusiva è quella che fornisce a tutte le persone e comunità l'opportunità di partecipare pienamente alla vita politica, culturale, civica ed economica. La ricerca suggerisce che le società inclusive favoriscono una maggiore coesione sociale e migliori standard di salute, mentre l'esclusione sociale e la mancanza di interazione comunitaria sono associate a risultati di salute peggiori e a una morte più precoce. L'esclusione sociale colpisce una vasta gamma di individui e comunità, anche se alcuni gruppi, compresi gli anziani e le persone con disabilità limitanti il lavoro, sono particolarmente a rischio. Mentre molti fattori contribuiscono all'esclusione sociale, il

trasporto inadeguato è stato identificato come una causa chiave contribuyente. Questo perché l'incapacità di accedere o di usare il trasporto personale o pubblico può impedire alle persone di accedere ai servizi sanitari, alle opportunità di lavoro e alle attività sociali. Il problema può essere particolarmente grave nelle zone rurali.

La questione dell'equità è stata sollevata per esempio dal signor Litman. Sebbene ritenga che gli AV siano "molto improbabili" per ridurre la congestione del traffico sulle strade cittadine nel prossimo futuro, ha spiegato che le corsie dedicate agli AV potrebbero essere implementate con l'intento di ridurre la congestione sulle autostrade. Tuttavia, ha avvertito che le corsie AV finanziate pubblicamente potrebbero sollevare questioni di equità sociale, in quanto solo coloro che possono permettersi di acquistare o utilizzare gli AV ne beneficerebbero (come notato in precedenza, gli AV sono inizialmente previsti essere relativamente costosi). Questo potrebbe essere particolarmente prevalente nei paesi a basso e medio reddito.

I problemi di equità includono anche i cambiamenti nell'accesso alla mobilità. Per esempio le nuove politiche di tariffazione del traffico possono portare alla segregazione temporale (la parte meno ricca della società viaggerà solo nei momenti in cui può permettersi di pagare) e alla disuguaglianza nell'accesso alla mobilità (per esempio il *geofencing* per i veicoli meno avanzati) - una forma di segregazione geografica.

Sfida 8: Perdita di entrate fiscali. Oggi i veicoli sono guidati da persone che sono soggette al pagamento delle tasse attraverso il reddito guadagnato parzialmente o interamente attraverso un compito di guida. Quando le auto guideranno senza conducenti professionisti, i governi perderanno parte delle entrate fiscali e saranno costretti a tassare il "lavoro delle macchine". Questo potrebbe portare a uno scenario in cui i conducenti saranno più economici da assumere indipendentemente dallo sviluppo tecnologico.

Sfida 9: Questioni di privacy. Con sistemi più intelligenti e di assistenza nelle auto autonome, saranno raccolti più dati dai conducenti e dai passeggeri. Questo è associato a due rischi principali. 1) I dati sono vulnerabili all'abuso e potrebbero essere l'obiettivo di attacchi informatici. 2) I dati saranno fonte di guadagno commerciale per i loro proprietari ma i "fornitori" originali - gli utenti della strada - avranno poco o nessun guadagno dalla monetizzazione dei loro dati.

Sfida 10: Problemi di salute. Si prevede che l'uso degli AV avrà un impatto sullo stile di vita dei suoi utenti. Per esempio, il consumo di alcol e droghe potrebbe aumentare significativamente. Poiché la necessità di guidare è una ragione che scoraggia i conducenti dal bere eccessivamente, si prevede che il consumo di alcol aumenterà del 10% quando i "conducenti" diventeranno "passeggeri" dei veicoli senza conducente.

La salute fisica non è l'unico argomento di preoccupazione. Guidare un'auto è un'attività umana in cui le persone sperimentano situazioni di prestazioni consistenti e risolvono compiti complessi in condizioni di stress. La rimozione della guida manuale può quindi portare a tentativi di spostare questo guadagno di esperienza in altri domini di vita che potrebbero diventare più rischiosi. Un'altra conseguenza è la degenerazione delle capacità di prestazione umana.

Sfida 11: Resistenza al cambiamento dovuta alla paura della perdita di posti di lavoro nei paesi meno sviluppati - Per esempio, in Sudafrica più del 51% delle famiglie si affidano all'industria dei taxi mini-bus come forma di trasporto. I proprietari di mini-bus taxi, e i loro autisti dipendenti, resisteranno al cambiamento per passare all'automazione. In un paese con un tasso di disoccupazione del 29% (sei volte il tasso medio globale stimato), è probabile che la forza lavoro generale (compresi i tassisti) resista all'automazione a tutti i costi. Infatti, molte industrie, come l'industria delle costruzioni, sono incoraggiate dal governo a usare meno macchine e a utilizzare piuttosto tecniche ad alta intensità di lavoro per aumentare le opportunità di lavoro.

9.4 RACCOMANDAZIONI DAL PUNTO DI VISTA DELLA SOCIETÀ

Per i governi:

- Rafforzare l'approccio Safe System per garantire che i veicoli autonomi siano usati in sicurezza.
- Applicare il pensiero Visione Zero alla guida automatizzata.
- Evitare che le prestazioni di sicurezza siano usate come parametro di marketing per differenziare i veicoli autonomi concorrenti.
- Valutare attentamente l'impatto sulla sicurezza dei sistemi che condividono i compiti di guida tra conducenti e macchine.
- Richiedere la segnalazione di dati rilevanti per la sicurezza dai veicoli autonomi.
- Sviluppare e utilizzare un regime di test a tappe per i veicoli automatizzati.
- Stabilire principi completi di cybersecurity per la guida automatizzata.
- Assicurare l'isolamento funzionale dei sistemi critici per la sicurezza e che la connettività non comprometta la cybersecurity o la sicurezza.
- Fornire una messaggistica chiara e mirata delle capacità dei veicoli.

Per la legislazione:

Una politica proattiva, comprese le regole specifiche, può fornire alle aziende la chiarezza legale di cui hanno bisogno per prendere decisioni di investimento e di diffusione e può permettere ai governi di gestire in modo appropriato le tecnologie di automazione a ciascuno dei cancelli normativi descritti sopra. Tuttavia, codificare prematuramente i requisiti può congelare aspettative irrealisticamente alte o basse nella legge in un modo che alla fine fa sì che la legge stessa sia in ritardo piuttosto che in vantaggio. Sforzi duplici o ripetuti per sviluppare leggi possono costringere gli sviluppatori a investire risorse in lunghi dibattiti legislativi e processi normativi.

Per queste ragioni, il dialogo informale può spesso essere preferibile a regole specifiche. È importante notare che i paesi e le regioni con una specifica "legge sulla guida autonoma" non sono necessariamente più avanti di quelli senza. Lo stato americano del Michigan, per esempio, ha recentemente promulgato una legge che proibisce esplicitamente il funzionamento dei veicoli autonomi per qualsiasi scopo diverso dai test di ricerca e sviluppo.

Per quanto riguarda l'uniformità o la flessibilità della legislazione non c'è una risposta chiara. Una regolamentazione uniforme in più giurisdizioni può ridurre il costo e la complessità per gli sviluppatori di sistemi che attraverseranno i confini nazionali o subnazionali. Progettare per un insieme di regole e strade è già abbastanza scoraggiante; progettare per dozzine amplifica solo questa sfida. Una regolamentazione flessibile, tuttavia, potrebbe adattarsi più facilmente alle differenze regionali esistenti, alle start-up locali e ai progetti dimostrativi unici.

La scelta tra la regolamentazione ex-ante (in particolare gli standard normativi) e la regolamentazione ex-post (in particolare i richiami e le cause civili) implica la flessibilità. Le norme lungimiranti forniscono più certezza ma meno flessibilità; le misure retrospettive forniscono più flessibilità ma meno certezza. Questi compromessi sono particolarmente rilevanti per le preoccupazioni sollevate sulla responsabilità dei produttori di veicoli automatizzati e delle aziende associate per le lesioni legate ai loro prodotti. Queste preoccupazioni, tuttavia, probabilmente derivano almeno tanto dall'incertezza tecnica (come funzioneranno questi eventuali prodotti)

quanto dall'incertezza giuridica (come i tribunali determineranno la responsabilità).

Per il finanziamento della ricerca:

È necessaria una ricerca più democratica negli AV. I principali gruppi target attesi (persone provenienti da aree remote, donne, anziani, ecc.) di solito non sono adeguatamente parte della progettazione e dei test degli AV, il che risulta in una minore fiducia e accettazione da parte di questi gruppi e porta ad alcune conseguenze indesiderate (ad esempio, tassi di collisione più elevati che coinvolgono persone di carnagione più scura perché i sensori sono meno adatti ai gruppi etnici applicabili).

C'è anche la questione del denaro pubblico investito nella ricerca e nello sviluppo degli AV e delle infrastrutture per essi. La società dovrebbe esprimere se vale la pena il denaro e lo sforzo o se quel denaro dovrebbe essere investito per migliorare le tecnologie esistenti e ben adattate e le caratteristiche di sicurezza (ad esempio, scenario di guida manuale con ADAS).

La terza area principale da una prospettiva sociale è la ricerca culturale. C'è una vasta gamma di problemi che possono essere risolti da soluzioni tecniche che sono principalmente collegate agli impatti sulle abilità degli individui come risultato dell'uso degli AV - perdita di abilità, passaggio di consegne, distrazione, ecc. Queste soluzioni possono essere implementate in tutto il mondo con un bisogno minimo di adattamenti (poiché deriva principalmente dai limiti biologici). Ma nel caso di questioni più generali come l'etica o la definizione delle politiche, ogni paese dovrà fare le proprie ricerche per considerare i contesti localizzati e potenzialmente vicini. Bisogna stabilire dei principi etici minimi, ma i principi etici non sono gli stessi in tutto il mondo.

10 CONCLUSIONI

L'automazione dei veicoli - almeno i livelli SAE 3, 4 e 5 - è ancora in una fase di test nella maggior parte dei paesi del mondo. Molti test al livello 3 sono stati eseguiti con successo su strade aperte senza alcuna modifica all'infrastruttura stradale e senza alcun impatto sulla congestione. Tuttavia, in molte situazioni, i conducenti devono ancora prendere il controllo del veicolo - una soluzione di ripiego che è ancora consentita al livello 3, ma non al livello 4 o 5.

Per raggiungere i livelli più alti di automazione, si prevede che sia necessario un certo supporto da parte dell'infrastruttura. In particolare, una segnaletica orizzontale ben tenuta e la fornitura di punti di riferimento sembrano essere fondamentali. Ma i veicoli autonomi non possono fare affidamento solo sull'infrastruttura fisica, che ha dei limiti. Per esempio, non è tecnicamente possibile prevedere il tempo di degrado della segnaletica orizzontale al di sotto di un livello in cui può avere un impatto sulle operazioni automatizzate. Pertanto, l'infrastruttura digitale, compresi i dati forniti attraverso mappe ad alta definizione e/o attraverso la connettività veicolo-infrastruttura, deve essere resa disponibile. Le prime intuizioni su questa infrastruttura digitale sono state delineate e discusse in questo rapporto.

Per quanto riguarda l'impatto sulla congestione, alcuni modelli mostrano che dovrebbe essere leggermente negativo a bassi tassi di penetrazione e crescere in positivo (aumento della capacità) solo dal 2050 o 2055.

Alcuni studi mostrano anche che l'impatto sulla sicurezza stradale dovrebbe essere positivo ad alti tassi di penetrazione, come già osservato sui sistemi ADAS, ma questo suppone che vengano considerati molti fattori umani, come l'eccessivo affidamento del conducente o la perdita di abilità di guida. Il rapporto cita 11 sfide chiave da affrontare per quanto riguarda le questioni sociali per rendere l'automazione un successo.

11 RACCOMANDAZIONI

11.1 RACCOMANDAZIONI PER I RESPONSABILI

Come in qualsiasi tipo di business, è importante avere una prospettiva centrata sull'utente. La digitalizzazione generale del sistema di trasporto stradale e l'introduzione di veicoli altamente automatizzati deve essere intrapresa in un contesto che migliora la vita quotidiana degli utenti individuali e aziendali e con l'obiettivo di migliorare la sicurezza e l'accessibilità in una società sostenibile. L'attenzione deve riconoscere che i benefici e l'efficienza per gli individui e le imprese sono raggiunti attraverso il contributo collettivo di tutti gli attori coinvolti. Per creare un equilibrio tra le possibilità e i rischi della digitalizzazione, la sicurezza funzionale deve essere il motore principale fin dall'inizio. Pertanto, il sistema di trasporto che cambia deve essere testato per garantire che possa soddisfare i requisiti della sicurezza funzionale attraverso le sfide associate alle tecnologie in conflitto, alle condizioni della società e ai comportamenti umani.

L'ampia introduzione di veicoli automatizzati, tuttavia, richiede una collaborazione in cui diverse competenze e attori identificano insieme le sfide e le opportunità. Le opportunità includono, ma non sono limitate a, modelli di business, legge e sicurezza, sviluppo tecnico, standardizzazione e gestione delle informazioni.

È stato evidente nel corso della storia, e sarà vero per l'automazione dei veicoli, che la nuova tecnologia aiuta a sviluppare nuove soluzioni per migliorare la mobilità e spingere il sistema di trasporto stradale verso obiettivi sostenibili. Tali soluzioni possono spesso essere più efficaci delle misure precedenti o più tradizionali che sostituiranno. Pertanto, i fondi (sia pubblici che privati) devono essere ridefiniti e assegnati per consentire l'introduzione di soluzioni basate su nuove tecnologie laddove prove solide e la dovuta considerazione dimostrino che vale la pena perseguire i benefici a vantaggio generale delle comunità e della società.

Le seguenti sono le raccomandazioni più importanti per le autorità stradali e gli operatori:

Imparare facendo

Gli operatori e le autorità stradali dovrebbero monitorare i test AV e chiedere un feedback agli OEM (produttori di apparecchiature originali) riguardo a qualsiasi difficoltà incontrata a causa delle infrastrutture - sia fisiche che digitali. Dovrebbe essere sviluppato un regime di test graduale per i veicoli automatizzati, coinvolgendo tutte le parti interessate.

Costruire l'infrastruttura digitale per integrare e completare il "quadro" dell'infrastruttura fisica

I veicoli autonomi non possono fare affidamento solo sulle infrastrutture fisiche, che hanno limiti intrinseci. Per esempio, il deterioramento della segnaletica orizzontale o l'impatto degli eventi atmosferici e dei fenomeni naturali sull'infrastruttura non possono essere sempre conosciuti o risolti in modo da fornire sempre la certezza delle operazioni dei veicoli automatizzati. L'infrastruttura digitale, come un ambiente digitale attraverso la connettività e/o le mappe HD, sarà fondamentale per consentire ai veicoli di avere sufficiente chiarezza laddove le informazioni dei sensori sono incomplete.

Accesso ai dati e necessità di standardizzazione

È molto importante che le autorità si assumano la responsabilità di controllare e coordinare i dati fondamentali pubblici all'interno del sistema di trasporto stradale, in conformità con le intenzioni della raccolta e dell'uso dei dati fondamentali.

Infrastruttura IT e di comunicazione

Sono necessari investimenti nelle infrastrutture IT e di comunicazione per consentire la connettività in tutto il sistema di trasporto stradale. Ciò richiede un coordinamento degli investimenti pubblici e privati per affrontare le sfide del trasporto stradale e realizzare politiche in modo più efficace.

Aspetti legali

Le autorità devono rivedere e presentare una serie di nuovi quadri giuridici e precondizioni commerciali per l'introduzione su larga scala di veicoli autonomi, nonché facilitare lo scambio di dati pubblici e privati, sia a livello nazionale che internazionale.

Equilibrio tra opportunità e rischi

Le autorità devono creare le condizioni per sviluppare continuamente la conoscenza e i metodi per valutare le minacce e bilanciare la cybersicurezza, specialmente considerando la criticità e la funzionalità richiesta del sistema di trasporto stradale.

Collaborazione e aree di collaborazione

I quadri che contengono principi e raccomandazioni devono essere sviluppati attraverso la collaborazione tra i vari attori pubblici e privati. Le autorità dovrebbero prendere l'iniziativa e condurre attività pertinenti insieme agli attori commerciali e agli utenti con l'obiettivo di sviluppare il trasporto stradale di prossima generazione.

Meccanismo direttivo

I veicoli autonomi creeranno probabilmente nuove opportunità per contribuire agli obiettivi di un sistema di trasporto stradale sostenibile. Per evitare effetti negativi sul sistema e ottenere i cambiamenti desiderati, potrebbe essere necessario sviluppare strumenti politici per finanziare sia la transizione che gli scenari finali pianificati (ad esempio tasse, tariffe e altre regolamentazioni).

Finanziamento della trasformazione digitale per il sistema di trasporto stradale

Un ulteriore sviluppo dell'analisi costi-benefici deve essere intrapreso per stimare o descrivere meglio i possibili e probabili benefici per la società e i costi associati al fine di valutare e dare priorità ai vari investimenti su varie componenti, in particolare le infrastrutture di comunicazione, la marcatura della pavimentazione stradale, i gemelli digitali, le mappe HD ecc.

Tenere conto delle questioni sociali

- Rafforzare l'approccio Safe System per garantire che i veicoli autonomi siano usati in sicurezza.
- Applicare il pensiero Visione Zero alla guida automatizzata.
- Evitare che le prestazioni di sicurezza siano usate per commercializzare veicoli automatizzati concorrenti.
- Valutare attentamente gli impatti sulla sicurezza dei sistemi che condividono i compiti di guida tra conducenti e macchine.
- Richiedere la segnalazione di dati rilevanti per la sicurezza dai veicoli autonomi.
- Stabilire principi completi di cybersicurezza per la guida automatizzata.
- Assicurare l'isolamento funzionale dei sistemi critici per la sicurezza e che la connettività non comprometta la cybersicurezza o la sicurezza.
- Fornire una messaggistica chiara e mirata delle capacità dei veicoli.

11.2 RACCOMANDAZIONI PER GLI OPERATORI E LE AUTORITÀ STRADALI

11.2.1 A breve termine

- Condurre i test e ottenere un feedback dagli OEM su eventuali difficoltà associate all'infrastruttura
- Richiedere la segnalazione di dati rilevanti per la sicurezza dai veicoli automatizzati
- Garantire un adeguato livello di manutenzione della segnaletica orizzontale e delle infrastrutture stradali fisiche critiche per supportare il posizionamento e la guida dei veicoli.
- Testare e sviluppare il supporto dell'infrastruttura attraverso la connettività I2V in alcune zone critiche (ad esempio lavori stradali)
- Garantire l'isolamento funzionale dei sistemi critici per la sicurezza e che la connettività non comprometta la cybersicurezza.

11.2.2 A medio e lungo termine

- Adattare le regole di progettazione stradale e le strategie di manutenzione che rispondono alle lezioni apprese
- L'infrastruttura fisica sarà sempre più digitalizzata. Una sfida significativa è quella di costruire questa infrastruttura digitale e di mantenerla aggiornata (in particolare le mappe HD)
- Sostenere l'armonizzazione della segnaletica stradale
- Le navette automatizzate devono essere considerate in un ambiente urbano e rurale.

11.3 RACCOMANDAZIONI PER I PAESI A BASSO E MEDIO REDDITO

Molti dei cambiamenti portati dai progressi tecnologici nella mobilità, si riveleranno molto dirompenti e potenzialmente avranno un impatto sociale e socio-economico negativo in particolare nei paesi a basso e medio reddito. Come discusso nel Capitolo 9 (“Questioni sociali e la considerazione dei fattori umani”), molti di questi paesi hanno tassi di disoccupazione estremamente alti (29% - nel caso del Sudafrica, che è sei volte la media globale), e il mantenimento e la creazione di posti di lavoro è una priorità per i loro governi. Pertanto, qualsiasi forma di automazione sarà una minaccia per le persone, in termini di perdita di posti di lavoro e di conseguente sostentamento. Tuttavia, i paesi a basso e medio reddito non possono permettersi di rimanere indietro rispetto alla comunità globale. È responsabilità non solo dei governi, ma dell'industria dei trasporti in generale, prepararsi a questi cambiamenti e non farsi prendere alla sprovvista.

Ci sono molti produttori dell'industria automobilistica nei paesi a basso e medio reddito (Africa, Asia e Sud America) ed essi esportano la maggior parte dei veicoli che producono in alcuni dei paesi più sviluppati (ad esempio il 60% nel caso del Sudafrica). A causa dei progressi tecnologici nell'industria automobilistica globale, i mercati d'esportazione di tutto il mondo sono tutti in varie fasi di test e diffusione dei CAV. Questi produttori automobilistici di questi paesi meno sviluppati dovranno soddisfare le richieste del mercato di esportazione nella produzione di questi veicoli. È quindi imperativo che i paesi a basso e medio reddito si preparino con largo anticipo per essere pronti a soddisfare la crescente domanda di nuove tecnologie e automazione.

Il comportamento irresponsabile e i fattori umani sono responsabili fino al 90% degli incidenti gravi in Sudafrica, è quindi essenziale che i benefici della tecnologia sotto forma di CAV siano esplorati per rimuovere l'elemento umano per quanto possibile. Ci sono molte sfide socio-economiche che devono essere affrontate prima, ma i benefici della tecnologia CAV non possono essere ignorati.

Se i paesi meno sviluppati devono lottare per la "visione zero", in linea con molti paesi sviluppati, i benefici della tecnologia CAV devono essere seguiti rapidamente dai governi, dalle autorità stradali e dall'industria dei trasporti.

Si raccomanda quindi ai paesi a basso e medio reddito di:

- Iniziare in piccolo, con distribuzioni pilota sui servizi più maturi come quelli sperimentati nei paesi sviluppati
- Iniziare prima con i servizi di sicurezza, poiché la sicurezza stradale è la più grande motivazione per l'implementazione
- Esplorare le possibilità di applicazione della legge di CAV e C-ITS per aiutare a migliorare il comportamento degli utenti della strada.

11.4 RACCOMANDAZIONI PER PIARC

L'automazione continuerà ad essere un tema caldo nel prossimo decennio per la comunità del trasporto stradale e della mobilità. Si raccomanda di continuare il lavoro, con una nuova Task Force, fino al prossimo Congresso Mondiale della Strada nel 2023.

Alcuni argomenti da approfondire sono, tra gli altri:

- Analisi costi/benefici e modelli di finanziamento
- Necessità e lusso - "must have" e "nice to have" dal punto di vista della società
- L'uso di aspetti universali dovrebbero essere scoraggiati o proibiti per il marketing competitivo di veicoli e caratteristiche
- Principi etici e requisiti minimi
- Principi e requisiti minimi di protezione dei dati e di cybersicurezza
- Principi per l'elaborazione delle politiche e per aiutare gli utenti finali.

Dopo il congresso mondiale del 2023, l'argomento potrebbe essere ripreso da un Comitato tecnico dedicato.

12 GLOSSARIO

ACC	Adaptive Cruise Control • Controllo della velocità di crociera adattivo
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems • Sistemi avanzati di assistenza alla guida
ADS	Automated Driving System • Sistema di guida automatica
API	Application Program Interface • Interfaccia del programma applicativo
AV	Automated Vehicle • Veicolo autonomo
CAV	Connect and Automated Vehicle • Veicolo connesso e autonomo
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport System • Sistema di trasporto intelligente cooperativo
CV	Connected Vehicle • Veicolo connesso
DCAT-AP	Data Catalogue Vocabulary – Application Profile • Vocabolario del catalogo dei dati – Profilo dell'applicazione
DGNSS	Differential GNSS • GNSS differenziale
E2E	End-To-End • end-to-end
Galileo	European Global Satellite Navigation System • Sistema di navigazione satellitare globale europeo
GIS	Geographical Information System • Sistema di informazione geografica
GNSS	Global Navigation Satellite System • Sistema satellitare globale di navigazione
HMI	Human Machine Interface • Interfaccia uomo-macchina
I2V	Infrastructure to Vehicle (Communications) • (Comunicazioni) infrastruttura-veicolo
ISA	Intelligent Speed Assistance • Assistenza intelligente alla velocità
ISAD	Infrastructure Support levels for Automated Driving • Livelli di support all'infrastruttura per la guida autonoma
LMICs	Lower and Middle Income Countries • Paesi a basso e medio reddito
LTA	Left Turn Assist • Assistenza per la svolta a sinistra
METR	Management of Electronic Traffic Regulations • Gestione dei regolamenti elettronici del traffico
MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices • Manuale statunitense sui dispositivi uniformi di controllo del traffico
NAP	National Access Points • Punti di accesso nazionali

ODD	Operational Design Domain • Dominio di progettazione operativa
OEM	Original Equipment Manufacturers • Produttori di apparecchiature originali
PPP	Precise Point Positioning • Posizionamento preciso del punto
Q-WARN	Queue Warning • Avviso di coda
RLVW	Red Light Violation Warning • Avviso di violazione del semaforo rosso
RNO	Road Network Operations • Operazioni della rete stradale
RTK	Real-Time Kinematic • (Navigazione satellitare) cinematica in tempo reale
SAE	Society of Automotive Engineers • Associazione degli ingegneri dell'automobile
SBAS	Space Based Augmentation Systems • Sistemi di potenziamento basati su satellite
SF-PPP	Single Frequency Precise Point Positioning • Posizionamento preciso del punto a frequenza singola
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping • Localizzazione e mappatura simultanea
SPaT	Signal Phase and Timing • Fase del segnale e tempistica
SWIW	Spot Weather Impact Warning • Avviso del punto di impatto meteorologico
TMC / TCC	Traffic Management Center / Traffic Control Center • Centro di gestione del traffico / Centro di controllo del traffico
TSR	Traffic Sign Recognition • Riconoscimento dei segnali stradali
V2I	Vehicle to Infrastructure (Communications) • (Comunicazioni) veicolo-infrastruttura
V2V	Vehicles to Vehicle (Communications) • (Comunicazioni) veicolo-veicolo
V2X	Vehicle to Other (Communications) • (Comunicazioni) veicolo verso qualsiasi entità
WZDx	Work Zone Data Exchange • Scambio di dati in una zona di lavoro

13 FONTI

- [1] PIARC TF. C.1 on Infrastructure Security, "Security of Road Infrastructure – Final Report," PAIRC, Paris, 2019.
- [2] "[HTTPS://WWW.UNECE.ORG/TRANS/ROADSAFE/EG_ROAD_SIGNS_SIGNALS.HTML](https://www.unece.org/trans/roadsafe/eg_road_signs_signals.html)".
- [3] Austroads, "AP-R580-15: Implications of Traffic Sign Recognition Systems for Road Operations".
- [4] City of Calgary, "Calgary Autonomous Shuttle - ACATS final report," Calgary, 2019.
- [5] "https://ops.fhwa.dot.gov/weather/q1_roadimpact.htm?fbclid=IwAR2uF2hCzguNvFuH3kqXis-irfqZmAnffVD5MABwChx119kP3JKinYGe23I".
- [6] "<https://www.engadget.com/2018/05/08/waymo-snow-navigation/>".
- [7] "http://wavelab.uwaterloo.ca/?weblizar_portfolio=real-time-filtering-of-snow-from-lidar-point-clouds".
- [8] National Research Council Canada, funded by Transport Canada's ecoTECHNOLOGY for Vehicles Program, "Review of cooperative truck platooning systems," SAE International, Ottawa, Canada, 2014.
- [9] J. W. Matthew Yarnold, "Truck Platoon Impacts on Steel Girder Bridges," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 24, no. 7, 2019.
- [10] Peleton, "Overview on Driver-Assitive Truck Platooning," in *Highway Engineering Conference*, Illinois, 2019.
- [11] J. National Institute for Infrastructure and Land Management.
- [12] S. o. C. Standing Senate Committee on Transport and Communications, "Driving Change: Technology and the future of the automated vehicle," Ottawa, 2018.
- [13] N. A. o. Sciences, "Reviewing the National Commitment to the Interstate Highway System," The National Academies Press, Washington, DC, 2018.
- [14] C. T. Systems, "Future Proofing Infrastructure for Connected and Automated Vehicles," 2017.
- [15] Austroads, "AP-R580-15: Implications of Traffic Sign Recognition Systems for Road Operators".
- [16] "https://blog.csdn.net/qq_17256689/article/details/100037699".
- [17] "Leading the world to 5G:Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) technologies".

- [18] "<https://www.transportation.gov/av/data/wzdx>".
- [19] "Centre for Connected & Autonomous Vehicles," 2018.
- [20] SIP (the Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program), "SIP-adus: Project Reports, 2014-2018 - Automated Driving for Universal Services," 2019.
- [21] PIARC - TF B.1, "Connected Vehicles – Challenges and Opportunities for Road Operators," 2019.
- [22] Huawei, "Ten application scenarios in the 5G era White Paper".
- [23] Austroads, "Infrastructure changes to support automated vehicles on rural and metropolitan highways and freeways: Audit Specification (Module 2)".
- [24] Austroads, "CAV Open Data Recommendations".
- [25] S. e. al, "Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems," Journal of Transportation Technologies, 2015.
- [26] Austroads, "Infrastructure changes to support automated vehicles on rural and metropolitan highways and freeways: Audit Specification (Module 1)".
- [27] "<https://inspire.ec.europa.eu/documents/inspire-efficient-way-share-european-spatial-data>".
- [28] Austroads, "Assessment of Key Road Operator Actions to Support Automated Vehicles".
- [29] "https://inspire.ec.europa.eu/sites/default/files/presentations/0930_tn-its_inspire_20.09.2018_v0.1.pdf".
- [30] "<https://www.cdbb.cam.ac.uk/system/files/documents/TheGeminiPrinciples.pdf>".
- [31] E. S. A. T. a. v. A. B. Farah H, "Infrastructure for Automated and Connected Driving: State of the Art and Future Research Direction".
- [32] CARTRE, "Position Paper on Physical and Digital Infrastructure (PDI)," Brussels, October 2018.
- [33] e. a. Anna Carreras, "Road infrastructure support levels for automated driving," 25th ITS World Congress, Copenhagen, Denmark, September 2018.
- [34] European Commission, "DCAT Application profile for data portals in Europe (DCAT-AP)," Brussels, Belgium, 2015.
- [35] Cooperation AT, DE and NL, "SPA – Coordinated Metadata Catalogue," 2015.

- [36] ERTRAC Working Group “Connectivity and Automated Driving”, “Connected Automated Driving Roadmap,” Brussels, Belgium, 2019.
- [37] A. Somers, “Connected and Automated Vehicles (CAV) Open Data Recommendations,” Austroads Ltd., Sydney, Australia, 2018.
- [38] Official Journal of the European Union, “Commission delegated regulation (EU) No 886/2013 of 15 May 2013 supplementing Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council with regard to data and procedures for the provision,” Brussels, Belgium, 2013.
- [39] Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur, “Ethik-Kommission – Automatisiertes und vernetztes Fahren,” Berlin, Germany, 2017.
- [40] European Commission, “C-ITS Platform – Final Report,” Brussels, Belgium, 2016.
- [41] Data Task Force: Memorandum of Understanding (“MoU”), “Increasing road safety by sharing road safety related data in public and private cooperation,” Eindhoven, Netherlands, 2019.
- [42] M. & M. N. & K. S. & H. S. & V. P. & B. F. Hartmann, “Impact of Automated Vehicles on Capacity of the German Freeway Network.,” 2017.
- [43] UN, “World Urbanization Prospects,” 2018.
- [44] Ricardo Energy&Environment, “Cost Analysis of V2I Deployment,” 5G Automotive Association, August 2020.
- [45] N. & al., “Challenges to Human Drivers in Increasingly Automated Vehicles,” 2018.
- [46] W. e. al., “Attentional Models of Multitask Pilot Performance Using,” 2003.
- [47] Fitts, “Reflections on the 1951 Fitts List: Do Humans Believe Now that Machines Surpass them?,” 1951.
- [48] G. Cummings, “The New Statistics: Why and How,” 2014.
- [49] D. D. Joost de Winter, “A surge of p-values between 0.041 and 0.049 in recent decades,” 2014.
- [50] M. S. BRANDON SCHOETTLE, “A PRELIMINARY ANALYSIS OF REAL-WORLD CRASHES INVOLVING SELF-DRIVING VEHICLES,” 2015.
- [51] W. G. & E. Mazzae, “Driver Distraction Research: Past Present and Future,” NHTSA , 2000.
- [52] R. Parasuraman, T. Sheridan and C. Wickens, “A model for types and levels of human interaction with automation. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part A Syst. Hum. 30(3), 286-297,” IEEE, 2000.

- [53] Comte, 1998.
- [54] M. Hjalmdahl and A. Varhelyi, "Validation of in-car observations, a method for driver assessment," 2004.
- [55] H. & Kopf, "Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments," 2001.
- [56] R. -. B. a. Parker, "Behavioural adaptations to Acc," 2004.
- [57] N. Y. M. a. M. B. Stanton, "Drive-by-wire: the case of mental workload and the ability of the driver to reclaim control," 1997.
- [58] L. e. al, 2008.
- [59] R. J. Loon and M. H.Martens, "Automated Driving and its Effect on the Safety Ecosystem: How do Compatibility Issues Affect the Transition Period?," 2015.
- [60] G. e. al., "Driving next to automated vehicle platoons: How do short time headways influence non-platoon drivers' longitudinal control?," 2014.
- [61] T. & al., "CityMobil: Human Factor Issues Regarding Highly-automated Vehicles on an eLane," 2009.
- [62] D. I. Bianbridge, "Computers and Copyright," 1987.
- [63] R. P. P.A.Hancock, "Human factors and safety in the design of intelligent vehicle-highway systems (IVHS)," *Journal of Safety Research*, 1992.
- [64] R. Parasuraman, "Human-Computer Monitoring," 1987.
- [65] C. M. & P. H. A. Rudin-Brown, "Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): Implications for preventive strategies," 2004.
- [66] M. S. Y. & N. Stanton, "What's skill got to do with it? Vehicle Automation and driver mental workload," 2007.
- [67] K. & Moyer, "Integration of driver in-vehicle ITS information," FHA, 2000.
- [68] Bloomberg Philanthropies, "Taming the Autonomous Vehicle: A Primer for Cities," 2017.
- [69] SAE J3016, "Surface Vehicle Recommended Practice — Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles," July 2018.



Diritto d'autore della World Road Association. Tutti i diritti sono riservati.

World Road Association (PIARC)

La Grande Arche, Paroi Sud, 5e étage, F-92055 La Défense cedex