



**UNIVERSITA' DELLA CALABRIA**  
Dipartimento di INGEGNERIA CIVILE

**Dottorato di Ricerca in**  
INGEGNERIA CIVILE E INDUSTRIALE

**CICLO**  
**XXX**

**TITOLO TESI**

**LO STUDIO DELLA SICUREZZA STRADALE PER UNA MOBILITA' SOSTENIBILE.  
ANALISI SPERIMENTALE DEL COMPORTAMENTO DI GUIDA DEGLI UTENTI  
TRAMITE L'UTILIZZO DI SISTEMI ITS.**

**Settore Scientifico Disciplinare ICAR/05**

**Coordinatore:** Ch.mo Prof. FRANCO FURGIUELE

Firma

**Supervisore/Tutor:** Ch.ma Prof.ssa GABRIELLA MAZZULLA

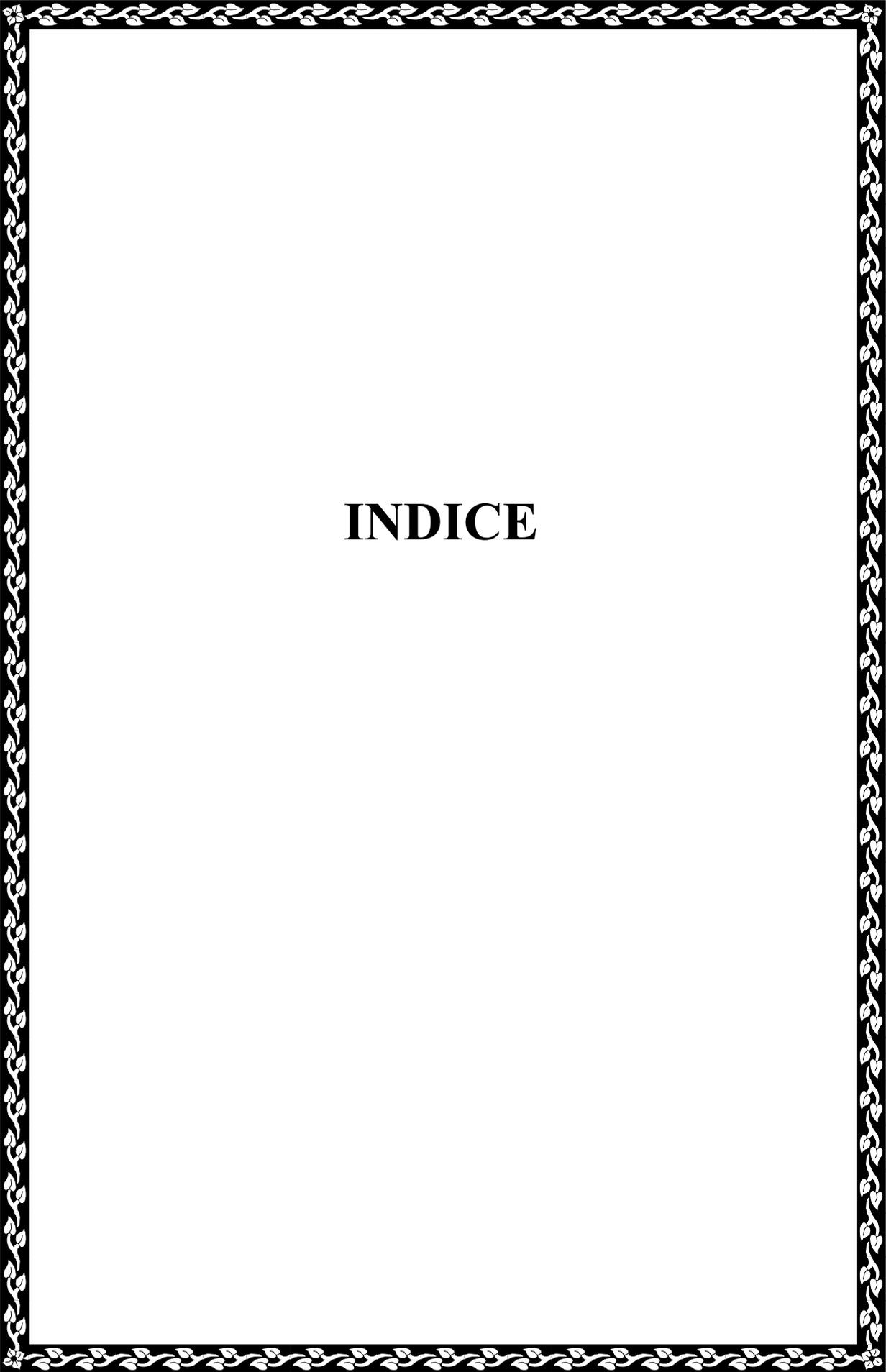
Firma

**Dottorando:**

Dott. GIUSEPPE PUNGILLO

Firma

*... alla mia famiglia.*



# INDICE

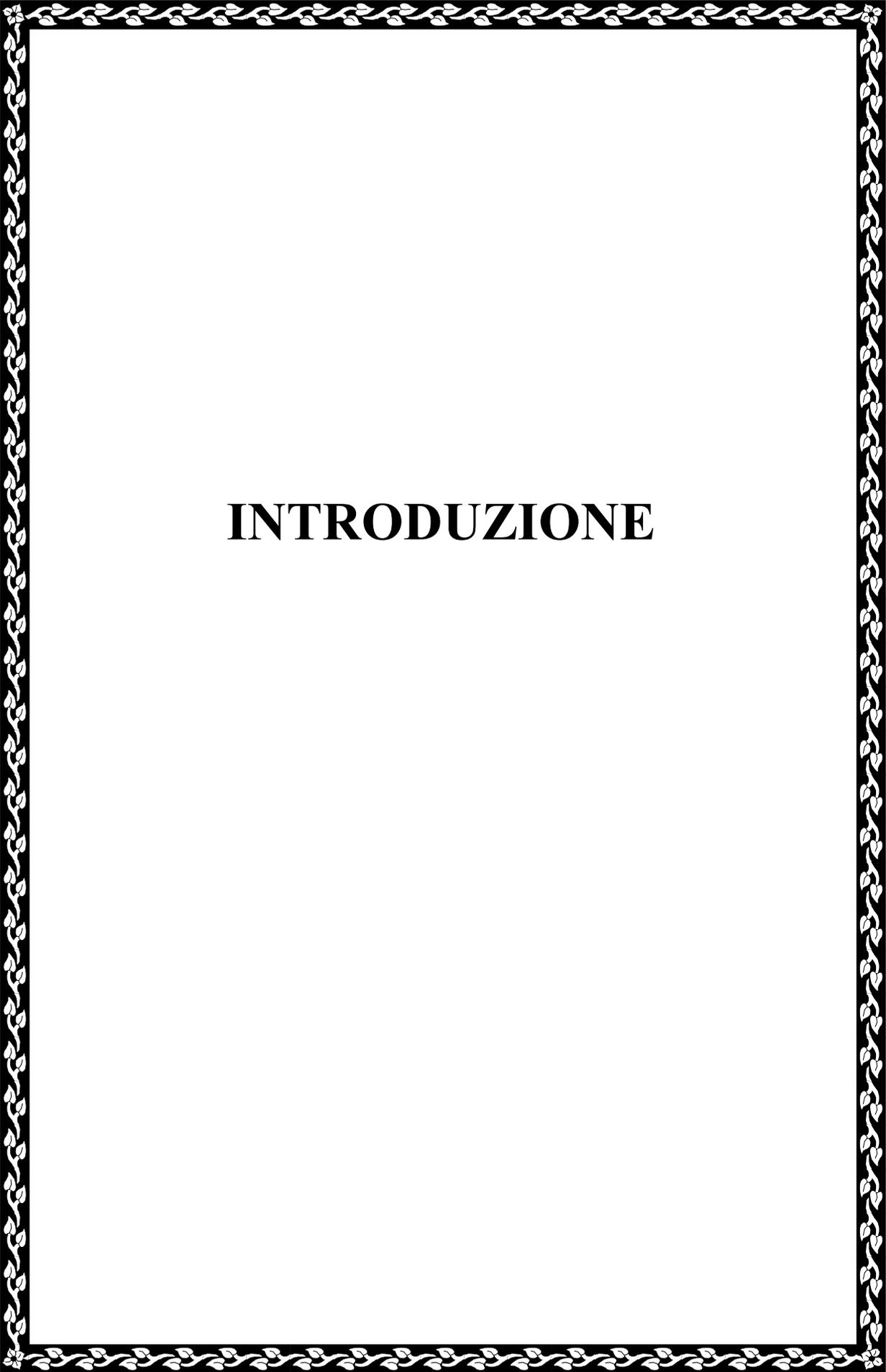
# INDICE

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>1. LA SICUREZZA STRADALE .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 GLI INCIDENTI COME UNITA' DI MISURA DELLA SICUREZZA STRADALE .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 DEFINIZIONE DELLA SICUREZZA STRADALE .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 IL TRINOMIO UOMO-VEICOLO-INFRASTRUTTURA .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.1 L'utente stradale .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2 Il veicolo .....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.3 L'infrastruttura stradale .....</b>	<b>28</b>
<b>1.4 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRADALE .....</b>	<b>31</b>
<b>1.4.1 Il concetto di rischio .....</b>	<b>31</b>
<b>1.4.2 Una misura della sicurezza stradale .....</b>	<b>33</b>
<b>1.4.3 Le principali teorie per la valutazione della sicurezza stradale .....</b>	<b>35</b>
<b>2. L'ATTIVITA' DI GUIDA SU STRADA .....</b>	<b>38</b>
<b>2.1 IL COMPITO DI GUIDA .....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.1 Il modello di Michon .....</b>	<b>42</b>
<b>2.1.2 Il modello di Rasmussen .....</b>	<b>45</b>
<b>2.1.3 Il modello di Donges .....</b>	<b>48</b>
<b>2.2 I MODELLI DI COMPORTAMENTO ALLA GUIDA .....</b>	<b>50</b>
<b>2.2.1 Modelli tassonomici .....</b>	<b>51</b>
<b>2.2.2 Modelli funzionali .....</b>	<b>55</b>
<b>2.3 MODELLI DI PROCESSO DELLE INFORMAZIONI .....</b>	<b>58</b>
<b>2.3.1 Modello di Rumar .....</b>	<b>60</b>
<b>2.3.2 Aspettative e modelli mentali .....</b>	<b>62</b>
<b>2.3.3 Modello di percezione diretta .....</b>	<b>66</b>
<b>2.4 MODELLI MOTIVAZIONALI .....</b>	<b>67</b>
<b>2.4.1 Modelli di rischio .....</b>	<b>67</b>

2.4.2	Modelli di adattamento comportamentale .....	72
2.4.3	Modelli di carico mentale.....	75
<b>3.</b>	<b>LO STILE DI GUIDA E LA SICUREZZA STRADALE.....</b>	<b>82</b>
3.1	DIFFERENZE INDIVIDUALI E RISCHIO DI INCIDENTE .....	83
3.2	LO STILE DI GUIDA .....	84
3.3	I FATTORI CHE INFLUENZANO LO STILE DI GUIDA .....	91
3.3.1	I fattori individuali .....	91
3.3.2	I fattori socio-culturali .....	93
3.3.3	I fattori tecnologici.....	94
3.4	CLASSIFICAZIONE DELLO STILE DI GUIDA .....	95
3.4.1	Alcuni concetti in merito allo stile di guida.....	95
3.4.2	Metodi soggettivi per classificare lo stile di guida .....	97
3.4.2.1	Driving Behaviour Inventory (DBI) .....	99
3.4.2.2	Driving Behaviour Questionnaire (DBQ) .....	99
3.4.2.3	Driving Style Questionnaire (DSQ) .....	101
3.4.2.4	Driving Anger Scale (DAS) .....	101
3.4.2.5	Driver Skill Inventory (DSI) .....	102
3.4.2.6	Driver Vengeance Questionnaire (DVQ) .....	103
3.4.2.7	Driver Anger Expression Inventory (DAX).....	103
3.4.2.8	Dula Dangerous Driving Index (DDDI) .....	104
3.4.2.9	Driver Aggression Indicators Scale (DAIS).....	104
3.4.2.10	Multidimensional Driving Style Inventory (MDSI).....	104
3.4.2.11	Driving Style Questionnaire 2007 (DSQ 2007).....	106
3.4.3	Limitazione dei questionari di tipo Self-Reporting .....	106
3.4.4	Metodi oggettivi per classificare lo stile di guida.....	107
3.4.4.1	In Vehicle Data Recorder IVDR.....	107
3.4.4.2	Stili di guida specifici .....	110
3.4.4.2.1	Controllo longitudinale.....	111
3.4.4.2.2	Controllo laterale .....	114
3.4.4.2.3	Gap Acceptance.....	115
3.4.5	Classificazione dello stile di guida in base ai parametri cinematici .....	118
3.4.5.1	Classificazione dello stile di guida tramite le velocità.....	118
3.4.5.2	Classificazione dello stile di guida tramite le accelerazioni.....	121

3.4.5.3	Classificazione dello stile di guida tramite accelerazioni e velocità	131
3.4.6	Relazione tra indicatori soggettivi e oggettivi dello stile di guida	139
3.4.7	Relazione tra stile di guida e rischio incidenti	140
<b>4.</b>	<b>IL CASO DI STUDIO E LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</b>	<b>146</b>
4.1	I CONDUCENTI DELLE AUTOVETTURE	147
4.2	I TRACCIATI ANALIZZATI	149
4.3	L'ACQUISIZIONE DI DATI OGGETTIVI PER LA CLASSIFICAZIONE DELLO STILE DI GUIDA	160
4.3.1	Lo smartphone come strumento per la rilevazione dei parametri cinematici delle traiettorie dei veicoli	160
4.3.1.1	Il GPS	161
4.3.1.2	L'accelerometro	165
4.3.2	L'applicazione Torque e i parametri rilevati	170
4.4	IL QUESTIONARIO PER LA RILEVAZIONE DELLO STATO PSICO-FISICO DEL DRIVER	173
4.4.1	Il differenziale semantico	174
4.4.2	La scheda di rilevazione proposta	178
<b>5.</b>	<b>SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA PER DEFINIRE IN MANIERA OGGETTIVA LO STILE DI GUIDA</b>	<b>183</b>
5.1	DEFINIZIONE DEI "DOMINI DI SICUREZZA"	184
5.1.1	Strade urbane	191
5.1.2	Strade extraurbane	193
5.1.2	Autostrade	194
5.2	VALIDAZIONE DEI DOMINI DI SICUREZZA SVILUPPATI	197
5.3	DEFINIZIONE DI UN INDICATORE OGGETTIVO DELLO STILE DI GUIDA	200
5.4	DISCUSSIONE SULLA METODOLOGIA PROPOSTA	201
5.5	RAPPRESENTAZIONE DEI RILIEVI CINEMATICI TRAMITE LA METODOLOGIA PROPOSTA	202

<b>6. LA SPERIMENTAZIONE</b> .....	<b>208</b>
<b>6.1 I DATI RILEVATI ED ANALIZZATI</b> .....	<b>209</b>
<b>6.2 DEFINIZIONE SOGGETTIVA DELLO STATO PSICOFISICO E DELLO         STILE DI GUIDA DEL DRIVER</b> .....	<b>211</b>
<b>6.3 DEFINIZIONE OGGETTIVA DELLO STILE DI GUIDA DEL DRIVER</b> .....	<b>216</b>
<b>6.4 DEFINIZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO SECONDO UNA SCALA A TRE         LIVELLI</b> .....	<b>219</b>
<b>6.5 MISURA DELL'ERRORE DI PERCEZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO         ALLA GUIDA</b> .....	<b>222</b>
<b>6.6 ANALISI DELLA CORRELAZIONE TRA LO STILE DI GUIDA E LE         CONDIZIONI PSICO-FISICHE DEL DRIVER</b> .....	<b>232</b>
<b>6.7 SVILUPPO DI UN MODELLO SEM PER ANALIZZARE LA CORRELAZIONE         TRA LE GRANDEZZE ESAMINATE</b> .....	<b>235</b>
6.7.1 Premessa .....	<b>235</b>
6.7.2 Il modello proposto .....	<b>236</b>
6.7.3 I risultati del modello proposto .....	<b>240</b>
<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>242</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>246</b>



# **INTRODUZIONE**

## INTRODUZIONE

La sicurezza stradale è un tema molto importante e di attualità sia per i costi economici e sociali che determina e sia per l'interesse che suscita da parte di soggetti istituzionali, del mondo della ricerca e di tutti gli attori coinvolti nella circolazione stradale. Infatti vista la sua caratteristica di trasversalità, il tema della sicurezza stradale è uno di quei temi che riguarda tutti: persone di ogni fascia di età e di ogni genere, siano essi automobilisti, pedoni, ciclisti o fruitori di mezzi pubblici. Per queste persone la mobilità rappresenta un diritto fondamentale e la possibilità di raggiungere altre persone, altri posti di lavoro, altri luoghi di svago o altri servizi rappresenta una misura del grado di libertà raggiunto; per queste ragioni il numero e la distanza degli spostamenti pro capite aumenta col crescere del benessere. La mobilità rappresenta però uno dei problemi più complessi che la società moderna deve affrontare e uno dei principali fattori di crisi del sistema territoriale sia a livello locale, sia a livello regionale e sia a livello nazionale. Il sistema dei trasporti si è sviluppato negli ultimi decenni in modo insostenibile, incidendo in modo profondo in un contesto caratterizzato da risorse sempre più limitate. La crescita della domanda di trasporto, proseguita senza interruzione nel tempo, ha trovato risposta nella crescita della motorizzazione privata e del relativo traffico. Il trasporto su gomma, soprattutto nel nostro Paese, continua ad essere la modalità privilegiata sia per scopi privati che per scopi commerciali. Infatti, negli ultimi anni la crescita del trasporto merci è dovuta soprattutto all'*e-commerce*, principalmente per la consegna e l'approvvigionamento di beni anche da grandi distanze. La conseguente eterogeneità del traffico veicolare, la guida non vincolata, l'aumento del traffico e quindi delle interazioni tra gli utenti stradali, l'inadeguatezza dell'offerta di trasporto, la variabilità delle abilità e dell'esperienza dei *driver*, le carenze progettuali accompagnate da uno stato psico-fisico del *driver* non ottimale sono fattori che hanno reso il problema dell'incidentalità stradale un'emergenza a livello mondiale. Secondo i dati pubblicati dalla WHO (World Health Organization), ogni anno muoiono nel mondo circa 1,25 milioni di persone e circa cinquanta milioni rimangono ferite a causa di incidenti stradali. Anche in Europa la situazione risulta essere particolarmente grave. Secondo le statistiche di sicurezza stradale, pubblicate

dalla Commissione Europea, in Europa tra le prime cause di morte e disabilità vi è senza dubbio l'incidentalità stradale. La mobilità comporta ogni anno 1.300.000 incidenti che causano più di 40.000 morti e 1.700.000 feriti. È come se un evento catastrofico facesse scomparire ogni anno una città di medie dimensioni. Il costo diretto risulta essere pari a 160 miliardi di euro, cioè circa il 2% del PIL dell'UE. Si stima che i costi indiretti, che includono i danni psichici subiti dalle vittime, siano quattro volte maggiori.

Sono numeri che fanno riflettere: secondo i dati ACI-ISTAT, "*l'insicurezza*" stradale negli ultimi 30 anni, in Italia, ha portato 300.000 persone perdere la vita e 700.000 a rimanere invalidi gravi. Negli ultimi anni la situazione è leggermente migliorata ma la situazione resta critica: ogni anno si registrano sulle strade italiane circa 3.500 morti e circa 250.000 feriti. Cioè l'incidentalità stradale provoca più vittime di quelle causate dagli attacchi terroristici (nell'Europa occidentale, l'anno in cui ci sono state più vittime da terrorismo è stato il 2004 con circa 200 vittime) o dalle calamità naturali. Però i mass media non danno molta rilevanza al fenomeno. Basti pensare al tempo dedicato a servizi in TV, in seguito al verificarsi di attacchi terroristici o di calamità naturali, e a quello dedicato agli incidenti. Quindi è vero che l'incidentalità stradale è un tema importante e di attualità ma è anche vero che risulta sottovalutato e non messo in rilievo adeguatamente. Come si può osservare, spesso, si fa confusione tra incidentalità e sicurezza stradale. Infatti, i dati d'incidentalità rappresentano la base per l'analisi e la descrizione dei problemi legati alla sicurezza del traffico. Il numero e la gravità degli incidenti stradali rappresentano le unità di misura con cui si quantifica la "sicurezza" stradale, in tal modo negando al concetto la dignità di una definizione diretta.

I dati relativi al numero di incidenti, in realtà, sono notevolmente superiori a quelli registrati. Ad esempio l'ISTAT tiene conto delle informazioni fornite dalle forze dell'ordine limitatamente agli incidenti con feriti e morti, ovvero quando il decesso avviene entro 30 giorni dal verificarsi dell'evento incidentale. Paradossalmente se il decesso avviene dopo il trentesimo giorno, esso non viene considerato in relazione all'incidente stradale e quindi non viene conteggiato.

Al fine di ridurre il numero e la gravità degli incidenti, e mirare quindi ad una mobilità più sostenibile, l'attenzione della ricerca si focalizza essenzialmente su 3 fattori principali:

- **l'infrastruttura**, che può indurre l'utente in errore o impedirgli di prendere la giusta decisione e quindi deve essere progettata e mantenuta in modo tale da avere un livello di rischio il più basso possibile;
- **gli utenti**, che dovrebbero seguire le norme contenute nel Nuovo Codice della Strada in quanto il loro comportamento è una delle principali cause degli incidenti (educazione stradale, condizioni psichiche e fisiche, capacità di percezione del pericolo, ecc.);
- **i veicoli**, che devono essere costruiti e mantenuti seguendo dei requisiti specifici (caratteristiche meccaniche, sicurezza attiva e passiva, ecc.) finalizzati a non costituire pericolo per il conducente, per i passeggeri ed in generale per tutti gli utenti della strada.

Queste rappresentano le principali cause che concorrono al verificarsi di un incidente stradale. Ad esempio un *driver* in condizioni psico-fisiche non ottimali, che percorre ad alta velocità una strada che presenta carenze progettuali e pavimentazione bagnata, con un veicolo che ha i pneumatici usurati, ha un'elevata probabilità di essere coinvolto in un incidente stradale.

Tra questi tre fattori, quello umano risulta di gran lunga la causa principale degli incidenti stradali. Secondo alcuni studi l'uomo è responsabile o corresponsabile in oltre il 90% dei casi. Di conseguenza, l'analisi del fattore umano e della sua interazione con l'infrastruttura può essere un elemento strategico per incrementare la sicurezza stradale.

È soprattutto sullo studio del comportamento di guida dei conducenti delle autovetture che si focalizza il lavoro di tesi, al fine di capire quali sono le dinamiche che realmente si sviluppano su strada. Lo studio della sicurezza stradale, infatti, non può prescindere dall'analisi del comportamento umano. L'uomo, infatti, rappresenta l'unico fattore che è in grado di modificare ed adattare il proprio comportamento di guida alle condizioni della strada, dell'ambiente e del proprio veicolo.

La definizione dello stile di guida è un argomento che negli anni sta interessando molti ricercatori, in quanto, questo è risultato essere strettamente correlato alla sostenibilità ambientale. Avere una guida prudente permette non solo di minimizzare il rischio di incidenti stradali, ma anche di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, ridurre i consumi di carburante e l'usura del veicolo. In letteratura esistono diverse definizioni dello stile di guida. Molti studi in letteratura sono concordi nel definire lo stile di guida come il modo in cui il *driver* sceglie di guidare e che in genere ha una componente abituale cioè

un aspetto di fondo relativamente stabile nel tempo. In realtà lo stile di guida è il risultato di numerosi fattori tra cui le scelte volutamente effettuate ma anche quelle dovute al subconscio e a meccanismi automatici provenienti da condizionamenti dell'ambiente esterno nonché delle abilità di guida e dalle condizioni fisiche ed emotive. Sostanzialmente lo stile di guida è correlato al livello di rischio che il conducente del veicolo decide di adottare. Quindi analizzare lo stile di guida è molto importante perché una percezione distorta dello stesso influisce sulla sicurezza stradale. Una corretta percezione del rischio permette di adattare la guida alle diverse condizioni della strada e del veicolo, permettendo in qualche modo di bilanciare il sistema uomo-veicolo-infrastruttura.

Poiché la percezione distorta del rischio è una delle cause principali degli incidenti stradali, è indispensabile classificare il comportamento di ciascun conducente e identificare il suo livello di rischio, al fine di aumentare la consapevolezza per una guida più sicura. Pertanto, i conducenti devono essere informati e migliorare la loro percezione del rischio al fine di ridurre il loro coinvolgimento in situazioni pericolose sulla strada. I cambiamenti nel comportamento del guidatore possono prevenire gli incidenti stradali e quindi ridurre gli infortuni e salvare vite umane. Gli ITS (Intelligent Transport Systems) si prestano bene a questo scopo. I sistemi di trasporto intelligenti usano le tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni per facilitare il trasporto fluido di persone e merci. Rappresentano l'integrazione delle conoscenze della telematica con l'ingegneria dei trasporti per la pianificazione, progettazione, manutenzione e gestione dei sistemi di trasporto. Questa integrazione è finalizzata a ridurre i principali effetti negativi della mobilità, vale a dire al miglioramento della sicurezza stradale, alla riduzione della congestione,

dell'inquinamento acustico e ambientale, nonché al miglioramento dell'efficienza dei sistemi di trasporto per i passeggeri e le merci.

Gli ITS apportano significativi miglioramenti alla sicurezza stradale; costituiscono uno strumento indispensabile per l'attuazione di politiche di mobilità sostenibile orientate alla riduzione degli incidenti stradali. Considerando che la maggior parte degli sviluppi della sicurezza stradale negli ultimi 50 anni sono stati orientati a proteggere i passeggeri coinvolti in un incidente, i nuovi sistemi intelligenti sono orientati ad aiutare i conducenti ad evitare che l'incidente stradale avvenga. Nello specifico, catturano le informazioni in *real-time* veicoli mira a migliorare le condizioni di sicurezza dei veicoli attraverso informazioni sullo stato di conducente, veicolo e ambiente. Catturano in tempo reale informazioni sul veicolo e sulle condizioni di traffico e avvertono adeguatamente il conducente al fine di evitare gli eventi indesiderati. Numerosi progetti di ricerca sono attualmente orientati ad aumentare l'affidabilità di queste tecnologie e a sviluppare dispositivi innovativi di assistenza al guidatore per ridurre il rischio di incidenti.

L'obiettivo principale del presente lavoro di tesi è stato quello di definire una metodologia che permettesse di classificare in maniera oggettiva lo stile di guida dei conducenti delle autovetture sulla base dei principali parametri cinematici del veicolo che sono le accelerazioni e le velocità. La metodologia ha fornito uno strumento per ciascuna tipologia di strada (urbana, extraurbana e autostrada), chiamato "dominio di sicurezza stradale" che permette di classificare ciascuna condizione di guida come sicura o meno.

I metodi presenti in letteratura classificano il comportamento sulla base di uno o al massimo due parametri cinematici e si basano su dati sperimentali. Il dominio di sicurezza è stato sviluppato sulla base di leggi fisiche e classifica il comportamento di guida dei *driver* considerando contemporaneamente tutti e 3 le principali grandezze cinematiche (velocità, accelerazione longitudinale e trasversale.)

I parametri cinematici, utilizzati per analizzare lo stile di guida e definire il livello di rischio alla guida, sono stati raccolti attraverso l'ITS oggi più diffuso che è lo *smartphone*. La forte diffusione, negli ultimi anni, degli *smartphone* ha determinato un notevole sviluppo di applicazioni legate all'infomobilità. Attraverso una di queste applicazioni per *android*, e sfruttando il dispositivo GPS e l'accelerometro triassiale,

presenti ormai in quasi tutti i telefoni attualmente presenti in commercio, è stato possibile ottenere informazioni geografiche (come latitudine, longitudine e altitudine) e cinematiche (come velocità, accelerazione longitudinale, trasversale e verticale) ad una frequenza di un hertz. Praticamente il dispositivo mobile permette di avere i parametri cinematici in maniera georeferenziata e continua lungo il percorso, consentendo di ricostruire utili strumenti come i diagrammi di velocità e di accelerazione nel tempo e nello spazio.

Sulla base dei parametri cinematici registrati e attraverso il dominio di sicurezza, è stato definito un indicatore oggettivo dello stile di guida. In base a questo indicatore è stato possibile individuare il livello di rischio alla guida secondo una scala a tre livelli: basso, medio o alto. Confrontando questo livello di rischio alla guida, oggettivamente misurato, con il giudizio sullo stile di guida adottato, fornito dall'utente alla fine di ogni rilievo, è stato possibile misurare l'errore di percezione alla guida.

In ultimo, è stata analizzata la correlazione tra lo stile di guida dei *driver* e le condizioni fisiche e emotive. Cioè, si è analizzato come le caratteristiche psicofisiche influenzano il comportamento alla guida. Dai risultati è emerso che vi è una buona correlazione tra le due grandezze in esame. Per confermare tale risultato, è stato sviluppato un modello alle equazioni strutturali (SEM).

Il lavoro di tesi è suddiviso in 6 capitoli.

Il capitolo 1 è una trattazione sulla sicurezza stradale in cui si affronta il tema dell'incidentalità e si illustrano quali sono gli elementi che possono determinarla. Viene analizzato il trinomio driver-veicolo-infrastrutture e vengono analizzate le relazioni tra questi tre fattori principali.

Il capitolo 2 contiene un'introduzione al concetto di rischio e riporta le principali teorie per la valutazione della sicurezza stradale.

Il capitolo 3 è dedicato alla al fattore umano e all'attività di guida su strada, al fine di capire come il *driver* interagisce con la strada. vengono descritte le decisioni che il *driver* adotta a tutti i livelli: decisioni strategiche, di manovra e controllo operativo.

Sono riportati i principali modelli che descrivono il comportamento alla guida, facendo una distinzione tra modelli tassonomici e modelli funzionali. I modelli tassonomici hanno lo scopo di correlare statisticamente alcune grandezze con l'evento temuto, cioè l'incidente, senza preoccuparsi di costruire un modello generale di comportamento umano che racchiuda al suo interno la maggioranza delle variabili coinvolte durante il processo di guida. Di maggior impatto, rispetto ai modelli tassonomici, sono i modelli funzionali, in quanto rappresentano un netto progresso per capire compiti complessi come quello di guida. Nei modelli motivazionali il rischio associato ai possibili esiti è visto come il principale fattore che influenza il comportamento. Questi modelli, classificati principalmente in modelli di processo delle informazioni (modello di Rumar e modello di percezione diretta) e modelli motivazionali (modelli di rischio, modelli di adattamento comportamentale e modelli di carico mentale), vengono descritti in dettaglio nel capitolo.

Il capitolo 3 si concentra sullo stile di guida. Riporta alcuni concetti e le diverse definizioni presenti in letteratura sullo stile di guida. Analizza i fattori che lo influenzano, classificandoli in fattori individuali, socio-culturali e tecnologici. Nel capitolo vengono descritti i principali metodi per classificare lo stile di guida. In particolare è riportata una raccolta, molto esaustiva, dei metodi soggettivi (basati su questionari) e dei metodi oggettivi. Vengono approfonditi in dettaglio i metodi che usano le accelerazioni e le velocità per classificare lo stile di guida, ed infine vengono evidenziate le relazioni tra i suoi indicatori soggettivi e oggettivi.

Il capitolo 4 descrive il caso di studio: viene descritto in dettaglio il campione dei *driver* e i tracciati sui quali è stata svolta l'indagine sperimentale. È riportata una descrizione della strumentazione analizzata, con la descrizione dei metodi di acquisizione dei dati cinematici (oggettivi) e dei dati relativi alle condizioni fisiche ed emotive del *driver* (soggettivi). Cioè viene descritta la scheda di rilevazione delle condizioni psico-fisiche proposta e basata sulla tecnica del differenziale semantico.

Il capitolo 5 rappresenta il cuore della tesi. Viene sviluppata una metodologia per definire in maniera oggettiva lo stile di guida dei conducenti delle autovetture. Nello specifico, vengono sviluppati 3 domini di sicurezza, uno per ogni tipologia di strada (urbana, extraurbana e autostrada), che permettono di identificare le condizioni di guida pericolose. Sulla base di questo indicatore viene sviluppato un indicatore oggettivo dello stile di guida che è rappresentato dalla percentuale di punti esterni al dominio. Il capitolo riporta alcuni esempi di guida aggressiva prudente e aggressiva che vengono rappresentati sia nel dominio velocità-accelerazione longitudinale-accelerazione trasversale, sia nel dominio velocità-vettore accelerazione globale e sia nello spazio.

Viene riportata anche una discussione sulla metodologia proposta.

Il capitolo 6 è quello relativo alla sperimentazione. È riportata una descrizione della campagna di rilievi effettuata per l'acquisizione dei parametri cinematici e delle condizioni fisiche ed emotive del *driver*. Vengono riportate alcune statistiche di base dei dati oggettivi e soggettivi raccolti. Combinando entrambe le tipologie di dati viene definito il livello di rischio alla guida secondo una scala a tre livelli. Confrontando questo livello di rischio alla guida, oggettivamente misurato, con il giudizio sullo stile di guida adottato, fornito dall'utente alla fine di ogni rilievo, viene misurato l'errore di percezione alla guida che è una delle principali cause di incidentalità stradale.

La tesi si conclude con lo studio della correlazione tra il comportamento di guida e lo stato psicofisico del *driver* e con lo sviluppo di un modello alle equazioni strutturali che conferma l'influenza delle condizioni fisiche ed emotive sullo stile di guida.



# **CAPITOLO 1**

## **LA SICUREZZA STRADALE**

# **1. LA SICUREZZA STRADALE**

## **1.1 GLI INCIDENTI COME UNITÀ DI MISURA DELLA SICUREZZA STRADALE**

La sicurezza stradale è uno dei temi di maggiore interesse per la collettività in quanto comporta enormi costi sociali, sia in termini di vite umane sia in termini di costi effettivi per la sanità pubblica. I dati d'incidentalità rappresentano la base per l'analisi e la descrizione dei problemi legati alla sicurezza del traffico. Il numero e la gravità degli incidenti stradali rappresentano le unità di misura con cui si quantifica la "sicurezza" stradale, in tal modo negando al concetto la dignità di una definizione diretta.

L'incidente stradale è definito dalla Convenzione di Vienna sul traffico stradale del 1968 come un evento in cui rimangono coinvolti veicoli, esseri umani o animali, fermi o in movimento, e dal quale derivino lesioni a cose, animali, o persone. Gli incidenti stradali nascono con l'avvento degli stessi autoveicoli, quando l'inventore Nicolas-Joseph Cugnot si scontrò contro un muro durante la prova del suo triciclo a vapore "Fardier" nel 1770. Bridget Driscoll, la prima vittima automobilistica registrata nelle cronache, morì il 17 agosto del 1896, a Londra.

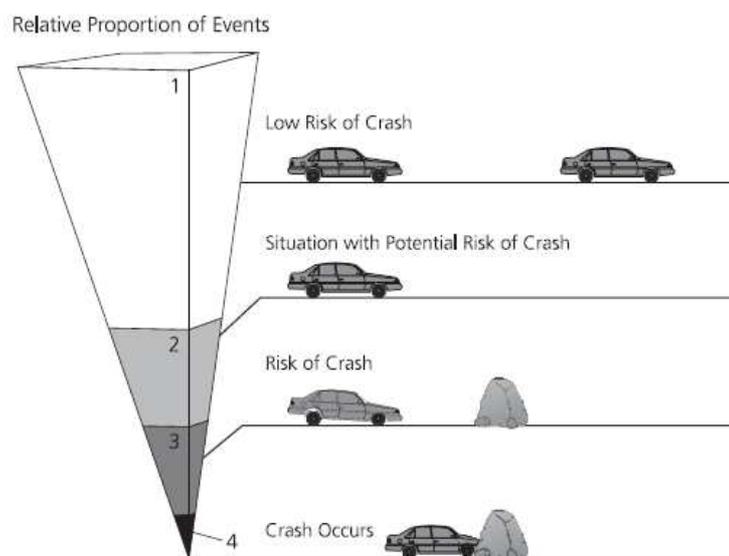
Secondo l'Highway Safety Manual (HSM, 2010) gli incidenti stradali rappresentano degli eventi rari e casuali. Rari perché rappresentano una minima percentuale degli eventi che si verificano su strada. Casuali perché si verificano in funzione di un insieme di eventi influenzati da diversi fattori, che sono in parte deterministici (possono essere controllati) e in parte stocastici (casuali e imprevedibili). Per evento si intende il movimento di uno o più veicoli e/o pedoni e ciclisti nella rete di trasporto. Quindi un incidente è un possibile risultato di un continuo di eventi sulla rete di trasporti durante i quali la probabilità che si verifichi un incidente può cambiare, passando da basso rischio ad alto rischio (figura 1.1).

Per la maggior parte degli eventi che si verificano nella rete di trasporto, la probabilità che si trasformino in incidenti è molto bassa. In una piccola parte degli eventi che generalmente si verificano su strada, il potenziale rischio che un incidente si verifichi aumenta (cambiamento improvviso del flusso di traffico, attraversamento improvviso di un pedone, ecc.). Nella maggior parte di queste situazioni, la

possibilità che si verifichi un incidente è evitata da un'azione tempestiva del conducente, come il rallentamento, il cambiamento di corsia o il suono del clacson.

In un numero ancora minore di eventi, il rischio che si verifichi un incidente è più alto. Ad esempio, se un *driver* momentaneamente non presta attenzione, aumenta la probabilità di un sinistro. Tuttavia, il sinistro può essere ancora evitato, ad esempio, attraverso una frenata di emergenza. Infine, solo pochi eventi, si trasformano in incidenti stradali. Tornando all'esempio precedente, il conducente potrebbe non aver frenato in tempo per evitare la collisione.

Inoltre, le circostanze che portano al verificarsi di un incidente stradale in un determinato evento, non necessariamente portano al verificarsi di un altro incidente in situazioni simili. Questo per sottolineare la casualità degli incidenti.



**Figura 1.1 : PIRAMIDE DEGLI INCIDENTI**

Nonostante gli incidenti siano degli eventi rari, ogni giorno nel mondo si verificano in numero elevato. Secondo la World Health Organization (WHO, 2015) i morti nel mondo nel 2014 sono stati 1,24 milioni.

Generalmente si parla di causa di incidente. In realtà, la maggior parte degli incidenti stradali non può essere correlata ad un singolo evento causale. Gli incidenti sono, infatti, il risultato di una serie di eventi che sono influenzati da un certo numero di fattori che contribuiscono al verificarsi (ora del giorno, attenzioni del conducente,

velocità, condizione del veicolo, progettazione stradale, ecc.). Questi fattori influenzano la sequenza degli eventi prima, durante e dopo l'incidente.

Comunque, il verificarsi di un incidente stradale può essere ricondotto a tre macro categorie di fattori:

- Fattore umano, inclusa l'età, il giudizio, l'abilità del conducente, l'attenzione, l'affaticamento e l'esperienza;
- Veicolo, compreso il design e la manutenzione;
- Strada/Ambiente, compreso l'allineamento geometrico, la sezione trasversale, i dispositivi di controllo del traffico, l'aderenza della superficie, la pendenza, la segnaletica, le condizioni meteo e la visibilità.

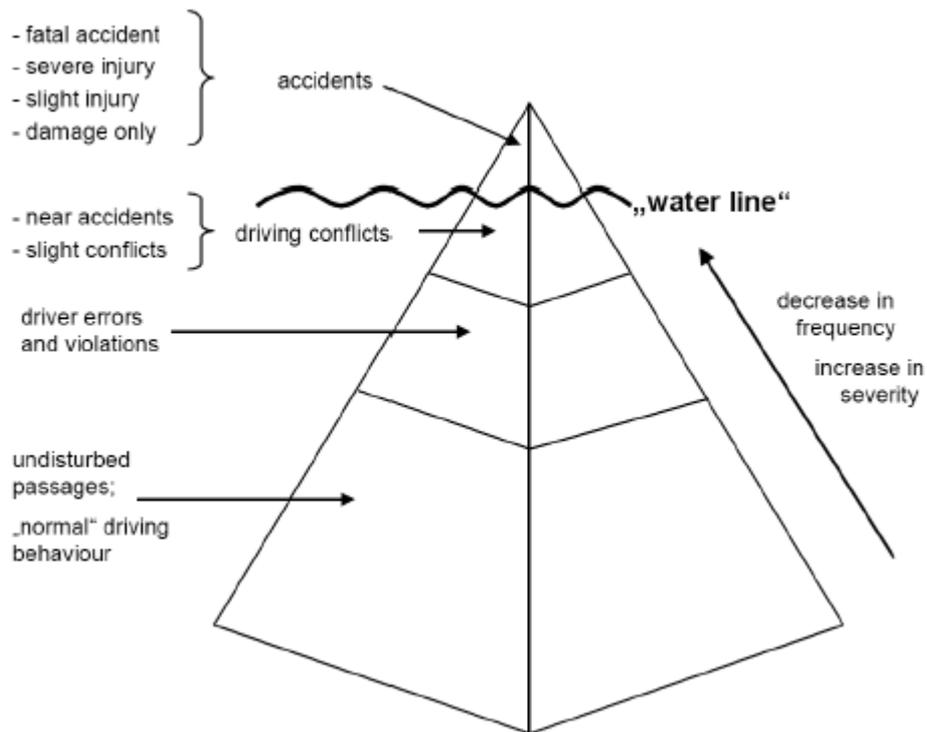
Studiando questi fattori e cercando di capire come potrebbero influenzare la sequenza degli eventi, si può ridurre il numero e la gravità dei sinistri stradali.

Quindi la sicurezza stradale viene generalmente studiata in funzione del numero di incidenti che si verificano su una data infrastruttura stradale; tale criterio, tuttavia, è concettualmente limitato ed impreciso in quanto la sicurezza stradale rappresenta qualcosa che va al di là del verificarsi di un evento incidentale. Per definizione statistica, infatti, gli incidenti rappresentano un "evento raro" ed il loro verificarsi è dovuto al caso e a fattori sistematici a cui devono necessariamente aggiungersi i problemi legati alla individuazione e alla registrazione delle cause incidentali, spesso riportate in maniera insufficiente o in maniera poco attendibile.

I limiti di questa definizione possono essere superati ricorrendo al modello proposto da Hauer (1986) che tiene conto, oltre che degli eventi incidentali, anche dei comportamenti tenuti dall'utente prima che questi si verifichino: in pratica il tutto viene schematizzato con una piramide, dove si passa da comportamenti di guida imperturbati, ubicati alla base, ad incidenti fatali, in sommità, passando attraverso errori del *driver* che determinano situazioni al limite e conflitti nella guida (figura 1.2). Il modello è chiamato modello di iceberg, in quanto sono riportati solo gli incidenti mentre i conflitti e gli errori molto spesso vengono ignorati e, metaforicamente parlando, rimangono al di sotto del livello dell'acqua.

Il modello, molto potente dal punto di vista concettuale, non ha trovato piena applicazione in quanto nella pratica si tende ad utilizzare e considerare solo gli incidenti mentre i conflitti, gli errori e le situazioni al limite molto spesso vengono

ignorati. L'utilizzo di questi ultimi, unito all'ipotesi che sono anch'essi responsabili del verificarsi di un incidente, consentirebbe di avere così un dato statistico molto più consistente che permetterebbe valutazioni sul grado di sicurezza di una infrastruttura.



**Figura 1.2: LA PIRAMIDE DI SICUREZZA E IL MODELLO DI ICEBERG**

## 1.2 DEFINIZIONE DELLA SICUREZZA STRADALE

La sicurezza stradale può essere vista come la caratteristica del sistema di trasporto di garantire una mobilità con basso rischio di incidente per gli utenti che si muovono nel sistema stesso.

Può essere vista come un Sistema complesso caratterizzato da diverse variabili. Si possono individuare tre fattori che, interagendo, sono alla base di ogni incidente:

- **l'infrastruttura**, che può indurre l'utente in errore o impedirgli di prendere la giusta decisione e quindi deve essere progettata e mantenuta in modo tale da avere un livello di rischio il più basso possibile;
- **gli utenti**, che dovrebbero seguire le “norme della Strada” in quanto il loro comportamento è una delle principali cause degli incidenti (educazione stradale, condizioni psichiche e fisiche, capacità di percezione del pericolo, ecc.);
- **i veicoli**, che devono essere costruiti e mantenuti seguendo dei requisiti specifici (caratteristiche meccaniche, sicurezza attiva e passiva, ecc.) finalizzati a non costituire pericolo per il conducente, per i passeggeri ed in generale per tutti gli utenti della strada.

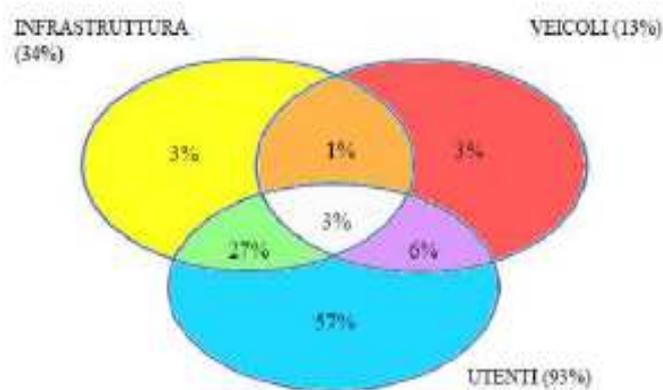
La figura 1.3 schematizza il complesso sistema della sicurezza stradale.



Figura 1.3: IL SISTEMA SICUREZZA STRADALE

Tra questi tre, il fattore umano risulta di gran lunga la causa principale degli incidenti stradali. In particolare, uno studio effettuato (Treat 1979, citato dall'HSM 2010) ha dimostrato che nel 93% degli incidenti l'uomo sia almeno corresponsabile, mentre la

strada è responsabile unica solo nel 3% dei casi (figura 1.4). In particolare è stato rilevato che una percentuale tra il 20% e il 40% degli incidenti mortali ha come causa principale o come fattore concomitante le condizioni psico-fisiche non ottimali del conducente che, nonostante la stanchezza e la sonnolenza, rimane alla guida del veicolo con una conseguente riduzione della sua soglia di attenzione e lucidità. Di conseguenza, l'analisi del fattore umano e della sua interazione con l'infrastruttura può essere un elemento strategico per incrementare la sicurezza stradale.



**Figura 1.4: FATTORI CHE INFLUENZANO LA SICUREZZA STRADALE**

Molto si può e si deve fare, quindi, in termini di correzione del comportamento degli utenti della strada e di modifiche dell'ambiente stradale al fine di condizionare il comportamento stesso degli utenti e di contribuire ad evitare errori che possono avere effetti letali.

La sicurezza di guida si realizza quando l'interazione dinamica tra Uomo-Ambiente-Veicolo si mantiene entro limiti di equilibrio, determinati in gran parte, momento per momento, da opportune azioni-reazioni del conducente.

In teoria, se gli interventi di miglioramento del sistema permettessero di ottenere il Veicolo perfetto o l'Infrastruttura stradale perfetta o l'Utente perfetto, gli incidenti sarebbero annullati.

Dato che ciò è utopistico, occorre agire congiuntamente su tutti e tre gli elementi per ottenere un miglioramento del sistema.

Ad oggi non è ancora ben chiaro né quali siano i provvedimenti che incrementano la sicurezza della circolazione né in quale misura tali interventi riducano l'incidentalità stradale, ma tuttavia si può affermare che, nella progettazione degli interventi di

sicurezza, è necessaria sia un'indagine esauriente delle principali cause che determinano un incidente sia un'analisi approfondita del comportamento dell'utente alla guida.

La maggior parte degli incidenti stradali deriva da comportamenti non razionali, scorretti o imprudenti che possono certamente essere modificati; le cause principali sulle quali intervenire sono l'eccessiva velocità, il mancato utilizzo delle cinture di sicurezza, la guida sotto l'effetto di alcool e droghe e le condizioni psico-fisiche non ottimali dei conducenti dei veicoli.

L'aggressività è anche oggetto di studi riguardo all'incidentalità stradale poiché il comportamento a rischio del guidatore aggressivo può avere come possibile conseguenza il coinvolgimento in sinistri. La rabbia alla guida si rivela, dal punto di vista collettivo, un notevole problema di salute pubblica, oltre che mentale e di capacità di gestione delle emozioni da parte del singolo.

Tipicamente, gli studi sulla sicurezza stradale sono orientati all'individuazione delle criticità presenti nell'infrastruttura, con l'ausilio dei dati storici di incidenti stradali. Di recente, la ricerca è stata orientata all'identificazione di modelli e tecniche per la valutazione del livello di sicurezza di un'infrastruttura stradale legata al comportamento degli utenti, avvalendosi di tecnologie innovative a disposizione dei professionisti del settore.

Fino ad oggi, gli aspetti comportamentali, le condizioni al contorno, le caratteristiche infrastrutturali e la psicologia dei conducenti sono stati analizzati e valutati singolarmente in maniera molto approfondita, trascurando però lo studio dei legami esistenti tra essi e con l'evento incidentale: nasce quindi l'esigenza di studiare il fenomeno dell'incidentalità stradale in termini di sistema, cercando quindi di integrare tutti gli studi di settore che finora sono stati portati avanti in maniera separata, senza mai uscire dai limiti specialistici del settore. Attualmente, infatti, gli studi psicologici in campo stradale analizzano le condizioni di guida considerando tutte le altre componenti come vere e proprie invarianti di sistema, ed allo stesso tempo la progettazione delle infrastrutture stradali avviene con stretto riferimento alle leggi della dinamica e della cinematica ipotizzando comportamenti dell'utente non verificati sperimentalmente.

Il comportamento di guida deve quindi essere visto come il risultato del comportamento dell'utente stradale da un lato e delle caratteristiche dell'infrastruttura e del veicolo dall'altro. L'utente adotta un comportamento sulla base delle informazioni che ricava dalla strada e delle esperienze di guida pregresse. Nel contesto della guida, la velocità gioca un ruolo molto importante: maggiore è la velocità, più velocemente l'utente deve elaborare le informazioni che arrivano dall'ambiente, aumentando il rischio di una non corretta percezione degli elementi del tracciato.

Il malfunzionamento del sistema "sicurezza stradale", dal punto di vista della sicurezza, è rappresentato dal verificarsi dei fenomeni incidentali, i quali determinano il grado di pericolosità della strada; pertanto, per la stima del livello di sicurezza delle infrastrutture stradali è necessario contemplare tutte le componenti che operano all'interno del sistema "uomo, veicolo, strada".

Il livello di sicurezza stradale e il numero di vittime degli incidenti, presentano un'elevata variabilità nel tempo, tra i diversi Paesi e, all'interno dello stesso Paese, tra le diverse regioni e le diverse città. Tali differenze sono riconducibili a diversi aspetti quali le politiche di sicurezza stradale, il quadro normativo- regolamentare, la gestione della mobilità, i volumi di traffico, le caratteristiche della rete infrastrutturale, la sistematicità delle azioni di prevenzione, controllo e repressione, gli utenti della strada, il livello di maturità della "cultura della sicurezza" espresso dal legislatore, dalle amministrazioni locali, dagli organismi preposti al governo della mobilità e dalla collettività.

### 1.3 IL TRINOMIO UOMO-VEICOLO-INFRASTRUTTURA

La sicurezza stradale è un fenomeno molto complesso, derivante dalla combinazione delle prestazioni offerte da un insieme di fattori. Questi sono raggruppabili in tre macro categorie fondamentali o fattori, che vanno a costituire il sistema "driver-veicolo, infrastruttura". Ciascuno dei suoi componenti è, a sua volta, un sistema complesso, così come complesse sono le correlazioni che fra di essi si instaurano. Come già premesso, il fattore umano rappresenta probabilmente il parametro principale a cui far riferimento per studiare il fenomeno dell'incidentalità, ragion per cui il ricorso allo studio delle condizioni psico-fisiche dei conducenti dei veicoli assume notevole rilevanza per capire il perché di determinati comportamenti su strada.

Le tre componenti fondamentali che permettono il sistema di trasporto su strada, ovvero l'uomo, il veicolo e la strada in caso di incidente stradale contribuiscono all'evento attraverso interazioni complesse e difficilmente classificabili.

Il settore di studio degli esperti dei fattori umani nell'ingegneria stradale è quello delle interazioni tra uomo e strada (o più genericamente dell'ambiente circostante). Si tratta di un settore che necessita della conoscenza di base delle capacità fisiologiche e psicologiche umane e che pertanto è rimasto spesso prerogativa di psicologi piuttosto che di ingegneri.

In generale, è possibile affermare che il manifestarsi di condizioni pericolose è sempre associabile a particolari combinazioni, inadeguate o errate, delle tre componenti fondamentali della sicurezza stradale: uomo, veicolo e infrastruttura.

I parametri che incidono sull'incidentalità, relativi ai tre fattori appena citati, sono espressi di seguito (Tabella 1.1, Tabella 1.2 e Tabella 1.3).

Utente stradale	
Cause	Strategie attuate
<ul style="list-style-type: none"><li>• Abilità di guida;</li><li>• Comportamento alla guida;</li><li>• Condizioni psico-fisiche;</li><li>• Esperienza;</li><li>• Età.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incrementare l'uso di caschi per motociclisti;</li><li>• Campagne di sensibilizzazione contro alcol e droghe;</li><li>• Imporre il rispetto dei limiti di velocità;</li><li>• Educazione stradale efficace e formazione avanzata dei conducenti;</li><li>• Imporre il mantenimento della distanza di sicurezza;</li><li>• Utilizzo di luci di posizione diurne;</li><li>• Educazione stradale nelle scuole per bambini e adolescenti;</li><li>• Limitare l'uso di sistemi di intrattenimento in situazioni di guida;</li><li>• Limitare l'uso di dispositivi di comunicazione portatili.</li></ul>

Tabella 1.1: CAUSE DI INCIDENTALITÀ - UTENTE STRADALE

Veicolo	
Cause	Strategie attuate
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prestazioni;</li> <li>• Manutenzione;</li> <li>• Sistemi di sicurezza a bordo del veicolo;</li> <li>• Caratteristiche meccaniche;</li> <li>• Caratteristiche fisico dinamiche.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicurezza degli autocarri;</li> <li>• Incrementare l'uso di sistemi di ritenuta (cinture di sicurezza);</li> <li>• Incrementare l'uso di sedili di sicurezza per bambini;</li> <li>• Migliorare la visibilità dei veicoli pesanti al buio;</li> <li>• Migliorare la qualità dei veicoli attraverso i controlli su strada;</li> <li>• Assicurare che i veicoli siano correttamente registrati, controllati e autorizzati;</li> <li>• Incoraggiare l'uso di tecnologie innovative.</li> </ul>

**Tabella 1.2: CAUSE DI INCIDENTALITÀ - VEICOLO**

Infrastruttura	
Cause	Strategie attuate
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caratteristiche piano altimetriche;</li> <li>• Sezione trasversale;</li> <li>• Presenza di sistemi di ritenuta;</li> <li>• Mancanza di visibilità;</li> <li>• Flussi di traffico elevati;</li> <li>• Carenza nella manutenzione dei margini laterali;</li> <li>• Condizioni di scarsa illuminazione;</li> <li>• Assenza della pavimentazione segnaletica orizzontale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlli di Safety sulle strade rurali ed urbane;</li> <li>• Normativa di Sicurezza nelle gallerie;</li> <li>• Creazione di comitati di controllo per la segnaletica;</li> <li>• Creazione di "zone di sicurezza" sulle strade;</li> <li>• Garantire che i passaggi pedonali soddisfino gli standard di sicurezza;</li> <li>• Fornire percorsi sicuri di approccio alle scuole;</li> <li>• Migliorare la visibilità nelle curve;</li> <li>• Introduzione strisce sonore nella linea di centro carreggiata;</li> <li>• Migliorare l'illuminazione stradale;</li> <li>• Creare punti di attraversamento sicuro per pedoni e ciclisti;</li> <li>• Imporre la dotazione di catene o pneumatici da neve nei periodi invernali;</li> <li>• Installare segnali in prossimità di sentieri utilizzati da animali;</li> <li>• Costruire recinti per inibire il passaggio degli animali.</li> </ul>

**Tabella 1.3: CAUSE DI INCIDENTALITÀ - INFRASTRUTTURA**

Il rapporto tra uomo e ambiente circostante, durante l'attività di guida dei veicoli, consiste sostanzialmente di due fasi: la prima riguarda il trasferimento delle informazioni dall'ambiente all'uomo, la seconda lo svolgimento dell'attività psicomotoria dell'individuo. Il processo che, partendo dall'acquisizione delle informazioni, giunge all'attività motoria è costituito, a sua volta, da una molteplicità di sotto-processi, che interessano diverse attività funzionali umane.

In relazione alla guida dei veicoli, è proprio la prima fase, cioè la percezione delle informazioni provenienti dall'esterno, che condiziona in gran parte la diversità dei comportamenti di guida, sperimentabili nell'utenza stradale.

Una migliore conoscenza di questo aspetto, perciò, costituisce un fondamentale obiettivo per gli studi relativi al comportamento umano ai fini della sicurezza stradale. È noto che, durante la guida, tutti gli apparati sensoriali rimangono coinvolti nei processi percettivi. La possibilità di intervenire in questa fase di acquisizione di informazioni dall'ambiente esterno potrebbe consentire di alterare selettivamente i comportamenti dell'utente, ed in particolare di evitare o disincentivare quei comportamenti che sono causa di incidenti.

In senso quantitativo, le informazioni che il guidatore acquisisce provengono prevalentemente dalla vista e dall'udito. L'attività di ricerca, pertanto, ha individuato la necessità di indagare più attentamente le relazioni esistenti tra sensazioni del conducente e comportamento di guida dello stesso. All'utente, istante per istante, non pervengono informazioni tradotte in termini numerici, ma, più semplicemente, comparazioni di tipo qualitativo, ad esempio tra velocità e traiettoria del proprio veicolo, e posizione (ed eventuale stato di moto) degli altri elementi fisici presenti (fissi o in movimento). Peraltro, è noto che talune informazioni, valutabili oggettivamente come essenziali, possano andare perdute nei diversi livelli selettivi di cui si compone il processo di analisi individuale. La valutazione dell'importanza dei dati, infatti, rimane un fatto prettamente soggettivo, realizzato a livello inconscio.

### **1.3.1 L'utente stradale**

La maggior parte degli incidenti stradali dipende esclusivamente dal comportamento errato dell'utente stradale in risposta agli stimoli che gli provengono dall'ambiente stradale in cui è inserita l'infrastruttura. L'utente stradale è la componente più difficile da studiare e comprendere, ed è la componente su cui devono essere tarate le altre affinché siano tra loro armoniche, al fine di massimizzare la sicurezza del sistema stradale. L'uomo, in quanto utente della strada, può condizionare con il suo comportamento l'esito in termini di sicurezza dei propri spostamenti (scelta delle

manovre da effettuare o più in generale della condotta di guida, stato psicofisico, etc.).

L'uomo rappresenta la variabile più imprevedibile del sistema in quanto, durante la marcia, può adattarsi alle condizioni esterne o, viceversa, essere poco incline a modificare il suo comportamento al variare delle componenti del sistema.

Considerato che all'origine di un evento incidentale c'è molto spesso una serie di errori umani e che questi sono determinati più facilmente da un comportamento aggressivo o poco prudente che da una scarsa abilità, l'aspetto psicologico del conducente va necessariamente considerato in maniera prioritaria nelle analisi di sicurezza. Egli adotta un comportamento sulla base delle informazioni che ricava dalla strada e delle esperienze di guida pregresse. Nel contesto della guida, la velocità gioca un ruolo molto importante: maggiore è la velocità, più velocemente l'utente deve elaborare le informazioni che arrivano dall'ambiente, aumentando il rischio di una non corretta percezione degli elementi del tracciato. Inoltre, a maggiore velocità corrisponde maggiore energia cinetica, quindi maggiore danno conseguente da una eventuale collisione.

La valutazione dei condizionamenti psicologici sul comportamento al volante passa, prima di tutto, attraverso l'analisi di alcune caratteristiche di base degli utenti (come ad esempio la formazione culturale, il carattere, ecc.), rispetto alle quali vanno poi individuate misure specifiche che modificano lo stile di guida verso comportamenti più prudenti.

Sarà compito del progettista, pertanto, rivolgere la propria attenzione verso l'analisi degli stili di guida delle diverse categorie di persone sia dal punto di vista psicofisiologico che in funzione della loro formazione culturale e del periodo in cui hanno ricevuto educazione stradale: questo consentirà di evidenziare aspetti come il tempo di percezione e reazione, la prontezza di riflessi, la coordinazione, l'abilità e, contemporaneamente, lati della personalità dei soggetti come prepotenza ed aggressività.

Quanto sopra detto evidenzia come al progettista spetti un ulteriore compito educativo, che spinga gli utenti verso comportamenti più responsabili: il raggiungimento di questo obiettivo, come è evidente, non può prescindere da uno

scambio di conoscenze con altri ambiti di ricerca, in modo da caratterizzare la variabile uomo nella maniera più completa possibile.

Per effettuare una corretta analisi dello stile di guida è necessario considerare una serie di fattori principali che vengono riportati qui di seguito:

- aspetti della persona: cultura, esperienza, abilità di guida;
- psicologia: percezione del rischio, distrazioni, paura, tempi di scelta ridotti, personalità;
- aspetti fisiologici: stanchezza, affaticamento, forma fisica non ottimale;
- ambiente esterno: condizioni meteo, luminosità, rumore, temperatura;
- infrastruttura: segnaletica, condizioni pavimentazione;
- veicolo: stato di manutenzione del veicolo.

Accanto agli aspetti sopraelencati è necessario eseguire una analisi degli errori che generalmente vengono commessi durante l'esercizio della guida: questi sono combinazione di più cause legate ad inesperienza o al raggiungimento di situazioni al limite che, combinandosi, determinano una risposta inadeguata del conducente. In particolare si dovranno valutare:

- fattori umani correlati all'insorgere dell'errore;
- conseguenze della manovra errata;
- possibilità di dilatare i tempi consentiti per l'esecuzione dell'azione;
- sovraccarichi mentali legati a situazioni di emergenza.

L'analisi combinata degli stili di guida e delle tipologie di errore permetterà al progettista di individuare le azioni di mitigazione più opportune.

L'analisi della letteratura in materia mostra che il comportamento al volante e le risposte dei conducenti sono valutati, allo stato attuale, attraverso modelli basati sul processo di elaborazione delle informazioni; gli studi più recenti, invece, cercano di approfondire questo tipo di modellazione aggiungendo un ulteriore step che permetta di descrivere il comportamento dell'utente anche in funzione dei fattori psico-fisici che condizionano ogni guidatore.

L'importanza degli aspetti comportamentali è evidenziata, anche, dai contenuti dei principali programmi europei e statunitensi per la sicurezza stradale che prevedono come elemento essenziale il miglioramento del comportamento degli utenti della

strada. Esso si può realizzare con azioni di educazione e sensibilizzazione finalizzate a migliorare la consapevolezza del problema della sicurezza e ad aumentare l'utilizzo dei dispositivi di sicurezza e con azioni di controllo finalizzate a ridurre le infrazioni. Alcune categorie di guidatori presentano un maggiore rischio d'incidente. Le caratteristiche degli utenti della strada che maggiormente incidono sulla probabilità d'incidente, sono correlate all'età, all'esperienza di guida e al carattere.

La categoria di utenti a maggiore rischio d'incidente, in relazione all'età, è costituita dai guidatori più giovani. I guidatori più anziani sono più attenti perché tendono a compensare il decremento delle capacità di guida con maggiore prudenza ed attenzione. Secondo il rapporto ACI-ISTAT, i giovani tra i 20 e i 24 anni, nel 2015, purtroppo rappresentano l'8,5 % (282 su 3419) dei morti in incidenti stradali, le principali vittime dei sinistri stradali.

Il rischio di incidente è inoltre correlato anche all'esperienza di guida, nel senso che un giovane guidatore con alcuni anni di esperienza è soggetto ad un rischio inferiore rispetto ad un guidatore neopatentato più anziano, per cui occorre attuare provvedimenti specifici.

Le azioni per la protezione dei guidatori più giovani consistono principalmente nell'educazione stradale, da attuarsi prevalentemente nelle scuole.

L'importanza degli aspetti comportamentali è evidenziata dai contenuti dei principali programmi europei e statunitensi per la sicurezza stradale che prevedono come elemento essenziale il miglioramento del comportamento degli utenti della strada. Esso si può realizzare con azioni di educazione e sensibilizzazione finalizzate a migliorare la consapevolezza del problema della sicurezza e ad aumentare l'utilizzo dei dispositivi di sicurezza e con azioni di controllo finalizzate a ridurre le infrazioni.

### **1.3.2 Il veicolo**

Il veicolo deve essere realizzato e mantenuto seguendo dei requisiti specifici (caratteristiche meccaniche, sicurezza attiva e passiva, ecc.) finalizzati a non costituire pericolo per il conducente, per i passeggeri ed in generale per tutti gli utenti della strada.

Esso deve garantire efficienza dal punto di vista tecnico e prestazionale e, contemporaneamente, deve agire sulla psicologia del *driver* e trasmettere una sensazione di sicurezza di guida: nasce, quindi, l'esigenza di far coesistere tutte le innovazioni tecnologiche apportate con gli aspetti psicologici legati al conducente.

Da alcuni anni a questa parte lo sviluppo delle tecnologie meccaniche ed elettroniche ha consentito all'industria automobilistica di realizzare veicoli particolarmente affidabili, sia per la prevenzione degli incidenti, sia per mitigare le conseguenze dei sinistri. Nel contempo però ha prodotto autovetture capaci di prestazioni che inducono nel conducente un senso di sicurezza che spesso non è compatibile con le caratteristiche tecniche e funzionali del sistema stradale italiano. Ed è proprio il grado di sicurezza dell'utente rapportato a quello assunto dal progettista uno dei punti più delicati della sicurezza dell'esercizio viario.

In particolare, negli ultimi anni, a seguito di una evoluzione sempre maggiore nel campo dell'elettronica e dei materiali, i veicoli sono stati dotati di misure di sicurezza attiva e passiva sempre più innovative:

- *misure passive*: hanno lo scopo di diminuire le conseguenze negative dell'incidente, una volta che questo si sia verificato. In particolare, hanno il compito di assorbire l'energia cinetica posseduta dai corpi degli occupanti il veicolo, in modo che essi non urtino, o urtino a velocità inferiore, contro le strutture del veicolo o contro il suolo.

In realtà, tutto il veicolo è concepito secondo criteri di sicurezza passiva, difatti, in caso d'urto, la deformazione della parte anteriore e di quella posteriore hanno il fine di preservare l'abitacolo, che deve rimanere il più possibile intatto.

La gestione dell'energia cinetica posseduta dal veicolo e dai suoi occupanti al momento dell'urto è quindi il campo di applicazione tipico dei dispositivi di sicurezza passiva e l'oggetto principale delle ricerche che la riguardano. Rientrano in questa categoria gli airbag, cinture di sicurezza, poggiatesta, dispositivi di ritenuta per i bambini ecc.;

- *misure attive*: servono a migliorare l'assetto del veicolo al fine di evitare incidenti e permettono l'attuazione automatica di alcune azioni volute dal conducente (ABS, ESP, GPS, PRE-CRASH, GRIP, ecc.). Si tratta di

dispositivi, sistemi od apparati che dovrebbero impedire il verificarsi di un incidente, con una funzione quindi soprattutto preventiva. I dispositivi elettronici per la sicurezza in auto sono dei veri e propri "salvavita", riuscendo addirittura in alcuni casi a rimediare agli errori dell'automobilista e a prevenire così l'incidente. Con queste tecnologie si cerca di sviluppare un rapporto complementare tra utente stradale e veicolo, in modo da compensare a vicenda i deficit dell'uno e dell'altro.

Tra i più importanti sistemi elettronici, vi sono:

- ABS: sistema anti bloccaggio dei freni. È un sistema che durante la frenata, impedisce il bloccaggio di una ruota mentre le altre ancora girano;
- ASR: sistema che non fa «pattinare» la vettura sui fondi gelati;
- ESP: Programma Elettronico di Stabilità. È un sistema che fa sì che l'autoveicolo mantenga la sua traiettoria in tutta sicurezza nelle situazioni di emergenza: in caso di frenata improvvisa, durante le accelerazioni e le variazioni di carico, nonché quando si cerca di evitare un ostacolo all'ultimo momento;
- SBC: Sensotronic Brake Control. Il sistema verge in una serie di sensori che rilevano la forza con la quale il guidatore agisce sul pedale del freno. Con l'ausilio di tali segnali, l'SBC calcola la pressione frenante necessaria per ogni singola ruota.
- sistemi anti-collisione: rilevano la presenza di ostacoli o di altri veicoli in avvicinamento;
- sistemi di comunicazione e di allarme per ostacoli e pericoli;
- sistemi di rilevazione automatica delle condizioni psico-fisiche dei conducenti;
- sistemi per la correzione automatica degli errori di guida.

Non bisogna dimenticare però che il sistema di sicurezza attiva più importante è il conducente stesso, il cui comportamento "perfetto" sarebbe la migliore garanzia contro la possibilità di verificarsi di un evento incidentale.

Alle misure di sicurezza attive e passive si aggiungono altri strumenti intelligenti (ITS) che hanno il compito di assistere i conducenti alla guida facendogli rilevare eventuali situazioni di pericolosità (ad es. distanza dal veicolo che precede, calcolo velocità ottimale) oppure fornendo informazioni utili (radio, navigatore, segnali acustici, pannelli a messaggio variabile).

Particolare attenzione va data anche alle informazioni on line che consentono un contatto diretto tra conducente e centrali di controllo al fine di ricevere numerose ed utili informazioni sulle condizioni di circolazione, sul meteo, ecc.

Con l'introduzione di questi moderni dispositivi la guida di un veicolo non è più totalmente dipendente dal conducente in quanto si tende sempre più a trasferire al supporto tecnico del veicolo parte del controllo spettante al conducente: di conseguenza si ha una modifica della psicologia di guida proprio per effetto della diversa attenzione posta dal conducente a seguito dell'attivazione dei sistemi di bordo. Questi sistemi di assistenza, che sicuramente nascono per aumentare la sicurezza della circolazione, possono presentare aspetti controproducenti legati all'uso abituale da parte dell'utente e quindi al crescente affidamento in essi riposto: la psicologia del traffico mostra come in questi casi si generino delle situazioni di pericolo dovute alla minore attenzione durante la guida, che determina, di conseguenza, tempi di percezione e reazione non più adeguati al contesto circolatorio.

Il conducente deve quindi conoscere i limiti e le caratteristiche dei vari sistemi con cui interagisce, in modo da utilizzarli in maniera adeguata; allo stesso tempo i sistemi di assistenza vanno programmati in relazione a quanto detto, "illudendo" cioè il conducente di avere un controllo diretto su di essi.

Tutto quanto detto mostra come i veicoli, allo stato attuale, risultano sempre più all'avanguardia con riguardo alla sicurezza stradale per cui si può affermare che i nuovi sviluppi tecnici non faranno altro che diventare sempre più essenziali nel miglioramento della sicurezza della circolazione, a patto che siano ben integrati con la psicologia del conducente.

### **1.3.3 L'infrastruttura stradale**

L'attuale approccio progettuale delle infrastrutture stradali è basato sul rispetto delle equazioni cinematiche e dinamiche del veicolo isolato, che impongono standard geometrici per ogni singolo elemento e non considerano in maniera adeguata il comportamento dell'utente significativamente influenzato dalle scelte progettuali.

Se si analizza il fenomeno incidentale, quale si è andato configurando in questi ultimi anni per il sistema viario italiano, appare evidente che la ripetitività degli eventi, la loro localizzazione e tipologia, attribuiscono alla strada una rilevante quota di responsabilità. È quindi necessario un nuovo approccio multidisciplinare che possa abbracciare contemporaneamente gli studi e le esperienze di più discipline, dalle scienze ingegneristiche a quelle mediche e psicologiche.

Le caratteristiche geometriche di una infrastruttura agiscono in maniera diretta sul comportamento del conducente del veicolo e, in una certa percentuale, sono anche causa o concausa degli eventi incidentali che si verificano lungo il tracciato; per conoscere il rapporto tra le caratteristiche della strada e l'incidentalità si deve capire se le regole progettuali riflettono effettivamente le aspettative degli utenti ed incidono sulla loro psicologia e, di conseguenza, sui processi decisionali.

Gli studi analizzati in letteratura mostrano che le caratteristiche dell'infrastruttura stradale incidono notevolmente sulla psicologia del conducente del veicolo per cui i criteri a cui si fa riferimento per la progettazione sicura di una infrastruttura devono necessariamente seguire metodologie nuove, scientificamente testate, che tengano conto degli effettivi comportamenti al volante, con particolare riferimento a quelli ritenuti più rischiosi.

In base a tali considerazioni è perciò importante stabilire un rapporto tra il grado di sicurezza degli elementi progettati ed il livello di rischio che gli utenti vi associano, per tradurre il tutto in termini di incidentalità potenziale attraverso opportuni modelli matematici.

La determinazione in termini numerici dell'influenza delle caratteristiche geometriche sulla psicologia del conducente e il relativo collegamento con gli standard normativi consentirà di individuare nuovi criteri di composizione dell'asse stradale o di migliorare quelli già adottati, in modo da avere tracciati che meglio rispondono alle aspettative dei conducenti.

Nella valutazione della componente infrastruttura non può non considerarsi la variabile traffico, in modo da tener conto delle molteplici interazioni che nascono tra soggetti con stili di guida differenti, scopi di viaggio e caratteristiche psicologiche totalmente differenti.

Ogni conducente, essendo parte costituente del traffico su una infrastruttura, deve agire in modo da ridurre il numero di interazioni possibile tenendo conto del fatto che attorno a sé possono esserci stati d'animo, necessità e/o urgenze che possono portare a comportamenti più o meno prudenti o aggressivi: ogni conducente deve pertanto rispettare le esigenze altrui ed il comune bisogno di sicurezza senza cercare di imporre il proprio stile di guida ed individuando le azioni che determinano meno rischi.

È evidente che le variabili in gioco sono così tante da rendere il problema molto difficile da affrontare: su tutte, velocità e condizioni psicologiche dei conducenti determinano una serie di situazioni di emergenza che portano i conducenti sempre al limite delle proprie capacità di controllo, con un conseguente incremento della probabilità di accadimento di errori alla guida. Se a questo aggiungiamo che la componente psicologica tende a condizionare maggiormente l'utente, si può ritenere che nella maggioranza dei casi lo stato d'animo prevale sulla razionalità ed i *driver*, quindi, tendono ad assumere comportamenti più pericolosi che, probabilmente, in condizioni normali non avrebbero tenuto.

Quindi ciò che distingue la strada da ogni altra opera di ingegneria civile è la constatazione della rilevante influenza che le scelte progettuali determinano sul comportamento degli utenti e come, a parità di altre condizioni, tali comportamenti siano fortemente dipendenti dalle condizioni d'esercizio.

Le responsabilità della strada che concorrono a determinare un evento incidentale sono

molteplici e dipendono da cause diverse. Numerosi studi condotti su scenari incidentali di diverse viabilità extraurbane, sia ordinarie che autostradali, hanno consentito di porre in evidenza su tutte alcune di queste cause che ricorrono più frequentemente:

- un contatto ruota strada che, per una inadeguata esecuzione delle sovrastrutture o come conseguenza di gravi ammaloramenti della pavimentazione, non garantisce idonei valori di aderenza;
- situazioni locali di insidia indotte da anomalie localizzate, sia geometriche, sia funzionali, che si definiscono tali in quanto non possono essere previste in tempo utile dall'utente;
- geometrie progettuali che, pur compatibili localmente con la cinematica e la dinamica del veicolo isolato, non garantiscono nel loro complesso la funzionalità sistemica dell'infrastruttura;
- un'offerta di servizio che, discostandosi sensibilmente dalle aspettative degli utenti, determina l'accettazione di più elevati livelli di rischio e un conseguente incremento di manovre in debito di sicurezza.

Tutte queste cause di rischio derivano di norma da errori progettuali, carenze di manutenzione e mancato adeguamento delle infrastrutture stradali.

Purtroppo la tendenza generalizzata a trasferire sull'utente la responsabilità primaria dell'evento incidentale finisce per autorizzare una realizzazione e gestione delle infrastrutture che spesso è gravemente deficitaria.

## 1.4 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRADALE

### 1.4.1 Il concetto di rischio.

Per comprendere il fenomeno incidentale è necessario analizzare e definire i livelli di rischio che conducono ad un evento critico, generando evidenti impatti sulle condizioni di sicurezza per la mobilità stradale. Al fine di massimizzare il livello di sicurezza di una infrastruttura e abbattere il fenomeno dell'incidentalità è necessario ricercare la situazione che presenti il minor livello di rischio. Esistono diverse definizioni di rischio.

Canale et al. (1998a) definiscono il rischio come “danno incerto a cui un dato soggetto si trova esposto in seguito a possibili eventi o concatenazione favorevoli degli stessi.”

Secondo il decreto legislativo 81 del 2008 (Ministero del lavoro e delle politiche sociali, 2008) “Il rischio è definito come la probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alle loro combinazioni.”

Il rischio può essere visto come la potenzialità che un'azione o un'attività porti a una perdita o ad un evento indesiderabile.

La definizione convenzionalmente adottata nell'ottica della sicurezza stradale e che consente una traduzione quantificata del concetto di rischio è quella data da Canale et al. (1998b):

$$R = f \cdot M \quad (1.1)$$

dove:

- R è l'indice di rischio;
- f rappresenta la frequenza di accadimento di un evento incidentale, ovvero la pericolosità del sito;
- M è la magnitudo, ovvero l'entità del danno.

La relazione che esprime il rischio può essere vista anche graficamente come in figura 1.5. In particolare in figura vengono riportate due curve di isorischio RA ed RB, con RA > RB.

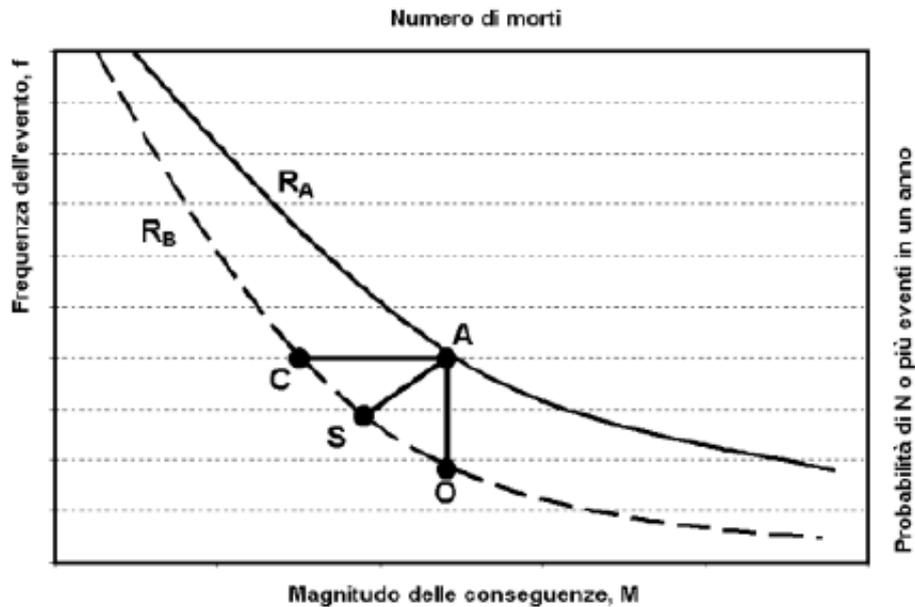


Figura 1.5: curve di rischio relative ad un generico sistema per l'abbattimento del livello. Canale et al. (1998b)

Dalla figura 1.5 è possibile osservare come si può intervenire per ridurre il rischio. Vale a dire si può agire sia singolarmente sui due parametri  $f$  (tratto AC) ed  $M$  (tratto AO) e sia considerando contemporaneamente i due parametri (tratto AS).

Ai fini della definizione delle Curve di Rischio si rende necessario conoscere puntualmente i valori di frequenza incidentale e danno relativo. La prima grandezza può essere determinata mediante analisi specifiche che tendono a caratterizzare la vita della strada sotto il profilo dell'incidentalità e l'analisi di particolari condizioni operative, mentre la definizione della magnitudo, come sostenuto da diversi autori, (Canale et al., 1998 b) è di più complessa determinazione a causa delle interazioni tra i diversi fattori che concorrono a determinare la gravità dell'incidente.

Emerge quindi che la Pericolosità, connessa alla frequenza di incidenti, rappresenta una proprietà o qualità intrinseca di un sistema, poiché legata alla presenza di determinati fattori, strutturali o funzionali, aventi il potenziale di causare eventi critici: essa descrive la probabilità che un fenomeno accada in un determinato spazio con un determinato tempo di ritorno.

Per Danno si intende la gravità delle conseguenze legata all'evento incidentale, a cui contribuisce anche la tipologia di ambiente stradale. È evidente che le particolari condizioni ambientali e le caratteristiche della strada giocano un ruolo fondamentale

nell'accadimento di un sinistro, soprattutto per quanto concerne gli aspetti progettuali e manutentivi dell'infrastruttura.

L'analisi del rischio in campo stradale risulta essere uno strumento indispensabile per individuare i rapporti di causalità tra i diversi fattori che intervengono nella genesi di un evento incidentale, al fine di adottare un approccio innovativo orientato alla prevenzione dei fenomeni.

Metodi classici hanno spesso affrontato tale tematica concentrandosi esclusivamente sul versante dell'incidentalità, portando a ben deludenti risultati in termini di valutazione delle performance di sicurezza di una infrastruttura: l'importante ruolo delle interazioni tra i diversi fattori del Sistema Strada fa emergere la necessità di una metodologia integrata per la valutazione del rischio incidentale, che vada ad indagare le possibili responsabilità distribuite tra le forze in gioco.

#### **1.4.2 Una misura della sicurezza stradale**

Una volta definito il rischio è possibile quantificare la sicurezza. Essa può essere vista come una funzione dipendente dal rischio, dall'esposizione e dalle conseguenze.

$$SICUREZZA \ STRADALE = ESPOSIZIONE \cdot RISCHIO \cdot CONSEQUENZE \quad (1.2)$$

Le conseguenze sono legate al fenomeno incidentale una volta che esso si è verificato e possono essere definite come un indice di gravità o di severità dell'incidente stesso.

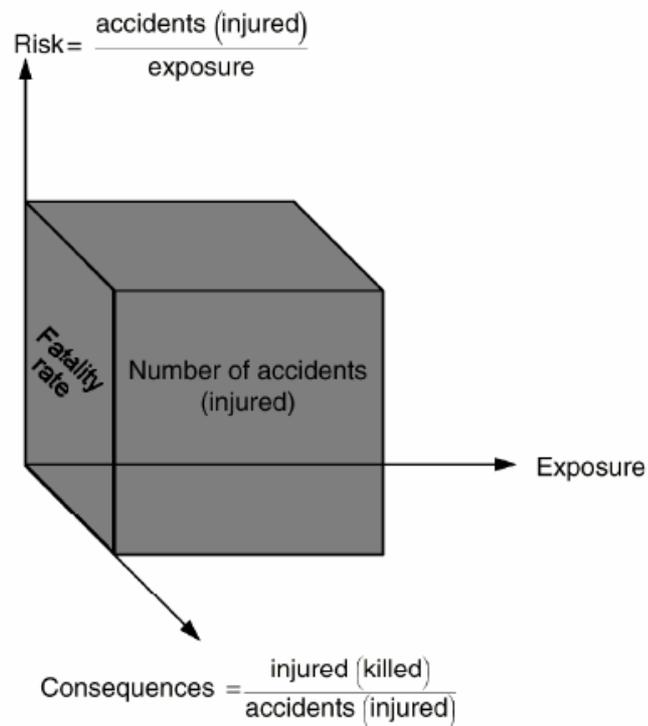
L'esposizione è fondamentale in quanto permette di stimare il "peso" di un determinato fattore, al fine di poter confrontare le diverse situazioni e di riuscire in qualche modo a classificare i problemi legati alla sicurezza stradale.

In relazione al rischio incidentale l'esposizione può essere misurata in termini di:

- flussi veicolari;
- tipologie di veicoli;
- abitudini di viaggio della popolazione campione;
- stime indirette mediante analisi del consumo di carburanti;

- numero di abitanti;
- densità abitativa;
- numero di veicoli circolanti;
- numeri di chilometri percorsi da coloro che viaggiano o dai veicoli;
- numero di ore trascorse in viaggio o numero di ore di utilizzazione di un dato tipo di veicoli;
- il numero di viaggi.

La figura 1.6 mostra le relazioni esistenti tra esposizione, rischio e conseguenze.



**Figura 1.6: RELAZIONE TRA ESPOSIZIONE, RISCHIO E CONSEGUENZE**

Dal grafico è possibile osservare sugli assi sono presenti le grandezze che concorrono alla sicurezza stradale. Il volume del solido è proporzionale al numero di feriti o morti, mentre l'area della faccia laterale è proporzionale al tasso di mortalità.

## 1.5 Le principali teorie per la valutazione della sicurezza

La valutazione della sicurezza stradale può essere ricondotta a due principali teorie:

- Analisi di sicurezza stradale;
- Analisi di incidentalità.

L'Analisi di sicurezza stradale, ha lo scopo di individuare l'influenza del "fattore strada" nel gioco di co-responsabilità nell'accadimento dell'evento incidentale. L'approccio generale a cui fa capo tale metodo di studio è di tipo pro attivo, cioè fondato sull'analisi di tutti gli elementi caratterizzanti l'infrastruttura stradale sia essa in progetto o in esercizio (analisi preventiva di sicurezza), al fine di identificare i problemi di sicurezza attuali o futuri e di predisporre gli interventi e le azioni per la mitigazione del livello di pericolosità. L'adozione di tale approccio è subordinato alla disposizione di una consistente base informativa relativa alle caratteristiche geometriche e funzionali dell'infrastruttura, così da poter definire la quota di responsabilità del fattore strada sul meccanismo di innesco di fenomeni incidentali, e la pericolosità manifesta e latente di un determinato sito (Canale et al, 2009).

L'analisi di incidentalità rappresenta uno strumento per la determinazione delle aree a più elevato rischio incidentale, cercando di individuare criticità localizzate sull'infrastruttura. mediante analisi, più o meno aggregata, dei dati incidentali disponibili e compilazione di appositi indicatori, relativi della storia incidentale di un sito. Il metodo è propedeutico alla definizione delle aree a priorità di intervento per l'abbattimento del rischio sulla strada; esso è riconducibile ad un approccio di base di tipo reattivo, cioè basato sull'analisi dei dati storici di incidentalità per l'identificazione dei tronchi e/o nodi stradali ad elevato rischio, con l'obiettivo di determinare i siti di intervento (Canale et al, 2009). Tale approccio ha dimostrato tuttavia dei punti di debolezza, legati in primis alla necessità di una consistente base storica di dati, presupponendo quindi un sistema strutturato di raccolta e trasmissione sul territorio, mentre ulteriori elementi di difficoltà sono introdotti dalla scarsa accuratezza del dato censito, soprattutto per quanto concerne la componente posizionale, fondamentale per elaborazioni di tipo spaziale. Ad esempio l'ISTAT fornisce i dati per progressiva chilometrica e non in maniera geo referenziata. Nelle analisi di incidentalità, il numero di incidenti esprime quindi una misura della

pericolosità della strada, ovvero la sua propensione, espressa in termini di frequenza temporale e densità spaziale, ad essere teatro di eventi critici, mentre i suoi esiti su cose e persone ne determinano il danno. L'approccio allo studio di tipo reattivo, basato cioè sull'osservazione di fenomeni avvenuti, la rende importante ai fini dell'identificazione di particolari aree critiche dell'infrastruttura caratterizzate da particolari distribuzioni di eventi incidentali, che spesso presentano attributi simili, generalmente chiamate "Black Spots".

Sebbene da due punti di vista completamente diversi, i due approcci cercano di fornire una stima del rischio a cui un soggetto è sottoposto durante uno spostamento su strada: per le teorie di Analisi di incidentalità classica non è possibile valutare la pericolosità dei luoghi se non attraverso evidenze sperimentali valutate attraverso la frequenza incidentale. È evidente che un limite di tale approccio risiede nell'impossibilità di applicazione a strade non aperte al traffico o in fase di progettazione. D'altro canto i metodi di Analisi di sicurezza sono privi di un riscontro. L'unico modo per avere riscontro è quello di ricorrere alle analisi di incidentalità. I due metodi possono quindi essere visti come complementari.

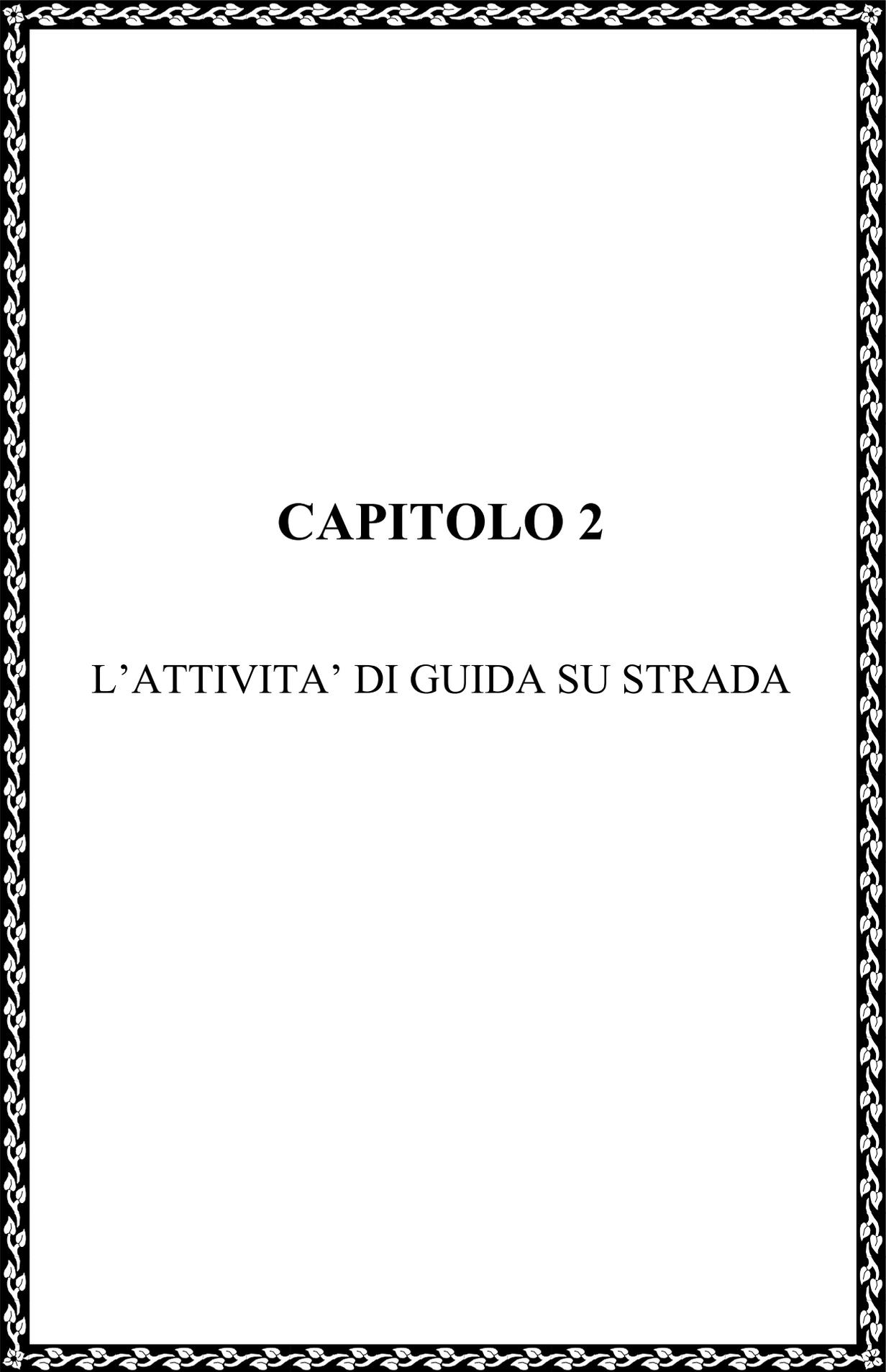
Negli ultimi anni, nuove teorie si sono affiancate a quelle classiche. Le principali sono:

- Analisi comportamentale;
- Analisi preventiva dei fattori di rischio.

L'analisi comportamentale fa riferimento alla Teoria Omeostatica che pone al centro il "fattore umano", segnando un punto di svolta nell'approccio al problema incidentale: fulcro del sistema diventano l'interazione uomo-strada e uomo-veicolo all'interno dell'equilibrio percettivo alla base del meccanismo della guida.

L'analisi preventiva dei fattori di rischio, fa proprie e rielabora gli approcci delle precedenti metodologie per integrarle entro un processo strutturato orientato all'individuazione delle potenziali aree critiche e potenziali fattori di instabilità del sistema, ponendosi in un'ottica interna al sistema uomo-veicolo-infrastruttura. A livello nazionale tale approccio ha visto una forte spinta con la recente Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3699 dell'8 giugno 2001, recante le "Linee guida per

le analisi di sicurezza delle strade" (Ministero dei Lavori Pubblici, 2001). Con tale atto, anche nel nostro Paese, vengono definite le modalità di applicazioni di tecniche ormai consolidate in altre Paesi Europei e extra europei, conosciuti come Road Safety Review, se riferite a strade in esercizio, o Road Safety Audit, per strade in fase di costruzione.



## **CAPITOLO 2**

L'ATTIVITA' DI GUIDA SU STRADA

## 2. L'ATTIVITA' DI GUIDA SU STRADA

### 2.1 IL COMPITO DI GUIDA

È molto importante capire come il *driver* interagisce con la strada al fine di pianificare interventi e costruire nuove strade, che permettano di minimizzare gli errori umani alla guida e i conseguenti incidenti stradali. Sostanzialmente, lo studio delle interazioni tra *driver* e infrastruttura risulta di fondamentale importanza per ridurre la probabilità e le conseguenze dell'errore umano alla guida, e in particolar modo il numero di incidenti e la loro gravità, attraverso la progettazione di sistemi (infrastrutture, dispositivi fisici, ITS ecc.) che tengano conto delle caratteristiche del *driver* e dei suoi limiti. I *driver* infatti commettono spesso degli errori durante la guida a causa di limitazioni fisiche, percettive e cognitive o a causa del loro stato psico-fisico alterato.

Fortunatamente, questi errori non si trasformano sempre in incidente.

Prima di capire quali sono i limiti del conducente che portano al verificarsi di un incidente stradale, bisogna introdurre il concetto di guida su strada. La guida libera su strada può essere vista come un complesso processo nel quale il *driver* viene continuamente sollecitato a prendere tempestivamente delle decisioni e intraprendere delle azioni. Quindi la guida libera comprende molte attività, alcune delle quali devono essere eseguite contemporaneamente.

Il guidatore interagisce con il veicolo usando sia comandi primari per la guida (volante, cambio, pedali) sia comandi secondari per accendere luci, inserire indicatori di direzione, accendere la radio, ecc. Durante la sua attività acquisisce sia informazioni relative allo stato del veicolo, attraverso il controllo della strumentazione interna, sia informazioni che provengono dall'ambiente esterno. Il guidatore e la sua macchina, quindi, possono essere considerati come un sistema dinamico immerso, a sua volta, in un ambiente dinamico che cambia in relazione alle condizioni al contorno (traffico, meteo, condizioni di illuminamento, ecc.).

Si possono individuare, essenzialmente, tre attività principali:

- Navigazione: consiste nello scegliere e seguire un itinerario, seguendo le indicazioni stradali e considerando dei punti di riferimento;

- Guida: consiste nello stimare e giudicare le condizioni della strada e del traffico per decidere di conseguenza l'interazione con gli altri veicoli, scegliendo la distanza di sicurezza, rispettando la segnaletica e le norme stradali;
- Controllo: interagire con il veicolo per porre in essere le azioni.



**Figura 2.1: SCHEMATIZZAZIONE DEL COMPITO DI GUIDA**

La relazione tra le tre attività principali è di tipo gerarchico (figura 2.1) e si basa sulla complessità e importanza di ciascuna attività: la navigazione è la più complessa mentre il controllo rappresenta la base per condurre le altre attività.

In ognuna di queste tre attività principali, il *driver* è soggetto a prendere delle decisioni derivanti da informazioni e stimoli che vengono recepiti attraverso gli organi sensoriali: gli occhi e le orecchie, le terminazioni nervose dei muscoli e della pelle (funzioni cinestatiche) e l'apparato vestibolare (funzione dell'equilibrio). Variazioni della velocità sono avvertite dall'utente come forze longitudinali e/o trasversali e con modifiche del senso di equilibrio; in modo analogo agiscono le vibrazioni; informazioni di notevole utilità sono quelle acustiche; tutte queste informazioni contribuiscono ad influenzare la condotta di guida, la quale è essenzialmente determinata dalla vista.

Una guida sicura si ottiene solo quando il *driver* riesce ad integrare e a svolgere a perfezione, e con molta attenzione, queste tre attività principali. In genere ciò si verifica quando il conducente alla guida non è sottoposto, contemporaneamente e in tutte le fasi, a un carico di lavoro elevato.

La capacità di elaborare informazioni e di mantenere un'elevata soglia di attenzione è limitata. Quando viene superata la soglia di carico di informazioni che il *driver* può gestire, esso tende a tralasciare l'acquisizione e l'elaborazione di alcune informazioni che possono essere molto importanti in ottica della sicurezza. Allora, come in ogni processo decisionale, l'errore alla guida è molto probabile. Per ridurre questo carico innanzitutto è necessario che la strada sia ben progettata al fine di garantire un carico adeguato e fornire indizi per aiutare i *driver* a dare priorità alle informazioni più importanti. Oltre ad elaborare le informazioni, occorre anche mantenere un alto livello di attenzione, circostanza che non è pienamente controllabile dal guidatore. Infatti esso tende a distrarsi poiché impegnato a pensare ad altre questioni. Tanto meno è impegnativo il compito di guida tanto più tende a distrarsi. Ciò si verifica soprattutto nel caso di utenti abituali che hanno molta familiarità con l'ambiente stradale (HSM 2010). Alcuni studi hanno rivelato che la distrazione rappresenta nel 25% dei casi la causa dell'incidente stradale (McEvoy et al., 2007; Stutts et al., 2001). Tuttavia questa percentuale potrebbe essere superiore, visto che negli ultimi anni si è assistito ad un aumento nella diffusione e nell'utilizzo di tecnologie portatili come sistemi di navigazione e smartphone. La distrazione è infatti definita come qualsiasi attività secondaria che attira l'attenzione del conducente lontano dal compito principale di guida (Ranney, 1994). Le principali conseguenze dovute dalla distrazione alla guida possono riassumersi in: manovre che possono portare inavvertitamente fuori dalla corsia di marcia; mancato accorgimento della presenza di un segnale di stop, dare precedenza o semaforo; presenza di un veicolo o di un pedone in attraversamento.

### 2.1.1 Il modello di Michon

In letteratura è possibile reperire numerosi modelli per la descrizione del compito di guida, di seguito sono riportati sinteticamente i tratti salienti del metodo proposto da Michon nel 1985. Secondo tale modello, le decisioni e le azioni che il *driver* deve intraprendere durante la guida, per raggiungere questo obiettivo, possono essere sintetizzate e descritte in un sistema gerarchico strutturato in 3 livelli:

1. Decisioni strategiche (livello superiore);
2. Decisioni di manovra (livello intermedio);
3. Controllo operativo (livello inferiore).

Le decisioni al livello superiore (strategiche o di pianificazione) riguardano la scelta del modo di trasporto, il percorso da scegliere, l'orario di partenza ecc. Le variabili che influiscono su queste decisioni sono il piacere o la riluttanza a guidare, l'urgenza, il costo del trasporto, il tempo di viaggio e le condizioni di traffico. Si tratta quindi di decisioni che devono essere prese prima che il conducente entri in auto.

Effettuata la scelta al livello superiore, si effettuano le scelte di secondo livello (di navigazione o tattiche) che sono quelle effettuate durante la guida. Si tratta di scegliere come evitare gli ostacoli, come e quando cambiare corsia, se rallentare o meno in presenza di un semaforo con luce gialla ecc.

Infine al livello inferiore (controllo operativo) le scelte avvengono senza volerlo e comportano azioni prese all'istante in risposta a vari stimoli. Queste comprendono, l'accelerazione e la decelerazione, cambio della marcia, controllo degli specchietti prima del cambio corsia o prima di effettuare un sorpasso, una frenata o una sterzata davanti ad un ostacolo improvviso, ecc. Le abilità, le abitudini, gli aspetti della personalità e le condizioni dello stato psicofisico del *driver* giocano un ruolo molto importante nel livello di controllo.

Le decisioni che vengono prese a ciascun livello sono molto importanti perché, combinate con le abilità, la prontezza e le incapacità del conducente del veicolo, influenzano direttamente il livello di rischio di essere coinvolti in un incidente in un determinato viaggio (Hakamies-Blomqvist, 2006).

Chiaramente le decisioni prese ad ogni livello dipendono dagli obiettivi che si intendono perseguire. Quindi se, per esempio, al livello strategico ci si prefigge

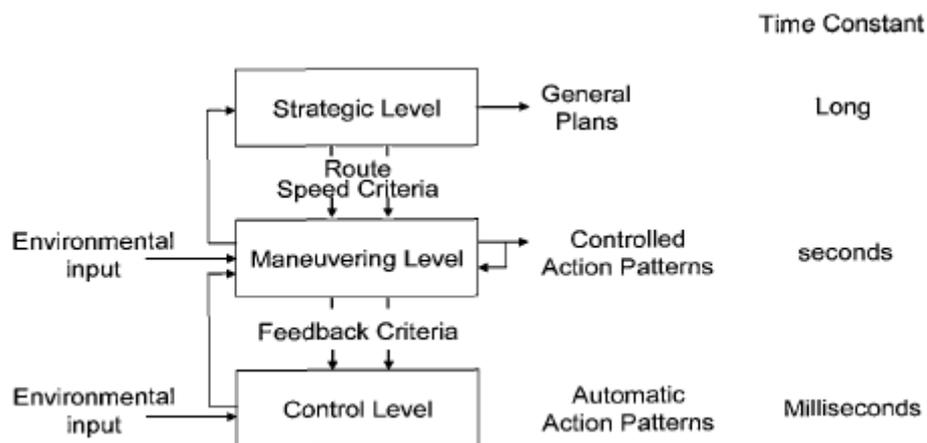
l'obiettivo di impiegare il minor tempo possibile, bisogna scegliere un certo modo di trasporto (guidare piuttosto che utilizzare mezzi pubblici), scegliere una velocità media di marcia elevata e frenare il meno possibile. La tabella 2.1 riporta i criteri seguiti, i comportamenti di guida e le performance a livello strategico, tattico e operativo di un modello gerarchico di guida, per un *driver* il cui obiettivo è quello di raggiungere rapidamente la destinazione (Östlund et al., 2006).

	<b>Criteri</b>	<b>Comportamento</b>	<b>Performance</b>
<b>Livello Strategico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Raggiungere rapidamente la destinazione</li> <li>2. Stare lontani dal traffico</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Scegliere un percorso ad alta velocità di percorrenza</li> <li>2. Cercare di guidare velocemente</li> <li>3. Accettare un alto livello di rischio</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Non raggiungere velocemente la destinazione</li> </ol>
<b>Livello Tattico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Guidare più veloce degli altri veicoli, ma sempre a velocità consentite dal veicolo e dall'ambiente stradale.</li> <li>2. Sorpassare i veicoli lenti</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stare in coda ai veicoli ed essere disposti e pronti a sorpassare</li> <li>2. Tagliare le curve</li> <li>3. Attraversare quando il semaforo segna giallo</li> <li>4. Guidare velocemente</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Non riuscire a superare i veicoli lenti velocemente, come desiderato</li> <li>2. Stare attaccato al veicolo che precede</li> </ol>
<b>Livello Operativo</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenere una certa distanza dal veicolo che precede</li> <li>2. Seguire la traiettoria desiderata. Ad esempio durante il sorpasso.</li> <li>3. Mantenere il veicolo all'interno della corsia</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Significative variazioni della posizione laterale del veicolo</li> <li>2. Elevate variazioni di velocità</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenere un distanziamento spaziale inferiore rispetto alla distanza di sicurezza</li> <li>2. Superare, in parte, i confini della corsia</li> </ol>

**Tabella 2.1: COMPITO DI GUIDA PER UN DRIVER CHE DEVE RAGGIUNGERE RAPIDAMENTE LA DESTINAZIONE SECONDO ÖSTLUND ET AL. (2006)**

Le modalità di esecuzione delle tre principali attività sono alla base delle teorie e dei modelli che vengono sviluppati dai ricercatori per spiegare il comportamento del *driver* alla guida. È importante sottolineare il fatto che la guida non dipende solo dal *driver* ma anche dagli input ambientali che riceve. Questi comprendono la geometria, il traffico, le condizioni meteorologiche, le condizioni di illuminazione ecc.

Le tre attività principali vengono svolte secondo una sequenza temporale. Quando si decide di intraprendere un viaggio, prima si decide come effettuarlo, quando partire e che itinerario scegliere (decisioni strategiche). Se si sceglie l'auto, e quindi di guidare, una volta su strada si sceglie se accodarsi all'auto che precede o se sorpassarla (decisioni di navigazione) ed infine si sceglie se accelerare, decelerare o frenare in base a specifici stimoli come ad esempio i segnali provenienti dalle luci di stop del veicolo che precede (decisioni di controllo). Tuttavia la sequenza temporale può essere considerata anche nell'ordine inverso. Ad esempio, alcune decisioni di controllo, che si ripetono frequentemente in condizioni di elevato traffico e di stop and go, possono far riconsiderare al *driver* alcune scelte di navigazione, come il cambio di corsia verso quella in cui il traffico sembra scorrere più velocemente. Infine può anche decidere di cambiare le scelte strategiche ed effettuare una sosta, nella speranza che una volta che ha ripreso la guida la congestione si sia dissipata. Quindi le decisioni, a tutti i livelli, possono essere prese in ogni istante. Questo rende molto difficile descrivere il comportamento dell'utente stradale. La figura 2.2 rappresenta la struttura gerarchica dell'attività di guida proposta da Michon (1985) che si basa sul modello di Janssen (1979).



**Figura 2.2: STRUTTURA GERARCHICA DELL'ATTIVITA' DI GUIDA PROPOSTA DA MICHON NEL 1985**

### 2.1.2 Il modello di Rasmussen

Il modello di compito gerarchico di Michon trova un suo equivalente nella distinzione tra prestazioni differenti o livelli di comportamento proposti da [Rasmussen \(1986\)](#). Rasmussen distinse tre livelli:

1. livello basato sulla conoscenza;
2. livello basato sulle regole;
3. livello basato sulle abilità nello svolgere un compito.

Il sistema del modello di errore generico (GEMS) quindi distingue tra processi che precedono l'individuazione di un problema (livello basato sulla capacità) ed i processi successivi all'individuazione di un problema (livello basato sulle regole e sulla conoscenza). Questo modello contribuisce a spiegare il comportamento scorretto del guidatore e serve per classificare gli errori.

In generale la mente umana opera con due diverse modalità: quella consapevole e quella automatica. Nel livello consapevole si esercitano scelte e analisi critiche, ovvero connotate da un'analisi puntuale del risultato delle azioni e da un costante adattamento a contesti predefiniti. Il comportamento automatico, d'altra parte, permette di svolgere operazioni in modo molto rapido lasciando la mente libera di svolgere altre attività.

In generale la guida consta di entrambe queste modalità di comportamento. Queste, ancora si articolano in tre distinti livelli:

1. comportamento basato su *abilità (skill-based)*

Le azioni *skill-based* si riferiscono a compiti svolti in modo automatico poiché sono il frutto di pattern pre-acquisiti di comportamento. Durante la guida questo comportamento si attua con un tempo di latenza molto basso del tipo "azione – reazione": al semaforo rosso, si preme il pedale del freno.

2. comportamento basato su *regole (rule-based)*

Si tratta di azioni basate sul seguire una regola derivata o da una precedente esperienza o da una istruzione specifica. I processi *rule-based* entrano in azione quando fallisce il comportamento *skill-based* e la persona ha bisogno di fare riferimento ad un set di istruzioni esplicite o regole che ha a

disposizione. Il guidatore esamina ed interpreta la corrente situazione e sceglie la regola che meglio risolve il problema.

3. comportamento basato su conoscenze (knowledge-based)

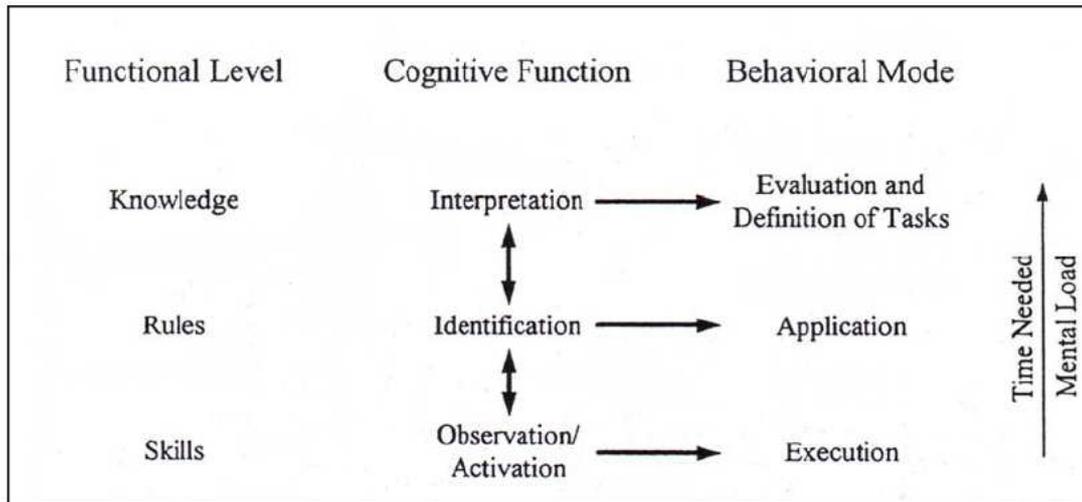
Si tratta di azioni basate sui processi di ragionamento, inferenza, giudizio e valutazione. Se il processo rule-based non risolve il problema si deve fare riferimento al sistema knowledge-based (in generale si tende a preferire le soluzioni rule-based poiché richiedono minor sforzo cognitivo). Ciò avviene quando si affrontano situazioni nuove o poco conosciute o quando le regole di cui si dispone non sono sufficienti

Passando dal comportamento skill-based al comportamento knowledge-based si passa da un impegno principalmente fisico–motorio ad un impegno che coinvolge sempre più le capacità mentali superiori.

Nel contesto automobilistico si è potuta notare una vera e propria evoluzione che segue questo trend: le vetture richiedono un impegno fisico–motorio sempre minore (es. sono stati sviluppati sedili più comodi, comandi più agevoli da azionare come il servosterzo), ma l’impegno mentale coinvolto sembra essere sempre più ampio.

Alla luce di quanto affermato risulta chiaro che il carico di lavoro mentale a cui viene sottoposto il guidatore è influenzato da una molteplicità di fattori estremamente diversificati e mutevoli nel tempo. Del carico di lavoro o cognitive workload sono state date una grande varietà di definizioni, ciononostante non esiste ancora un accordo univoco. In generale, si può affermare che è l'espressione dello sforzo mentale richiesto da un compito ad un individuo per raggiungere un livello di performance accettabile. Nel caso di un guidatore, il “livello di performance accettabile” è quello di “controllare in modo sicuro ed efficace il veicolo all'interno di un ambiente circostante mutevole”. Il compito di guida quindi, non è solamente influenzato dalle capacità del singolo ma anche dalle molteplici stimolazioni esterne. Le risorse mentali coinvolte, così come quelle fisiche, sono limitate ed è per questo che diventa fondamentale studiare come vengono impiegate e come è possibile selezionarne il loro utilizzo sviluppando interfacce uomo– veicolo- infrastruttura adeguate.

Il modello sviluppato da Rasmussen è riportato in figura 2.3.



**Figura 2.3: MODELLO A LIVELLI FUNZIONALI SECONDO RASMUSSEN**

Se non si manifesta la modalità automatica comportamentale o se un *driver* deve scegliere tra diverse possibili modalità comportamentali, il processo viene trasferito al livello basato sulle regole (“*rule-based level*”), in cui un approccio decisionale appropriato di comportamento è selezionato dalla "memoria" ed eseguito.

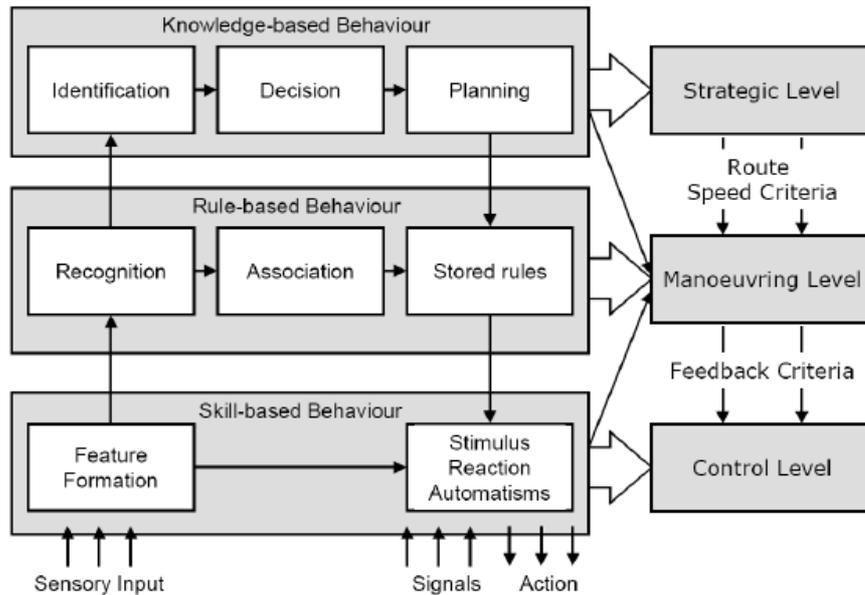
Se non sono presenti regole appropriate o se il conducente non vuole seguire le norme disponibili nel suo “background” di guidatore, il processo deve essere trasferito al livello basato sulla conoscenza (“*knowledge-based level*”), dove approfondite considerazioni sulle possibili soluzioni del problema prendono luogo.

La portata delle operazioni legate al pensiero, il tempo necessario, e l'aumento del carico mentale crescono con l'aumento del livello funzionale, che può essere determinante in caso di incidente.

Il *driver* acquisisce capacità e competenze durante la guida pratica che possono essere eseguite automaticamente nel livello *skill-based*. Il presupposto è che questo è un effetto di apprendimento che si verifica solo dopo molteplici esperienze con le corrispondenti sequenze di eventi. Per far fronte a richieste sconosciute si può solo essere condotti al livello *knowledge-based* (figura 2.3), il che comporta un rallentamento delle corrispondenti azioni a causa di un aumento del carico mentale.

### 2.1.3 Il modello di Donges

Entrambi i modelli possono essere combinati come proposto da Donges (1999). La figura 2.4 riporta a destra il modello gerarchico di Michon e a sinistra i diversi livelli di compito proposti da Rasmussen.



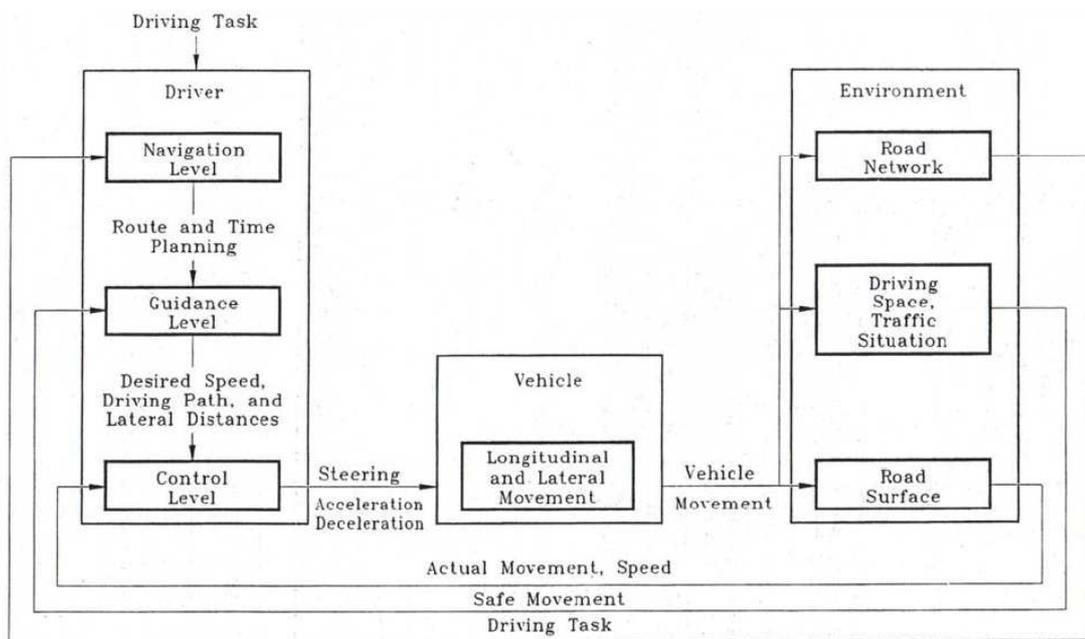
**Figura 2.4: COMBINAZIONE DI LIVELLI DI PERFORMANCE (RASMUSSEN) E DEL MODELLO GERARCHICO (MICHON) SECONDO DONGES**

Donges (1999) ha anche proposto il modello dal punto di vista del trinomio Driver-Veicolo-Strada. Questo modello è basato sulle priorità. Secondo l'autore la "priorità" determina l'importanza relativa tra le informazioni provenienti dall'ambiente stradale, sia quando le informazioni si contendono l'attenzione del *driver* che quando la performance di un'attività distrae l'attenzione da un'informazione all'altra.

La "priorità" viene assegnata sulla base della conseguenza di non, o non esclusivamente, prestare attenzione ad una fonte di informazione. Quando due o più fonti di informazione o la necessità di informazione devono essere soddisfatte, quella (o quelle) con più alta priorità deve essere elaborata per prima.

Secondo l'autore, tra i differenti livelli di figura 2.5, il controllo assume la priorità maggiore, seguito dalla guida e dalla navigazione. Il concetto di priorità suggerisce che le informazioni del livello di controllo debbano essere elaborate completamente prima che il processo di elaborazione del livello di guida possa iniziare. Inoltre,

questo livello deve essere soddisfatto prima che i dati di navigazione possano venire trattati.



**Figura 2.5: MODELLO DI DONGES DAL PUNTO DI VISTA DEL TRINOMIO UTENTE-VEICOLO-INFRASTRUTTURA**

## 2.2 I MODELLI DI COMPORTAMENTO ALLA GUIDA

La storia dei modelli che descrivono il comportamento alla guida inizia nel 1938 quando Gibson e Crooks hanno presentato la loro teoria sulla guida automobilistica. Gli autori hanno associato il comportamento del *driver* con gli elementi dell'infrastruttura stradale per comprendere la natura della guida.

Successivamente numerosi studi si sono concentrati sull'argomento. La maggior parte di essi è stata sviluppata negli anni '80. I principali studi presenti in letteratura sono riportati in tabella 2.2. Ogni studio affronta diversi aspetti del comportamento umano e ha i suoi vantaggi e i suoi svantaggi.

<b>Modello</b>	<b>Riferimenti</b>
"Field of safe travel"	Gibson and Crooks, 1938
"Driving as a self-paced task governed by tension/anxiety"	Taylor, 1964
"Zero-Risk Model"	Näätänen and Summala, 1974
"The model of subjective and objective safety"	Klebensberg, 1977
"Theory of Reasoned Action"	Ajzen and Fishbein, 1980
"Risk Homeostasis Theory (RHT)"	Wilde, 1982
"Human Performace Models/Levels"	Rasmussen, 1983
"The Threat-Avoidance Model"	Fuller, 1984
"Theory of Planned Behaviour"	Ajzen, 1985
"The perceptual and cognitive filter model"	Rumar, 1985
"The feedback model"	Evans, 1985
"The hierarchical risk model"	van der Molen & Bötticher, 1988
"Motivational approach to modelling: The role of pleasure"	Rothengatter, 1988
Production-rule models/Rule-based models"	Michon, 1989
"Inner models"	Keskinen et al., 1992
"The Task-Capability Interface Model"	Fuller, 2000

**Tabella 2.2: PRINCIPALI MODELLI DI COMPORTAMENTO ALLA GUIDA**

Dalla fine degli anni '80 alla prima metà dei '90 si è assistito al tracollo di teorie che avrebbero dovuto rappresentare la svolta nella comprensione del fenomeno, soprattutto per quanto riguarda i principi che si sono basati sui modelli motivazionali, su quelli basati sull'abilità di guida ed anche su parte delle teorie cognitive.

Nel 1985 Michon ha fatto una classificazione dei modelli di guida classificandoli in due macro categorie:

- modelli tassonomici;
- modelli funzionali.

### **2.2.1 Modelli tassonomici**

Un modello tassonomico, secondo Michon (1985), è essenzialmente un inventario degli avvenimenti. I modelli tassonomici sono dei modelli descrittivi che si concentrano su ciò che i *driver* fanno. Il potere predittivo di tali modelli è molto limitato in quanto non tengono conto di alcuni fattori che intervengono nel compito di guida come le motivazioni, le competenze, le abilità e le limitazioni in diverse situazioni. Essi hanno lo scopo di correlare statisticamente alcune grandezze con l'evento temuto, cioè l'incidente, senza preoccuparsi di costruire un modello generale di comportamento umano che racchiuda al suo interno la maggioranza delle variabili coinvolte durante il processo di guida.

Gli studiosi vicini alle scienze psicologiche si sono, da sempre, impegnati per evidenziare statisticamente le relazioni tra parametri legati al comportamento di guida e gli incidenti. I primi tentativi, svolti essenzialmente da Hills (1980), McKenna (1982) e Summala (1988) hanno riguardato la correlazione tra incidenti e fattori di predizione, quali attributi visuali semplici e tempo di reazione, senza però trovare legami forti che avvalorassero tali sforzi.

Burg (1980) ha ritenuto di avere individuato un ottimo termine di predizione di incidentalità nell'acuità visuale dinamica, che è un parametro ben più complesso rispetto a quello utilizzato dall'ingegneria stradale. Sull'attendibilità dei suoi risultati, Hills ha avanzato alcune riserve, giungendo alla conclusione che i test di visione e di percezione non possono rappresentare parametri per la misura del rischio.

Precedentemente Barrett et al. (1973) si sono preoccupati di trovare gli indicatori più probanti per l'individuazione degli incidenti causati dal comportamento di guida ed i risultati raggiunti sono stati talmente convincenti che ne hanno fatto uno dei lavori più noti del tempo. Gli autori ha presentato un'analisi concettuale basata su dati che

hanno causato incidenti in funzione di tre categorie di misure relative allo stile percettivo, all'attenzione selettiva ed al tempo di reazione.

Il fattore di predizione di incidente più consistente, dopo gli studi di Barrett, è stato ritenuto l'attenzione selettiva, quale requisito fondamentale nelle manovre di guida più critiche. A questo proposito Gopher e Kahneman nel 1971 hanno sviluppato una metodologia per misurare tale capacità, definendo la prova come Auditory Selective Attention Task (ASAT). Arthur, Barrett ed Alexander (1992), parecchi anni dopo, hanno continuato a ricercare verosimili indicatori di incidentalità, individuando preliminarmente l'attenzione selettiva, lo stile percettivo, il tempo di reazione, l'abilità cognitiva, i fattori di personalità e le variabili demografiche e biografiche. Soltanto l'attenzione selettiva, comunque, ha dimostrato di avere una buona correlazione con gli incidenti.

Anche se in quel periodo ha rappresentato un importante punto di riferimento, uno studio condotto da Harano, Peck e McBride (1975) è stato forse eccessivamente vasto, in quanto sono state monitorate 337 variabili di tipo biografico, comportamentale e psicologico. È stata trovata una buona correlazione tra gli incidenti e 140 parametri quali età, sesso, occupazione, stato civile, stato socio-economico, piuttosto che con attributi di percezione e con quelli psicomotori.

Si capisce bene che tali ricerche hanno poca rispondenza nel campo pratico.

A conclusioni praticamente identiche è giunto nel 1991 Owsley, il quale ha indicato nell'attenzione visuale un fattore di predizione significativo degli incidenti, specialmente per quanto riguarda i guidatori anziani. Ciò è confermato dalle attuali fonti statistiche, che indicano questo deficit come la causa principale di incidenti in conducenti di una certa età.

Infatti, sempre negli stessi anni, Parasuram e Nestor (1991) hanno evidenziato una scarsa correlazione tra livello di attenzione ed incidenti, anche se analizzando soltanto la popolazione costituita da guidatori anziani, la correlazione è risultata ottima. Ciò si spiega col fatto che questi hanno deficit di attenzione maggiori rispetto ai giovani che invece presentano altre cause principali per l'innescare di azioni errate.

Vista la grande varianza dei risultati finali nelle correlazioni tra analisi di incidenti e possibili indicatori di pericolo, alcuni ricercatori, tra cui, McKenna ed altri, hanno proposto di valutare la sicurezza stradale mediante il monitoraggio di alcuni

parametri relativi agli stati transitori umani quali fatica, intossicazione all'alcool, stress. Lo sforzo espletato nel identificare le cause dell'errore di guida condurrebbe, secondo questi studiosi, a risultati più convincenti rispetto ai precedenti tentativi.

I modelli tassonomici si possono classificare in due macro categorie:

- modelli gerarchici;
- modelli di controllo circolare (Control loop models).

Nei modelli gerarchici il comportamento di guida viene descritto in termini di una gerarchia di tre distinti tipi di comportamenti: il livello più basso è un livello operativo e di controllo. A questo livello, la maggior parte delle azioni sono automatiche e consistono in risposte rapide in funzione delle informazioni trasmesse dall'ambiente che cambia (come frenare o accelerare). Il secondo livello è un livello tattico, che si riferisce a come vengono affrontate le situazioni di traffico. I comportamenti sono meno automatici e consistono in decisioni consapevoli (ad esempio una decisione di cambiare corsia prima di uscire da un'autostrada). Il terzo e il più alto livello è un livello strategico o di pianificazione e consiste in decisioni a lungo termine come ad esempio che percorso scegliere o se guidare. Quindi, i tre livelli possono essere distinti dai requisiti delle attività, dal tempo necessario per eseguirli e dai processi cognitivi coinvolti ad ogni livello. I tre livelli possono essere contraddistinti da diversi compiti e il comportamento può essere classificato in base al tempo necessario per svolgere ogni compito e in base ai processi cognitivi coinvolti ad ogni livello.

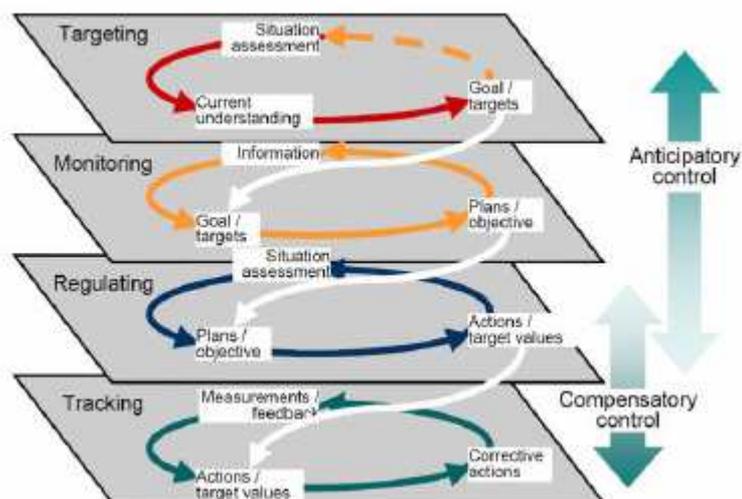
La figura 2.6 riporta la classificazione di diverse attività svolte durante la guida secondo Hale et al. (1990).

	<b>Strategic / Planning</b>	<b>Tactical / Maneuvering</b>	<b>Operational / Control</b>
<b>Knowledge</b>	Navigating in unfamiliar area	Controlling skid	Novice on first lesson
<b>Rule</b>	Choice between familiar routes	Passing other vehicles	Driving unfamiliar vehicle
<b>Skill</b>	Route used for daily commute	Negotiating familiar intersection	Vehicle handling on curves

**Figura 2.6: CLASSIFICAZIONE DELLE DIVERSE ATTIVITA' SECONDO HALE**

Il secondo tipo di modelli descrittivi, sono i modelli di tipo Controllo Loop. Questi modelli descrivono il funzionamento del compito di guida in termini di input, output e feedback. Questi modelli riguardano principalmente l'aspetto del controllo della traiettoria di un veicolo su un percorso. Questi modelli di guida sono stati tradizionalmente definiti sia in termini di orientamento e di controllo, sia in termini di fattori umani. Purtroppo l'espansione di questi modelli per soddisfare la complessità e la sofisticazione delle automobili moderne in rapida crescita è un compito molto scoraggiante. Entro i limiti, a causa del loro approccio quantitativo, tali modelli possono rappresentare buoni strumenti per descrivere le prestazioni dei conducenti in modo tale da aiutare gli ingegneri a sviluppare e convalidare concetti tecnici per sistemi semi e completamente automatizzati in auto.

Il modello Driver-in-Control (DiC) secondo Hollnagel (Hollnagel et al 2003) è un approccio per descrivere il conducente e il veicolo come un'unica unità. Il modello è basato su quattro cicli di controllo: il ciclo di targeting (o individuazione degli obiettivi), di monitoraggio, di regolazione e di rilevamento, come mostrato nella Figura 2.7. Ogni loop è collegato al loop di livello inferiore. Ad esempio il ciclo più basso (tracking) è un controllo molto compensativo e corregge piccole deviazioni da obiettivi impostati come la velocità o posizione nella corsia. Gli obiettivi da controllare in questo ciclo vengono trasmessi dal prossimo ciclo di controllo superiore.



**Figura 2.7: MODELLO DI CONTROLLO DI GUIDA DI HOLLNAGEL**

### 2.2.2 Modelli funzionali

Di maggior impatto, rispetto ai modelli tassonomici, sono i modelli funzionali, in quanto rappresentano un netto progresso per capire compiti complessi come quello di guida. Nei modelli motivazionali il rischio associato ai possibili esiti è visto come il principale fattore che influenza il comportamento. Tali teorie, comunque, assumono che il guidatore non faccia un'analisi conscia del rischio associato alle possibili conseguenze.

I modelli funzionali vengono sostanzialmente suddivisi in due categorie:

- modelli di processo delle informazioni;
- modelli motivazionali.

I modelli che si basano sul processo di informazioni vengono distinti in due trend differenti:

- modelli cognitivi;
- modelli dedotti dalla teoria della percezione diretta sviluppata da Gibson (1986).

L'assunzione principale di modelli motivazionali è che il guidatore gestisce in maniera autonoma la sua andatura e modifica il suo comportamento secondo i propri scopi (Ranney, 1994). I primi modelli motivazionali erano basati completamente sul rischio. Comunque, un recente modello sviluppato da Fuller (2005) vede la quantità di lavoro come un importante meccanismo di regolazione.

In genere vengono suddivisi in:

- modelli di rischio;
- modelli di adattamento comportamentale;
- modelli di carico di lavoro.

Alcuni esempi possibili includono modelli di compensazione del rischio (Wilde 1982), modelli di soglia del rischio (Naatanen e Summala 1976) e modelli di evidenza del rischio (Fuller 1984).

Quelli di compensazione propongono un meccanismo secondo cui il guidatore stabilisce un bilanciamento tra ciò che accade nella strada ed il livello soggettivo accettato di rischio, che rappresenta un parametro personale abbastanza stabile.

La teoria di Wilde (Risk Compensation Models) focalizza la sua attenzione su tale livello accettato da parte dell'utente; infatti se si introducono determinate migliorie all'infrastruttura stradale, come interventi di manutenzione, o al veicolo, che fanno aumentare il coefficiente di sicurezza della percorrenza, ecco che il guidatore aumenterà la velocità e riporterà il rischio ai livelli precedenti.

I modelli di soglia del rischio (Risk-Threshold Models) propongono l'esistenza di un processo di controllo per cui i guidatori tendono a stabilire un equilibrio tra rischio percepito soggettivamente e rischio oggettivo. Da queste basi è partita la famosa teoria del "rischio zero" di Summala, secondo la quale il rischio percepito  $R$  è il prodotto del livello di probabilità soggettiva di un evento pericoloso e l'importanza soggettiva delle conseguenze dell'evento. Pertanto, il comportamento sarà direttamente proporzionato al livello di  $R$ . In molti casi  $R$  può essere percepito come zero, cioè gli utenti si comportano come se non ci fosse rischio reale. Nel caso in cui si ecceda una soglia, si attiva un meccanismo di compensazione che riporta il coefficiente di sicurezza a valori più alti. La principale differenza con i modelli di compensazione del rischio è che, in questa eventualità, i guidatori modificano sempre la loro performance, mentre i modelli di soglia del rischio assumono che la compensazione inizia solo quando il rischio percepito supera un certo limite.

Il modello dell'elusione del rischio, sviluppato da Fuller è basato sull'assunzione che le due motivazioni dominanti per un conducente, chiaramente in conflitto tra loro, siano perseguire il punto di destinazione ed evitare pericoli (Fuller 1984).

Le cose sono state complicate dagli oppositori dei modelli basati sul rischio, forti del fatto che la motivazione rappresenta un parametro multi fattoriale. In particolare, Rothengatter ha identificato quattro ragioni che giustificano la scelta della velocità di marcia e cioè il piacere di guida, i rischi inerenti al traffico, l'orario ed i costi (Rothengatter, 1988).

I modelli motivazionali valutano l'attenzione sull'attività del conducente in quel dato momento in una certa situazione di traffico piuttosto che sul livello di abilità di guida. L'utente è, pertanto, visto come un decisore attivo o un ricercatore di informazioni piuttosto che un esecutore passivo.

Seppure adeguatamente studiati, i modelli motivazionali hanno mostrato evidenti limiti. Le principali cause di ciò sono primariamente addebitabili alla mancanza di

attendibilità di prove svolte in ambiti chiusi. Infatti se l'attività di guida è determinata in gran parte da motivi, obiettivi e stati di attesa è irrilevante studiare tale comportamento con un simulatore di guida o all'interno di un laboratorio.

I modelli di processo delle informazioni risalgono addirittura ai primi anni '50 allo scopo di risolvere problemi di gestione di messaggi simultanei dei controllori di volo. Più recentemente Schneider e Shiffrin (1977) hanno contribuito al progresso di questo settore, introducendo il concetto di automaticità, che è uno dei più importanti nella costruzione dei modelli di guida comportamentali e di cui si è accennato precedentemente.

Infatti questo è caratterizzato da processi veloci e senza sforzo, al contrario di quelli controllati che si riferiscono ad attività lente, seriali, impegnative. Già nei primi studi, per quanto relativi al funzionamento di processi elementari quali la memoria, si è stabilita una distinzione abbastanza precisa tra automatico e controllato. In particolare, si è appurato che tutti i comportamenti includono componenti di tutte e due le nature e la relazione tra i vari elementi dipende dal tipo e dalla qualità dell'abilità ed esperienza di guida.

Si è riconosciuto che l'automaticità può prendere corpo anche in processi che non sono completamente regolari ed anzi, quando si presenta, migliora la prestazione del sistema. Ad esempio, l'azione di frenatura e sterzata possono diventare automatizzate sebbene si inneschino in situazioni grandemente irregolari come in seguito all'intromissione di un ostacolo o per la presenza di pericoli improvvisi.

Mentre i criteri motivazionali sono stati criticati per il superficiale studio dei dettagli, a quelli relativi al processo delle informazioni è stata rimproverata la mancanza di componenti motivazionali o emozionali. Allora, la riunione di questi due filoni di ricerca potrebbe rappresentare una naturale evoluzione. Ad esempio, Summala ha sottolineato che i guidatori principianti avvertono sensazioni di incertezza in molte situazioni. Tali impressioni spariranno con la pratica di guida e si avvertiranno soltanto in presenza di azioni impreviste o pericolose. In tali circostanze, pertanto, il controllo da automatico diventa gestito.

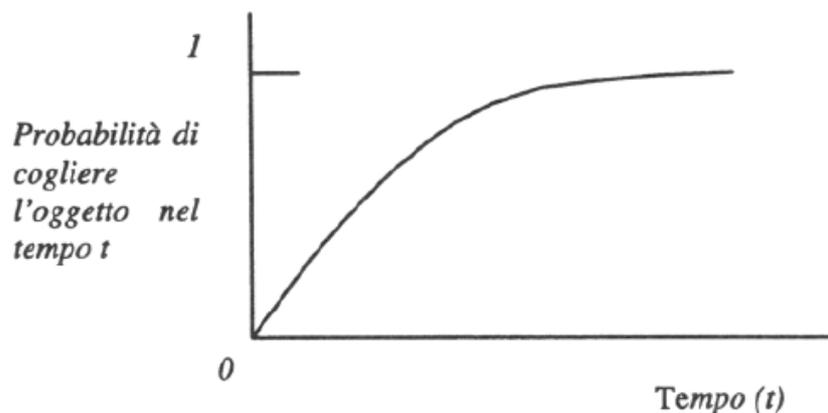
## 2.3 MODELLI DI PROCESSO DELLE INFORMAZIONI

I modelli di processo delle informazioni appartengono alla classe dei modelli funzionali. Tipicamente sono costituiti da una sequenza di fasi che comprendono la percezione, la selezione della decisione, la scelta della risposta e l'esecuzione della risposta. Essendo la prima fase rappresentata dalla percezione, questi modelli sono chiamati percettivi.

Come già accennato, vengono divisi in due grandi famiglie cioè modelli cognitivi, dedotti dalla teoria di Rumar (1985) e modelli dedotti dalla teoria della percezione diretta sviluppata da Gibson (1986).

Prima di andare a descrivere i modelli è doveroso spiegare cosa si intende per processi top-down e modelli Botton-up. Ciò servirà per comprendere meglio i modelli di Rumar e Gibson.

Da studi su campioni significativi di individui, la percezione da parte dell'uomo di un oggetto varia al variare del tempo di osservazione, il cui andamento è riportato in figura 2.8.

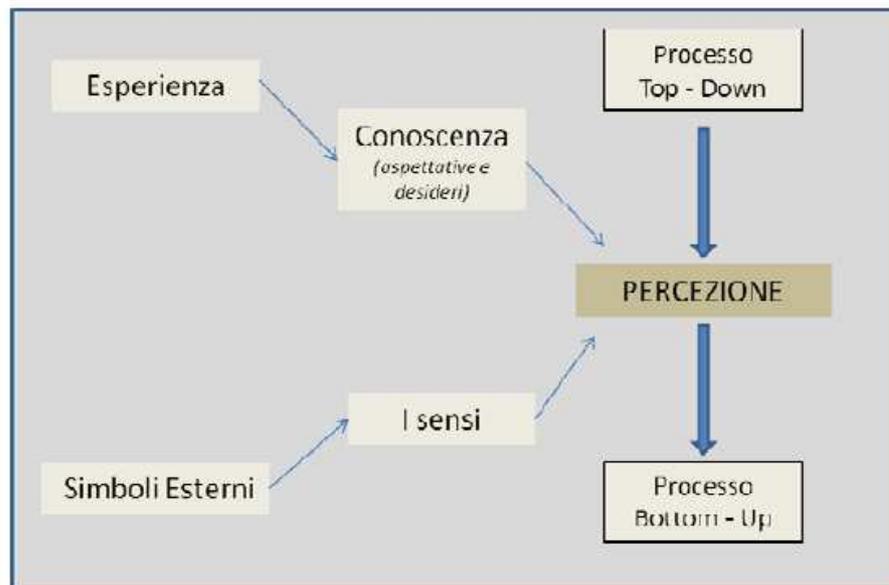


**Figura 2.8: DESCRIZIONE DELLA PROBABILITA' DI RECEPIMENTO DELL'OGGETTO AL TRASCORRERE DEL TEMPO AD OSSERVARLO (WICKENS, GORDON, LIU 1997)**

La ricerca dei modelli in grado di simulare tale andamento rappresenta un'importante spunto nello studio dei Fattori Umani soprattutto al fine della previsione del tempo critico di risposta.

I processi Top-Down partono da quando l'individuo ha già acquisito un bagaglio di esperienze, arrivando alla percezione degli stimoli più elementari.

I processi Bottom-Up nei quali gli stimoli partono dal livello più basso fino ad arrivare alla percezione cerebrale e all'intuito, sono i più utilizzati per simulare il comportamento dell'individuo.



**Figura 2.9: SCHEMATIZZAZIONE DEI PROCESSI TOP-DOWN E BOTTOM-UP**

Sia il processo top-down che quello bottom-up interagiscono e sono necessari e importanti per il guidatore. Ad esempio la scelta della velocità da parte di un guidatore quando entra in un tratto di strada ignoto si presume sia basata su un processo top-down, mentre i piccoli adattamenti durante la guida, la maggior parte delle volte, sono basati su processi bottom-up.

### 2.3.1 Modello di Rumar

Rumar (1985) fornisce un quadro generale di processi cognitivi che possono essere usati per la guida (figura 2.10).

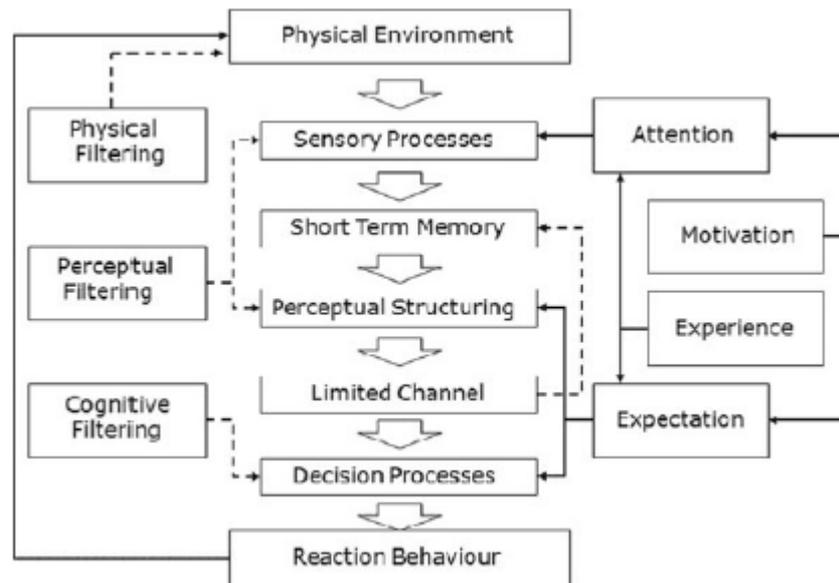


Figura 2.10: MODELLO DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI DI RUMAR

Il modello di Rumar incorpora numerosi importanti aspetti:

- le limitazioni: nonostante le informazioni possano essere oggettivamente disponibili, non necessariamente devono o possono essere utilizzate;
- la coesistenza di stimoli provenienti dall'esterno e l'elaborazione cognitiva che rappresenta i processi top-down e bottom-up nel processo di percezione e elaborazione delle informazioni;
- l'interazione tra diversi processi cognitivi ed emotivi come l'aspettativa, l'esperienza, la motivazione e l'attenzione.

Le tre limitazioni del modello di Rumar sono limitazioni fisiche, percettive e cognitive.

Le limitazioni fisiche si riferiscono al fatto che le informazioni non possono essere percepite perché nascoste da un oggetto: ad esempio i rami di un albero.

Le limitazioni percettive si riferiscono alle limitazioni fisiologiche dei sensi umani. Il più importante senso che interviene durante la guida è la vista. Alcuni aspetti relativi alle limitazioni fisiche sono i seguenti:

- l'occhio umano ha bisogno di tempo per adattarsi a differenti condizioni di luce;
- l'occhio umano ha bisogno di tempo per adattare la vista da vicino a lontano e viceversa. Questo adattamento è molto importante quando i *driver* spostano l'attenzione dall'interno (ad esempio dai contachilometri) all'esterno. L'adattamento è più veloce da vicino a lontano che viceversa;
- La percezione umana dipende dal contesto.

Le limitazioni cognitive si riferiscono al processo di elaborazione delle informazioni che include anche processi top-down. Aspetti importanti dell'elaborazione top-down sono le aspettative che guidano l'attenzione e facilitano o ostacolano la selezione delle informazioni pertinenti. Tuttavia, l'attenzione non dipende solo dalle aspettative, ma anche dai processi bottom-up cioè dagli stimoli.

La coesistenza di entrambi i meccanismi (top-down e bottom-up) per direzionare l'attenzione spiega perché Rumar afferma che a volte il confine tra limitazioni percettive e cognitive non è chiaro.

Quindi, secondo Rumar nel corso del tempo il *driver* affronta diverse situazioni. Le esperienze passate costituiscono le aspettative quando si presenta una nuova situazione. Più la nuova situazione è simile a quella passata più forti saranno queste aspettative. Queste aspettative a loro volta aiutano il guidatore a rivolgere l'attenzione nei posti dove egli ritiene di trovare le informazioni rilevanti. A causa della sua natura, il processo top-down richiede più tempo di un processo bottom-up, ma permette al guidatore di cercare attivamente e di dedurre le informazioni mancanti. Questo vantaggio potrebbe diventare uno svantaggioso se la situazione in questione fosse male interpretata, es., sulla base di aspettative improprie. È ovvio che un'attenzione forviata, a causa di aspettative sbagliate, potrebbe causare cattive decisioni, che sfocerebbero in comportamenti inappropriati. Rumar riassume questi processi come filtri cognitivi.

D'altra parte la percezione è un processo bottom- up, il che vuol dire, che anche gli stimoli ambientali o esterni influenzano la guida. Se l'attenzione sarà attratta da uno stimolo o meno dipende dalle caratteristiche fisiche di quest'ultimo. Essendo il punto focale dell'attenzione molto stretto, a causa delle caratteristiche dell'occhio, gli stimoli saranno prima percepiti dall'attenzione periferica. L'attenzione periferica è catturata più facilmente dagli oggetti mobili. Oggetti immobili con bassi contrasti luminosi saranno difficilmente catturati dalla vista umana. Questi difetti furono classificati da Rumar come filtri percettivi. Infine, anche quando l'attenzione è concentrata su oggetti importanti, questi potrebbero non essere visti, essendo fisicamente coperti da altri oggetti. Questo è ciò che Rumar chiama filtro fisico.

A causa della sua importanza per la sicurezza stradale, il ruolo delle aspettative è collegato a modelli mentali che saranno spiegati nel dettaglio nel paragrafo 2.3.2.

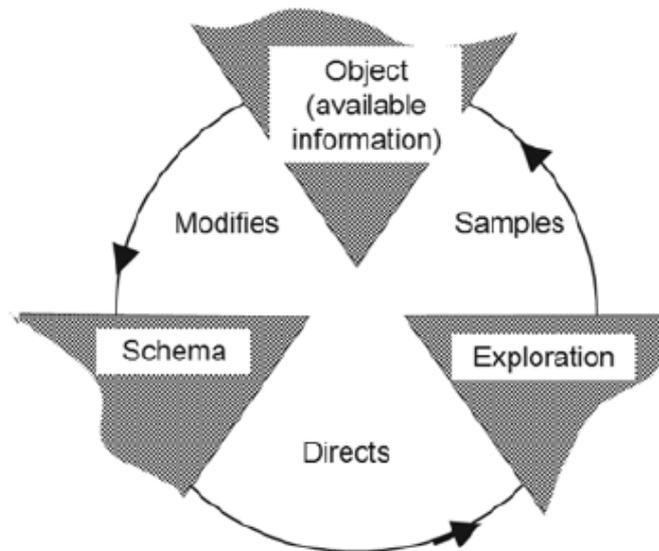
### **2.3.2 Aspettative e modelli mentali**

I processi top-down sono rappresentati essenzialmente dalle “aspettative”. Le aspettative derivano da rappresentazioni di alto livello della realtà nella memoria. La rappresentazione attivata dipende dalla somiglianza percepita della situazione reale con le caratteristiche della situazione memorizzata in memoria.

Durante lo sviluppo della scienza psicologica, a queste rappresentazioni di alto livello sono stati dati i nomi di schema, script e modelli mentali. Questi concetti saranno prima presentati e poi si discuterà la loro importanza per la sicurezza stradale.

Secondo Neuschatz et al. (2002), il costrutto dello schema fu originariamente introdotto da Barlett nel 1932. Gli autori definiscono gli schemi come strutture di conoscenza. In particolare, li definiscono come “raccolte organizzate di informazioni che sono immagazzinate nella memoria a lungo termine, a cui si può accedere rapidamente. Gli schemi ci guidano nella percezione del mondo con cui interagiamo; ci dicono ciò che è importante e ciò che merita la nostra attenzione; servono come base per la memoria di ricerca e ricostruirli”.

Il ruolo degli schemi è visibile nel ciclo percettivo sviluppato da Neisser (1976) e riportato in figura 2.11. Gli schemi aiutano a dirigere le nostre attenzioni ed azioni esplorative attraverso le informazioni considerate importanti. Gli schemi sono modificati da informazioni semplificate, ad esempio dalle informazioni degli oggetti percepiti, risultanti da azioni esplorative.



**Figura 2.11: CICLO PERCETTIVO DI NEISSER**

La struttura originale dello schema è stata estesa alla catena di eventi nel tempo e chiamata script da Schank et Abelson (1997).

Secondo Hudson e Fivush (1992) “gli schemi dell’evento, o scripts, sono definiti come sequenze organizzate a livello spaziale e temporale, che specificano le azioni, gli attori, e ripropongono il più fedelmente possibile ciò che accade in ogni dato istanze di un evento”. Con l'uso di script, le informazioni mancanti possono essere dedotte, finché la situazione è abbastanza prototipica, per un valido script che sia stato sviluppato da situazioni simili precedenti. Associati agli script sono i concetti di abitudini e routine. Aarts et Dijksterhuis (2000) definiscono le abitudini come “le associazioni tra le mete e le risposte comportamentali” e, inoltre, come “automatiche risposte di comportamento”. Mentre le abitudini sono viste come costanti ripetizioni, il termine routine è usato in situazioni di decisione come la soluzione dominante.

Ciononostante, le abitudini potrebbero essere la ragione per cui la routine viene attivata (Betsch, 2005).

Il termine modello mentale è divenuto popolare in modo crescente nell'interazione uomo-macchina, anche se originariamente era usato nelle scienze fisiche per descrivere lo svilupparsi dei processi di teorie (Brewer, 2002). Il termine fu utilizzato successivamente nella psicologia dell'educazione e dello sviluppo (Derry, 1996) e soprattutto nel campo della comprensione ragionata (Johnson-Laird, 1983). Dipendendo dal loro campo di interesse, le definizioni enfatizzano aspetti diversi. Nel sommare l'uso comune di questi approcci, Brewer (2002) dà la seguente definizione: “un modello mentale è una forma di rappresentazione mentale nelle sfere meccanico-causali che permettono la spiegazione di queste sfere. Le informazioni nel modello mentale hanno una relazione analogica col mondo esterno: la struttura della rappresentazione mentale corrisponde alla struttura del mondo. Questa relazione analogica permette ai modelli mentali di fare predizioni corrette su eventi nel mondo”. Comunque, “corrette” non equivale a “sempre corrette” come sarà mostrato in seguito. Riguardo il posto della memoria in cui i modelli mentali sono situati (o sviluppati), Brewer (2002) affermò che il termine è applicato sia alla conoscenza della memoria a lungo termine, sia ai processi temporanei, specifici della memoria a breve termine. Una definizione applicata nel human factor è data da Wilson et Rutherford (1989): “... un modello mentale è una rappresentazione formata da un utente di un sistema e/o da un compito, basato sia su precedenti esperienze sia su osservazioni correnti, che fornisce la maggior parte (se non tutto) ciò che è stato compreso del susseguente sistema e di conseguenza detta il livello di prestazione del compito” Tutte queste le rappresentazioni interne (termini generici per gli schemi, script, le abitudini, routine e modelli mentali) aiutano ad aumentare l'efficienza e l'efficacia nel comportamento umano. Le ragioni sono molteplici: prima di tutto, esse sono semplificate rispetto alla realtà; secondo, il loro uso è automatico invece che consapevole e perciò ha bisogno di meno risorse nella memoria lavorativa; infine guidano l'attenzione verso stimoli importanti e perciò richiedono meno attenzione. Nonostante il loro valore indubbio, le rappresentazioni interne sono la causa fondamentale di azioni o assunzioni difettose. Il loro ruolo nella produzione di un errore è largamente riconosciuto (Hacker, 2005; D. A. Norman,

1981; Reason, 1990). Infatti, sono responsabili di un'insieme di errori, soprattutto quelli basati sulle capacità (sviste e errori) e sul livello basato sulle regole (errori basati sulle regole) (vedi anche paragrafo 5). Come già affermato l'attivazione di una specifica rappresentazione interna dipende dalla sua somiglianza con l'ambiente percepito. Dato che gli stimoli nell'ambiente sono interpretati male sarà attivata una rappresentazione interna sbagliata. A causa del loro ulteriore ruolo nel determinare dove dirigere attenzione e che azioni compiere dopo, gli errori sono quasi inevitabili. Un'altra possibilità è che proprio la rappresentazione attivata sia difettosa, il che darà comunque luogo ad errori.

La misura delle rappresentazioni interne è necessariamente complessa e dispendiosa in termini di tempo, essendo coinvolti i processi mentali di alto livello, che non sono necessariamente consapevoli. Olson et Biolsi (1991) distinguono tra metodi diretti ed indiretti. I metodi diretti sono basati principalmente su risposta verbali del soggetto. Questi includono diverse tecniche di intervista, protocolli di pensieri ad alta voce e l'osservazione della performance del compito che è interrotto nei punti critici dalle domande dell'osservatore. I metodi indiretti sono basati principalmente sul risultato di giudizi di prossimità tra elementi considerati importanti. Il comportamento risultante può essere confrontato nelle diverse situazioni, che sono causa dell'attivazione dei diversi modelli mentali. I diversi comportamenti possono essere attribuiti a modelli mentali diversi.

L'applicazione di queste tecniche permette di confrontare modelli mentali di strade diverse e diversi utenti. Il comportamento associato a questi modelli potrebbe essere esteso, anche se non su un livello assoluto, ad altre categorie di strada. Come le aspettative guidano il comportamento ed allo stesso tempo offrono la base per gli incidenti è stato evidenziato in un studio da Räsänen e Summala (2000). Essi evidenziarono come i guidatori rivolgono la loro attenzione alla sinistra (nei paesi con la guida destra) quando si immettono su una strada dove si aspettano traffico motorizzato. Questo comportamento ha come risultato che biciclette che si avvicinano dalla destra non sono viste, e ciò potrebbe dar luogo ad incidenti.

### 2.3.3 Modello di percezione diretta

A differenza di Rumar che enfatizza i processi top-down, Gibson (1986) sottolinea la natura bottom-up della percezione.

Secondo Gibson, le proprietà fisiche intrinseche degli oggetti sono direttamente acquisite e determinano la percezione umana. Nonostante le differenze tra il modello di Rumar e quello di Gibson, gli autori sono d'accordo nell'affermare che la percezione è un processo attivo.

Mentre Rumar sottolinea l'importanza dei fattori cognitivi, Gibson vede il movimento come elemento cruciale nell'acquisizione di informazioni. I movimenti del corpo e dell'occhio aiutano a percepire le proprietà degli oggetti e degli ambienti. Pertanto, il corpo umano nel suo complesso diventa l'organo della percezione. Attraverso proprio corpo, il *driver* percepisce informazioni sulla distanza o la velocità.

La teoria della percezione diretta, sviluppata da Gibson, evidenzia l'importanza delle caratteristiche dell'ambiente. Ad esempio un ambiente monotono non fornisce molte informazioni all'utenza. La scelta della distanza e della velocità sono i fattori più influenzati dagli stimoli esterni.

## 2.4 MODELLI MOTIVAZIONALI

I modelli motivazionali, sottolineano gli stati transitori che si alternano durante la guida e sottolineano la natura “autoregolata” del compito di guida. Cioè il *driver* apprende diverse situazioni durante la guida e modifica i propri comportamenti per il verificarsi di determinati motivi. La motivazione è definita come l’insieme dei motivi in una data situazione e in un dato momento (Schlag, 2004).

I più importanti modelli motivazionali sono i modelli di rischio. Tuttavia i recenti approcci vedono l’omeostasi del carico di lavoro come il più importante background motivazionale (Fuller, 2005). Un aspetto centrale dei modelli motivazionali è l’adattamento comportamentale durante la guida.

### 2.4.1 Modelli di rischio

Quando si parla di modelli di rischio va fatta una distinzione tra rischio soggettivo e rischio oggettivo.

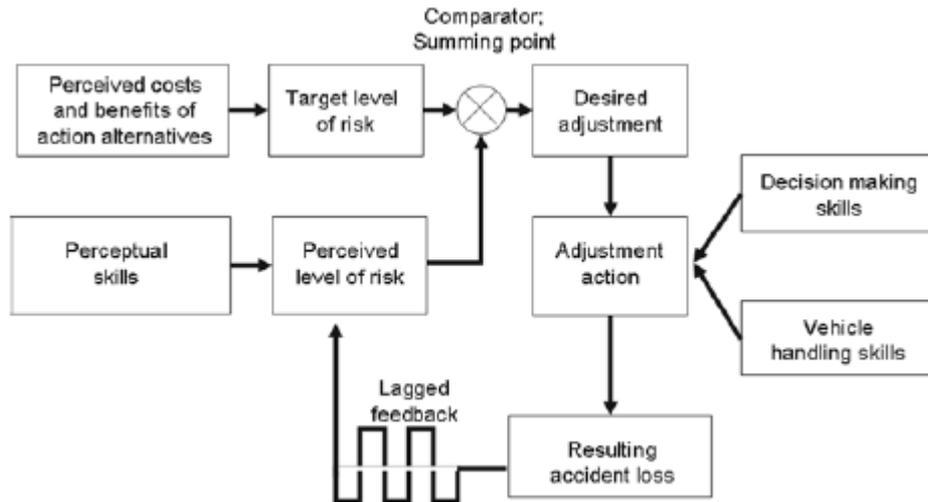
Klebensberg (1982) definisce rischio oggettivo come la probabilità misurabile di avere un incidente, mentre rischio soggettivo è quello valutato dal conducente attraverso la percezione dell’ambiente stradale. Secondo Klebensberg, le situazioni sono tanto più pericolose quanto più il rischio soggettivo è minore rispetto al rischio oggettivo. Questo perché chi guida adatta il suo comportamento in relazione al rischio soggettivo percepito, non a quello oggettivo.

Il concetto di rischio soggettivo come meccanismo rilevante per il comportamento di guida è stato ulteriormente sviluppato da Wilde (1988).

Secondo Wilde (1988), la cognizione del rischio dipende dalla percettibilità del rischio stesso. Wilde afferma precisamente che se vengono prese delle misure in grado di ridurre il rischio oggettivo, ciò non aumenterà la sicurezza per molto tempo se parallelamente non viene anche ridotto il rischio accettato.

Originariamente indicata con il termine di teoria dell’omeostasi del rischio (RHT), venne in seguito chiamata teoria di rischio percepito (Wilde, 1994, 2001). In breve, la teoria afferma che i tassi di incidente per unità di tempo rimangono uguali nonostante i miglioramenti oggettivi nell’ambiente di guida, sia per quanto riguarda l’infrastruttura che i veicoli. La ragione presunta è che i conducenti adattano il loro

comportamento in modo che il loro rischio soggettivo corrisponda a un rischio “target” più o meno costante (figura 2.12).



**Figura 2.12: TEORIA OMEOSTATICA DI WILDE**

Il “fattore umano”, inteso come insieme delle capacità dell’utente in termini di percezione degli stimoli esterni l’abitacolo e attitudine alla guida, assume, nella Teoria Omeostatica di Wilde (Wilde G.J.S., 1982), il ruolo di elemento centrale nei processi di generazione di incidenti stradali.

La teoria si fonda su due concetti principali: percezione, cioè il complesso delle capacità sensoriali ed intellettive di ricevere uno stimolo dall’ambiente esterno ed elaborarla in informazione, e quello del rischio accettabile, ovvero la stima soggettiva della probabilità di evento critico a cui gli utenti sono disposti a sottoporsi al fine di giungere ad uno scopo, in questo caso il viaggio (Fleury D., 1991).

In letteratura la definizione di “omeostasi” attinge dalle scienze biologiche e fisiologiche come capacità dell’organismo di conservare una stabilità al suo interno, mediante alcuni processi regolativi e contro regolativi che si attivano a ogni variazione delle condizioni esterne; trasponendo questa teoria al sistema stradale, Wilde (Wilde G.J.S., 1982) concluse che in ciascun individuo si innesca un meccanismo di tipo compensativo, schematizzato Figura \_: assunto un livello di rischio accettabile, il Target Level of Risk, funzionale al soddisfacimento pieno delle

proprie esigenze, l'utente tenderà a mantenere un livello omeostatico di rischio, cioè effettuerà una continua rivalutazione cognitiva della soglia considerata ideale per l'utente Desired Adjustment (livello ottimale di rischio), in relazione con la situazione realmente percepita, Perceived Level Risk (livello effettivo di rischio).

Secondo tale teoria è possibile che si verifichino situazioni di deficit di sicurezza in virtù del meccanismo di compensazione che conduce l'utente verso comportamenti pericolosi: un esempio è rappresentato da infrastrutture stradali che trasmettono un basso tenore di rischio effettivo attraverso le loro caratteristiche geometriche e compositive, condizione che si traduce, in virtù del processo omeostatico, in un atteggiamento dell'utente che tende all'innalzamento e al conseguente raggiungimento della sua soglia di rischio.

Secondo Wilde proprio questo meccanismo, applicato ad una scala più vasta e generalizzata, sarebbe alla base della scarsa significatività della variazione delle percentuali incidentali nonostante il progresso tecnologico sugli autoveicoli e le azioni di mitigazione sulle infrastrutture stradali. Nello specifico, come sostenuto da altri autori (Fleury D., 1991), la somma di tutte le azioni soggettive volte a raggiungere la personale soglia di rischio legata al meccanismo percettivo-estimazione-correzione, fondamento della teoria omeostatica, produce un effetto globale sul sistema di mobilità di un contesto di riferimento che determina, in un intervallo di tempo sufficientemente ampio, (uno o più anni), il trend incidentale per un Paese.

Da ciò deriva che, se l'avanzamento della soglia di rischio accettato dall'utente viene spostata in avanti, poiché interventi sull'infrastruttura generano una percezione di minore rischio, l'efficacia dell'intervento stesso ne risulta compromessa anche a livello globale.

La teoria Omeostatica consente inoltre due chiavi di lettura legate alla gerarchia della percezione e al meccanismo di compensazione: ad un livello vasto può analizzare e fornire la valutazione qualitativa del rischio percepito dalla società, influenzando anche il comportamento e l'opinione del singolo nelle scelte legate alla mobilità; a livello più specifico la percezione del rischio influenza la condotta di guida e le condizioni di traffico. Operativamente la teoria omeostatica viene impiegata per

l'analisi di sicurezza stradale, soprattutto per il fattore utente: i principi esposti si traducono in una metodologia in grado di compiere una valutazione qualitativa, della risposta dell'utente agli stimoli ambientali in relazione alle sue capacità percettive e reattive, in base alla sua soglia di rischio, definendo così il suo modello comportamentale e la sua capacità di adattamento alle condizioni infrastrutturali.

La teoria della Omeostasi del Rischio non è stata introdotta per il singolo utente ma per l'intero sistema sociale rappresentato dalla popolazione dei drivers.

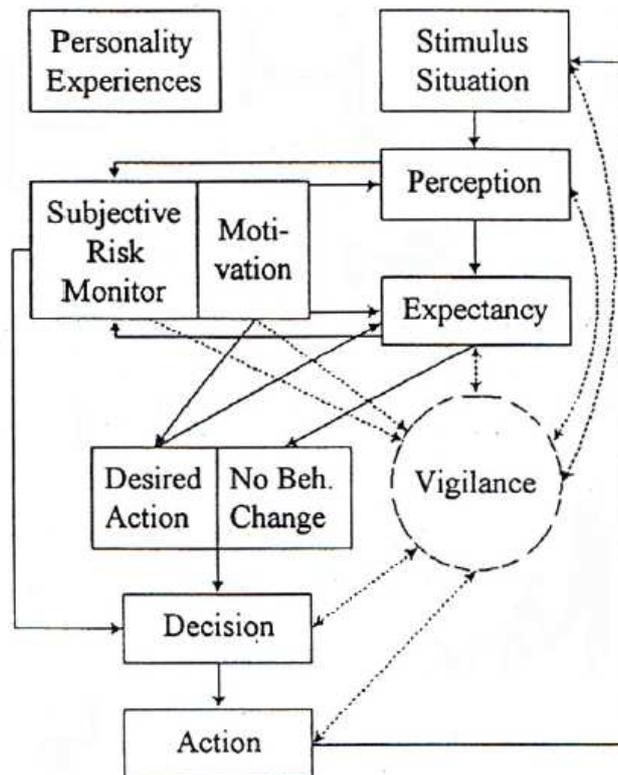
Un altro modello che sostiene che il rischio sia un importante parametro nel comportamento di guida è stato proposto da Näätänen e Summala (1976). Questo modello, a differenza di quello di Wilde, è a livello personale. A differenza di Wilde, Näätänen & Summala affermano che il rischio soggettivo durante la guida è generalmente nullo. Similmente a Wilde, il rischio soggettivo è determinato dalla probabilità soggettiva e dall'importanza soggettiva di un evento avverso. Per Näätänen & Summala, un evento avverso potrebbe essere un incidente o essere multati dalla polizia. A differenza della RHT di Wilde, in cui il rischio soggettivo è una forza eccitativa e motivante (si veda il termine "target risk"), nel modello a rischio zero di Näätänen & Summala è una forza inibitoria. Finché la soglia del rischio soggettivo zero non viene superata, il rischio non svolge un ruolo importante nella guida.

Quindi, a differenza di Wilde, Näätänen e Summala sostengono che i guidatori si sforzano di minimizzare il rischio soggettivo così che questo sia vicino a zero. Si crede che gli incidenti si verificano a causa di una sottostima generale del rischio, che è ancora causato da difetti di percezione, e di una sovrastima delle proprie abilità.

Nella teoria del "rischio-zero" del comportamento del conducente, Naatanen e Summala affermano che il *driver* è in grado di gestire il rischio tramite l'applicazione di una serie di azioni ed è anche capace di evitare determinati comportamenti che generano paura o principi di paura. Pertanto si è assunto che i conducenti cerchino di soddisfare le loro necessità relative alla mobilità, per esempio, guidando veloce tanto a lungo fino a quando non si manifesta un apparente rischio d'incidente.

A tal proposito, bisogna evidenziare le particolari correlazioni esistenti tra fattori stimolanti e fattori inibitori nel comportamento dei *driver*. Il fattore inibitore più importante è sicuramente il rischio soggettivo (figura 2.13).

Secondo Pfafferott e Huguenin (1991), con riferimento alla figura 2.13, il loop di controllo comincia con la situazione di stimolo.



**Figura 2.13: DIAGRAMMA DELLE DECISIONI PRESE DAL DRIVER SECONDO NAAATANEN E SUMMALA**

La percezione è un processo selettivo, che è guidato dalle motivazioni e dalle esperienze del conducente. La percezione dà inizio alle aspettative e le decisioni vengono prese in funzione dei cambiamenti comportamentali, fin tanto che sono necessari. In questo modello si è assunto che gli incidenti avvengano nel momento in cui il rischio soggettivo viene troppo sottostimato. In aggiunta anche la percezione gioca un ruolo importante: la stima della velocità è infatti spesso erronea e si tende a sottostimarla. Pertanto, Pfafferott e Huguenin (1991) ribadiscono che la tesi principale è che i *driver* tendono a mantenere velocità elevate fin tanto che l'assenza di percezione del rischio non li conduce a seguire un comportamento di guida rischioso.

## 2.4.2 Modelli di adattamento comportamentale

L'adattamento comportamentale alla guida descrive il fenomeno in cui i *driver* adattano il loro comportamento a situazioni mutevoli.

Nel 1990, l'OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) ha definito l'adattamento comportamentale come: "... quei comportamenti, che si possono verificare in seguito all'introduzione di cambiamenti nel sistema strada-veicolo-utente e che non sono stati pianificati dai promotori del cambiamento; gli adattamenti comportamentali si rverificano quando gli utenti della strada rispondono ai cambiamenti del sistema di trasporto stradale in modo tale che le loro necessità personali siano viste come un risultato; essi creano un continuo di effetti che variano da un incremento della sicurezza ad un calo della sicurezza".

L'esito netto delle misure di sicurezza stradale è positivo o negativo dipende dalla quantità di fattori non intenzionali dovuti all'adattamento comportamentale (Elvik & Vaa, 2004). Questo meccanismo è illustrato nella figura 2.14.

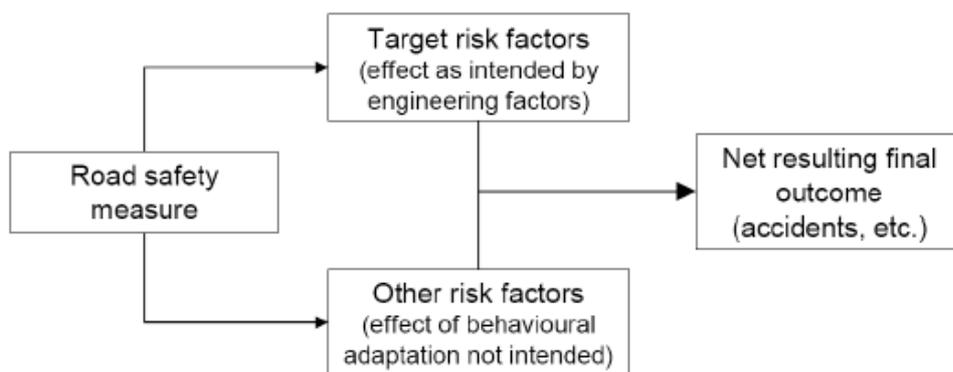


Figura 2.15: MODELLO DI ELVIK E VAA

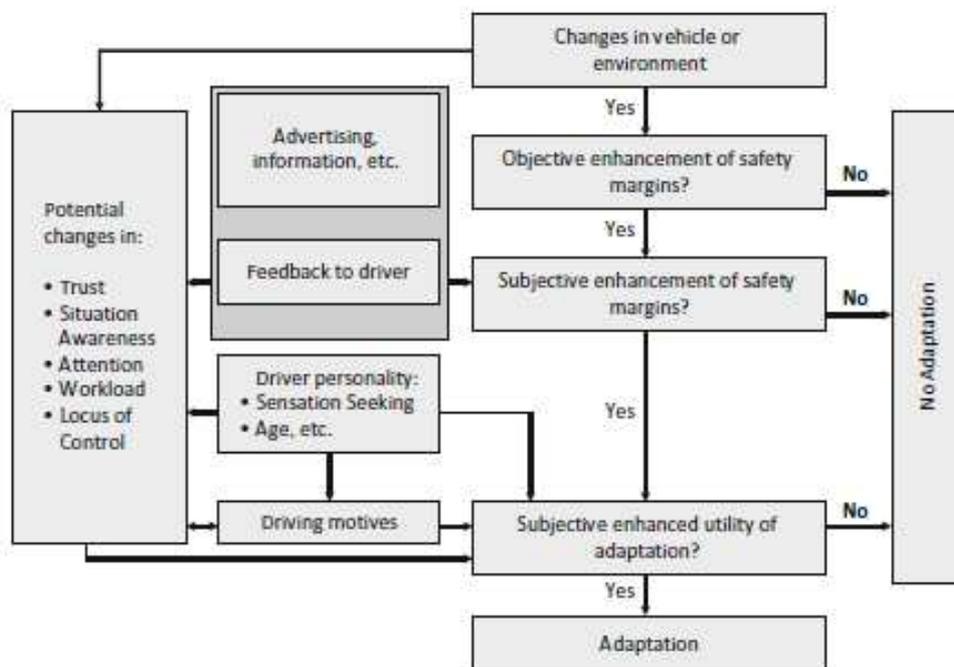
Si può quindi sostenere che, a causa dell'adattamento comportamentale, le sole misure ingegneristiche finalizzate alla sicurezza stradale non comportino necessariamente una riduzione del numero di incidenti stradali. Esistono alcune pubblicazioni che sostengono questa tesi.

Ad esempio confrontando i dati relativi ad un periodo di 14 anni (1984-1987) di 50 stati americani, Noland (2003) ha trovato che la riduzione di mortalità era dovuta a

fattori demografici, all'aumento della sicurezza passiva e al progresso in campo medico. Secondo l'autore miglioramenti infrastrutturali a volte hanno effetti negativi sulla sicurezza stradale. Noland (2003) conclude che "I risultati confutano fortemente l'ipotesi che migliorie infrastrutturali siano state efficaci nella riduzione della mortalità totale e dei danni."

Tuttavia, Rothengatter (2002) afferma che l'adattamento effettivamente si verifica ma che gli effetti non sono abbastanza forti da annullare gli effetti positivi delle misure di sicurezza. Un esempio è l'effetto dell'illuminazione stradale in cui si verifica l'adattamento comportamentale, ma i vantaggi in termini di sicurezza sono netti (Assum, Bjørnskau, Fosser & Sagberg, 1999).

Le diverse ricerche riguardo l'ammontare dell'adattamento comportamentale possono essere spiegate da fattori multipli che influenzano il verificarsi dello stesso. Questi fattori sono stati riassunti in un modello sviluppato da Weller & Schlag (2004) (figura 2.16).



**Figura 2.16: MODELLO DI ADATTAMENTO DI WELLER E SCHLAG**

Secondo questo modello affinché l'adattamento comportamentale si verifichi è necessario che le modifiche ai veicoli o all'infrastruttura producano un miglioramento oggettivo dei margini di sicurezza. Inoltre questo miglioramento deve

essere percepito dai conducenti. Per ottenere l'adattamento, anche la modifica del comportamento deve essere percepita come utile per il conducente (per il principio di massimizzazione dell'utilità). L'utilità è diversa per gruppi di *driver* diversi e all'interno dello stesso gruppo tra i *driver*. Ad esempio dipende se i *driver* vanno di fretta o no.

Indipendente da questa catena di azione (miglioramento oggettivo, miglioramento soggettivo e massimizzazione dell'utilità), c'è un secondo percorso che conduce all'adattamento. Questo secondo percorso è il risultato di cambiamenti nella natura del compito di guida che influenza numerose variabili psicologiche. Questi cambiamenti sono una diretta conseguenza dei cambiamenti nell'ambiente (o del veicolo) ed i successivi cambiamenti nella natura del compito di guida. Quando il compito di guida diviene più facile in seguito a variazioni nell'allineamento stradale (ad esempio minore tortuosità del tracciato), è probabile che il carico di lavoro decresca e che, di conseguenza, la velocità aumenti. In effetti, il carico di lavoro sembra ricoprire la stessa importanza del rischio per quanto riguarda la spiegazione del comportamento di guida e verrà presentato nel paragrafo seguente.

In conclusione si può affermare che una teoria, che sia esauriente nel descrivere il processo di adattamento dei conducenti, potrebbe essere la base, in determinate circostanze, del modello di omeostasi del rischio.

Tale teoria non dovrebbe essere definita in base alle situazioni d'incidente, bensì dovrebbe predire il livello d'incidentalità. Da un punto di vista strettamente teorico, possono essere tratte le seguenti conclusioni:

- i meccanismi di adattamento sono fenomeni osservabili dai *driver* che possono avere effetti positivi o negativi sulla sicurezza veicolare;
- i meccanismi di adattamento possono essere osservati attraverso differenti passi gerarchici legati ad azioni di guida e sviluppano un processo di memoria funzione del tempo;
- al centro delle teorie si trovano i meccanismi di adattamento che sono alla base del concetto di rischio, e questa può essere una componente sia oggettiva che soggettiva;

- il rischio soggettivo si pone in inter correlazione tra le componenti motivazionali del conducente e la percezione della situazione in cui l'utente si trova in un determinato momento;
- i meccanismi di adattamento sono agevolati da:
  - Sovrastima delle proprie capacità, come funzione della percezione di una situazione;
  - Decisioni di accettazione di rischi elevati;
  - Incapacità di stimare in maniera appropriata il rischio di una determinata situazione.

### 2.4.3 Modelli di carico mentale

Le diverse condizioni stradali, le caratteristiche del paesaggio, la diversità e il numero degli altri *driver* e le condizioni ambientali comportano che le caratteristiche del compito di guida cambino costantemente. Queste caratteristiche comportano un certo livello di domanda fisica e mentale o stress che influenza il conducente quando guida. Agire in un ambiente stressante o l'esecuzione di un compito impegnativo avrà un effetto sul *driver* che esegue questa manovra. Questo effetto dipende dallo stato del *driver* e non è uguale per tutti i *driver* in quanto è influenzato dalle caratteristiche individuali del *driver* stesso.

In generale, si distinguono gli effetti a breve e lungo termine. Gli effetti a lungo termine di una domanda inadeguata possono causare malattie (Richter & Hacker, 1998). Poiché gli effetti a lungo termine non sono considerati particolarmente problematici per una guida sicura, non è un argomento di questa tesi. Il carico di lavoro mentale indica gli effetti a breve termine della domanda viene quindi definito come "l'effetto immediato dello stress mentale all'interno dell'individuo (non l'effetto a lungo termine) che dipende dalle sue condizioni abituali e attuali" (ISO 10075-1, 1991).

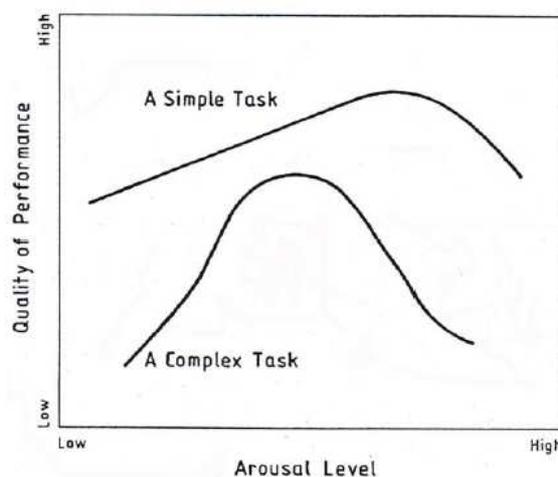
Quindi, i compiti che affronta un conducente durante la guida generano un "lavoro". Tale lavoro varia in funzione della difficoltà dei compiti da svolgere e della loro frequenza. Il livello di questo carico di lavoro ed i suoi effetti sulle performance dei guidatori sembrerebbe essere fortemente influenzato dalle aspettative e dalle capacità dei *driver* stessi.

Il workload è stato definito da Senders (1970) come la misura della fatica attesa da un operatore nel compiere determinati compiti, indipendentemente dal tipo di performance che tali azioni richiedono. Secondo Venturino (1990) invece, il carico di lavoro mentale può essere definito come un consumo di capacità mentali richieste per svolgere un compito oppure una serie di compiti. Un'altra definizione del workload è stata data da Knowles (1963) e consiste nella risposta a due quesiti: quanta attenzione è necessaria? Quanto è in grado l'operatore a far fronte a compiti aggiuntivi?

Differenti stadi (cognitivi) e differenti meccanismi energetici sono coinvolti nell'esecuzione di un compito e tutti gli stadi e i meccanismi richiedono differenti risorse.

I differenti meccanismi sono la stimolazione (arousal), l'attivazione e lo sforzo. La stimolazione cambia in funzione delle caratteristiche dello stimolo. Durante un processo automatico, cambiamenti nella stimolazione portano a cambiamenti nell'attivazione senza che alcuno sforzo sia coinvolto. L'attivazione è la preparazione fisiologica di una risposta. Lo sforzo deve essere chiamato in causa durante un processo informativo consapevole. L'ammontare di sforzo che può essere richiesto è limitato a causa di limitate risorse. Anche se c'è un limite superiore nella quantità di risorse, chiamate capacità, è evidente che questa capacità varia a seconda delle caratteristiche del compito.

La legge di Yerkes-Dodson (1994), riportata in figura 2.17, descrive la correlazione esistente tra carico di lavoro mentale e prestazioni per un compito semplice e per uno complesso.

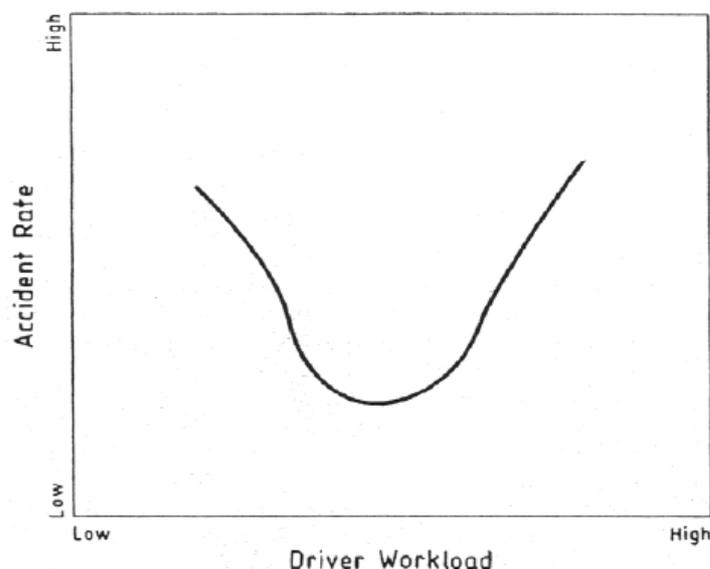


**Figura 2.17: LEGGE DI YERKES-DODSON**

Per livelli di workload bassi, il livello delle prestazioni umane è basso in quanto le informazioni vengono smarrite per disattenzione. Quando il carico di lavoro necessario per svolgere un determinato compito cresce, il livello delle performance umane aumenta fino a raggiungere un massimo. Secondo Krammes et al. (1993), l'area situata intorno a questo massimo prestazionale rappresenta il carico di lavoro ottimale per un dato compito.

Superato questo livello, una richiesta di workload addizionale genera una brusca caduta del livello di performance per via dell'eccessivo numero di informazioni da dover processare (figura 2.17).

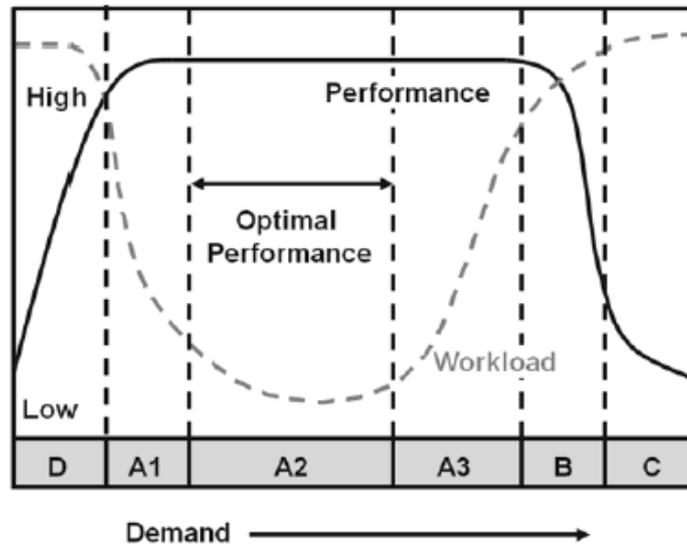
Inoltre, visto che i tassi di incidentalità aumentano al decrescere delle performance, c'è da aspettarsi un aumento del numero di incidenti in quelle aree sia dove il carico di lavoro è molto elevato sia dove è eccessivamente basso. Inoltre è stato anche riscontrato che un'improvvisa crescita del workload potrebbe essere associata ad un incremento del rischio d'incidente. Secondo Wooldridge (1994), la forma generica della curva che lega il carico di lavoro ed il tasso di incidentalità è illustrata in figura 2.18.



**Figura 2.18: CORRELAZIONE TRA WORKLOAD E TASSO DI INCIDENTALITA' SECONDO WOOLDRIDGE**

A seconda della domanda di lavoro, il carico di lavoro e le prestazioni umane interagiscono in modo caratteristico. De Waard (1996) ha riassunto i risultati di

diversi autori su questa interazione. L'autore descrive la relazione tra la domanda di lavoro e il carico di lavoro come una funzione a forma di "U", e la relazione tra domanda e performance come una funzione a forma di "U" capovolta (figura 2.19).



**Figura 2.19: ANDAMENTO DEL CARICO DI LAVORO E DELLA PERFORMANCE SECONDO de WAARD**

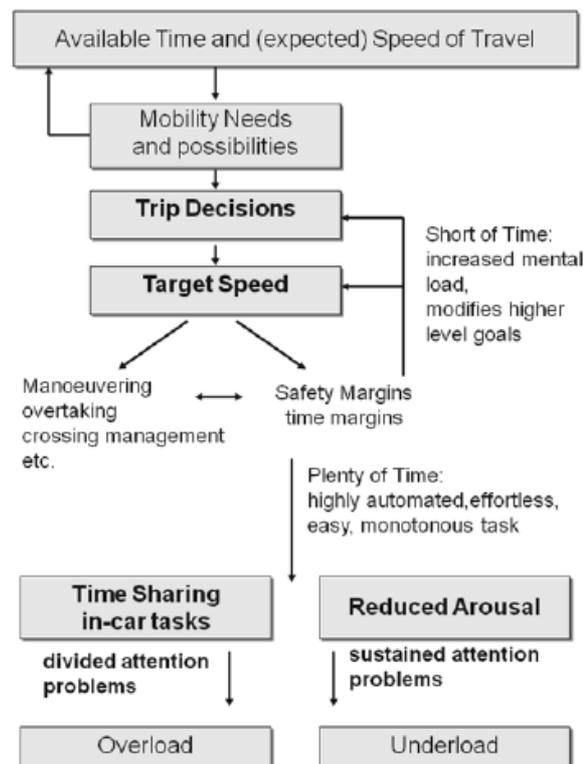
Nella guida, la domanda dipende dalle caratteristiche oggettive della strada e dell'ambiente. Seguendo la relazione raffigurata in figura\_, le migliori prestazioni possono essere garantite progettando strade e ambienti che corrispondano alla domanda media. Per fare questo, devono essere compresi i processi che portano alle relazioni descritte in figura\_.

Secondo Krammes et al. (1993), il "Workload" o "Carico di lavoro" è un concetto molto importante nella progettazione dei sistemi controllati dagli esseri umani. Operazioni con esito positivo su determinate richieste presuppongono un carico di lavoro imposto sugli operatori che non ecceda le loro capacità di elaborazione delle informazioni. D'altro canto è anche importante che il workload non scenda al di sotto di una determinata soglia di attenzione oltre la quale comincia a diventare difficile gestire le eventuali richieste.

Secondo Yeh e Wickens (1988), un modello di workload è estremamente importante nella fase di progettazione di un sistema in quanto è in grado di prevedere quali saranno le configurazioni che massimizzeranno l'efficienza delle prestazioni e che

lasceranno anche delle capacità residue agli operatori nel caso si presentassero dei rischi inaspettati.

Summala (1997) propone un modello gerarchico di adattamento comportamentale che è di fatti un modello di carico di lavoro dove l'intervallo temporale è la variabile centrale (figura 2.20). È gerarchico poiché non si concentra soltanto su livelli più bassi del compito di guida ma include anche il livello di navigazione. Secondo il modello il fattore che determina le decisioni è il tempo disponibile su tutti i livelli del compito di guida. Nel livello di navigazione, il tempo disponibile influenza la scelta del mezzo di trasporto o la scelta del percorso. A livello tattico ed operativo gli intervalli di tempo sono sinonimi di margini di sicurezza ed influenzano l'azione presa e la scelta della velocità. In caso di brevi intervalli di tempo disponibile, il carico di lavoro aumenta e ciò porta ad una modifica della velocità di viaggio (ad una riduzione in questo caso). D'altra parte, intervalli temporali elevati non sempre sono sicuri. Nella situazione in cui il *driver* si sente di essere in una condizione di sotto-carico e non può incrementare la velocità per ridurre il tempo disponibile, potrebbe intraprendere un'altra attività durante la guida (ad esempio guardare lo smartphone). Ciò potrebbe portare ad un sovraccarico di lavoro.



**Figura 2.20: MODELLO GERARCHICO DI ADATTAMENTO COMPORTAMENTALE PROPOSTO DA SUMMALA**

Quindi, attraverso la variazione della velocità, i margini di tempo disponibili vengono cambiati, e ciò porta ad un cambio nel carico di lavoro. A seconda della direzione del cambio di velocità il risultato è sovra o sotto carico. Attraverso processi di feedback, i margini della sicurezza di breve periodo influenzano di nuovo le decisioni di viaggio e la velocità per raggiungere l'obiettivo.

Poiché gli incidenti non sono menzionati esplicitamente nel modello, si potrebbe presumere, sia il sovraccarico che il sotto-carico mentale possano portare agli incidenti.

Nel modello di interfaccia compito-capacità proposto da Fuller (2005), l'autore lega direttamente le conseguenze di una mancata corrispondenza tra la domanda di carico e le capacità del *driver* alla sicurezza stradale (figura 2.21). La costante interazione tra esigenze di carico di lavoro e capacità (massime risorse disponibili) ha come risultato una guida e un controllo sicuro fino a che la capacità supera la domanda. Secondo l'autore sia la domanda che la capacità determinano la difficoltà dell'azione (che comprende processi mentali e fisici). Questo modello è influenzato essenzialmente dalla teoria "Risk Homeostatic Theory" di Wilde.

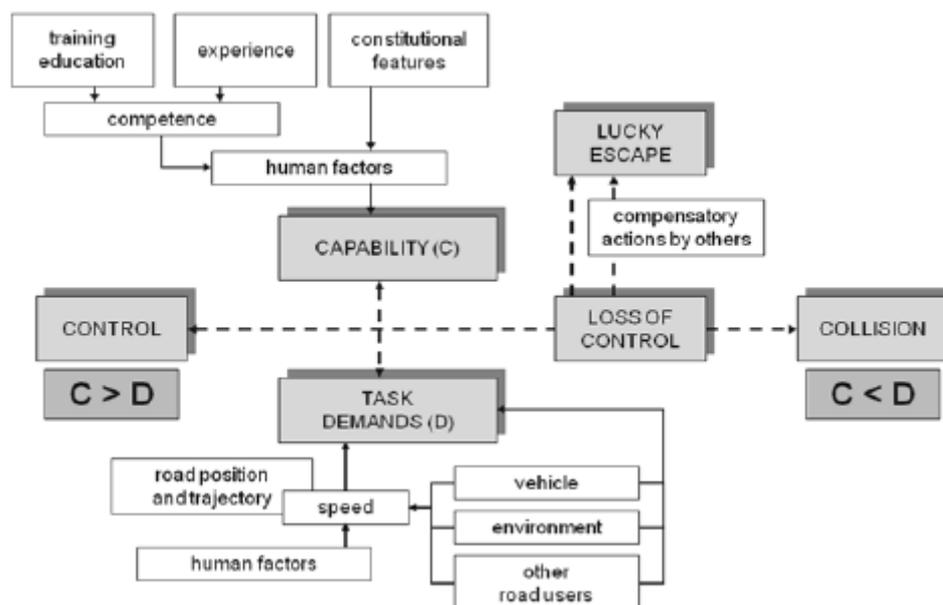
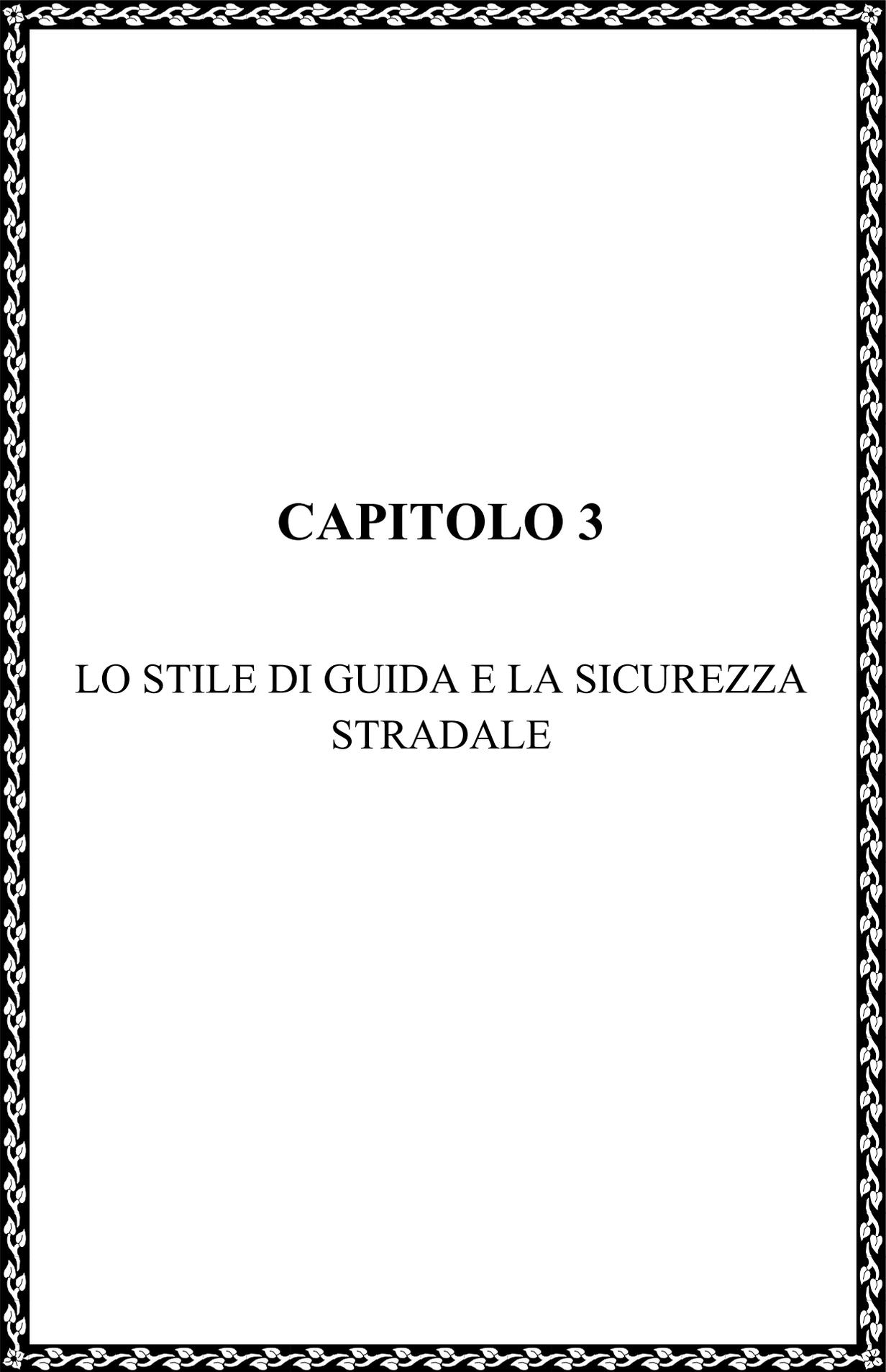


Figura 1: MODELLO DI FULLER (2005)

A differenza di Wilde, Fuller sostiene che la variabile rilevante che governa il processo omeostatico non è il rischio ma piuttosto la difficoltà dell'azione. Regolando la velocità, il *driver* ha un potente mezzo per regolare la domanda di carico mentale in modo tale da mantenere un certo livello di difficoltà dell'azione.



## **CAPITOLO 3**

### **LO STILE DI GUIDA E LA SICUREZZA STRADALE**

### 3. LO STILE DI GUIDA E LA SICUREZZA STRADALE

#### 3.1 DIFFERENZE INDIVIDUALI E RISCHIO DI INCIDENTE

Il concetto di differenze individuali tra i *driver*, in merito alla probabilità di coinvolgimento in incidenti, e le possibili spiegazioni in termini di comportamento e fattori di fondo o attitudinali, risale alle vecchie idee di "tendenza agli incidenti", intesa come caratteristica generale dell'individuo. Questa idea è apparsa innanzitutto come una spiegazione per gli incidenti industriali, ma è stata successivamente applicata anche al coinvolgimento in incidenti stradali (Shinar, 2007).

Le prime ricerche sulle differenze individuali nel rischio di incidenti stradali hanno riguardato i fattori di fondo del *driver* come la personalità e il background socioeconomico.

Tillmann e Hobbs (1949), hanno svolto un'indagine basata su interviste dettagliate rivolte ai tassisti. Nello specifico l'indagine è stata rivolta a due tipologie di tassisti: quelli coinvolti e quelli non coinvolti in incidenti stradali. Dall'analisi dei dati acquisiti hanno trovato differenze significative tra i due gruppi. Poiché parte delle interviste è stata effettuata a bordo dei veicoli in marcia su strada, gli autori hanno potuto osservare dei comportamenti e di conseguenza dare delle descrizioni qualitative sulle abitudini di guida dei due gruppi di *driver* analizzati. In particolare, è emerso che i tassisti coinvolti in un elevato numero di incidenti stradali, durante la guida, tendevano ad essere distratti e si infastidivano facilmente a causa dei comportamenti degli altri automobilisti, criticando spesso i loro presunti errori. Molto spesso suonavano il clacson. Al contrario, i tassisti non coinvolti o con una bassa frequenza di incidente erano seri e spesso si rifiutavano di parlare durante la guida. Inoltre tendevano ad essere cortesi con gli altri automobilisti ed erano consapevoli del fatto che gli altri utenti della strada avrebbero potuto commettere errori in qualsiasi istante.

I primi studi sulle differenze individuali nel coinvolgimento in un incidente stradale non erano quindi basati su misure effettive del comportamento di guida ma piuttosto su osservazioni superficiali. Nel 1930, però Weiss e Lauer (1930) hanno presentato uno studio quantitativo per "misurare" il comportamento alla guida individuando 44 azioni svolte durante la guida che rappresentavano gli indicatori di qualità della

guida stessa. Tra le azioni monitorate vi è l'uso dei freni, l'utilizzo della folle, l'uso dello specchio retrovisore, la mancanza di segnalazioni e così via. Anche in questo caso le indagini sono state effettuate a bordo del veicolo, dove i rilevatori hanno dato un punteggio da 1 a 5 a ciascun *driver* per ogni azione.

Tuttavia si tratta di giudizio soggettivo e non si è tenuto conto di alcuni indicatori più oggettivi come il coinvolgimento in sinistri stradali. Solo nel 1950 alcuni studi hanno cominciato a combinare giudizi soggettivi, raccolti mediante scale di rating e check list, con il coinvolgimento in incidenti stradali (Häkkinen, 1958).

Alcuni studi effettuati da Lewis (1953, 1956) si basano su misure più oggettive anche se i risultati finali sono influenzati dalla soggettività in quanto non forniscono un risultato numerico ma solo delle osservazioni comportamentali. Al posto del rilevatore a bordo è stata sviluppato un sistema a bordo del veicolo dotato di una fotocamera che scattava una foto della plancia e del parabrezza del veicolo ogni 5 metri percorsi, indipendentemente dalla velocità. Dai risultati è emerso che i *driver* più sicuri guidano in maniera più costante man mano che ripetono il percorso.

### **3.2 LO STILE DI GUIDA**

Nel corso degli anni sono stati effettuati diversi studi per valutare la relazione tra stile di guida e sicurezza stradale: anche generalmente viene assunto che lo stile di guida è correlato al rischio di essere coinvolto in un incidente stradale ci sono ancora molti problemi irrisolti riguardo ai dettagli di questa relazione e come è meglio modellare e misurare gli stili di guida sicuri e non sicuri. Inoltre, è di fondamentale importanza non generalizzare il concetto di stile di guida ma bisogna distinguerlo da altri costrutti come le condizioni del *driver* e il comportamento in generale, analizzando come quest'ultimi possono influenzare lo stile di guida.

Gli studi sugli stili di guida presenti in letteratura hanno fatto riferimento sia a metodi di autovalutazione sia a metodi basati sull'osservazione del comportamento reale.

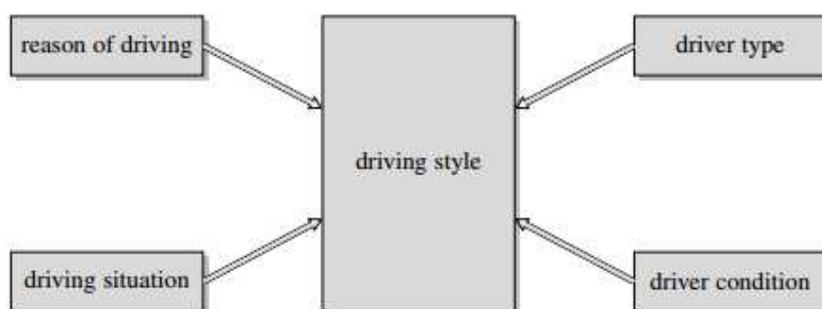
Prima di descrivere e analizzare questi metodi è necessario capire cosa si intende per stile di guida. Esistono infatti numerose definizioni di “stile di guida” (tabella 3.1).

Secondo Elander, West, and French (2011) “lo stile di guida riguarda il modo in cui un *driver* sceglie di guidare o le abilità di guida che il *driver* ha acquisito dopo un periodo di anni”. Questa definizione è molto in linea con la definizione fornita da Lajunen and Özkan (2011) riportata in tabella 3.1, dove sono presenti le definizioni fornite da vari autori.

Come è possibile osservare, la definizione di Murphey, Milton, and Kiliaris (2009) differisce notevolmente da tutte le altre avendo un carattere più generale.

Alcune definizioni tendono ad enfatizzare il processo decisionale (Deery, 1999) e le modalità di pensiero (Ishibashi, Okuwa, Doi, & Akamatsu, 2007) piuttosto che un comportamento osservabile.

Secondo Dörr et al. (2014), è il modo di eseguire l’attività di guida. È determinato dal tipo di conducente, dalle condizioni del conducente, dalla situazione di guida e dallo scopo del viaggio (figura 3.1).



**Figura 3.1: STILE DI GUIDA SECONDO DÖRR ET AL. (2014)**

Secondo Lei et al. (2016) con il termine stile di guida ci si riferisce ad un insieme di abitudini formate nel lungo periodo e che influenzano le manovre svolte dal *driver* su strada.

<b>Definizione</b>	<b>Reiferimenti</b>
“Lo stile di guida riguarda il modo in cui un driver sceglie di guidare o le abilità di guida che il driver ha acquisito dopo un periodo di anni”	Elander, West, & French, 1993
“Lo stile di guida riguarda gli aspetti decisionali della guida, cioè il modo in cui le persone scelgono di guidare o guidare abitudini che si sono sviluppate nel tempo”	Deery, 1999
“Lo stile di guida è descritto come una caratteristica relativamente stabile del conducente, che caratterizza il suo modo personale di guida e il modo in cui sceglie di guidare”	Saad, 2004
“Lo stile di guida è definito come un insieme di attività e passaggi che un operatore compie quando si guida un veicolo a motore, in base al suo giudizio personale, alla sua esperienza e alla sua abilità”	Rafael, Sanchez, Mucino, Cervantes, & Lozano, 2006
“Lo stile di guida è un atteggiamento, orientamento e un modo di pensare per la guida quotidiana”	Ishibashi, Okuwa, Doi, & Akamatsu, 2007
“Comportamento dinamico di un conducente sulla strada”	Murphey, Milton, & Kiliaris, 2009
“Lo stile di guida riguarda le abitudini di guida individuali, vale a dire il modo in cui un driver sceglie di guidare”	Lajunen & Özkan, 2011
“Il modo preferito di guidare che, nel corso del tempo, si sviluppa in abitudini di guida”	Kleisen, 2011
“Lo stile di guida è il modo in cui un driver sceglie di guidare ed è governato da una combinazione di meccanismi sociali, neurobehaviorali e biologici”	de Groot, Centeno Ricote, & de Winter, 2012
“Lo stile di guida rappresenta un modo di guida abituale, caratteristico per un conducente o un gruppo di conducenti”	Sagberg, F., Selpi, Bianchi Piccinini, G.F., & Engström, J., 2015
Per stile di guida si intende un termine globale utilizzato per rappresentare diversi concetti legati alle azioni di guida del conducente e le abitudini di guida che introducono infinite variabili	Meiring, G.A.M., & Myburgh, H.C., 2015
“Lo stile di guida riguarda un insieme di abitudini formate nel lungo periodo e che influenzano le manovre svolte dal driver su strada”	Lei, Y., Liu, K., Fu, Y., Li, X., Liu, Z., & Sun, S., 2016

**Tabella 3.1: DIFFERENTI DEFINIZIONI DELLO STILE DI GUIDA**

Nonostante ci siano delle piccole differenze tra le diverse definizioni, ci sono alcuni aspetti comuni:

- gli stili di guida differiscono tra individui o tra gruppi di individui;
- uno stile di guida è un modo abituale di guidare, il che significa che rappresenta un aspetto relativamente stabile del comportamento di guida;

Dalle definizioni presenti in letteratura sembra che lo stile di guida dipenda da come il *driver*, coscientemente, scelga di guidare. È come se l'utente scegliesse il suo stile di guida. In realtà lo stile di guida è il risultato di numerosi fattori tra cui le scelte volutamente effettuate ma anche quelle dovute al subconscio e a meccanismi automatici provenienti da condizionamenti dell'ambiente esterno nonché delle abilità di guida. Addirittura, secondo la definizione di Lajunen and Özkan (2011) sembra che le abilità di guida non intervengano nella definizione dello stile adottato, quando in realtà, rappresentano un fattore fondamentale che, insieme alle scelte effettuate, contribuisce alla definizione del rischio di essere coinvolti in incidente stradale.

Quindi più genericamente si può affermare che un *driver* ha a disposizione un repertorio di stili di guida e, volutamente e/o involontariamente, ne applica uno in base alle condizioni in cui si trova: per esempio in funzione di un ambiente di guida specifico o in base alle specifiche condizioni psico-fisiche in cui si trova.

Il comportamento di guida, per uno stesso *driver*, varia sistematicamente su strade diverse, per diverse densità del traffico, per diverse geometrie stradali, nel tempo, in funzione delle condizioni della luce, del grado di stanchezza o della rabbia alla guida e così via. Infatti, i veicoli si muovono in un sistema driver-infrastruttura-veicolo dove il *driver*, essendo il fattore più instabile, spesso mostra diversi stili di guida. In sostanza i conducenti dei veicoli presentano uno stile di guida di base che "aggiustano" in funzione dell'ambiente esterno e delle condizioni psico-fisiche. La modellazione dello stile di guida è quindi un'operazione molto complessa in quanto dipende da un gran numero di fattori.

In generale i fattori che influenzano lo stile di guida possono essere raggruppati in due categorie:

1. Fattori soggettivi: che sono principalmente legati al *driver*. Esempi sono le caratteristiche psicologiche, le condizioni sociali, le condizioni economiche, le condizioni fisiche, lo stato di salute, il sesso l'età, ecc.;
2. Fattori oggettivi: riguardano l'ambiente esterno che ha influenza sul comportamento dell'utente stradale. Esempio sono il tipo di strada, le condizioni della pavimentazione stradale, la visibilità, le condizioni meteo, il traffico ecc.;

Nella tabella 3.2, vengono riportati alcuni fattori che influenzano lo stile di guida secondo Lei et al. (2016). I fattori sono suddivisi per categoria e viene riportato per ciascun fattore un esempio dove è riportata la tendenza dello stile di guida, secondo una classificazione che comprende due modalità: sportiva e a basso consumo.

<b>Categoria</b>	<b>Fattori influenti</b>		<b>Esempi</b>	<b>Stile di guida (tendenza)</b>	
Fattori soggettivi	Caratteristiche psicologiche	Carattere	Scontroso, vivace	Sportivo	
		Caratteristiche personali	Sesso	Attento, timido Uomo	Ecologico Sportivo
	Età			Donna Giovane	Ecologico Sportivo
			Condizione sociale	Occupazione	Anziano
	Conduttore di taxi	Ecologico			
Fattori oggettivi	Condizioni stradali	Stato della pavimentazione	Congestione del traffico	Ecologico	
			Neve	Ecologico	
	Resistenze durante la guida	Resistenza in salita	Elevata	Sportivo	
			Resistenza aerodinamica	Elevata	Sportivo
				Resistenza al rotolamento	Elevata

**Tabella 3.2: ESEMPI DI FATTORI SOGGETTIVI E OGGETTIVI CHE INFLUENZANO LO STILE DI GUIDA**

Lo stile di guida è quindi il risultato di caratteristiche individuali del conducente, di valori sociali e culturali e in parte della tecnologia esistente.

Le caratteristiche individuali includono le abilità di guida e le disposizioni verso certi comportamenti che sono legati alle caratteristiche della personalità (ad esempio sensation seeking, percezione del rischio) e che potrebbero essere determinati in parte biologicamente.

Per valori socioculturali si intendono le attitudini comportamentali che prevalgono nel contesto sociale del *driver*.

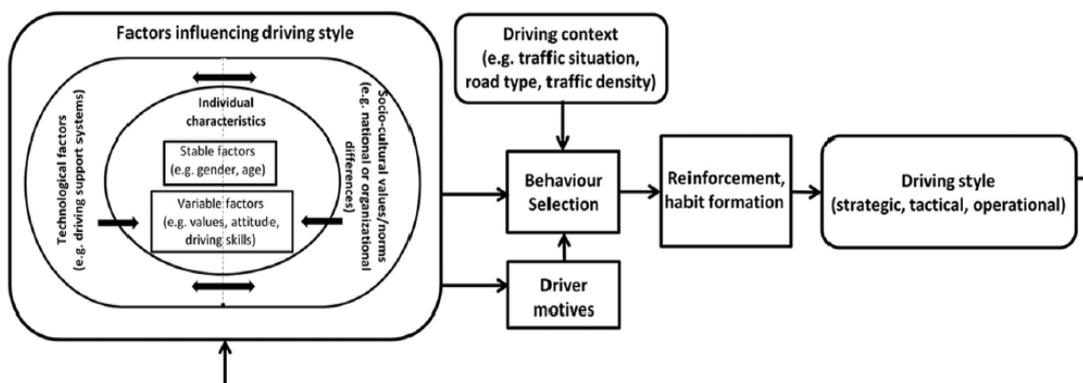
I fattori tecnologici includono, ad esempio, il modo in cui il veicolo è costruito (la dinamica di sterzo e di frenata), nonché sistemi a bordo che avvisano il conducente di potenziali pericoli e / o automatizzano parte del compito di guida.

Inoltre, ci possono essere diverse ragioni per cui un determinato stile di guida si manifesta. Da una parte ha molta influenza il motivo dello spostamento, dall'altra parte ci possono essere motivi più specifici che possono nascere durante il viaggio stesso (Näätänen & Summala, 1976). Tra questi motivi abbiamo la necessità di raggiungere più velocemente la destinazione o di recuperare il tempo perso in coda. Un altro motivo specifico potrebbe essere l'aggressività del *driver*, che si verifica durante la guida a seguito di un desiderio di ritorsione verso un altro utente che lo ha infastidito. Spesso nei giovani si verifica la necessità di far provare a se stessi o agli occupanti del veicolo l'emozione di accelerare.

Ci possono essere anche attività secondarie, non legate alla guida o alle condizioni di traffico, che possono influire sullo stile di guida. Tra questi scrivere sms col telefono, utilizzare app per smartphone e conversazioni al telefono durante la guida.

Fortunatamente, oltre a questi fattori "eccitatori" ci sono anche dei fattori "inibitori" che contrastano il verificarsi di certi atteggiamenti alla guida. Tra questi vi sono ad esempio la percezione del rischio, la paura di ricevere una multa per eccesso di velocità o la consapevolezza di violare le norme sociali.

La scelta del comportamento è, dunque, fortemente determinata dalla situazione di guida, che crea opportunità o vincoli per compiere azioni. Lo schema riportato in figura 3.2 è quello riportato in Sagberg et al. (2015).



**Figura 3.2: MODELLO CHE CERCA DI SPIEGARE LO STILE DI GUIDA PROPOSTO DA SAGBERG ET AL. (2015)**

Anche l'esperienza del *driver* ha influenza sullo stile di guida. Durante la guida, a causa dell'ambiente esterno e delle condizioni di traffico, è necessario che i *driver* abbiano delle abilità particolari: flessibilità, capacità di attenzione, consapevolezza dello spazio e della posizione di ostacoli e/o pedoni, capacità di percezione e reazione. Durante la marcia, le informazioni provenienti dalla strada cambiano velocemente e ciò comporta che il *driver* debba rispondere a queste informazioni in un tempo molto breve. Le esperienze mostrano che un *driver* esperto è più abile di quello meno esperto sia nel controllo del veicolo che nel rispetto delle regole. Ciò è dovuto al fatto che il *driver* esperto ha immagazzinato ed elaborato notevoli informazioni, tanto che un stimolo improvviso al suo cervello ricorda scene simili che ha già vissuto e che gli permettono di adottare le azioni più appropriate e affrontare più rapidamente la situazione. Ciò significa che ha una più alta percezione del rischio.

Il rischio alla guida, e in larga misura il rischio indotto dalla guida aggressiva, è stato identificato come il fattore principale che influenza la sicurezza stradale. Esso compromette sia la sicurezza del conducente, sia quella degli altri conducenti che viaggiano in prossimità del *driver* aggressivo. Uno studio condotto dalla Fondazione American Automobile Association per la sicurezza del traffico nel 2009 ha rilevato che il 56% degli incidenti mortali tra il 2003 e il 2007 è stato causato da comportamenti di guida non sicuri tipicamente associati alla guida aggressiva. Per tale ragione è di fondamentale importanza classificare lo stile di guida dei *driver* al fine di individuare quei comportamenti particolarmente pericolosi che possono compromettere la sicurezza stradale di tutti gli attori coinvolti nella circolazione stradale.

Prima di analizzare lo stato dell'arte relativo ai metodi soggettivi e oggettivi per classificare lo stile di guida, risulta di fondamentale importanza capire quali sono le caratteristiche del *driver* che in maggior misura possono influenzare lo stile adottato dal *driver*.

### **3.3 I FATTORI CHE INFLUENZANO LO STILE DI GUIDA**

Lo stile di guida dipende da numerosi fattori. In questo paragrafo vengono evidenziati i parametri che in maggior misura influenzano lo stile di guida. Essi possono essere raggruppati in 3 grandi categorie:

- Fattori individuali;
- Fattori socio-culturali;
- Fattori tecnologici.

#### **3.3.1 I fattori individuali**

Tre i fattori individuali che influenzano lo stile di guida, il più analizzato è il genere. Secondo alcuni studi le influenze del genere sulla guida dipende dal contesto in cui il *driver* si trova. Per esempio Ericsson (2000) ha trovato che i maschi tendono ad accelerare di più rispetto alle femmine e questa differenza è più marcata sulle strade urbane in contesti residenziali. Anche Aronsson (2006) ha trovato che le differenze tra maschi e femmine dipendono dal tipo di strada. L'autore ha trovato che ci sono piccole differenze tra i maschi e le femmine in termini di velocità media su un percorso misto. Tuttavia, i maschi tendevano a guidare più velocemente rispetto alle femmine in ambito urbano mentre le femmine avevano una guida leggermente più veloce in ambito extraurbano. Inoltre le femmine tendevano a mantenere una distanza maggiore dal veicolo che le precedeva in ambito urbano.

La tendenza generale degli studi presenti in letteratura è comunque quella di considerare i maschi più rischiosi alla guida rispetto alle donne. Questo risultato è stato associato anche a fattori biologici come il livello di testosterone (Evans, 2006).

L'età e l'esperienza alla guida sono fattori individuali che influenzano lo stile di guida. A riguardo ci sono numerosi studi. Di seguito se ne riportano alcuni.

Keskinen, Ota e Katila (1998) hanno osservato velocità, accelerazione, tempo accettato per effettuare le manovre e i movimenti della testa del conducente durante le manovre di svolta a destra e a sinistra ad un'intersezione. Hanno trovato accelerazioni più basse e tempi di svolta più lunghi nelle intersezioni per i *driver* anziani rispetto ai *driver* più giovani. Allo stesso modo, Yan, Radwan e Guo (2007) hanno analizzato i comportamenti di guida relativi all'accettazione del gap temporale per effettuare la svolta a sinistra attraverso un simulatore. Gli autori hanno scoperto

che i *driver* più anziani (da 56 a 83 anni), soprattutto i *driver* di sesso femminile, avevano più problemi con le manovre a sinistra, rispetto ai *driver* più giovani. Tuttavia, hanno trovato che gli anziani tendono ad avere un atteggiamento di guida più prudente per compensare la ridotta capacità di guida.

Gli effetti dell'età sugli stili di guida sono stati osservati da Boyce e Geller (2002). Gli autori hanno misurato diverse variabili (ad es. velocità del veicolo, distanza dal veicolo che precede) durante un test su strada con un veicolo strumentato e hanno trovato che l'età compresa tra i 18 e i 25 anni rappresenta un predittore degli stili di guida rischiosi.

De Waard et al. (2009) hanno trovato, in uno studio realizzato al simulatore, che i conducenti più anziani (oltre i 65 anni) adottano una velocità più bassa rispetto a quella adottata dai *driver* più giovani quando si inseriscono in una corrente di traffico su autostrade. Gli autori evidenziano che questa minore velocità può rendere più rischiosa la manovra di immissione nel traffico.

Reimer et al. (2013) hanno analizzato un campione di *driver* raggruppato in tre gruppi di età. Essi hanno osservato la scelta della corsia utilizzando un veicolo strumentato. Hanno trovato che i *driver* sessantenni erano meno propensi a cambiare corsie e guidare sulla corsia di sinistra.

Al fine di valutare gli effetti dell'esperienza alla guida, Underwood (2013) ha studiato i cambiamenti negli stili di guida tra due gruppi di neopatentati di età differente (17-19 anni e 23-44 anni) nei primi 6 mesi dal conseguimento della patente. I *driver* sono stati analizzati in 3 periodi differenti: appena hanno conseguito la patente, 3 mesi dopo e 6 mesi dopo il conseguimento. Si è notato che i *driver* più giovani tendevano ad aumentare la velocità e a tagliare sempre più la linea bianca centrale che separa le corsie in curva. Il gruppo di neopatentati più anziani tendeva ad essere più prudente man mano che aumentava la loro esperienza, incrementando la distanza dal veicolo che precede e guardando sempre più negli specchietti.

Questi studi dimostrano chiaramente che i *driver* giovani conducono generalmente stili di guida più aggressivi / rischiosi e i conducenti più anziani tendono ad essere più cauti. Quest'ultimo stile di guida può, tuttavia, portare a situazioni di rischio poiché alcuni *driver* più anziani possono rappresentare una fonte di pericolo quando non sono in grado di uniformarsi alle condizioni medie del traffico.

Alcuni studi hanno esaminato le relazioni tra gli stili di guida e le caratteristiche attitudinali e che descrivono la personalità del *driver*.

Poo e Ledesma (2013) hanno scoperto che i tratti di personalità sono correlati in modo significativo con lo stile di guida. Gli autori hanno trovato correlazioni positive tra la ricerca di sensazioni forti-rischiose e stili di guida aggressivi. Anche l'impulsività del *driver*, la superficialità, la rabbia e l'impazienza risultavano correlate positivamente con uno stile di guida rischioso.

Secondo Delhomme and Meyer (1998) uno stile di guida pericoloso non è solo dovuto all'intenzione di adottare una guida a rischio ma anche all'incompetenza e alla pigrizia del *driver*.

Secondo Petriodou e Moustaki (2000) la sonnolenza, la stanchezza, lo stress e le condizioni di salute riducono la capacità di guida facendo aumentare il livello di rischio.

Secondo Arthur e Doverspike (2001) l'essere puntiglioso è inversamente correlato al coinvolgimento in incidenti stradali e alle violazioni.

Un altro aspetto spesso studiato è l'ansia. Lo studio proposto da Dula et al. (2010) ha rilevato che livelli più elevati di ansia sono legati a comportamenti di guida pericolosi. D'altra parte, una ricerca di Lu et al. (2013) esplora come e perché la rabbia e la paura influenzano la percezione del rischio di guida.

Non solo le attitudini e le caratteristiche emotive condizionano lo stile di guida, ma anche le condizioni fisiche. Secondo Hailin et al. (2010) la sonnolenza è causa di incidente nel 15%-20% dei casi e la stanchezza fisica condiziona la performance dei *driver*, facendo aumentare la probabilità che si verifichi un incidente da 2 a 6 volte.

In conclusione, tutti gli studi presenti in letteratura sono concordi nel dire che quando le caratteristiche fisiche ed emotive peggiorano si tende ad avere una guida più pericolosa.

### **3.3.2 I fattori socio-culturali**

Valori condivisi all'interno di gruppi, come famigli e amici, influenzano lo stile di guida. Questo concetto è supportato da studi esistenti. Taubman-Ben-Ari et al. (2005) hanno trovato associazioni significative tra lo stile di guida dei genitori e quello dei figli. In un altro studio sono state analizzate 413 coppie di partner

(Taubman-Ben-Ari, 2006) e sono state trovate associazioni significative tra gli stili di guida delle coppie.

Correlazioni tra gli stili di guida di genitori e figli sono stati trovati anche da Bianchi e Summala (2004).

L'influenza sociale sembra essere importante per lo stile di guida soprattutto tra i giovani. Per esempio, Møller e Haustein (2014) hanno scoperto che l'eccesso di velocità degli amici influenza il comportamento alla guida di un giovane *driver*. È come se si volesse emulare il comportamento.

Factor et al. (2007) affermano che *driver* appartenenti a gruppi sociali diversi interpretano in modo diverso una determinata situazione e questa differenza di interpretazione porta a differenti stili di guida.

Anche l'appartenenza ad un contesto territoriale influenza lo stile di guida. Factor et al (2007) dimostrano che vi sono differenze nel comportamento tra *driver* di diverse nazionalità. Lo studio è stato finalizzato ad investigare le differenze tra gli stili di guida di diverse nazioni. È emerso che sia in India che in Egitto, dove si hanno delle norme di circolazione meno severe rispetto a quelle dei paesi occidentali, i *driver* tendono ad avere dei comportamenti più rischiosi.

### **3.3.3 I fattori tecnologici**

Anche i fattori tecnologici influenzano lo stile di guida. Ad esempio, quando furono introdotti gli ABS, si è visto che alcuni *driver* hanno cambiato il loro comportamento di guida. Tra i cambiamenti comportamentali osservati c'è stata una tendenza a ridurre la distanza dal veicolo che precede (Sagberg, Fosser & Sætermo, 1997).

Gli Intelligent Transportation System ormai sempre più diffusi hanno una notevole influenza sullo stile di guida in quanto trasmettono informazioni all'utente in real time. Segnali acustici o vibrazioni sono in grado di far aumentare la soglia di attenzione, di informare il *driver* di possibili pericoli o manovre errate. Esistono sistemi che sono in grado di adattare la velocità del veicolo al tracciato evitando di superare i limiti di velocità. Questi sistemi ormai sono sempre più diffusi e con l'avvento degli smartphone in commercio, sono state sviluppate diverse applicazioni per cercare di modificare il comportamento del *driver* alla guida.

### 3.4 CLASSIFICAZIONE DELLO STILE DI GUIDA

#### 3.4.1 Alcuni concetti in merito allo stile di guida

Gli studi sullo stile di guida hanno un obiettivo comune che è quello di individuare un comportamento fuori dall'ordinario. Quindi generalmente, essi sono orientati all'individuazione di uno stile di guida di riferimento e sulla base di quest'ultimo, alla classificazione dei diversi comportamenti (Mohamad et al., 2011).

In letteratura, gli stili di guida vengono classificati in diversi modi: a partire da singoli indicatori (che tengono conto di brusche accelerazioni o eccessi di velocità) fino a concetti più generici (ad esempio "guida aggressiva", "guida pericolosa" o "guida distratta") che tengono conto di più indicatori specifici.

In generale per stile di guida **aggressivo** si intende un comportamento caratterizzato da profili di velocità rischiosi (irregolari, istantanee e brusche modifiche della velocità del veicolo), da errato mantenimento della posizione del veicolo nella carreggiata (rapidi cambiamenti nella posizione del veicolo laterale) e da brusche accelerazioni o decelerazioni. Un'altra definizione è quella fornita da Hong et al. (2014) secondo cui uno stile aggressivo di guida si ha quando il *driver* aumenta intenzionalmente il rischio di collisione e può essere dovuto all'impazienza del conducente, alla noia, alla rabbia o a un tentativo di ridurre al minimo il tempo di guida. La relazione tra i rischi per la salute e l'aggressività alla guida ha portato anche a una ricerca meticolosa nel campo della psicologia, in quanto si ritiene che la guida aggressiva rappresenti una disfunzione dei comportamenti sociali e una minaccia per la sicurezza pubblica. Houston et al. (2003) hanno progettato un questionario per misurare gli aspetti della guida aggressive sulla base di una scala di misurazione chiamata "Aggressive Driving Behaviour Scale (ADBS)". Il questionario è formato da 11 item che si basano su comportamenti piuttosto che giudizi, stati emotivi e sensazioni. Nel 2014, Harris et al. hanno esteso l'ADBS a un "Prosocial and Aggressive Driving Inventory (PADI)", che permette di distinguere i comportamenti sicuri da quelli non sicuri. Si è scoperto che una guida aggressiva corrisponde a una tendenza: a una maggiore competitività, alla ricerca di sensazioni o adrenalina, alla rabbia e alla poca scrupolosità.

Altro stile di guida è quello definito *poco attento*. Molto probabilmente, l'inattenzione durante la guida può essere vista come una deviazione istantanea dal comportamento normale con l'immediata sequenza di azioni improvvise del conducente per correggere il comportamento derivante dalla disattenzione (Meiring, 2015). Uno stile di guida inattento differisce da uno stile di guida aggressivo a causa della sua natura istantanea e sporadica, a differenza di uno stile di guida aggressivo che può essere osservato come una cattiva condotta per un periodo di tempo abbastanza lungo. L'inattenzione durante la guida è un concetto molto ambiguo perché dipende da numerosi fattori. Un recente studio sul monitoraggio della guida individua due cause principali di inattenzione: la stanchezza e la distrazione (Dong, 2011). La fatica presenta sintomi fisici come la riduzione delle prestazioni e una sensazione soggettiva di sonnolenza, mentre la distrazione può essere dovuta a una serie di ragioni impreviste che si verificano a caso.

La stanchezza del conducente è un elemento misurabile della guida inattenta. I *driver* assennati cercheranno di evitare di addormentarsi nel tentativo di evitare di causare un incidente. I sintomi osservabili in caso di un *driver* affaticato includono ripetuti sbadigli, confusione, sensazione di depressione e irritabilità, reazioni e risposte ritardate, sonnambulismo, difficoltà a mantenere gli occhi aperti, bruciore agli occhi, perdita di concentrazione, ondeggiamento della testa, difficoltà nella respirazione, il battito del cuore accelerato e veicolo che vaga a zig zag tra la corsia o tra la strada. Secondo Hailin et al. (2010) il 15-20% degli incidenti stradali è causato dalla sonnolenza, e la stanchezza alla guida comporta un aumento, da quattro a sei volte, del rischio di essere coinvolti in un sinistro.

La distrazione del conducente è definita da Dong et al. (2011) come "una deviazione dell'attenzione da attività critiche per una guida sicura verso un'attività concorrente". Potenziali attività, eseguite dai conducenti durante la guida, che portano alla distrazione possono includere: l'alimentazione o il bere, focalizzazione temporanea dell'attenzione verso persone o oggetti che si trovano all'esterno del veicolo, focalizzazione dell'attenzione su eventi che si verificano all'esterno del veicolo, parlare, scrivere o ascoltare su un telefono cellulare, e così via. L'NHTSA classifica le distrazioni dal punto di vista della funzionalità del conducente in quattro categorie, vale a dire distrazione visiva, distrazione cognitiva, distrazione uditiva e distrazione

biomeccanica (ad esempio regolazione manuale del volume radio). La distrazione può essere causata anche da una combinazione delle suddette categorie.

Un altro stile di guida, presente in letteratura, è quello definito “*drunk driving style*” cioè quello in stato di ebrezza. L'alcol infatti determina la riduzione sia delle capacità di svolgere attività durante la guida e sia della concentrazione. Lo stile di guida in stato di ebrezza può includere aspetti dello stile di guida aggressivo e aspetti dello stile di guida poco attento.

Questi comunque sono solo degli esempi. In letteratura esistono diversi metodi per classificare lo stile di guida. Occorre però fare una distinzione tra stili di guida generici e stili di guida specifici. Un modo potenzialmente utile per concettualizzare lo stile di guida generico è in termini di motivi che scaturiscono delle azioni. Ad esempio la guida aggressiva può manifestarsi in una serie di azioni come suonare frequentemente il clacson, fare gestacci, guidare molto vicino al veicolo che precede e così via. Queste azioni potrebbero essere tutte dovute allo stesso fattore: ad esempio il desiderio di rivalsa del *driver* contro un altro utente che ha commesso una presunta scorrettezza nei suoi riguardi. Uno stile di guida specifico si riferisce, invece, a un comportamento specifico come ad esempio eccedere i limiti di velocità. Pertanto, uno stile di guida generico può essere visto come costituito da una serie di stili di guida specifici. Gli stili di guida specifici sono rappresentati in genere da uno, o comunque da pochi indicatori, quindi gli stili di guida generici richiedono numerosi indicatori per essere definiti. Gli stili di guida globali, in genere, vengono valutati tramite misure soggettive mentre quelli specifici con misure oggettive.

### **3.4.2 Metodi soggettivi per classificare lo stile di guida**

In merito agli stili di guida generici, un termine molto usato è “guida aggressiva”. Esso ha un significato molto ampio ed è molto usato per descrivere un generico comportamento che rappresenta una fonte di rischio nella circolazione stradale. È probabilmente lo stile di guida che ha attirato più attenzione nel campo della ricerca sulla sicurezza stradale. Shinar (2007) individua due tipi di aggressione: “l'aggressione ostile” e “l'aggressione strumentale”. L'aggressione ostile è un tipo di aggressione che viene commessa in risposta a una minaccia o a un insulto percepito.

Comprende reazioni ostili verso altri utenti della strada come alzare la voce, fare gesti con la mano o addirittura compiere attacchi fisici. L'aggressione strumentale è un comportamento pericoloso, che si genera senza provocazioni dall'esterno, per cercare di far impegnare gli altri utenti della strada a fare qualcosa (ad esempio suonare il clacson quando il semaforo scatta a verde perché il *driver* del veicolo che precede non se ne accorge subito). Quindi l'aggressività ostile può essere vista come un atteggiamento che serve a disapprovare il comportamento degli altri utenti della strada mentre quella strumentale per influenzarli. L'aggressività strumentale sembra fortemente correlata all'impazienza durante la guida.

La guida aggressiva in genere viene valutato con metodi soggettivi basati su strumenti di autovalutazione come questionari ad auto compilazione. Questi metodi permettono di collezionare un numero elevato di dati in tempi relativamente brevi e a costi bassi. Lo studio dello stile, e più in generale del comportamento di guida sulla base di questionari risale alla fine degli anni 80. La tabella 3.3 riporta sinteticamente e in ordine cronologico i metodi di valutazione dello stile di guida basati su questionari. Tali metodi vengono, successivamente, descritti.

<b>Metodo</b>	<b>Riferimenti</b>
Driving Behaviour Inventory (DBI)	Gulian et al. (1989)
Driving Behaviour Questionnaire (DBQ)	Reason et al (1990)
Driving Style Questionnaire (DSQ)	French et al. (1993)
Driving Anger Scale (DAS)	Deffenbacher et al. (1994)
Driver Skill Inventory (DSI)	Lajunen e Summala (1995)
Driver Vengeance Questionnaire (DVQ)	Wiesenthal et al. (2000)
Driver Anger Expression Inventory (DAX)	Deffenbacher et al. (2002)
Dula Dangerous Driving Index (DDDI)	Deffenbacher et al. (2003)
Multidimensional Driving Style Inventory (MDSI)	Taubman Ben-Ari et al. (2004)
Driver Aggression Indicators Scale (DAIS)	Sümer et al. (2006)
Driving Style Questionnaire 2007 (DSQ 2007)	Ishibashi et al. (2007)

**Tabella 3.3: METODI SOGGETTIVI PER LA CLASSIFICAZIONE DELLO STILE DI GUIDA**

### **3.4.2.1 Driving Behaviour Inventory (DBI)**

Gulian et al. (1989) hanno sviluppato il *Driver Behavior Inventory* (DBI) per studiare gli aspetti che causano lo stress del conducente. Esso viene utilizzato per valutare l'aggressività che viene misurata tramite l'item "Quando sono irritato guido aggressivamente". Il DBI riguarda diversi aspetti come l'uso del veicolo, le convinzioni e le attitudini verso gli incidenti, problemi personali, di salute o di lavoro, stati d'animo e emozioni durante la guida. I 35 aspetti del questionario hanno evidenziato gli effetti dello stress alla guida. Un'analisi fattoriale dei 35 aspetti ha individuato cinque fattori che influenzano lo stile di guida, tra cui i sentimenti come l'aggressività, l'irritazione durante il sorpasso, la prontezza, la frustrazione quando non si è riusciti ad effettuare il sorpasso.

Secondo il metodo DBI, i conducenti sono influenzati non solo dallo stress correlato alla guida ma anche da stress generato a casa o in ambienti di lavoro.

Pertanto, propongono l'uso del termine "stress del driver" anziché "stress di guida".

Il questionario è formato da 16 item per valutare come lo stress del conducente influisce sulla guida.

### **3.4.2.2 Driving Behaviour Questionnaire (DBQ)**

Reason et al (1990) hanno sviluppato uno strumento di indagine per distinguere tra diverse forme di comportamento anormale alla guida. Lo strumento, chiamato *Driver Behaviour Questionnaire*, è stato utilizzato originariamente per fare la distinzione tra errori e violazioni, che si supponeva avessero origini psicologiche diverse. Successivamente, gli autori hanno utilizzato lo strumento per misurare tre tipologie di comportamento anomalo:

1. Le violazioni che comprendono il superamento dei limiti di velocità, il passaggio con il semaforo che segna rosso e la mancata osservazione della distanza di sicurezza. Questi comportamenti risultano essere associati a ;
2. Gli errori che si riferiscono a tutte quelle occasioni in una sequenza programmata di azioni non ha portato al risultato previsto. Gli errori includono il mancato accorgimento della presenza di altri utenti della strada, il mancato rispetto della segnaletica stradale, il mancato uso di indicatori di

direzione e così via. Questo gruppo di atteggiamenti non risulta essere associato ad una particolare categoria demografica;

3. Le distrazioni che riguardano problemi che si verificano per la mancanza di attenzione o vuoti di memoria. Questo tipo di comportamento è associato principalmente a donne e anziani.

Le violazioni rappresentano la categoria più pericolosa tra le tre (Martinussen, 2014).

Il DBQ è formato da tre sezioni:

- Una prima sezione riguardante lo stato civile del *driver*, il tipo di occupazione, il numero di anni alla guida, il chilometraggio medio annuo, e la frequenza di utilizzo dell'autostrada;
- La seconda sezione è formata da 50 item relativa ad una serie di errori e violazioni. I *driver* coinvolti nell'indagine devono indicare, secondo una scala a 5 punti, il comportamento che spesso adottano durante la guida;
- La terza sezione chiude il questionario. Riguarda aspetti più soggettivi, in quanto i *driver* devono valutare come pensano di essere bravi alla guida, quanto pensano di essere sicuri, come sono inclini agli errori, come sono rispettosi delle norme, e la misura in cui il loro stato d'animo influenza la loro guida.

Anche Furnham e Saipe (1993) hanno sviluppato che misura il livello di rischio assunto dal *driver*. Il questionario è composto da 25 item che hanno permesso di individuare 5 fattori che influenzano uno stile di guida aggressivo: essere cosciente ed esprimere l'aggressività, infrangere le leggi, essere fiduciosi nel prendere rischi, cercare sensazioni di piacere nel guidare e nel prendere rischi.

Il DBQ si è dimostrato uno strumento robusto ed affidabile tanto da essere stato riprodotto in diverse nazioni come nel Regno Unito (Parker et al., 1995), nell'Australia occidentale (Blockley e Hartley, 1995), in Svezia (Aberg e Rimmo, 1998), in Gran Bretagna, in Finlandia e nei Paesi Bassi (Lajunen et (2002), in Nuova Zelanda (Sullman et al., 2002), in Grecia (Kontogiannis et al., 2002), in Cina (Xie , 2002) e in Turchia ( Ozkan & Lajunen, 2005).

Tuttavia questo strumento è finalizzato ad investigare sui comportamenti di guida anormali e non affronta i comportamenti di guida normali.

#### **3.4.2.3 Driving Style Questionnaire (DSQ)**

French et al. (1993) hanno sviluppato un questionario chiamato “Driving Style Questionnaire (DSQ)” che è composto da 15 domande e che ha permesso di individuare 6 fattori che influenzano lo stile di guida. Questi fattori sono stati etichettati con: velocità, calma, pianificazione, focalizzazione, resistenza sociale, e anormalità. Il DSQ è stato utilizzato per trovare la relazione tra lo stile di guida e la tendenza agli incidenti. Il punto debole di questo questionario è dovuto al fatto che si hanno 15 grandezze distribuite su 6 fattori, cioè due o tre elementi per fattore.

Il DSQ è stato utilizzato da Hoedemaeker e Brookhuis (1998) per valutare il comportamento del conducente in risposta alle nuove tecnologie. In particolare hanno valutato l'accettazione e l'adattamento del *driver* al cruise control di tipo adattivo, considerando diversi stili di guida.

Il cruise control adattivo è un sistema intelligente in grado di ridurre o incrementare automaticamente la velocità in base alla situazione del traffico mantenendo sempre la giusta distanza di sicurezza durante la guida. Dai risultati dello studio è emerso che le differenze sugli stili di guida valutati con il questionario rappresentano dei buoni predittori dello stile di guida effettivo valutato al simulatore di guida tramite un punteggio basato sulle velocità.

#### **3.4.2.4 Driving Anger Scale (DAS)**

Deffenbacher et al. (1994) hanno sviluppato un questionario finalizzato a misurare la rabbia alla guida. Gli autori hanno effettuato un'analisi cluster in base alle risposte provenienti da più di 1500 studenti universitari. Il questionario era formato da 33 item e i *driver* per ogni item fornivano un punteggio da 1 a 5. La scheda è suddivisa in 6 sezioni: gesti ostili, guida illegale, influenza della presenza della polizia, guida lenta, scortesia degli altri utenti, congestione.

Gli uomini risultano essere più infastiditi dalla presenza della polizia e dalla guida lenta mentre le donne sono più infastidite da comportamenti illeciti e ostacoli alla circolazione del traffico. Secondo gli autori la rabbia alla guida ha notevole influenza sullo stile di guida adottato e il suo studio è di fondamentale importanza per la prevenzione degli incidenti.

#### **3.4.2.5 Driver Skill Inventory (DSI)**

Lajunen e Summala (1995) hanno sviluppato il Driver Skill Inventory per misurare le abilità del *driver* nell'ottica della sicurezza stradale. È composto da 29 item che si riferiscono alle capacità percettive-motorie e all'orientamento del *driver* alla sicurezza. Il *driver* valuta la capacità di guidare in modo sicuro e adatto secondo una scala a 5 punti, facendo il confronto un utente medio.

Le competenze percettive-motorie si riferiscono alla capacità del conducente di gestire l'automobile, vale a dire le abilità tecniche di guida. Secondo gli autori, le capacità percettive e motorie si basano sull'elaborazione delle informazioni e sullo svolgimento di azioni meccaniche, mentre l'orientamento del *driver* alla sicurezza dipende dagli atteggiamenti e da fattori di personalità. L'equilibrio di questi fattori determina la sicurezza stradale.

Ci sono ovvie somiglianze tra il DBQ e il DSI. Le competenze percettive-motorie possono essere viste come la capacità di guidare in modo errato e, allo stesso modo, le competenze di sicurezza possono essere viste come la motivazione e la capacità di non fare violazioni. Una differenza fondamentale tra gli strumenti riguarda il modo in cui i piloti sono invitati a valutare il loro comportamento e / o le competenze. Nel DSI, ai *driver* viene richiesto di valutare le proprie abilità di guida comparandosi al *driver* medio e le domande riguardano i comportamenti di traffico generale (ad esempio "rispettare le regole del traffico"). Nel DBQ, i *driver* sono invitati a valutare quanto spesso adottano comportamenti anormali e le domande si riferiscono a specifiche anomalie (ad esempio: "non rispettare i semafori"). Idealmente i due strumenti dovrebbero essere coerenti tra di loro. Quindi se un *driver* indica, nel DSI, che ha una capacità superiore alla media di rispettare le regole del traffico allora non dovrebbe indicare, nel DBQ, che ignora i semafori con un'alta frequenza.

#### **3.4.2.6 Driver Vengeance Questionnaire (DVQ)**

Hennessy & Wiesenthal in diversi studi hanno definito diversi questionari come mezzo per identificare il comportamento del conducente. Il Driver Vengeance Questionnaire (DVQ) (Wiesenthal et al., 2000) è stato sviluppato per valutare le reazioni rancorose durante la guida. Gli item rappresentano situazioni di guida comuni in cui i partecipanti potrebbero essere irritati o trattati male ingiustamente da un altro *driver*. Gli intervistati devono scegliere tra quattro opzioni che corrispondono a diversi livelli di aggressività (dalla prima che è la più aggressiva all'ultima che è la meno aggressiva). Il DVQ è stato ritenuto una misura affidabile del comportamento alla guida e per prevedere il livello di aggressività e violenza del guidatore.

#### **3.4.2.7 Driver Anger Expression Inventory (DAX)**

Format da 49 item permette di valutare come i *driver* esprimono la loro rabbia al volante (Deffenbacher, 2002). Gli intervistati esprimono un giudizio secondo una scala a 4 punti (1=quasi mai, 4= quasi sempre) indicando come essi esprimono la loro rabbia quando si verifica la situazione riportata in ciascuna voce del questionario. Il DAX contiene 4 differenti forme per esprimere la rabbia. La sezione chiamata Aggressive Expression scale è formata da 12 item che permettono di valutare la tendenza ad esprimere la rabbia verbalmente (ad esempio urlando e imprecando contro un altro *driver*). La sezione chiamata Personal Physical Aggressive Expression Scale è formata da 11 item che permettono di valutare la propensione di un *driver* a esprimere la propria rabbia e a intimidire attraverso la presenza fisica (ad esempio puntare il dito contro un altro pilota o scendere dall'auto). La sezione chiamata Use of the Vehicle to Express Anger Scale è formata da 11 item che permettono di misurare la tendenza alla rabbia tramite l'uso del veicolo (accelerare per frustrazione, avvicinarsi troppo al paraurti del veicolo che precede e così via). La quarta e ultima sezione chiamata Adaptive/Constructive Expression Scale, formata da 15 item, permette di valutare la tendenza del *driver* a smaltire la rabbia ( ad esempio distrarsi dalle provocazioni o farsi scivolare le cose). Gli autori hanno trovato che le prime tre sezioni sono correlate positivamente tra loro (coefficiente di correlazione pari a 0,4-0,5) e con il comportamento rischioso alla

guida ma non sono correlate con la quarta sezione (o vi è una leggera correlazione negativa). Comunque tutte le sezioni sono correlate allo stile di guida.

#### **3.4.2.8 Dula Dangerous Driving Index (DDDI)**

L'indice di guida pericolosa di Dula (DDDI) è stato creato per misurare la propensione del conducente a guidare pericolosamente, tramite l'autovalutazione (Dula, 2003). Un'analisi fattoriale esplorativa e confermativa ha permesso di identificare 4 fattori principali (misurabili tramite degli item) che influenzano lo stile di guida: Guida in stato di ebbrezza, guida rischiosa, guida in cattive condizioni cognitive-emotive e guida aggressiva. Ogni item ha una diversa scala di misurazione. La somma dei punteggi provenienti da ciascun fattore fornisce il DDDI, che può essere visto come una misura composita della guida pericolosa.

#### **3.4.2.9 Driver Aggression Indicators Scale (DAIS)**

La DAIS è una scala recentemente sviluppata da Sümer et al (2006). Inizialmente è stata utilizzata su un campione di popolazione turca quindi le domande erano in turco. Successivamente è stato tradotto in inglese da due persone che parlano fluentemente entrambe le lingue. È formato da 13 item e valuta i comportamenti aggressivi sulle strade. I partecipanti devono indicare quanto spesso commettono degli specifici comportamenti utilizzando una scala a cinque punti da "Mai" a "quasi tutto il tempo". Vi è un altro item che permette di valutare quanto un *driver* è tollerante verso gli altri utenti del sistema stradale. Ciò avviene facendo scegliere al *driver* una delle seguenti 3 opzioni: gli altri *driver* o i pedoni non mi rendono mai impaziente e non mi innervosiscono mai con i loro comportamenti "; (2) " gli altri *driver* o i pedoni, a volte, mi fanno perdere la pazienza e innervosire con i loro comportamenti "; (3) " gli altri *driver* o i pedoni spesso mi fanno perdere la pazienza e innervosire con i loro comportamenti ".

#### **3.4.2.10 Multidimensional Driving Style Inventory (MDSI)**

Recentemente, in Israele, un metodo per valutare il comportamento dei conducenti è stato sviluppato da Taubman Ben-Ari et al. (2004). Il Multidimensional Driving

Style Inventory (MDSI) è un questionario ad autovalutazione, formato da 44 item, che valuta 4 differenti stili di guida:

- Guida spericolata e distratta che è correlato alle violazioni e alla ricerca di emozioni durante la guida. È caratterizzato ad esempio da velocità di percorrenza maggiori;
- Guida ansiosa che è correlata alle condizioni del *driver*. In particolare all'ansia.
- Guida ostile in condizioni di rabbia caratterizzato da utilizzo del clacson e delle luci abbaglianti;
- Guida paziente e attenta caratterizzata da uno stile di guida ben regolato.

Un'analisi fattoriale ha evidenziato otto fattori principali:

- Guida dissociativa in cui le persone sono facilmente distraibili e dissociate;
- Guida ansiosa in cui i *driver* mostrano mancanza di fiducia;
- Guida rischiosa in cui i *driver* cercano sensazioni forti;
- Guida ostile in cui i *driver* tendono ad essere arrabbiati ed aggressivi;
- Guida ad alta velocità in cui i *driver* tendono a raggiungere e mantenere velocità elevate;
- Guida per ridurre lo stress;
- Guida paziente in cui i *driver* sono cortesi con gli altri *driver* e non sentono la pressione del tempo;
- Guida attenta in cui i *driver* non si distraggono e guidano con molta attenzione.

L' MDSI è costituito da item che sono stati adattati da diverse altre indagini esistenti, come il DBI di Gulian et al. (1989) per studiare le caratteristiche che definiscono lo stress del conducente, il DBQ sviluppato da Reason et al. (1990) circa il comportamento anomalo, il DBQ sviluppato da Furnham e Saipé (1993) per misurare il rischio alla guida e il DSQ di French et al. (1990) che descrive la relazione tra stile di guida, stile decisionale e probabilità di essere coinvolti in un incidente. Inoltre, sono stati creati item originali per completare il questionario.

L'MDSI è stato realizzato per concettualizzare lo stile di guida abituale di un individuo come un fattore specifico per la guida che può spiegare il coinvolgimento in incidenti stradali e violazioni del traffico.

#### **3.4.2.11 Driving Style Questionnaire 2007 (DSQ 2007)**

Ishibashi et al. (2007) definiscono lo stile di guida come atteggiamento, orientamento e modo di pensare per la guida quotidiana. Gli autori hanno sviluppato un questionario composto da 18 domande suddivise in 8 categorie: fiducia nelle capacità di guida, esitazione nel guidare, impazienza alla guida, guida metodica, manovre preparatorie ai segnali stradali, importanza del veicolo nell'influenza sullo stile di guida, tristezza alla guida e ansia nei confronti degli incidenti stradali.

Attraverso l'analisi di dati del veicolo che viaggiava a bassa velocità, hanno dimostrato, ad esempio, una correlazione positiva tra la fiducia nella capacità di guida e l'uso del pedale del gas. La debolezza del questionario è che ogni categoria consta di due elementi.

#### **3.4.3 Limitazione dei questionari di tipo Self-Reporting**

Nonostante siano molto pratici e consentano di acquisire una mole di dati elevata a bassi costi, molti ricercatori hanno sollevato dubbi sull'affidabilità dei questionari di autovalutazione per misurare il comportamento dei conducenti, poiché potrebbero essere introdotti diversi errori. Ad esempio, Maycock et al. (1991) mostrano che il numero di incidenti stradali auto-segnalati può essere inferiore al numero effettivo di ben oltre il 30%. Per le violazioni alla guida il tasso di non dichiarazione è ancora più alto. Arthur et al. (2001) hanno anche valutato la relazione tra gli incidenti registrati e quelli auto segnalati trovando bassi valori di correlazioni tra i due.

Oltre che sul numero di incidenti e violazioni, gli errori si hanno anche per altri tipi di domanda. La maggior parte dei *driver*, soprattutto i maschi, tendono a sopravvalutare le loro capacità alla guida (McKenna et al., 1991).

Errori significativi sono stati osservati, quando i *driver* sono stati invitati ad indicare quante volte hanno adottato un determinato comportamento (Linderman & Verkasalo, 1995).

### 3.4.4 Metodi oggettivi per classificare lo stile di guida

#### 3.4.4.1 In Vehicle Data Recorder IVDR

Queste limitazioni degli studi di autovalutazione, per lo studio del comportamento di guida, indicano chiaramente che è necessario avere altre fonti di informazioni più affidabili e che possano essere complementari agli studi basati sul self-reporting. Una tale classe di strumenti, recentemente sviluppata, è quella chiamata "In Vehicle Data Recorder (IVDR)". Gli IVDRs vengono installati nel veicolo e forniscono informazioni dettagliate sulla sua posizione, sulla velocità, sull'accelerazione verticale e orizzontale e sulle manovre eseguite.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi sistemi IVDR. Mentre i loro dettagli e le loro caratteristiche variano, le informazioni che generalmente sono in grado di raccogliere sono quasi sempre le stesse e possono essere classificate in diverse categorie (NHTSA, 2001):

- Movimento del veicolo che comprende la velocità e le accelerazioni longitudinali e laterali;
- Controllo del *driver* che include variabili come l'applicazione della coppia motore, l'applicazione del freno e l'angolo di sterzata della ruota;
- Parametri del motore come ad esempio giri al minuto;
- Monitoraggio dei sistemi di sicurezza del veicolo, come airbag, cinture di sicurezza, sistemi di frenatura antibloccaggio (ABS) e controllo della trazione;
- Posizione del veicolo tramite GPS;
- Rilievo visivo sia all'interno che all'esterno del veicolo.

I sensori e le tecnologie di misurazione, presenti in questi dispositivi, permettono quindi di registrare, e a volte anche analizzare, dati molto importanti dal punto di vista della sicurezza stradale, permettendo di monitorare alcuni aspetti della performance di guida o di individuare alcuni comportamenti di guida non sicuri.

Le principali tecnologie presenti a bordo del veicolo sono:

- GPS: il Global Position System consente di monitorare la posizione specifica del veicolo su strada e permette di calcolare anche la velocità del veicolo per

effetto Doppler. Tuttavia i GPS installati nei veicoli, ancora non sono in grado di risolvere i problemi della sicurezza stradale che richiedono un'elevata precisione;

- OBD-II (Second generation on board diagnostics). L'OBD-II è soprattutto un'interfaccia a sola lettura per acquisire segnali di diagnostica. Si tratta di uno standard definito negli Stati Uniti a metà degli anni novanta che permette di avere un controllo completo sui parametri del motore e monitorare altre parti di un autoveicolo come il telaio e gli accessori; inoltre permette di connettersi al sistema di diagnostica. OBD-II è stato emanato dal California Air Resources Board.
- Accelerometro: i dati dell'accelerometro possono essere utilizzati per determinare se si è verificato un incidente o per individuare una guida pericolosa. Alcuni sistemi di monitoraggio utilizzano un accelerometro per rilevare improvvisi cambiamenti nell'accelerazione del veicolo che corrispondono a eventuali eventi di crash. Le soglie di accelerazione possono essere selezionate come innesco di limitazioni del sistema.

Il primo IVDR è stato il Data Event Recorder (EDR). Un EDR è simile alla "scatola nera" utilizzata negli aeromobili. Registra gli eventi, come gli incidenti, quando accadono. Queste informazioni vengono utilizzate successivamente per indagare e analizzare le circostanze che hanno causato l'incidente. I primi esperimenti con EDR sono stati condotti dalla NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration - negli Stati Uniti) negli anni '70. Oggi gli EDRs sono ampiamente installati e utilizzati da produttori di veicoli, compagnie di assicurazione e ricercatori. Una revisione completa della ricerca, dell'uso e della storia di EDR può essere trovata in NHTSA (2005). Mentre questi strumenti sono molto utili per studiare gli incidenti o le anomalie, i dati che essi immagazzinano è limitato ad un periodo di pochi secondi prima del verificarsi dell'evento e non sono sufficienti per uno studio più generale sul comportamento del conducente.

Più di recente, l'uso degli IVDR è stato rivolto allo studio del comportamento del *driver* anche in situazioni al di fuori dell'incidente stradale. È stato introdotto per la prima volta nell'industria degli autotrasporti più di 20 anni fa. L'equipaggiamento,

inizialmente, era destinato alle attività di gestione della flotta, come il routing e il tracking. Successivamente sono state aggiunte altre funzionalità ai dispositivi, tra cui alcune orientate al monitoraggio e al miglioramento del comportamento del *driver* e della sicurezza. In questo contesto, i sistemi IVDR sono stati utilizzati come sistemi di sicurezza basati sul comportamento (BBS - Behavioral-Based Safety) che applicano una serie di metodi dimostrati per migliorare le prestazioni di sicurezza coinvolgendo i *driver* nel processo di miglioramento, insegnandogli a identificare i comportamenti di sicurezza fondamentali, e che utilizzano i dati raccolti per determinare i fattori sui quali intervenire per migliorare le cose (Krause et al., 1999). Krause et al. (1999) hanno concluso che i BBS rappresentano un potenziale per migliorare la sicurezza del stradale, specialmente se si utilizzano nuove tecnologie come l'IVDR. Diversi studi hanno mostrato un impatto positivo sulla sicurezza quando i rapporti sulle prestazioni di sicurezza settimanali sono stati forniti ai supervisori e ai gestori delle flotte (Grindle et al., 2000; Sulzer Azaroff e Austin, 2000).

Gli studi che hanno valutato l'impatto dei feedback sui *driver* circa il loro comportamento di guida sulla sicurezza hanno generalmente riscontrato importanti miglioramenti di sicurezza. Ad esempio, Wouters e Bos (1997) hanno condotto un esperimento con 840 veicoli, di cui 270 con IVDR. Hanno trovato una riduzione del 20% negli incidenti automobilistici per i conducenti possedevano un IVDR. Roetting et al. (2003) hanno scoperto che i conducenti hanno avuto atteggiamenti positivi nei confronti dei loro feedback, mostrando una guida più sicura. Anche Heinzmann & Schade (2003), hanno dimostrato che la presenza di unità di immagazzinamento dati sulle autovetture di giovani conducenti maschi ha un effetto preventivo che porta ad adottare una maggiore disciplina e una guida più attenta. Secondo gli studi condotti da Hickman et al. (2005) quando un *driver* è monitorato tende a ridurre i suoi comportamenti aggressivi e pericolosi.

Esempi di IVDR sono presenti in letteratura per classificare il comportamento alla guida. Lotan e Toledo (2006) hanno proposto un sistema chiamato DriveDiagnostic per registrare e analizzare il comportamento del *driver* sulla base di eventi di crash e pre-crash. Inoltre, viene calcolato un indice di sicurezza basato sui dati raccolti. Tuttavia, non esiste una chiara spiegazione di come è stato derivato l'indice.

Nel lavoro di Han e Yang (2009) viene discusso uno studio per la rilevazione di guida pericolosa utilizzando i dati del veicolo registrati lungo il percorso seguito. Gli autori hanno definito degli algoritmi per individuare le condizioni di guida pericolose. Tuttavia questi dati e analisi non sono stati trasformati in un indice che fornisce una misura del comportamento del conducente.

Tra gli IDVR rientrano anche gli smartphone. I recenti progressi tecnologici nelle funzionalità di smartphone accoppiati ad un sempre più crescente tasso di utilizzo degli smartphone in tutto il mondo, hanno avviato lo sviluppo di nuovi ITS (Intelligent Transportation System) basati su applicazioni.

Johnson e Trivedi (2011) hanno proposto un approccio per classificare diversi stili di guida in base ai dati registrati dagli smartphone. Nel loro approccio, gli stili di guida possono essere classificati in normale, aggressivo e molto aggressivo. I risultati del loro lavoro mostrano che diversi sensori sugli smartphone possono fornire una buona fonte di informazioni per una misura accurata e per una classificazione di diversi tipi di guida.

Mentre questi studi indicano chiaramente che la tecnologia IVDR può avere un impatto significativo sulla sicurezza stradale, è limitata la conoscenza di quali dati debbano essere raccolti e come debbano essere interpretati e analizzati. Ad esempio, non è ancora chiaro come i profili di velocità e di accelerazione si traducano in rischio di incidente. Poiché gli IDVR stanno diventando oggi sempre più accessibili ed economici, diversi ricercatori stanno cercando di definire dei metodi oggettivi che permettano di classificare il comportamento alla guida e di individuare il livello di rischio associato. La ricerca sta quindi cercando di analizzare e classificare gli stili di guida specifici.

#### **3.4.4.2 Stili di guida specifici**

Gli stili di guida specifici si riferiscono a specifici comportamenti e possono essere raggruppati nelle seguenti categorie principali: controllo longitudinale, controllo laterale e gap acceptance. Di seguito verranno elencati e, brevemente, descritti alcuni studi, mentre successivamente verranno analizzati in dettaglio gli studi basati sulle grandezze considerate in questo lavoro di tesi (velocità e accelerazioni) per classificare lo stile di guida.

#### 3.4.4.2.1 Controllo longitudinale

Per quanto riguarda il controllo longitudinale, la velocità e le accelerazioni sembrano essere i parametri più rappresentativi per “misurare” lo stile di guida.

Sebbene gli stili di guida rischiosi siano perlopiù associati ad alta velocità, ci sono alcuni studi che dimostrano che le velocità inferiori a quelle medie potrebbero essere rischiose. Ad esempio, Waard, Dijksterhuis e Brookhuis (2009) hanno studiato le velocità dei veicoli su una rampa d'entrata dell'autostrada, e hanno trovato che velocità basse rendono la manovra più rischiosa. Anche secondo Eboli et al. (2016b), velocità molto basse sono rappresentative di un comportamento poco sicuro.

Secondo Robertson et al. (1992), Le accelerazioni laterali e longitudinali di un veicolo su strada sono determinate dal comportamento del conducente e da altri fattori quali il percorso, i veicoli adiacenti e il tempo. Gli autori suggeriscono che le accelerazioni dei veicoli possano essere misurate e trattate in modo da produrre una "firma" che caratterizza lo stile del conducente e riflette le sue circostanze. Nel loro lavoro, descrivono tipi alternativi di stile di guida e confronta le “firme” di 10 *driver*, utilizzando una scala che può prevedere il rischio di incidente.

Lajunen et al. (1997) hanno studiato le velocità e le accelerazioni come parametro per individuare uno stile di guida sicuro. 58 giovani maschi hanno percorso un percorso di prova di 7,1 km su un'auto strumentata. I conducenti sono stati invitati a guidare come fanno di solito. Lo stile di guida è stato misurato in base ai parametri cinematici registrati. L'analisi dei dati ha mostrato che i conducenti che avevano avuto incidenti in passato hanno guidato a velocità più elevate e facendo registrare accelerazioni più elevate rispetto ai conducenti che non sono stati coinvolti in incidente. Tuttavia, un'analisi di regressione multipla ha indicato che solo la velocità massima prevedeva significativamente il numero di incidenti. In conclusione, la velocità massima sembrava essere una misura conveniente e robusta di uno stile di guida sicuro.

Ericsson et al. (2000) hanno classificato il comportamento del *driver* sulla base di un'analisi fattoriale che ha permesso di evidenziare le differenze di comportamento tra i *driver* coinvolti nell'indagine. È stato trovato che il comportamento dipende anche dal tipo di strada. In generale gli autori affermano che gli uomini tendono ad imprimere al veicolo accelerazioni più alte rispetto alle donne. Per quanto riguarda la

velocità media di percorrenza non ci sono grosse differenze ad eccezione delle strade extraurbane dove gli uomini tendono a raggiungere valori più elevati.

Aljaafreh et al. (2012) classificano lo stile di guida, in base alle prestazioni di guida, in quattro categorie: al di sotto di normale, normale, aggressivo e molto aggressivo. La classificazione avviene in base ai valori di accelerazione longitudinale e trasversale. Nello specifico viene considerata la norma euclidea delle due componenti del vettore accelerazione come input per un'analisi Fuzzy che classifica il comportamento del *driver*.

Paefgen et al. (2012) utilizzano lo smartphone per classificare lo stile di guida individuando le situazioni pericolose. Vengono considerate pericolose quelle condizioni in cui l'accelerazione longitudinale, in modulo, supera  $1 \text{ m/s}^2$  (sia in fase di accelerazione che di decelerazione). Tuttavia in tale studio non è chiaro come vengano fissate queste soglie.

Anche Eren et al. (2012) utilizzano lo smartphone per monitorare e classificare il comportamento del *driver* in sicuro o poco sicuro. In particolare gli autori sfruttano l'accelerometro, il giroscopio e il magnetometro per ottenere la posizione, la velocità, le accelerazioni e l'angolo di deflessione. Tuttavia lo stile di guida viene classificato in base ad analisi statistiche che fanno riferimento all'intero tracciato percorso e non vi sono delle soglie limite dei valori cinematici.

Un altro parametro che è rappresentativo del controllo longitudinale e che permette di classificare lo stile di guida è lo jerk (o strappo). Rappresenta la derivata dell'accelerazione rispetto al tempo ovvero la derivata di terzo ordine della posizione rispetto al tempo. Tale notazione indica la variazione dell'accelerazione nel tempo.

La jerky driving, definita come la velocità di accelerazione e decelerazione, è stata individuata da Murphey et al. (2009) come indicatore rappresentativo dello stile di guida. Gli autori hanno sviluppato un algoritmo che classifica lo stile di guida attraverso le informazioni statistiche relative al profilo dello jerk e in funzione del tipo di strada e del livello di congestione previsto. Gli autori individuano 4 tipi di guida:

- Guida calma: il *driver* sta attento ai semafori, ai segnali e ai limiti di velocità, evitando brusche accelerazioni;

- Guida normale: si registrano moderate accelerazioni e decelerazioni (frenature);
- Guida aggressiva: si registrano brusche accelerazioni e dure frenate;
- Nessuna velocità: il veicolo non è in moto.

Bagdadi e Várhelyi (2011) hanno scoperto che lo jerk all'inizio e alla fine di una manovra di frenata è rappresenta il miglior indicatore del comportamento di guida e per individuare le situazioni critiche dal punto di vista della sicurezza.

Un approccio diverso è stato adottato da Desai e Haque (2006), che hanno introdotto il concetto di "indice di spigolosità", basato sul profilo di jerk. Gli autori hanno ipotizzato che questo indice possa essere usato sia come indicatore di vigilanza sia come "firma" degli stili di guida individuali.

Altro parametro utilizzato in letteratura per classificare il comportamento alla guida è la distanza tra due veicoli che si susseguono, il cosiddetto "headway".

Sulla base delle misure di headway, Mac-Adam, Bareket, Fancher e Ervin (1998) hanno individuato un indice di aggressività alla guida. Xiong et al. (2012) considerano l'headway, inteso come distanza temporale e non spaziale, per individuare tre tipologie di comportamento: comportamento a rischio, comportamento moderatamente a rischio e comportamento prudente. Secondo Underwood (2013) l'headway può essere visto come un indicatore dello stile di guida in termini di esperienza. Effettuando un'indagine su un campione di *driver* ha visto che dopo sei mesi i conducenti dei veicoli tendevano ad aumentare la distanza dal veicolo che precede, cioè a rispettare la distanza di sicurezza. L'headway, risulta essere più specifico della velocità e dello jerk, e un ridotto valore della distanza tra due veicoli risulta essere strettamente legato ad una guida aggressiva e impaziente.

Hinata et al. (2008) hanno proposto un metodo per individuare il comportamento anomalo durante la guida su strada attraverso l'analisi delle velocità. In particolare gli autori hanno considerato, oltre alla velocità, la distanza dai veicoli vicini, le accelerazioni e le decelerazioni valutate tramite la pressione sui pedali dell'acceleratore e del freno.

#### **3.4.4.2.2 Controllo laterale**

Per quanto riguarda il controllo laterale, gli stili di guida vengono analizzati tramite la scelta della corsia, l'angolo di sterzata, la posizione laterale e l'accelerazione laterale.

La maggior parte degli studi che si basano sulla scelta della corsia sono stati effettuati al simulatore. Questi studi classificano lo stile di guida in base alla percentuale di tempo in cui il veicolo si trova nella corsia di sorpasso (corsia di sinistra per Paesi in cui la guida si svolge sulla corsia di destra). Più elevata è la percentuale del tempo maggiore è il livello di rischio e aggressività. Reimer et al. (2013) hanno invece condotto un'indagine su strada e hanno trovato che i sessantenni tendono a trascorrere meno tempo sulla corsia di sinistra rispetto ai quarantenni e ai ventenni. I ventenni invece sono quelli che spendono più tempo nella corsia di sinistra durante uno spostamento. Secondo gli autori, ciò significa che gli adulti tendono ad essere più prudenti rispetto ai giovani.

Secondo Cooper (2009) lo stile di guida può essere classificato anche in base al numero di cambi di corsia.

Ungoren e Peng (2005) classificano lo stile di guida in base all'angolo di sterzata. Secondo gli autori l'utente prudente adotta un piccolo angolo di sterzata e si sposta lateralmente con molto anticipo. Viceversa l'utente aggressivo produce il più grande angolo di sterzata e il più grande angolo di imbardata.

L'accelerazione laterale è il parametro più significativo per descrivere il controllo laterale del veicolo. Riflette il comportamento del *driver*, soprattutto in curva, in quanto dipende principalmente dalla scelta della velocità e dal raggio di curvatura del tracciato. Può essere visto come un indicatore del livello di rischio alla guida, soprattutto in condizioni di scarsa aderenza.

Reymond, Kemeny, Droulez e Berthoz (2001) suggeriscono la relazione tra curvatura (definita come il reciproco del raggio della curva) e la massima accelerazione accettabile che permette di differenziare uno stile di guida "veloce" da uno stile di guida "lento". Altri studi sulla accelerazione laterale verranno descritti approfonditamente nel paragrafo 3.4.5.

### 3.4.4.2.3 Gap Acceptance

Il comportamento di guida viene studiato anche in base al gap acceptance. Per gap acceptance si intende l'accettazione dell'intervallo temporale da parte del *driver* per immettersi in un flusso veicolare oppure per effettuare un sorpasso. I *driver* più aggressivi e che hanno un comportamento più rischioso tendono ad accettare intervalli più piccoli per effettuare la manovra. Uno studio basato sul gap acceptance è stato realizzato da Keskinen et al. (1998). Lo studio è stato condotto per studiare il comportamento dei *driver* alle intersezioni stradali a "T". Tramite videocamere è stato studiato il comportamento di 3 tipologie di *driver*: giovani, di mezza età e anziani. Dai risultati è emerso che i tre gruppi adottano accelerazioni diverse e diversi tempi di svolta che variano a seconda che il veicolo che si immette sulla strada principale provenga da destra o da sinistra.

I gruppi di età hanno diverse abitudini di accelerazione e così diversi tempi di svolta, che variano anche a seconda che il veicolo sulla strada principale sia venuto da sinistra o da destra. Si è visto che gli utenti più giovani tendono ad accettare un intervallo di tempo minore rispetto agli anziani per compiere la manovra. Questo gap acceptance è quindi rappresentativo del livello di rischio accettato. Si tratta quindi di un indicatore del rischio alla guida. A conferma del fatto che è legato al rischio alla guida, Speak et al. (2006) hanno sviluppato un modello di previsione degli incidenti. Anche Yan et al (2007) propongono una metodologia, valida per le intersezioni regolate da stop, finalizzata ad individuare le differenze di comportamento legate alla velocità del flusso sulla strada principale, all'età e al genere sulla base dei valori di gap acceptance.

Farah et al. (2009) classificano il comportamento in base ai valori dell'intervallo disponibile per effettuare il sorpasso prima che sopraggiunga un veicolo dalla corsia opposta.

I principali indicatori utilizzati per analizzare lo stile di guida, dal punto di vista oggettivo, sono riassunti nella tabella 3.4.

<b>Stile di guida</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Riferimenti</b>
Controllo longitudinale	Velocità e accelerazione	Waard et al. (2010); Eboli et al. (2016) Robertson et al. (1992), Lajunen et al. (1997) Ericsson et al. (2000) Aljaafreh et al. (2012) Paefgen et al. (2012) Anche Eren et al. (2012)
	Jerk	Murphey et al. (2009) Bagdadi e Várhelyi (2011) Desai e Haque (2006)
	Headway (temporale e spaziale)	Mac-Adam et al. (1998) Xiong et al. (2012) Underwood (2013)
Controllo laterale	Scelta della corsia	Reimer et al. (2013)
	Cambi di corsia	Cooper (2009)
	Angolo di sterzata	Ungoren e Peng (2005)
	Accelerazione laterale	Reymond et al. (2001)
Gap acceptance	Distanziamento temporale tra i veicoli alle intersezioni	Keskinen et al. (1998)
	Intervallo temporale disponibile per effettuare il sorpasso	Farah et al. (2009)

**Tabella 3.4: PRINCIPALI INDICATORI UTILIZZATI PER CLASSIFICARE  
OGGETTIVAMENTE LO STILE DI GUIDA**

La figura 3.3 riporta l'esempio proposto da Sagberg et al. (2016) in cui lo stile di guida viene classificato in base a misure soggettive. Si evince la relazione tra stile di guida, indicatori e misure soggettive.

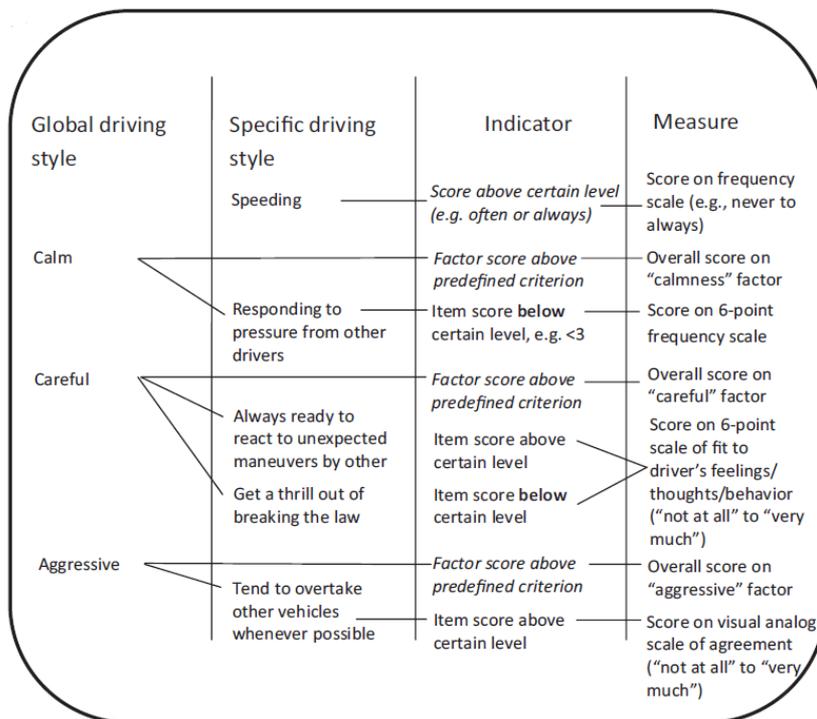


Figura 3.3: Classificazione dello stile di guida in base a misure soggettive

La figura 3.4 riporta l'esempio proposto da Sagberg et al. (2016) in cui lo stile di guida viene classificato in base a misure oggettive.

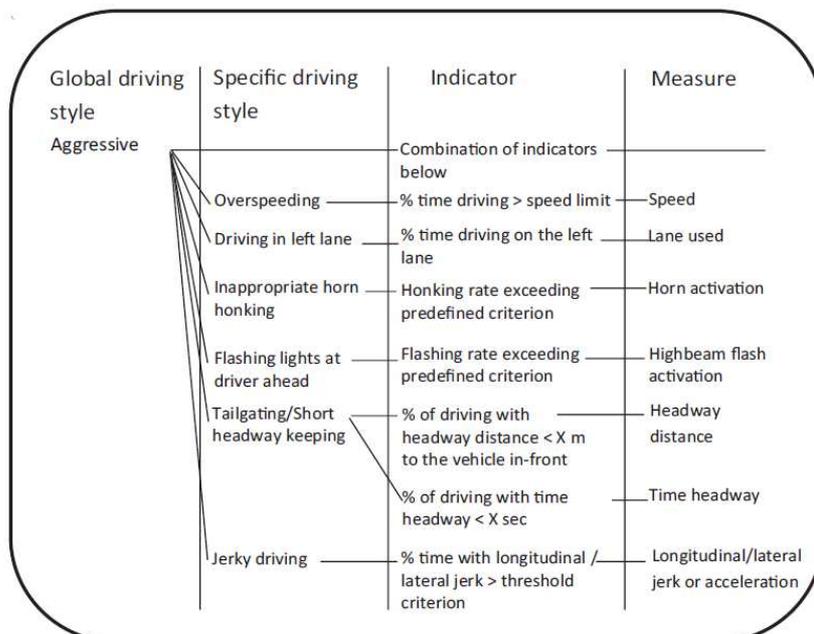


Figura 2.4: Classificazione dello stile di guida in base a misure oggettive

### **3.4.5 Classificazione dello stile di guida in base ai parametri cinematici.**

Da quanto detto fin ora emerge il fatto che i parametri cinematici del veicolo (sia nel controllo longitudinale, sia nel controllo laterale e anche nel gap acceptance) rivestono un ruolo fondamentale e rappresentano i principali parametri per analizzare il comportamento alla guida. Risulta necessario quindi analizzare in dettaglio gli studi presenti in letteratura che utilizzano le velocità e le accelerazioni per studiare il comportamento alla guida. Come si vedrà nel seguito, questi metodi considerano uno o al massimo due parametri cinematici contemporaneamente. Nel presente lavoro di tesi, è stata invece sviluppata una metodologia che considera contemporaneamente 3 parametri e che si differenzia per tipologia di strada. In particolare la metodologia fornisce uno strumento che permette di classificare il comportamento del *driver* in base ai principali parametri cinematici utilizzati in letteratura per analizzare il comportamento di guida.

#### **3.4.5.1 Classificazione dello stile di guida tramite le velocità**

La velocità è un parametro usato per classificare il comportamento degli utenti stradali.

La conoscenza della velocità in maniera continua, ormai disponibile grazie allo sviluppo di dispositivi come lo smartphone, permette di ottenere dei profili di velocità che possono essere analizzati come funzioni del tempo (diagrammi tempo-velocità) e come funzione dello spazio (diagrammi spazio-velocità) a seconda dello scopo dello studio. Questi profili permettono un'analisi più dettagliata del comportamento del *driver* e delle differenze tra diversi *driver*, contrariamente agli indicatori aggregati come la velocità media. Quindi il profilo delle velocità risulta uno strumento di fondamentale importanza per lo studio del comportamento di guida. In genere si parla di comportamento aggressivo o poco sicuro, quando viene superato il limite di velocità. In alcuni casi, però, i limiti di velocità non tengono conto delle particolari condizioni al contorno, ma vengono determinati in base alla tipologia funzionale della strada. In questi casi, questo criterio risulta essere debole e poco significativo.

Ogle et al. (2002) hanno effettuato un'analisi sperimentale nella città di Atlanta in Georgia. I valori di velocità sono stati registrati tramite GPS e sono stati messi a paragone con i limiti di velocità presenti nei diversi tratti stradali. La differenza tra la velocità registrata e quella limite, nota a priori, rappresenta, per gli autori, un indice per classificare il comportamento del *driver*.

Rigolli et al. (2005) classificano i *driver* come aggressivi, sicuri e prudenti. L'analisi viene effettuata per ciascun veicolo in funzione dei veicoli nelle vicinanze. In particolare si confronta la velocità di un veicolo con quella dei veicoli nelle vicinanze, la distanza tra di essi e tra il veicolo considerato e gli ostacoli presenti. Secondo gli autori la velocità del veicolo dovrebbe essere simile a quella degli altri veicoli nelle vicinanze. Quindi se i veicoli vicini hanno una velocità media di 100 km/h e il veicolo considerato ha una velocità di 150 km/h, esso viene considerato come aggressivo. In sintesi, gli autori analizzano il comportamento di guida di un *driver* in funzione degli altri veicoli e considerano solo velocità e distanza.

Imkamon et al. (2008) hanno proposto un metodo per identificare i comportamenti di guida pericolosi attraverso l'analisi delle velocità registrate tramite OBD (On-Board Diagnosis). Attraverso la logica Fuzzy vengono individuati tre livelli di rischio individuati con un numero: 1 è il livello di guida più sicuro, 3 quello più pericoloso.

Laureshyn et al (2009) hanno considerato la forma del profilo delle velocità per classificare il comportamento di guida. I dati di velocità sono stati registrati tramite analisi video. Nel loro studio gli autori hanno trasformato il profilo delle velocità in un vettore. Ogni profilo ha lo stesso numero di punti battuti e ciascun punto è rappresentato dalle coordinate nel diagramma. Quindi il vettore è un insieme di coordinate. Per classificare il comportamento, a partire dal vettore, hanno usato 3 tecniche: cluster analysis, supervised learning and dimension reduction. La cluster analysis raggruppava i vettori (profili di velocità) in base alla vicinanza tra gli stessi in uno spazio multidimensionale. I risultati sono risultati soddisfacenti, anche se i meno efficaci tra quelli prodotti dalle 3 tecniche utilizzate. La tecnica supervised learning confronta ciascun profilo con una serie di dati di riferimento. La selezione e classificazione dei profili avviene in maniera manuale. Questa tecnica ha consentito di ottenere la migliore classificazione. Infine la tecnica di dimension reduction riduce la quantità di dati che rappresenta ciascun profilo, estraendo le "caratteristiche" più

tipiche che consentono una migliore visualizzazione dei dati e una notevole semplificazione nella procedura di classificazione.

Mohamad et al. (2011) hanno proposto un metodo per classificare il comportamento di guida, in particolare per individuare la guida “anormale”, sulla base della velocità e della posizione registrate tramite GPS. Gli autori hanno stabilito delle soglie massime di velocità, sulla base dei valori massimi registrati su 8 siti differenti. Essi hanno fornito due soglie: una per le condizioni notturne e una per quelle diurne.

Zhang et al (2011) analizza i comportamenti di guida dei tassisti sulla base delle analisi delle velocità. Se la velocità di un taxi è di molto superiore o inferiore alla velocità “normale” del tratto (calcolata a partire dalle traiettorie di tutti i taxi che attraversano quel tratto) nello stesso periodo (mattina, pomeriggio o notte) il comportamento del *driver* è considerato anormale.

Secondo Richard et al. (2012) un utente stradale ha un comportamento aggressivo quando supera la velocità limite legale di 10 mph.

Eboli et al. (2017b) hanno determinato una metodologia per classificare il comportamento degli utenti stradali dal punto di vista della sicurezza stradale tramite l'analisi delle velocità. Per fare ciò, è stata condotta un'indagine in un contesto reale. I 27 conducenti coinvolti hanno percorso un tratto di strada extraurbana a due corsie, al fine di registrare i valori istantanei di velocità in maniera continua con una frequenza di un hertz. I dati registrati sono stati utilizzati per calcolare la velocità media, il 50° e l'85° percentile della velocità su ciascun elemento stradale (rettilinei e curve). Per ciascun elemento stradale, la metodologia consente di determinare due soglie:

- soglia inferiore: rappresentata dal minimo tra la velocità media e il 50° percentile della distribuzione della velocità sull'elemento;
- soglia superiore: rappresentata dal valore minimo tra la velocità di progetto, la velocità limite legale e l'85° percentile della distribuzione della velocità sull'elemento.

Il risultato principale della ricerca è rappresentato da una classificazione del comportamento di guida dei conducenti delle autovetture in base al valore istantaneo della velocità.

La classificazione prevede tre tipi di comportamento di guida:

- comportamento di guida sicura ma potenzialmente pericolosa se il valore istantaneo della velocità è al di sotto della soglia inferiore;
- comportamento di guida sicura se la velocità istantanea è compresa tra la soglia inferiore e quella superiore;
- comportamento di guida insicura se la velocità istantanea è maggiore della soglia superiore.

Poiché le velocità sono geo-referenziate è possibile sapere in quali punti l'utente è stato aggressivo. Rispetto agli altri metodi riportati, questo studio consente di avere un giudizio disaggregato e più preciso, in quanto tiene conto sia della progettazione delle strade (tramite la velocità di progetto), sia del comportamento degli utenti stradali su quel tratto (tramite la  $V_{85}$  e la  $V_{50}$ ) e sia dei vincoli normativi (velocità limite legale).

#### **3.4.5.2 Classificazione dello stile di guida tramite le accelerazioni**

Sia le accelerazioni longitudinali del veicolo che quelle trasversali sono parametri molto importanti per analizzare il comportamento di guida. Generalmente i loro valori massimi, o soglie, sono fortemente correlati all'aderenza disponibile.

Alcuni studi hanno analizzato il comportamento di guida in termini di accelerazione. In letteratura è presente la teoria denominata "driver celeration behaviour".

Il termine "driver celeration behaviour" indica la somma o la media di tutte le accelerazioni e decelerazioni determinate da un veicolo, in qualsiasi direzione in un piano bidimensionale (che rappresenta la strada) quando si muove (af Wåhlberg, 2008). Secondo af Wåhlberg, questa variabile è superiore a tutte le altre per analizzare il rischio di essere coinvolti in un incidente stradale, dal punto di vista del singolo utente. È superiore anche alla velocità che però resta sempre un parametro di fondamentale importanza.

Uno studio realizzato da Jungwook (2006) ha valutato le differenze tra i valori di accelerazione tra *driver* che non sono stati coinvolti in incidenti stradali e quelli che

invece non stati coinvolti entro 14 mesi. Da questo studio è emerso che i piloti coinvolti in incidenti hanno maggiore probabilità di produrre livelli più alti di accelerazione e in maniera più frequente rispetto ai *driver* non coinvolti. Lo studio ha quindi rivelato che le accelerazioni sono correlate in maniera positiva con la probabilità di essere coinvolti in un incidente stradale. Dallo studio è emerso che su diverse tipologie di strada si registrano mediamente valori diversi di accelerazione. Per cui è importante avere diverse soglie di accelerazione per ciascuna tipologia di strada. Lo studio suggerisce che le accelerazioni possono essere utilizzate per individuare il livello di rischio di ciascun *driver*. Inoltre possono essere utilizzate come misure surrogate di sicurezza per individuare tratti o punti particolarmente pericolosi dove si registrano alti valori.

Lo studio effettuato da van der Horst (1990) suggerisce per i valori di accelerazione longitudinale durante la frenatura (decelerazioni). Egli fornisce i valori per 3 differenti valori di velocità (30 Km/h, 50 km/h e 70 km/h), per due differenti situazioni: frenatura in condizioni normali e frenatura in condizioni di emergenza. I valori massimi vanno da  $-4 \text{ m/s}^2$  a  $-5,5 \text{ m/s}^2$  in condizioni normali e da  $-6,5 \text{ m/s}^2$  a  $-7,5 \text{ m/s}^2$  in condizioni di emergenza. La figura 3.5 riporta i valori di decelerazione massima per i tre differenti valori di velocità.

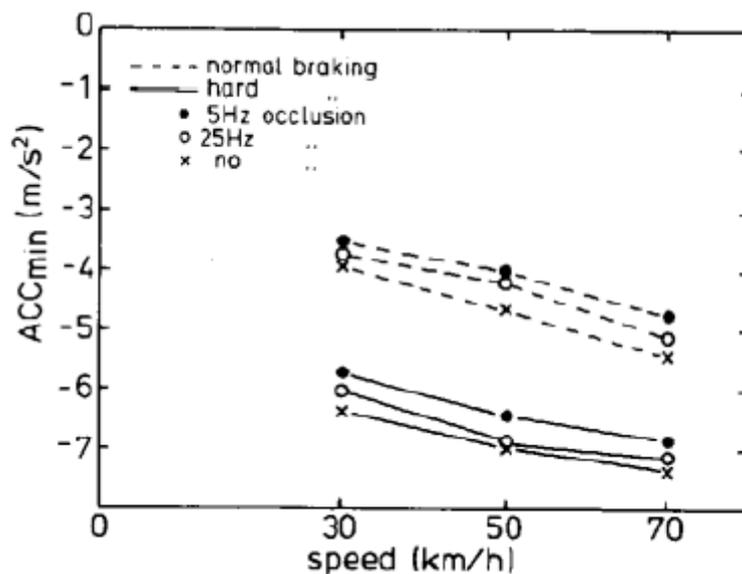


Figura 3.5: DECELERAZIONE MASSIMA PER 3 VALORI DI VELOCITA'

Kenda e Kopac (2011) indicano i limiti massimi per le componenti principali del vettore accelerazione. Secondo gli autori l'accelerazione longitudinale massima non deve superare i  $4,25 \text{ m/s}^2$  mentre quella laterale deve essere inferiore a  $3,5 \text{ m/s}^2$ . Durante l'arresto del veicolo l'accelerazione longitudinale dovrebbe essere al di sotto di  $3,75 \text{ m/s}^2$ .

L'AASHTO (2012) fornisce un valore limite per le accelerazioni longitudinali pari a  $3,5 \text{ m/s}^2$ . Si tratta di un valore cautelativo, in quanto permette al *driver* di avere una decelerazione in condizioni di comfort e senza che si verifichino perdite di aderenza anche in condizioni di pavimentazione bagnata.

Neves (2014) ha determinato i valori soglia sia per le accelerazioni longitudinali sia per quelle laterali, sia in condizioni normali che in condizioni estreme. Egli individua la decelerazione massima, sia in condizioni normali ( $-3,43 \text{ m/s}^2$ ) che in condizioni estreme ( $-4,91 \text{ m/s}^2$ ), e l'accelerazione laterale massima sempre nelle due condizioni che assumono i valori di  $2,94 \text{ m/s}^2$  e  $4,42 \text{ m/s}^2$ , rispettivamente.

La tabella 3.5 riporta i valori soglia presenti in letteratura e forniti da diversi autori nel corso degli anni:

Fonte	Accelerazione laterale [m/s <sup>2</sup> ]	Accelerazione longitudinale [m/s <sup>2</sup> ]
van der Horst, 1990	-	-7,5
Felipe, 1996	7,4	-8,2
Autel Company, 2009	-	-4,9
Geotab Inc., 2011	4,8	-4,8
Kenda e Kopac, 2011	4,25	3,5
AASHTO, 2012	-	3,5
Neves, 2014	3,4	2,9

**Tabella 3.5: VALORI SOGLIA DI ACCELERAZIONE LONGITUDINALE E TRASVERSALE**

Come si evince dalla tabella, i valori di accelerazione forniti dai diversi studi, variano notevolmente e decrescono nel tempo. La differenza sostanzialmente è dovuta ai diversi approcci utilizzati sia in fase di raccolta che di analisi dei dati. L'utilizzo di attrezzature e/o veicoli basati su tecnologie più datate giustifica i le soglie più elevate ottenute negli anni 90.

Bogdanović and Ruškić (2013) hanno studiato i valori di accelerazione longitudinale in corrispondenza di 10 intersezioni a precedenza e semaforizzate di una città della Serbia, tramite l'utilizzo di telecamere digitali. Secondo il loro studio un'autovettura riparte con valori compresi tra  $0,79 \text{ m/s}^2$  e  $4,86 \text{ m/s}^2$ . Per quanto riguarda i valori di decelerazione in corrispondenza delle intersezioni, El-Shawarby et al. (2007), sulla base di 821 eventi registrati, hanno trovato un range di variazione tra  $1,51$  e  $7,47 \text{ m/s}^2$ . D'altra parte i valori delle accelerazioni laterali in corrispondenza delle intersezioni sono fortemente influenzate dal raggio di curvatura e dalla traiettoria lungo la rotonda su cui il veicolo viaggia. La tabella 3.6 riporta i valori tipici e limite per LRT e autovetture, in corrispondenza di intersezioni stradali e che vengono utilizzati per individuare il comportamento aggressivo.

	Valori tipici per autovetture [m/s <sup>2</sup> ]	Valori limite per autovetture [m/s <sup>2</sup> ]	Valori limite per LRT [m/s <sup>2</sup> ]
Accelerazione longitudinale	2,47	4,86	1,34
Decelerazione longitudinale	-3,27	-7,47	-1,34
Accelerazione laterale	4,10	5,30	1,47

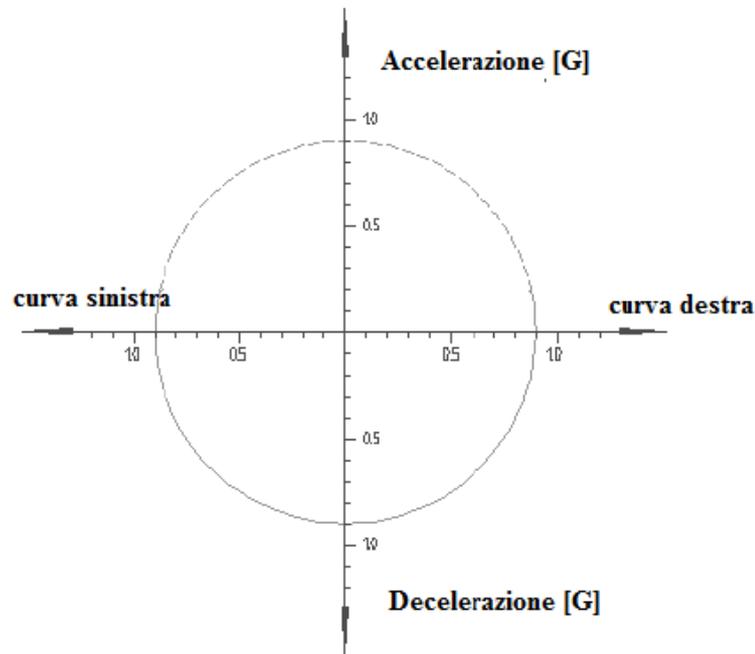
**Tabella 3.6: VALORI DI ACCELERAZIONE PER AUTOVETTURE E LRT**

I metodi, finora esposti, considerano separatamente le componenti del vettore di accelerazione per individuare comportamenti di guida a rischio. Altri studi fanno riferimento al modulo del vettore accelerazione, cioè considerano contemporaneamente le componenti lungo la direzione di marcia e in quella trasversale. Ad esempio uno studio condotto da Ellison, Greaves et al. (2012), propongono l'individuazione del livello di rischio di un conducente alla guida sulla base di una serie di parametri (velocità media e massima, deviazione standard della velocità, accelerazione, ecc.). In questo studio il comportamento viene considerato a rischio quando il modulo del vettore accelerazione supera i  $4 \text{ m/s}^2$ . Ericsson (2000) per classificare lo stile di guida considera invece la percentuale di tempo in cui il veicolo ha un'accelerazione totale superiore a  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

Comunque, il principale metodo di classificazione dello stile di guida, e il più conosciuto, è il g-g diagram. Fu proposto per la prima volta da Roy Rice nel 1970

che lo definì come “un metodo per caratterizzare le prestazioni del sistema driver-veicolo, e che comprende l’influenza delle condizioni della pavimentazione stradale” e come “un mezzo per quantificare le prestazioni del veicolo e valutare come queste vengano utilizzate dal conducente durante l’attività di guida”. È uno strumento utilizzato anche nelle competizioni sportive, per caratterizzare l’abilità del pilota a portare il veicolo più al limite possibile (Biral e Lot, 2009). Il concetto base del g-g diagram è quello di plottare il vettore accelerazione del veicolo in un grafico, in cui l’ascissa è rappresentata dalle accelerazioni laterali e l’ordinata da quelle laterali. Vi è anche una variante in cui i valori sono normalizzati rispetto all’accelerazione di gravità, pari a  $9,806 \text{ m/s}^2$ . I limiti di questo diagramma, cioè le accelerazioni massime (combinazioni di accelerazioni longitudinali e laterali), si distribuiscono secondo un cerchio o un’ellisse. Queste forme sono dovute al comportamento dello pneumatico quando è soggetto contemporaneamente a forze longitudinali e laterali. Il valore massimo del vettore accelerazione, determinato tramite prove sperimentali o prove al simulatore, rappresenta la massima aderenza disponibile, cioè la forza massima che pavimentazione e pneumatico riescono a scambiarsi prima che si abbia perdita di aderenza. L’idea è che, indipendentemente dalla combinazione di sterzata e di frenata o di coppia, la forza orizzontale massima che lo pneumatico può produrre è limitata dall’aderenza tra pneumatico e pavimentazione. Si fa l’ipotesi che il veicolo sia un corpo rigido quindi non vengono considerate singolarmente le 4 ruote. Facendo questa ipotesi si parla di “ellisse di aderenza del veicolo” e tutti e quattro gli pneumatici sono caricati allo stesso modo quindi presentano lo stesso coefficiente di aderenza.

Secondo McIver (1996), nel caso delle autovetture il valore limite è compreso tra circa 0,8 g e 0,9 g (g è l’accelerazione di gravità) e cioè tra  $7,8 \text{ m/s}^2$  e  $8,8 \text{ m/s}^2$ , limite uguale sia per le accelerazioni longitudinali, sia per quelle trasversali; in questo caso, la curva è assimilabile ad un cerchio.

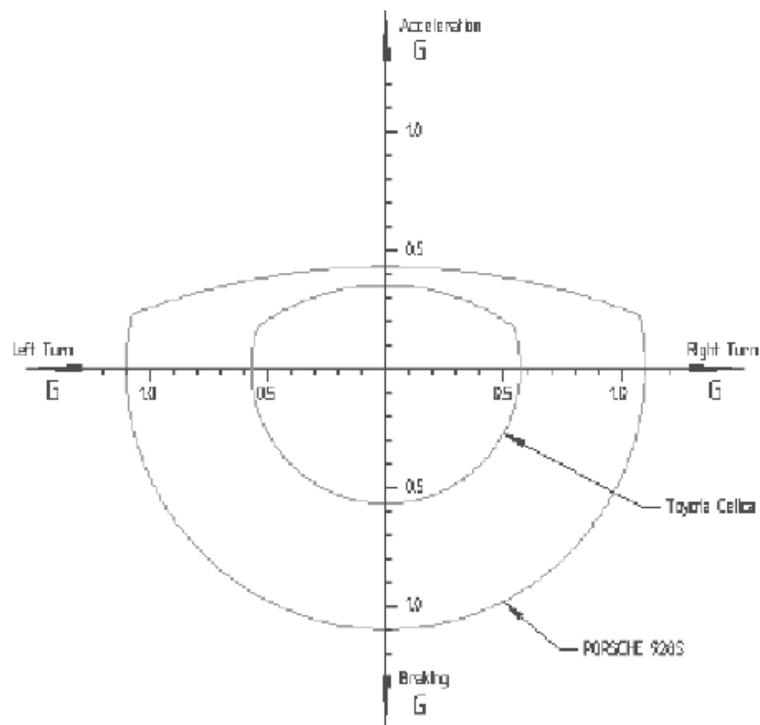


**Figura 3.6: GRAFICO DI McIver**

Secondo McIver il g-g diagram è legato alle prestazioni del veicolo. Sulla base di ciò, si può facilmente dedurre come in realtà la curva di aderenza non sia un cerchio perfetto, in quanto il valore massimo di accelerazione longitudinale che un veicolo può raggiungere è sicuramente inferiore rispetto al valore massimo della decelerazione.

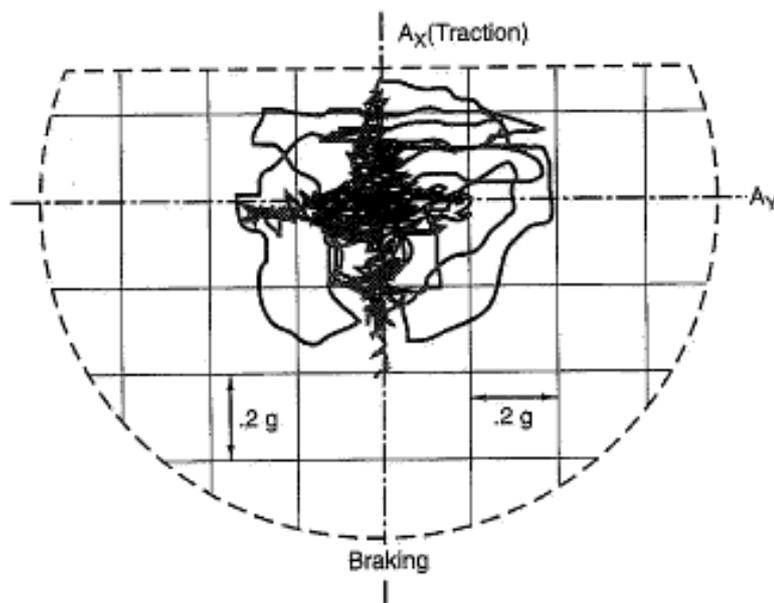
Dunque, può essere scomposto in una semicirconferenza di raggio  $8 \text{ m/s}^2$  nei quadranti delle decelerazioni poiché il veicolo in frenata riesce a sfruttare completamente l'aderenza offerta dal pneumatico, e, nei quadranti relativi alle accelerazioni, in una parabola con vertice in  $0.35 \text{ g} \leq a_{\text{longitudinale}} \leq 0.45 \text{ g}$  poiché in accelerazione un veicolo di categoria non sportiva non supera mai tale limite in condizioni di stabilità [McIver,1996]. Inoltre, i valori limite di accelerazione dipendono anche dal tipo di pneumatico utilizzato come evidenziato nel grafico di figura 3.7.

Come si può dedurre dalla figura 3.7, nel caso di pneumatici utilizzati su una utilitaria (Toyota Celica) ed usurati la curva ha limiti inferiori rispetto a quella relativa a pneumatici nuovi e autovettura sportiva (Porsche 928S).



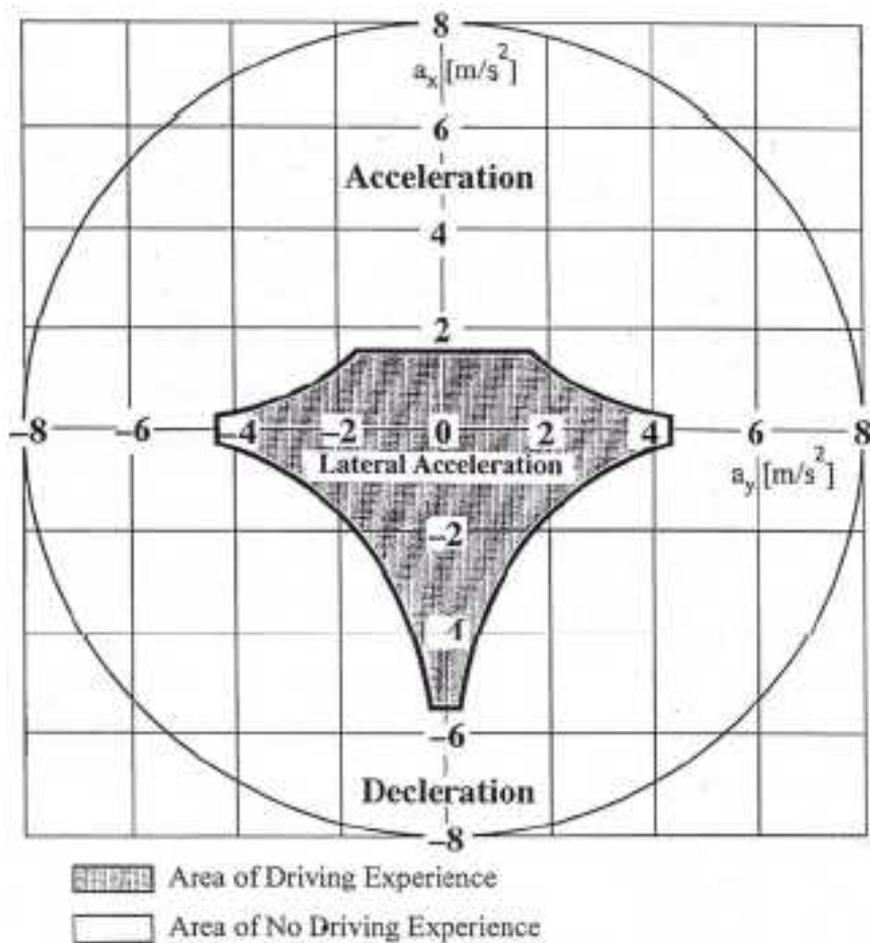
**Figura 3.7: DIAGRAMMA DI McIver PER DUE TIPOLOGIE DI PNEUMATICO**

Milliken e Milliken (1995) riportano un dominio in cui l'accelerazione longitudinale è limitata. La figura 3.8 riporta un esempio di rilievo effettuato su un'utilitaria in condizioni di guida normale. In questo esempio il picco di accelerazioni si ha in fase di frenatura. La parte superiore del g-g diagram è limitata dalle prestazioni del veicolo (potenza limitata) a 0,3 g cioè circa  $3 \text{ m/s}^2$ .



**Figura 3.8: COMPORTAMENTO TIPICO DI MANOVRE SU STRADA**

Un'altra metodologia per la definizione dello stile di guida degli utenti stradali è quella fornita da Sievert (1999). Questa metodologia classifica il *driver* in utente esperto e utente inesperto in funzione dei valori assunti dalla coppia di accelerazioni longitudinale e laterale. Il diagramma proposto da Sievert è riportato in figura 3.9.



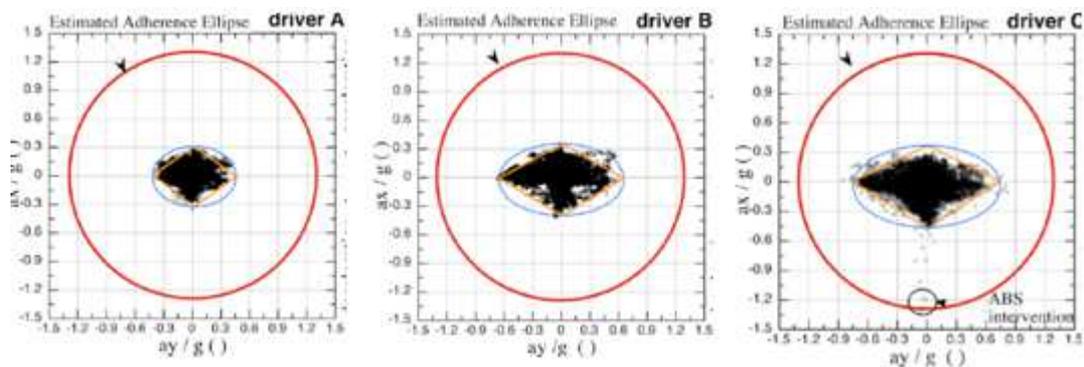
**Figura 3.9: DIAGRAMMA DI SIEVERT**

Il diagramma di Sievert mette in relazione l'accelerazione longitudinale con quella trasversale, entrambe misurate in  $m/s^2$ , individuando due possibili aree:

- *driver* "esperto" (area pseudo triangolare scura);
- *driver* "non esperto" (area al di fuori di quella scura ma all'interno del cerchio).

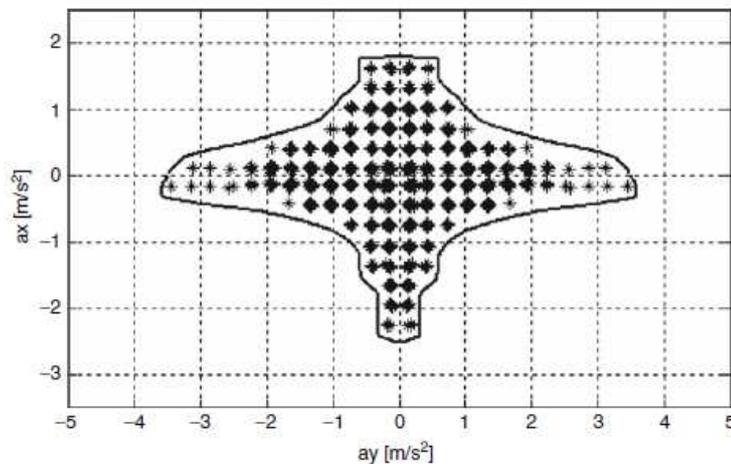
Il limite massimo per entrambe le accelerazioni ( $\pm 8m/s^2$ ). In particolare, nel diagramma di Sievert il valore limite di  $8 m/s^2$  è compreso nel range definito da McIver.

Un altro studio è stato condotto da Da Lio et al. (2005). Gli autori sulla base di dati sperimentali hanno determinato una serie di g-g diagram. Essi sostengono che l'involuppo dei punti registrati nel piano "a<sub>x</sub>-a<sub>y</sub>" rappresenta una sorta di indicatore oggettivo dello stile di guida. I *driver*, infatti, valutano il rischio associato ad una determinata manovra attraverso la vista, e pertanto l'accelerazione prodotta è il risultato del livello di rischio assunto. L'esperienza personale, i tratti della personalità e la motivazione fanno sì che diversi *driver* abbiano differenti g-g diagramm così come li può avere lo stesso *driver* nel tempo. Gli autori hanno analizzato il comportamento di 3 *driver* con diversa esperienza: il *driver A* con una esperienza media di guida; il *driver B* che è un ragazzo giovane quindi con poca esperienza; il *driver C* che è un ragazzo giovane ma con esperienza di guida durante le gare di rally (guida sportiva). Dall'analisi dei dati, su strada urbana ed extraurbana, emerge che ogni *driver* assume un livello di rischio alla guida differente. Il *driver* più cauto è quello esperto mentre il più aggressivo è quello che corre le gare di rally (le accelerazioni laterali sono il doppio di quelle prodotte dal *driver* esperto). In ogni caso i punti si distribuiscono in un dominio che assume la forma di un rombo. Si nota che i moduli dei valori massimi delle accelerazioni laterali sono uguali sia per curva a destra che per curva a sinistra. Ciò non vale per le accelerazioni longitudinali (figura 3.10) in quanto le decelerazioni, in modulo, sono maggiori rispetto alle accelerazioni. Ciò è dovuto alle limitazioni delle prestazioni dei veicoli, soprattutto nelle auto comuni. Inoltre, secondo gli autori le auto sportive producono un g-g diagramm di forma circolare o ellittica.



**Figura 3.10: TRE DIFFERENTI COMPORAMENTI DI GUIDA**

Anche Wegscheider and Prokop (2005) hanno proposto un diagramma per classificare il comportamento alla guida (figura 3.11).



**Figura 3.11: DIAGRAMMA PROPOSTO DA WEGSCHEIDER E PROKOP**

Questo diagramma è stato sviluppato dagli autori sulla base di dati sperimentali registrati su dodici conducenti con esperienza “media” alla guida. La forma del grafico è stata determinata in base all’85° percentile dei dati registrati. Cioè i *driver* si sono trovati al di sotto dei valori limite nell’85% delle volte. La forma è quella di una croce con gli spigoli arrotondati. Secondo gli autori ciò è dovuto al fatto che i *driver* tendono ad evitare di effettuare contemporaneamente manovre di accelerazione e di sterzata preferendo suddividere ed effettuare una alla volta questo tipo di manovre. Secondo gli autori al di fuori del diagramma il *driver* si trova in condizioni di guida pericolose.

I metodi visti fino ad ora, sia per quanto riguarda le singole componenti sia per quanto riguarda il modulo del vettore accelerazione, sono indipendenti dalla velocità. Chiaramente le accelerazioni sono influenzate dalle prestazioni dei veicoli e sono legate alla velocità. Esse, in genere, decrescono all’aumentare della velocità. Di seguito si riportano alcuni studi che mettono in evidenza la relazione esistente tra velocità e le componenti del vettore accelerazione. Gli studi si riferiscono quindi allo studio dell’andamento delle singole componenti in funzione della velocità. I metodi visti fin ora, e quelli che vedremo, tengono conto di uno o al massimo due parametri cinematici. Un obiettivo della presente tesi è quello di sviluppare una metodologia che fornisca uno strumento per la definizione dello stile di guida dei conducenti, che

tenga conto contemporaneamente dell'accelerazione longitudinale, di quella trasversale e della velocità.

### 3.4.5.3 Classificazione dello stile di guida tramite accelerazioni e velocità

La velocità e l'accelerazione sono parametri fondamentali per la stima delle condizioni di sicurezza di un veicolo. Dal 1930 alcuni studi hanno concentrato la loro attenzione sulla relazione tra accelerazione e velocità del veicolo durante la marcia. Un articolo pubblicato da Goebelbecker e Uzgriris (1998) riporta una serie di prove effettuate negli anni trenta e quaranta per determinare la velocità sicura in curva. I risultati di queste prove hanno stabilito delle soglie della accelerazione laterale in funzione della velocità, sulla base del discomfort subito dai *driver*. Le curve, proposte dai vari autori e riportate in (figura 3.12), indicano che la soglia dell'accelerazione laterale diminuisce all'aumentare della velocità. Cioè i *driver* sono più tolleranti alle accelerazioni laterali a basse velocità (generalmente su strade urbane) piuttosto che ad alte velocità (generalmente su strade extraurbane) (AASHTO, 1984). Per esempio lo studio condotto dall' Highway Research Board fornisce una soglia di accelerazione laterale pari a 0,21g per velocità inferiori a 20 mph, 0,18g per velocità tra 25 e 30 mph e 0,15g per velocità superiori a 35 mph.

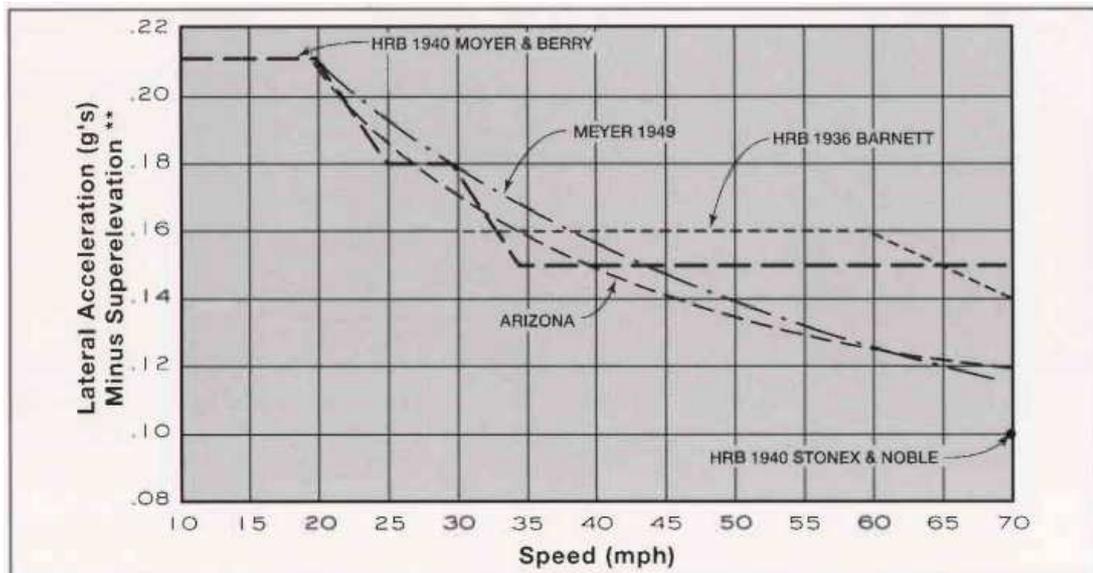


Figura 3.12: RELAZIONE TRA ACCELERAZIONE LATERALE E VELOCITA' SECONDO VARI AUTORI

Ritchie et al. (1968) hanno condotto uno studio su 25 soggetti di sesso maschile e 25 di sesso femminile. I *driver* hanno guidato su un percorso di 110 miglia che contiene 227 curve. Ai *driver* è stato chiesto di guidare normalmente, cioè come fanno abitualmente. Per ogni curva sono stati registrati i valori di velocità e accelerazione laterale, e ciò ha permesso di determinare una relazione tra le due grandezze (figura 3.13).

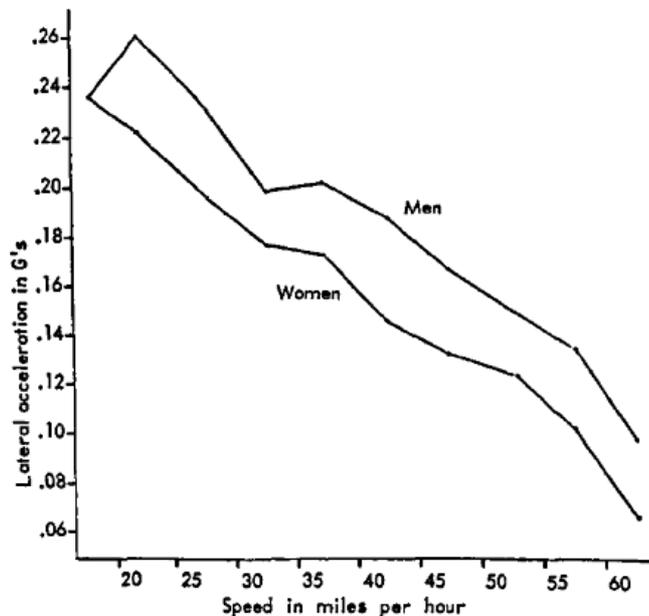
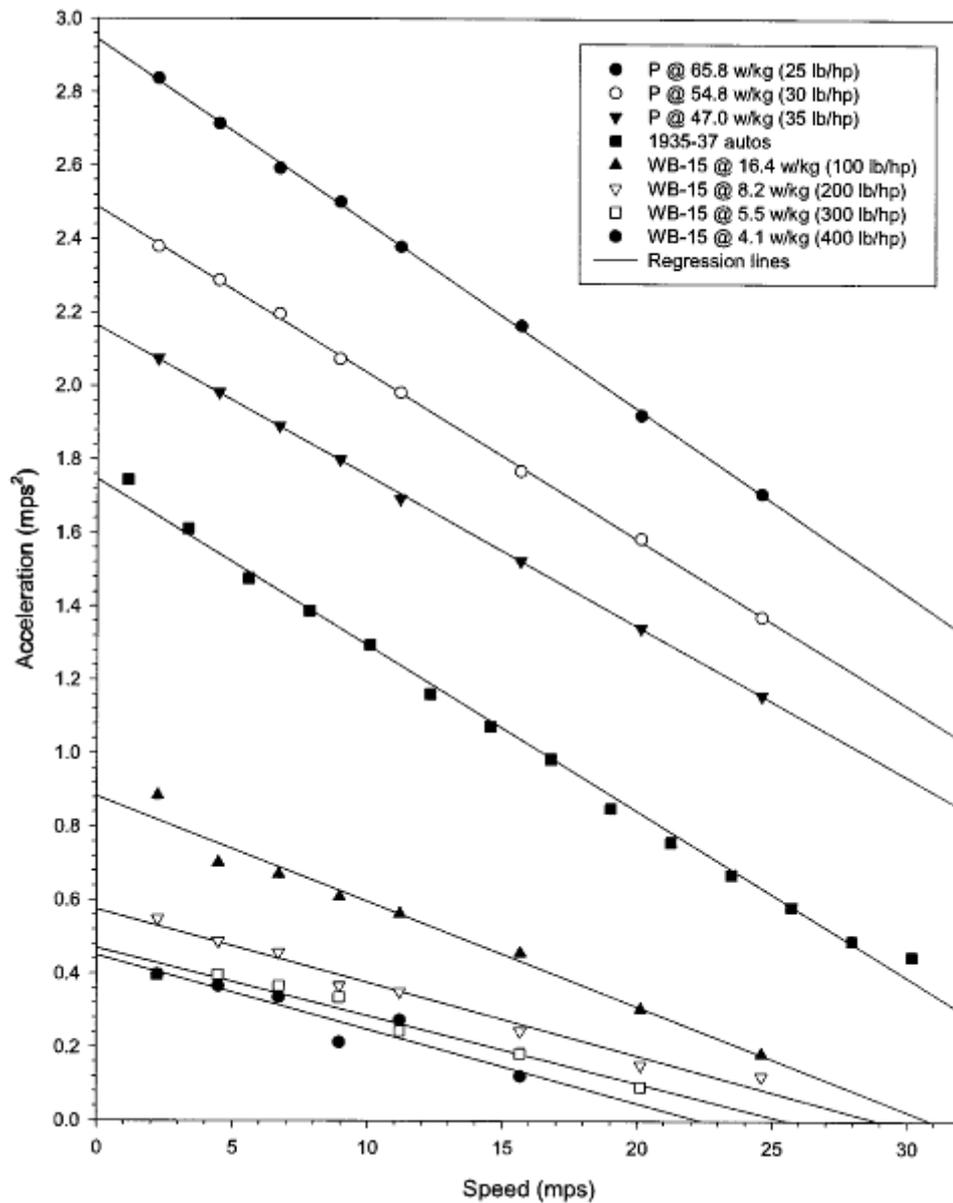


Figura 3.13: RELAZIONE TRA ACCELERAZIONE LATERALE E VELOCITA'

John and Kobett (1978) hanno trovato che l'accelerazione longitudinale decresce linearmente con la velocità. Secondo gli autori, la massima decelerazione, in modulo, vale  $3,36 \text{ m/s}^2$  per le autovetture mentre vale  $5,19 \text{ m/s}^2$  per i veicoli pesanti.

Jarvis (1987) e Pitcher (1989) hanno trovato che le singole componenti del vettore accelerazioni decrescono in maniera quadratica con la velocità.

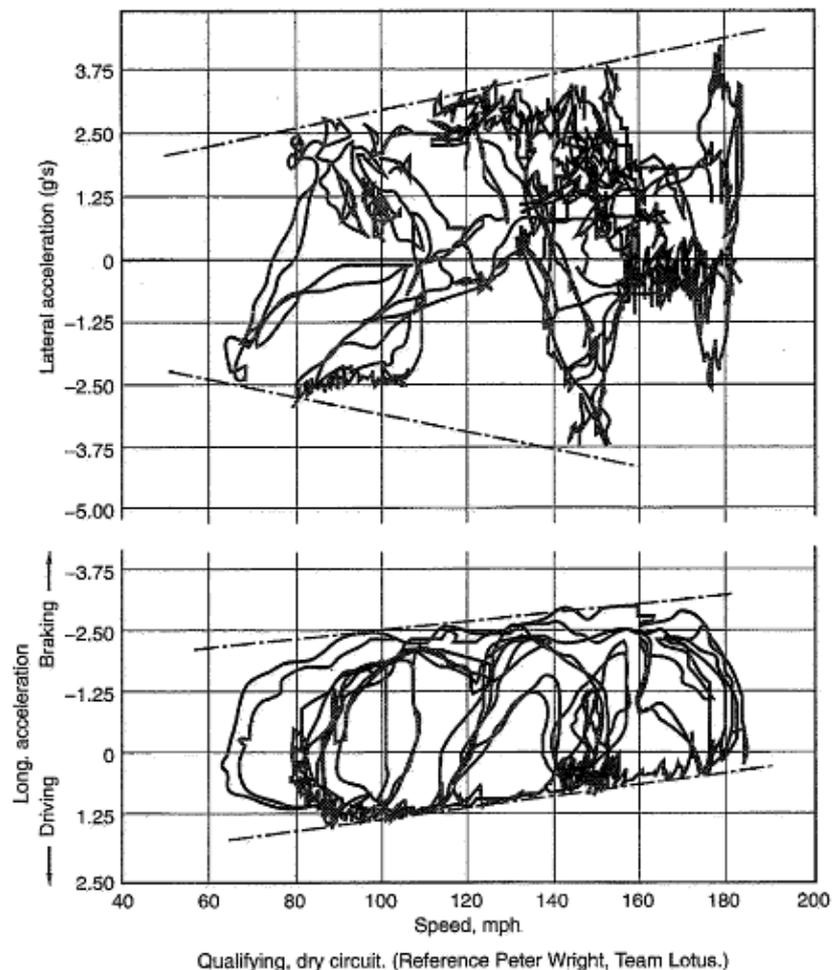
Il Traffic Engineering Handbook (1992) riporta l'andamento delle accelerazioni longitudinali massime in funzione della velocità per diverse tipologie di veicoli. Come si può vedere dalla figura 3.14), essa decresce linearmente con la velocità.



**Figura 3.14: RELAZIONE TRA ACCELERAZIONE LONGITUDINALE E VELOCITA'**

Un altro studio nel 1993 è stato condotto da Wright su auto sportive. In questo caso, essendo le auto molto performanti, si ha un comportamento diverso. All'aumentare della velocità aumenta l'accelerazione laterale. Da 60 mph a 180 mph la soglia aumenta da 1,58g a 4,58 g, in maniera inferiore ad una legge quadratica (come prevede la formula teorica dell'accelerazione laterale nel moto circolare). Anche le decelerazioni aumentano all'aumentare della velocità mentre le accelerazioni longitudinali diminuiscono così come avviene per le autovetture comuni. In figura 3.15 è riportato un rilievo sul circuito di Silverstone in condizioni asciutte relativo ad un

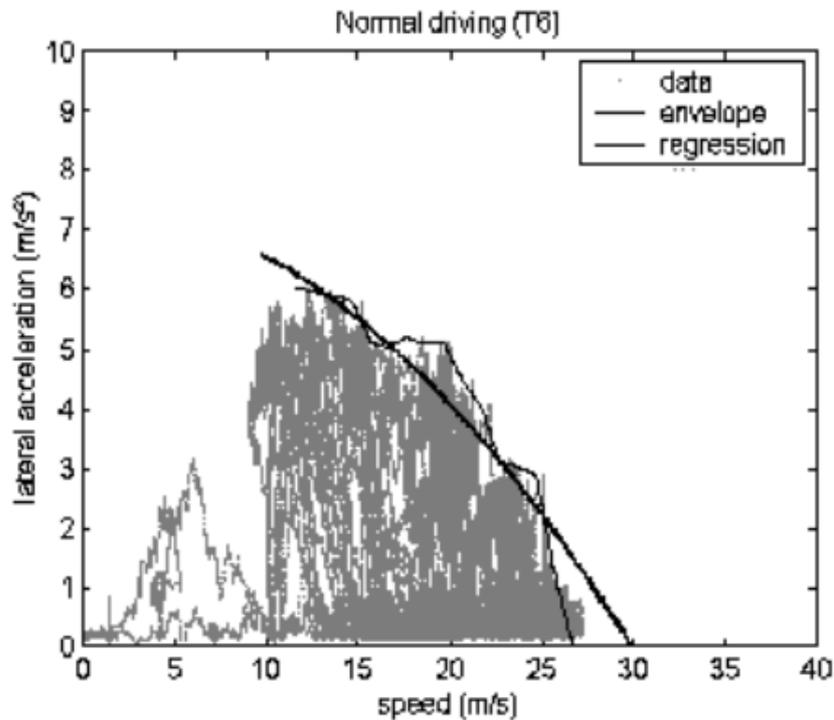
giro di qualifica (quindi quando le prestazioni vengono sfruttate completamente portando l'autovettura al limite). Il pilota alla guida era Herbert del team Lotus.



**Figura 3.15: RILIEVO SUL CIRCUITO DI SILVERSTONE – HERBERT, 1993**

Anche negli ultimi anni, molti ricercatori si sono concentrati sulla relazione tra velocità e accelerazioni. Ad esempio, Reymond et al. (2001) ha proposto un modello di comportamento di guida che tiene conto sia della stima della massima accelerazione laterale. Essi hanno dimostrato, che nelle curve la massima accelerazione laterale diminuisce in modo quadratico con la velocità di guida. La velocità del veicolo e l'accelerazione laterale sono state registrate su un veicolo, dotato di una serie di accelerometri ad alta precisione, giroscopi e sensori di velocità ottica, durante una prova reale su strada. Anche da un'analisi al simulatore di guida è stata estratta una curva di massima accelerazione laterale. L'andamento è riportato

in figura 3.16. Come si può notare l'andamento è decrescente all'aumentare della velocità.

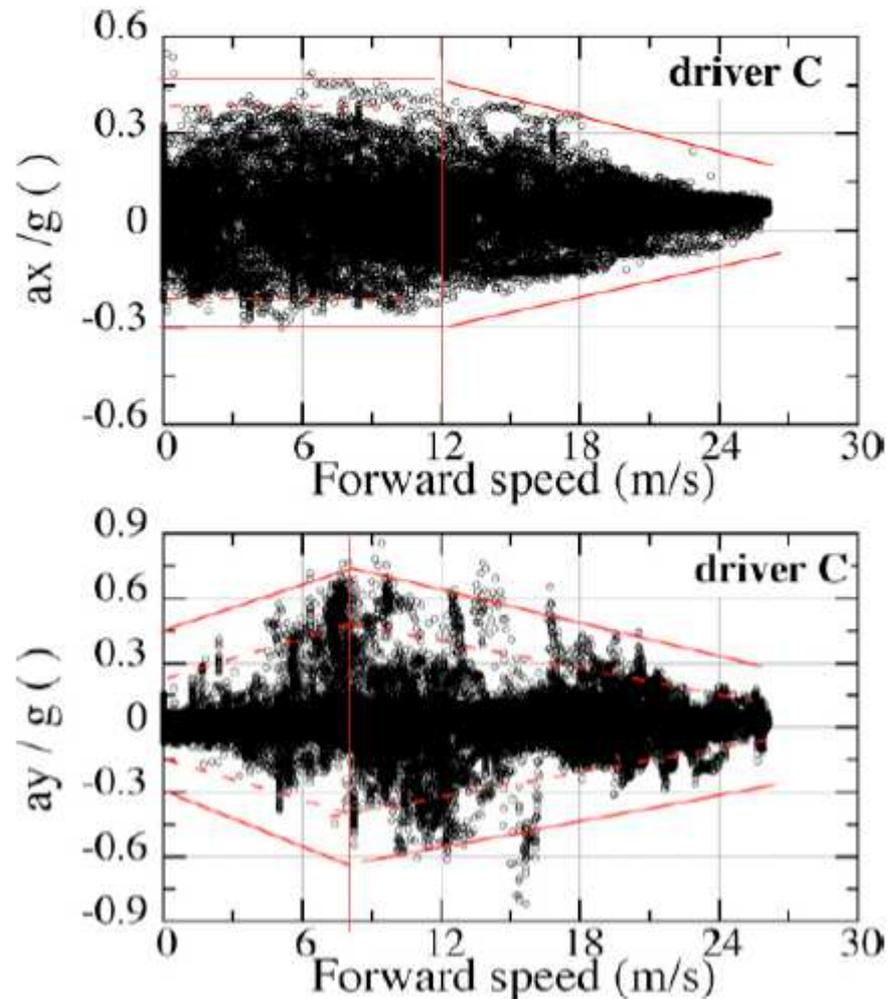


**Figura 3.16: ANDAMENTO DELL'ACCELERAZIONE LATERALE CON LA VELOCITA' SECONDO REYMOND**

Wang et al. (2004) hanno raccolto una serie di dati, su intersezione regolate da stop per diverse strade, per analizzare il tasso di accelerazione di diversi veicoli usando il GPS, e hanno trovato che la massima accelerazione longitudinale decresce all'aumentare della velocità. Questa riduzione non segue una legge lineare ma gli autori suggeriscono che un modello polinomiale è più appropriato. Inoltre hanno notato che l'andamento dell'accelerazione longitudinale è simile sia per le manovre di svolta che per quelle di attraversamento quando i *driver* ripartono dallo stop. Sono stati proposti due modelli: uno per le manovre di attraversamento dell'intersezione e uno per le manovre di svolta.

Da Lio et al. (2005) hanno trovato le relazioni tra le componenti di accelerazione e la velocità. A partire da dati empirici, hanno osservato che l'accelerazione longitudinale massima varia con la velocità: a basse velocità essa è costante e poi diminuisce

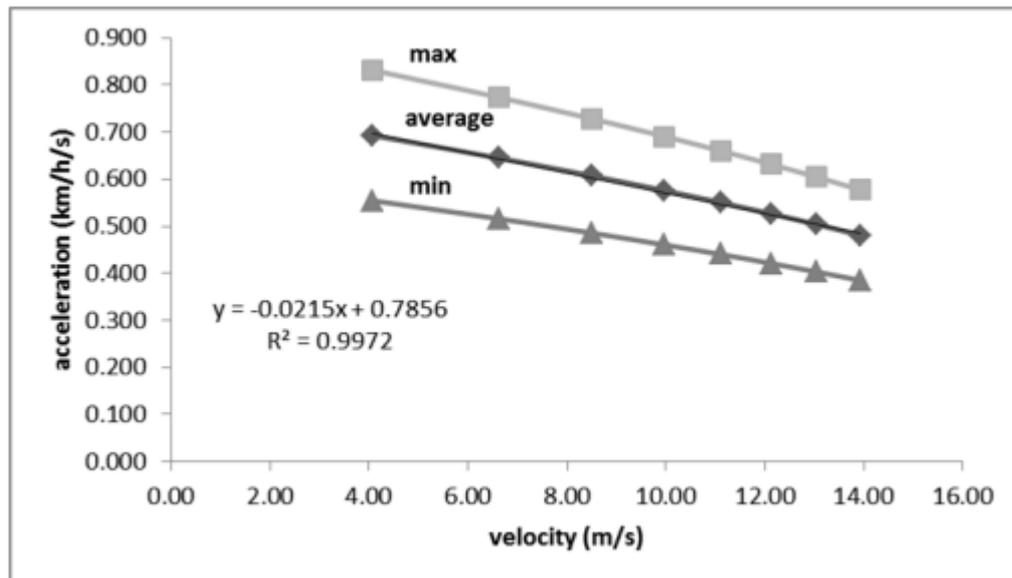
linearmente con la velocità. Diversamente, l'accelerazione laterale massima aumenta in una prima fase e poi diminuisce linearmente con velocità (figura 3.17).



**Figura 3.17: ANDAMENTO DELLA ACCELERAZIONE LONGITUDINALE E TRASVERSALE CON LA VELOCITA' SECONDO DA LIO**

Brooks (2012) ha studiato le relazioni tra accelerazione longitudinale e velocità durante le manovre di sorpasso. Secondo l'autore le due grandezze sono inversamente proporzionali secondo una legge lineare (figura 3.18). I risultati sono stati ottenuti sulla base di dati sperimentali ottenuti su differenti tipologie di veicoli (autovetture, SUV, motociclette, bus e camion). Le massime accelerazioni longitudinali sono state ottenute per i SUV mentre le minime per i bus.

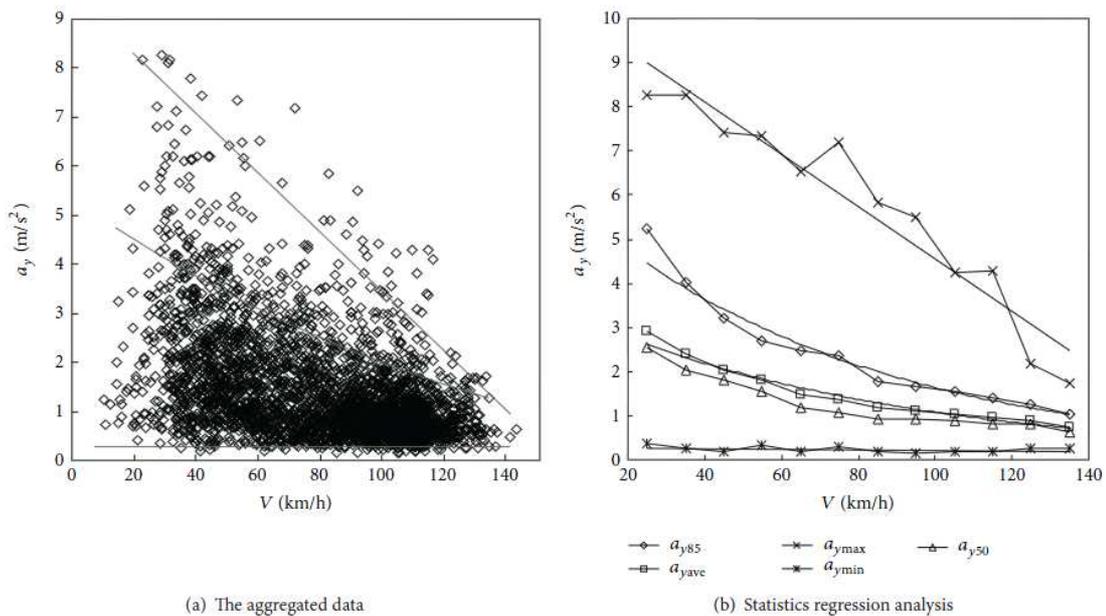
Zeeman e Booyesen (2013) hanno proposto un modello che combina velocità e accelerazione laterale per rilevare le condizioni di guida imprudente nel trasporto pubblico. Gli autori considerano una soglia laterale basata su regole di progettazione e una soglia longitudinale costante basata su studi presenti in letteratura.



**Figura 3.18: RELAZIONE TRA ACCELERAZIONE LONGITUDINALE E VELOCITA' DURANTE LE MANOVRE DI SORPASSO**

Mehar et al. (2013) hanno misurato l'accelerazione longitudinale massima e media a diverse velocità per differenti tipi di veicoli e per due tipi di strada (a 4 corsie e a 6 corsie). Secondo le loro analisi, l'accelerazione media decresce in maniera esponenziale all'aumentare della velocità, mentre l'accelerazione minima decresce linearmente con la velocità.

Infine, Xu et al. (2015) hanno trovato che l'accelerazione laterale dipende dalla velocità di guida e dalla traiettoria, soprattutto in curva. In particolare, hanno analizzato la legge che lega le due grandezze cinematiche sulla base di dati sperimentali registrati su 12 strade con differenti topografie e velocità di progetto. Dai risultati è emerso che l'accelerazione laterale e la velocità del veicolo sono negativamente correlate. Le relazioni sono state trovate sulla base dei dati raccolti su 3 tipi di strada e costruendo dei diagrammi a dispersione. Infine hanno determinato un unico diagramma, da cui è stato possibile determinare le leggi dell'accelerazione minima, media e massima (figura 3.19).



**Figura 3.19: ANDAMENTO DELL'ACCELERAZIONE LATERALE CON LA VELOCITA' SECONDO XU**

L'analisi approfondita degli studi presenti in letteratura ha permesso di mettere in evidenza un aspetto molto importante: l'accelerazione di un veicolo stradale diminuisce all'aumentare della velocità, indipendentemente dal tipo di relazione matematica (costante, lineare, quadratica, polinomiale o a due fasi).

Tuttavia emergono due principali questioni critiche:

1. La relazione tra accelerazione e velocità è stata analizzata, negli studi precedenti, considerando solo una componente del vettore accelerazione (gli studi analizzano l'andamento della componente laterale in funzione della velocità e di quella longitudinale in funzione della velocità).  
Nessuno studio ha analizzato come variano contemporaneamente queste due componenti al variare della velocità.
2. Nella maggior parte degli studi, gli autori hanno sviluppato diversi modelli di accelerazione basati su dati obsoleti e limitati, per cui le loro conclusioni potrebbero non essere applicabili per i veicoli e i conducenti attuali.

Di conseguenza, al fine di colmare queste lacune è necessario proporre una relazione più accurata tra accelerazione e velocità, che deve essere convalidata attraverso un'elevata quantità di dati relativi a valori istantanei di accelerazioni e velocità registrate attraverso prove reali sulla strada.

### 3.4.6 Relazione tra indicatori soggettivi e oggettivi.

Gli studi di autovalutazione forniscono dei giudizi soggettivi e non oggettivi come quelli forniti dall'acquisizione di indicatori osservati. Un problema interessante, che si sono posti i ricercatori, è capire come questi giudizi soggettivi rispecchiano le grandezze osservate.

West, France, Kemp e Elander (1993) hanno analizzato le correlazioni tra i dati rilevati da osservatori presenti a bordo del veicolo (registrati in maniera oggettiva) e i comportamenti dichiarati mediante il DSQ. Gli autori hanno trovato elevati valori di correlazione per la velocità (correlazione di Pearson tra i 0,55 e 0,65), significativi ma moderati valori di correlazione per la calma (0,39-.0,41), l'attenzione (0,29) e la prudenza (.38).

Amado, Arikan, Kaca, Koyuncu e Turkan (2014) hanno confrontato gli errori e le violazioni valutate da osservatori esperti a bordo dei veicoli con quelle dichiarate dai partecipanti. Gli autori hanno riportato correlazioni significative ma basse tra le autovalutazioni dei *driver* e alcune delle violazioni e degli errori osservati: errori di velocità ( $r = 0,24$ ), errori di attraversamenti al semaforo (0,33), errori nella fase di frenatura (0,33). In ogni caso, i *driver* hanno generalmente sovrastimato le loro capacità di guida.

Ishibashi et al. (2007) hanno trovato correlazioni significative tra alcuni dei fattori del loro questionario sullo stile di guida e lo stile di guida osservato tramite parametri ricavati da strumentazioni installate sul veicolo. Le correlazioni più elevate sono state riscontrate con l'azionamento del pedale del gas e del freno. Ad esempio, "l'impazienza alla guida" era legata ad un elevato numero di volte in cui veniva azionato il pedale del freno e dell'acceleratore ( $r = 0,50$ ) e ad una ridotta distanza dal veicolo che precede ( $r = .66$ ).

Farah, Bekhor, Polus e Toledo (2009) hanno scoperto che i punteggi elevati sulla scala MDSI Angry and Hostile Driving Style erano significativamente correlati sia a velocità elevate ( $r = 0,32$ ) che a più bassi intervalli temporali disponibili per effettuare il sorpasso ( $r = -0,20$ ). Più recentemente, Helman e Reed (2015) hanno riportato correlazioni che vanno da 0,38 a 0,48 tra le violazioni dichiarate nel DBQ e la velocità misurata in un simulatore di guida.

Verster and Roth (2012) hanno studiato la correlazione tra lo stile di guida dichiarato e quello osservato tramite la deviazione standard della posizione laterale del veicolo. Dai risultati è emerso che vi è una buona correlazione tra la misura soggettiva e quella oggettiva dello stile di guida ( $r=0,48$ ).

Nonostante i *driver* tendano a sovrastimare le loro capacità alla guida e a sottostimare il rischio di incidente, nonostante i giudizi di tipo self-reported possano essere influenzati dalla tendenza a rispondere secondo quanto socialmente desiderabile (Crowne & Marlowe, 1960; Lajunen et al., 1997), le correlazioni con i giudizi soggettivi dimostrano che i questionari ad autovalutazione possono avere un ruolo fondamentale nello studio degli stili di guida.

### **3.4.7 Relazione tra stile di guida e rischio incidenti**

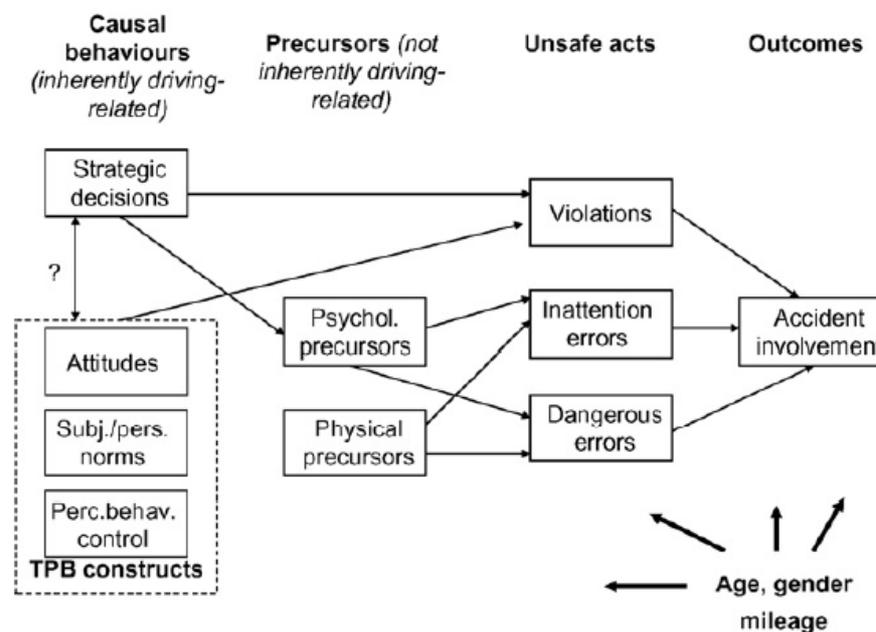
Secondo la World Health Organization (WHO, 2015) i morti nel mondo nel 2015 sono stati 1,24 milioni e la maggior parte degli incidenti stradali è dovuta al comportamento inadeguato del *driver*. Secondo Petridou et al. (2001) l'uomo è causa o concausa di incidente in circa il 90% dei casi. La guida su strada, nell'ottica della sicurezza stradale, rappresenta un problema attuale e sempre più crescente. Il contributo del comportamento umano nel verificarsi di un incidente risulta di particolare interesse per i ricercatori.

L'idea che un incidente stradale sia preceduto da comportamenti poco sicuri del *driver* e da cause più remote e lontane dal punto in cui si è verificato l'incidente è sostenuta da Wagenaar e Reason (1990) e da Reason (1997). Il modello di Reason che descrive le cause dell'incidente è stato sviluppato principalmente per capire come si verifica un sinistro stradale.

In questo modello le azioni non sicure vengono chiamate "active failure", intesi come comportamenti di guida non ottimali, come errori e violazioni. Le cause più remote di un incidente sono chiamate "latent failure" o "causal Behaviours", di solito intesi come cattiva gestione delle decisioni e/o carenze nel sistema stradale (ad esempio cattiva progettazione stradale). I latent failure possono provocare active failure se esistono alcune condizioni psicologiche precarie, dette "psychological precursor". Esempi di tali precursori sono la disattenzione e lo stress. Essi possono

essere correlati o causati da latent failure ma possono anche essere causati da altri fattori che non hanno nulla a che vedere con le decisioni o con il sistema in esame (ad esempio affaticamento dovuto alla mancanza di sonno o depressione causata da problemi personali).

Sulla base del modello di Reason, Vershuur e Hurts (2008) hanno sviluppato un modello molto simile, chiamato *safety-related driver behaviour*, che è riportato in figura 3.20.



**Figura 3.20: IL SAFETY-RELATED DRIVER BEHAVIOUR MODEL PROPOSTO DA VERSHURER E HURTS (2008)**

Tale modello serve, inoltre, per spiegare i comportamenti di guida sicuri. Il risultato ultimo del modello è il coinvolgimento in incidenti stradali. L'obiettivo è quello di individuare i comportamenti che portano al verificarsi di un incidente, al fine di evitare che si verifichino tramite lo sviluppo di futuri programmi di intervento.

Il coinvolgimento in incidenti stradali è preceduto dalle azioni non sicure (rilevate in genere tramite DBQ) e che sono raggruppate in tre tipologie di comportamento: Violazioni, errori pericolosi e errori dovuti alla distrazione.

Nel modello sono presenti due tipologie di precursori che rappresentano i comportamenti o le caratteristiche che precedono un comportamento non sicuro e non, intrinsecamente, legati alla guida:

- Precursori psicologici: si riferiscono allo stato psicologico temporaneo del conducente durante la guida (influenza dell'alcol, stanchezza e così via). Non tutti gli aspetti di questo stato possono essere controllati dal *driver* cioè il *driver* non è completamente cosciente del suo stato. Tuttavia, gli autori suppongono che il *driver* sia sempre a conoscenza di questo stato durante la guida e dichiarano che i precursori psicologici aumentano la probabilità che si verifichino errori di inattenzione e errori pericolosi (soprattutto senza consapevolezza del conducente), ma non quella che si verifichino violazioni (che sono più intenzionali). Questi precursori sono influenzati dalle scelte strategiche.
- Precursori fisici: si riferiscono allo stato (pio o meno) fisico e psicologico permanente del conducente durante la guida. Anche in questo caso, non tutti gli aspetti di questo stato possono essere sotto il controllo del conducente, ma gli autori suppongono che il guidatore sia sempre al corrente di questo stato durante la guida. Così come per i precursori psicologici, secondo gli autori i precursori fisici influenzano il verificarsi di errori di disattenzione e di errori pericolosi, ma non il verificarsi delle violazioni.

Nel modello gli autori considerano due tipologie di Causal Behaviour:

- Scelte strategiche: sono le scelte effettuate dal *driver* poco prima di effettuare uno spostamento. Esempi sono la scelta dell'orario di partenza o la scelta del percorso.
- Attitudini, norme soggettive/personali e controllo comportamentale percepito (presi dalla teoria del comportamento pianificato di Ajzen, 1991) sono raggruppate nel costrutto chiamato TPB (Theory of Planned Behaviour). Secondo gli autori queste caratteristiche influenzano la frequenza delle violazioni. Gli autori non sono certi del fatto che questo costrutto sia in relazione con le decisioni strategiche (per tale motivo in figura è presente un punto interrogativo).

Gli autori con questo modello riescono a spiegare la relazione tra lo stile di guida del *driver* (dipendente da stato fisico ed emotivo, dalle attitudini e dalle scelte strategiche del *driver*) e il coinvolgimento negli incidenti stradali.

Comunque, la maggior parte degli studi presenti in letteratura, centrati sullo studio della relazione tra stile di guida e incidentalità, ha confrontato gli stili di guida di diversi gruppi di *driver* con diverse esperienze dal punto di vista del coinvolgimento nei sinistri stradali. Questi studi cercano di sottolineare quali sono i comportamenti che in maggior misura possono influenzare il verificarsi dell'evento temuto.

Wasieleski (1984) registrando le velocità di 6.638 autovetture ha trovato che esse sono strettamente legate al numero di incidenti in cui sono stati coinvolti i *driver*. West et al. (1990) hanno trovato correlazioni positive tra il coinvolgimento in incidenti negli ultimi 3 anni e la velocità rilevata su un campione di 48 *driver*. Gli autori hanno trovato una correlazione tra 0,37 e 0,47 per diversi indicatori basati sulla velocità.

Utilizzando i dati provenienti da 711 *driver*, French et al. (1993) hanno dimostrato che la velocità e le anomalie durante la guida erano associate al rischio incidente. Anche secondo Elander et al. (1993) la velocità e i comportamenti pericolosi sono associati a probabilità più alte di essere coinvolte in incidenti stradali.

Recentemente Af Wählberg (2006) ha confrontato diversi indicatori di velocità e riferiti ad autisti di autobus. Questi indicatori sono stati messi in relazione con il coinvolgimento in incidenti stradali. L'attrezzatura per la registrazione dei dati è stata installata su una flotta di autobus e le velocità e le accelerazioni sono state registrate per quasi 3 anni. Sono stati osservati circa 250 *driver* che hanno percorso mediamente 3 corse ciascuno. L'autore ha concluso che "il celeration behaviour" (un indice basato sull'accelerazione e la decelerazione) rappresenta il miglior predittore del coinvolgimento in incidenti stradali ed è migliore rispetto ad altri indicatori basati su velocità. Tuttavia, l'autore sottolinea che questa conclusione deve essere presa con grande cautela, perché la differenza tra la questa grandezza e altri indicatori basati sulla velocità non risulta molto elevata. Inoltre, durante l'indagine le velocità

massime registrate non superavano i 65 km/h e ciò potrebbe aver attenuato la correlazione tra il coinvolgimento in incidenti e indicatori basati sulla velocità.

Utilizzando lo stesso indice di "celerazione", Katsianis, Eliou e Iliadou (2013) hanno trovato una correlazione ( $r = 0,39$ ) con gli incidenti dichiarati e una correlazione significativa di 0,71 tra "il tempo di accelerazione" (su strada urbana) e incidenti per chilometri percorsi.

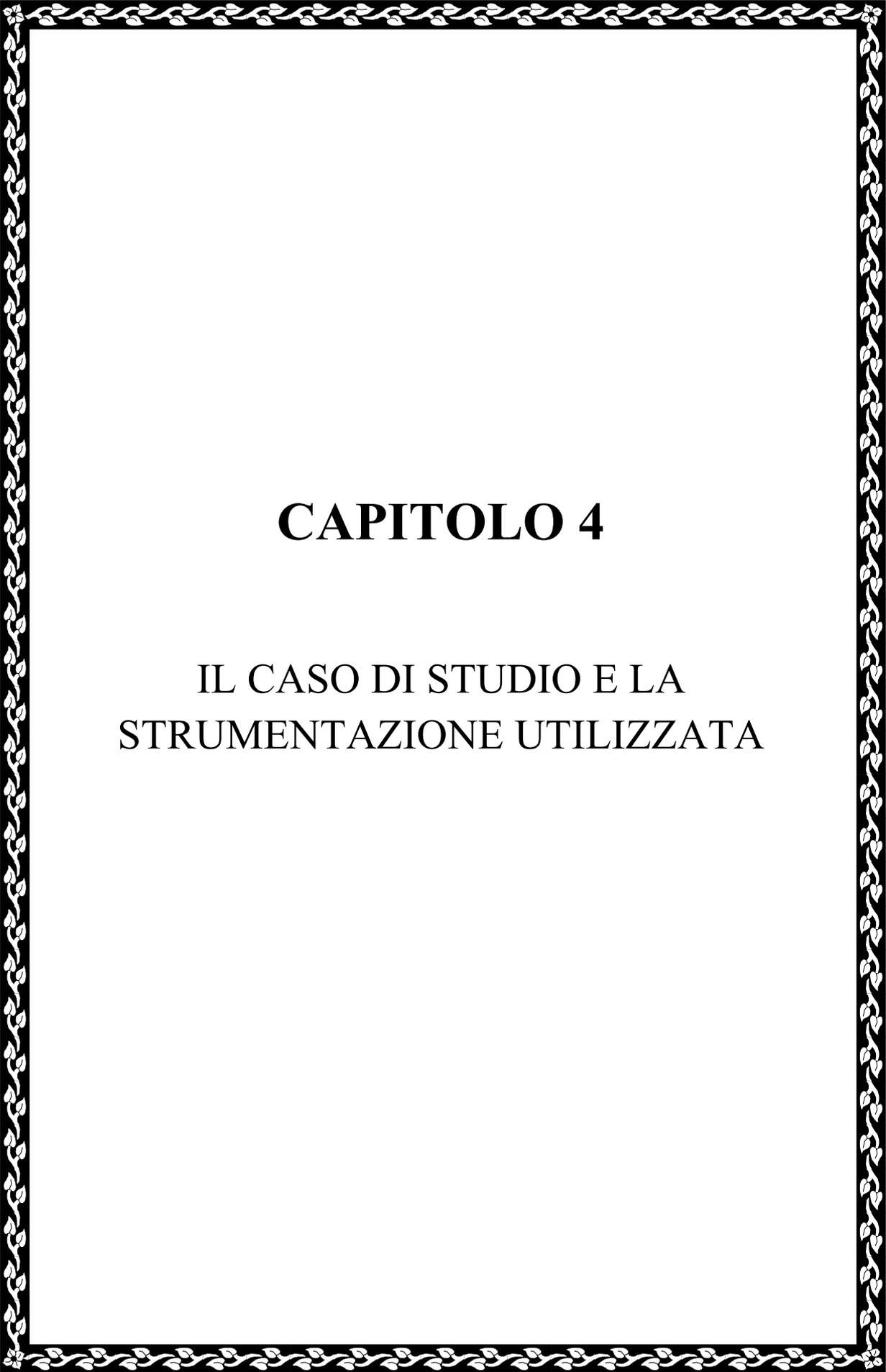
Per quanto riguarda la relazione tra il coinvolgimento in incidenti e gli errori o le violazioni abituali, de Winter e Dodou (2010) hanno effettuato un'analisi utilizzando il DBQ e hanno trovato significative, ma basse correlazioni con il coinvolgimento in incidenti sia per errori e che per violazioni alla guida. Le correlazioni erano leggermente più alte per le violazioni che per gli errori.

Junger, West e Timman (2001) hanno scoperto che i *driver* coinvolti in incidenti avevano una probabilità di commettere violazioni alla guida 5 volte più alta rispetto ai *driver* mai coinvolti in incidenti.

Turetschek (2006) ha effettuato un'indagine per valutare come il comportamento alla guida, valutato attraverso la "Wiener Fahrprobe" (tecnica per valutare il rischio alla guida), fosse correlato a singoli incidenti e ai tipi di incidenti in 51 tratti stradali lungo un percorso standardizzato. I risultati hanno mostrato correlazioni significative e moderatamente elevate tra i gli incidenti e alcuni comportamenti valutati dagli osservatori. Le due più alte correlazioni positive con il coinvolgimento in incidenti in passato sono state trovate con "superare i limiti di velocità" ( $r = 0,35$ ) e "mantenere una distanza troppo breve dal veicolo che precede" ( $r = 0,33$ ). Sono state trovate correlazioni negative (indicanti un effetto protettivo) con "le velocità che non superano i limiti legali e comunque ben adattati alla situazione" ( $r = -0,40$ ) e "decelerazione iniziale ogniqualvolta la decelerazione diventa necessaria" ( $r = -0,24$ ). Secondo Elvik, Høyve, Vaa e Sørensen (2009) avere uno stile di guida prudente riduce il rischio di incidente di circa il 20%. Questa è una chiara evidenza della relazione che vi è tra lo stile di guida e il rischio incidenti.

Gli studi fin ora discussi mostrano chiaramente che lo stile di guida influenza la probabilità di essere coinvolti in un incidente. Da questi studi si evince che uno stile di guida caratterizzato da frequenti e brusche accelerazioni e decelerazioni è legato ad una probabilità più elevata di essere coinvolti in incidente stradale. Per questo

motivo è necessario classificare gli stili di guida su un continuum che va da basso ad alto livello di rischio. In questo contesto risultano fondamentali gli studi naturalistici della guida. Un approccio recente, semplice e innovativo sta utilizzando la tecnologia smartphone per l'acquisizione di una grande quantità di dati in ambienti naturalistici.



# **CAPITOLO 4**

**IL CASO DI STUDIO E LA  
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

## 4. IL CASO DI STUDIO E LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

### 4.1 I CONDUCENTI DELLE AUTOVETTURE

Il campione di *driver* è composto da 14 *driver* che hanno un'età compresa tra i 25 e i 50 anni. La maggior parte dei conducenti è di sesso maschile: 3 *driver* sono di sesso femminile (21,43%) e 11 (78,57%) di sesso maschile.

DRIVER	SESSO
1	F
2	F
3	M
4	M
5	M
6	M
7	M
8	M
9	M
10	M
11	F
12	M
13	M
14	M

Tabella 4.1: DISTRIBUZIONE DEI CONDUCENTI DELLE AUTOVETTURE PER SESSO

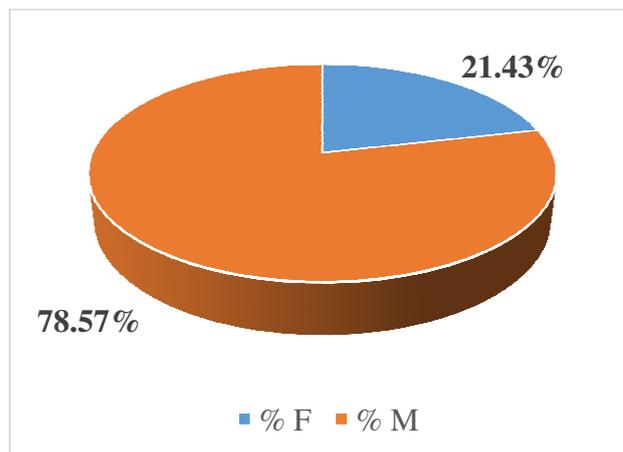
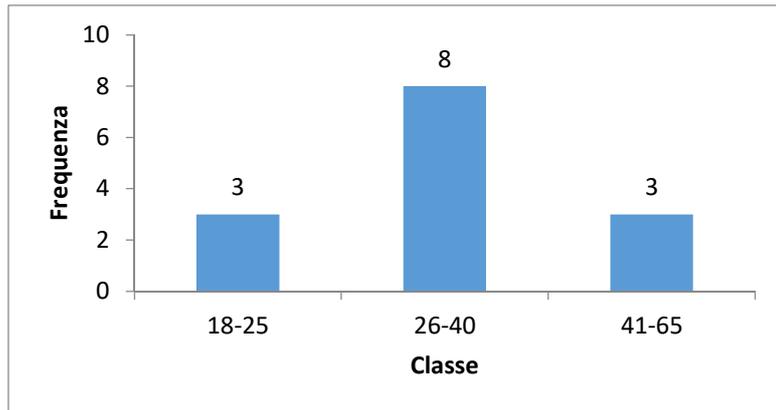


Figura 4.1: DISTRIBUZIONE DEI DRIVER PER SESSO

Per quanto riguarda l'età, il 57% degli utenti coinvolti nell'indagine sperimentale è compreso nella fascia di età tra i 26 e i 40 anni.



**Figura 4.1: DISTRIBUZIONE DEI DRIVER PER ETÀ'**

I *driver* possono essere raggruppati in 3 categorie:

- Il primo gruppo è costituito da 4 esperti nel settore dell'ingegneria dei trasporti, due maschi e due femmine, che conoscono molto bene gli obiettivi della ricerca e la metodologia proposta (*driver* n° 1,2,8,11). Tuttavia, come partecipanti, diventano semplici conducenti che viaggiano con le loro auto da casa al loro posto di lavoro. La scelta di essere componenti del campione nasce dalla volontà di testare l'indagine e di sperimentare personalmente il lavoro previsto;
- Il secondo gruppo è composto da funzionari di polizia stradale, che lavorano da molto tempo e che quindi possono essere considerati *driver* con un elevato livello di esperienza (*driver* n° 3,4);
- Il terzo gruppo è composto da tesisti, laureandi e studenti della laurea specialistica in ingegneria civile - settore trasporti (*driver* n° 5,6,7,9,10,11,12,13,14).

Ciascun *driver* ha percorso lo stesso percorso più volte al fine di collezionare diversi stili di guida e diversi stati fisici ed emotivi.

Le differenze di età, di sesso e di esperienza alla guida sono state trattate come effetti casuali e non sono state considerate in questa ricerca perché la limitata numerosità dei partecipanti non consente di avere un campione statisticamente significativo per altre analisi specifiche.

## 4.2 I TRACCIATI ANALIZZATI

L'indagine sperimentale è stata condotta su 3 tipologie di tracciato:

- Strade urbane;
- Strade extraurbane;
- Autostrade.

In particolare sono stati considerati 2 percorsi urbani, 5 percorsi extraurbani e 3 percorsi autostradali.

Tutti i tracciati ricadono nel territorio calabrese ed in particolare nella provincia di Cosenza, ad eccezione di uno che ricade nella provincia di Crotone.

La tabella 4.2 riporta il nome della strada e alcune caratteristiche.

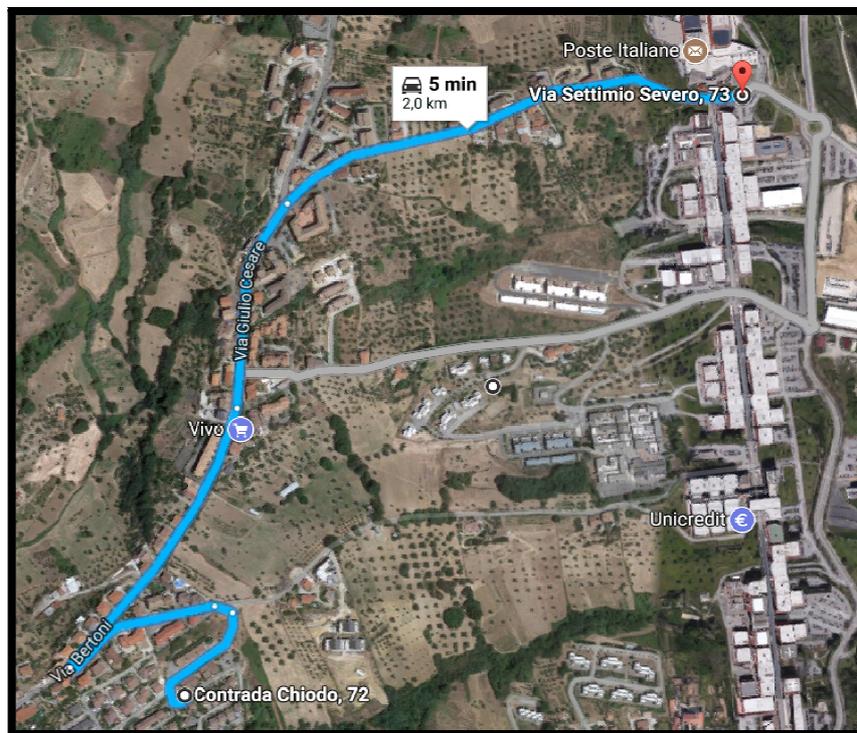
<b>ID PERCORSO</b>	<b>TIPO STRADA</b>	<b>NOME STRADA</b>	<b>LUNGHEZZA [km]</b>	<b>LARGHEZZA CORSIA [m]</b>
<b>1</b>	URBANA	Settimio Severo	2	3
<b>2</b>	URBANA	Svezia	5	3,25
<b>3</b>	EXTRAURBANA	S.S. 107 km 20-25	7	3,5
<b>4</b>	EXTRAURBANA	S.S. 107 km 20-27	5,2	3,5
<b>5</b>	EXTRAURBANA	S.S. 18 km 323-318	5,3	3,5
<b>6</b>	EXTRAURBANA	SP86	14,5	3-3,5
<b>7</b>	EXTRAURBANA	S.S. 107 bis	8	3,25
<b>8</b>	AUTOSTRADA	A2 km 253-258	5,5	3,75
<b>9</b>	AUTOSTRADA	A2 km 253-273	19,7	3,75
<b>10</b>	AUTOSTRADA	A2 km 235-254	19	3,75

**Tabella 4.2: I TRACCIATI ANALIZZATI**

## VIA SETTIMIO SEVERO

Il tracciato stradale denominato “Settimio Severo” si trova nell’area del campus dell’Università della Calabria, appartenente al comune di Rende (Cosenza). Il tratto analizzato ha una lunghezza di 2 km e interessa via Settimio Severo, via Giulio Cesare e via Bertoni (figura 4.3).

In particolare, il tracciato è caratterizzato da un notevole numero di accessi laterali, da una pavimentazione con irregolarità diffuse (buche, ormaie, sgranamenti superficiali), e da una velocità limite di 50 km/h.



**Figura 3: TRACCIATO STRADALE DENOMINATO SETTIMIO SEVERO**

Da un punto di vista planimetrico il tracciato preso in considerazione presenta un andamento molto discontinuo, con tratti della carreggiata molto stretti. La sezione stradale, in corrispondenza di tali tratti, appare in alcuni punti irregolare per via di fenomeni franosi che ne hanno modificato la geometria. Dal punto di vista altimetrico il tratto presenta notevoli pendenze, con dei brevi tratti in pianura. Considerando la direzione Sud-Nord, la pendenza media in salita è del 6,3% e quella

massima è del 25,9% mentre in discesa la pendenza media è del -5,7% e la massima del -22,1%. Il profilo altimetrico del tracciato analizzato è riportato in figura 4.4.



**Figura 4.4: PROFILO ALTIMETRICO DEL TRACCIATO DENOMINATO SETTIMIO SEVERO**

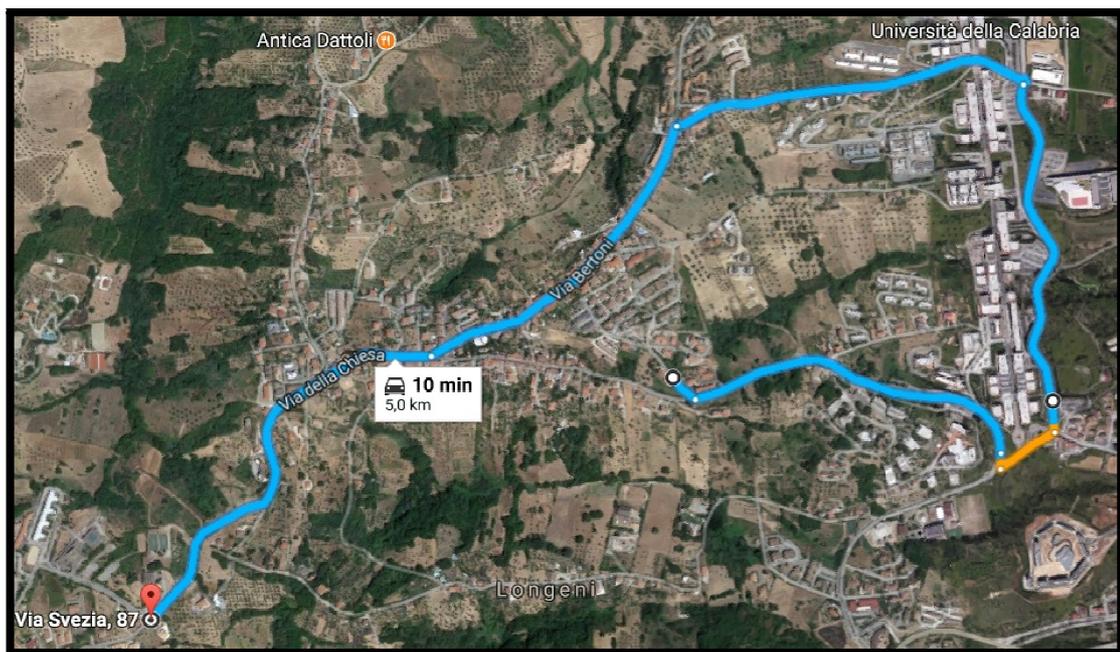
La figura 4.5 riporta due sezioni del tracciato.



**Figura 4.5: SEZIONI STRADALI DEL TRACCIATO SETTIMIO SEVERO**

## VIA SVEZIA

Anche il tracciato stradale denominato “Via Svezia” in questo lavoro di tesi ricade nell’area del campus dell’Università della Calabria, appartenente al comune di Rende (Cosenza), ed ha uno sviluppo urbano di circa 5 Km (figura 4.6). Tale tracciato si sovrappone in gran parte al tracciato “Settimio Severo”. Si estende però anche su via della Chiesa e via Svezia oltre che su via Rosario Salerno.



**Figura 4.6: TRACCIATO STRADALE DENOMINATO VIA SVEZIA**

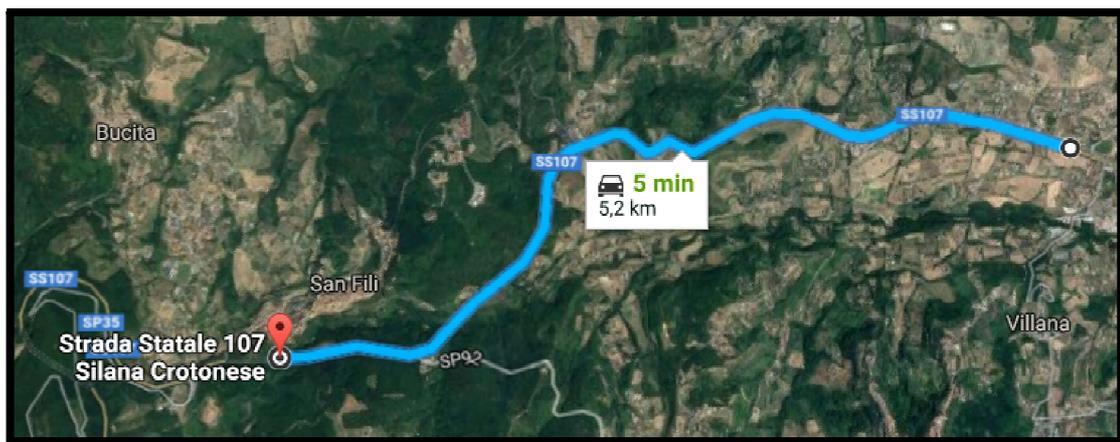
La figura 4.7 riporta due sezioni del tracciato denominato “via Svezia”



**Figura 4.7: SEZIONI STRADALI DI VIA SVEZIA**

### S.S. 107 – km 20-25

Il terzo tracciato ricade sulla strada statale n°107 (S.S. 107), che è la strada che collega la costa tirrenica calabrese con quella ionica. Il segmento analizzato ha una lunghezza di 5,2 km ed è costituito da un'unica carreggiata e da due corsie di 3,5 m di larghezza, una per ogni senso di marcia (figura 4.8).



**Figura 4.8: TRACCIATO STRADALE SS 107 - km 20-25**

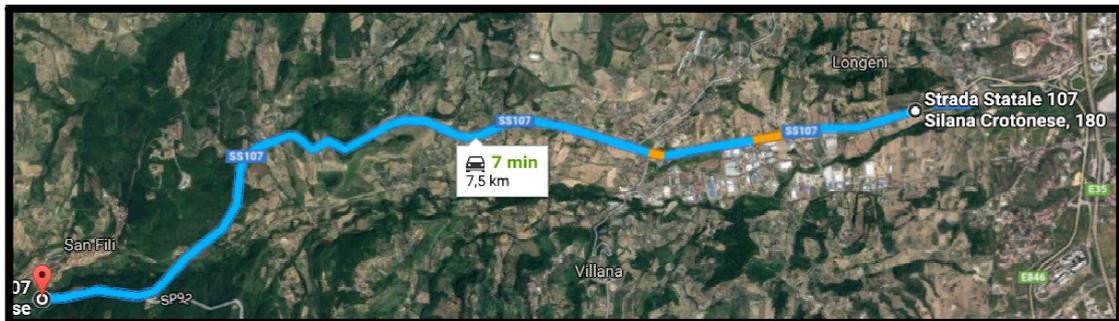
Nelle figure 4.9 sono riportate le sezioni trasversali del tracciato 3.



**Figura 4.9: SEZIONI STRADALI DELLA S.S. 107 km20-25**

### S.S. 107 – km 20-27

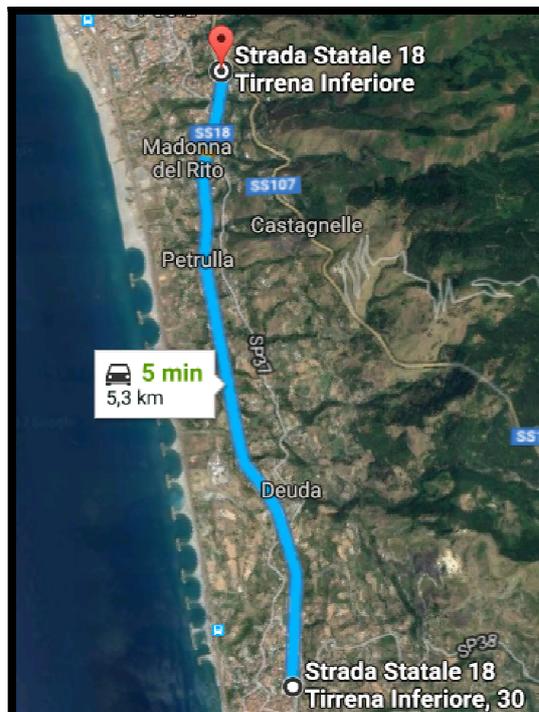
Il tracciato identificato con l'ID n°4 presenta le stesse caratteristiche del tracciato 3. Si differenzia da quest'ultimo per il fatto che si estende più a est per circa 2 km quindi presenta una lunghezza di 7 km (figura 4.10).



**Figura 4.10: TRACCIATO STRADALE S.S. 107 km 20-27**

### S.S. 18 – km 323-318

Il tracciato identificato con l'ID n° 5 è un tratto della S.S. 18 che è una strada che collega la Campania con la Calabria e che si trova sulla fascia tirrenica. Il segmento analizzato ha una lunghezza di 5 km e si trova tra il km 323 e il km 318 (figura 4.11). È costituito da un'unica carreggiata a due corsie di larghezza pari a 3,5 m.



**Figura 4.11: TRACCIATO STRADALE S.S. 18 km 323-318**

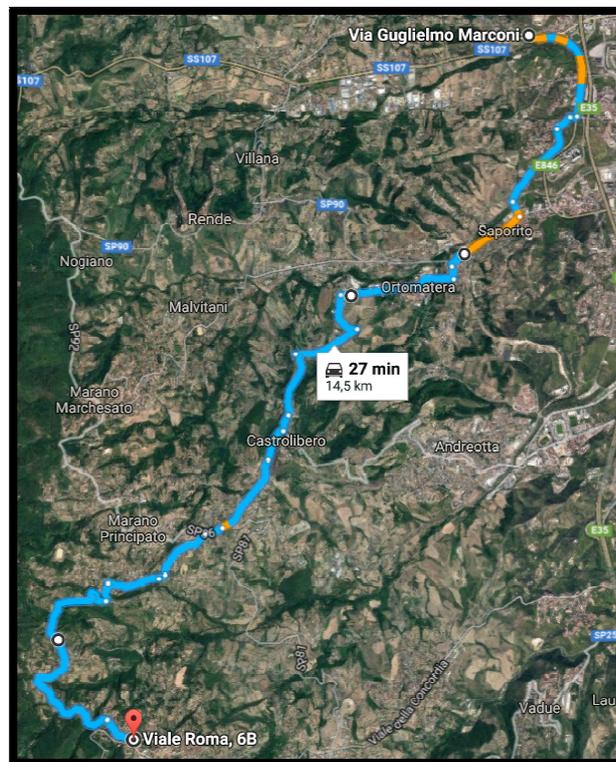
Alcune sezioni del tracciato sono riportate in figura 4.12.



**Figura 4.12: SEZIONI DEL TRACCIATO STRADALE S.S. 18**

S.P. 86– km 16-29

Si tratta di circa 15 km di strada che partono da viale Roma del comune di Cerisano (CS) e arrivano a via Guglielmo Marconi a Rende (CS). Il segmento analizzato attraversa i centri urbani di Marano Principato, Castrolibero, di Ortomatera (frazione di Castrolibero) e Saporito (frazione di Rende). I primi 13 km del percorso appartengono alla strada provinciale n°86 (dal km 16 al km 29) mentre la restante parte ricade sulla strada E846 (figura 4.13).



**Figura 4.13: TRACCIATO STRADALE S.P. 86**

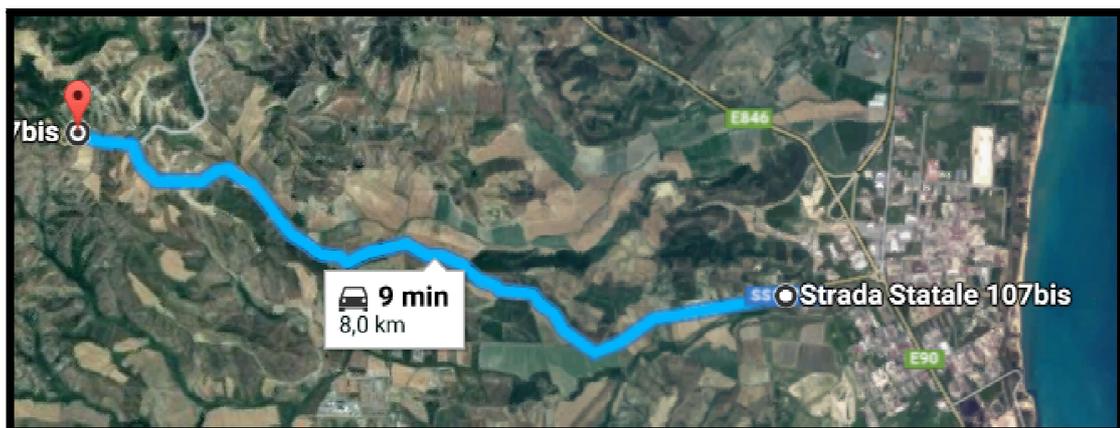
La figura riporta una sezione della S.P.86 e una sezione della E846. Le corsie della S.P. 86 hanno larghezza di 3,25 metri mentre quella della E846 di 3,5 metri (figura 4.14).



**Figura 4.14: SEZIONE STRADALE DELLA S.P. 86 E DELLA E846**

#### S.S 107 bis – km 173-181

Questo segmento stradale è l'unico che si trova al di fuori della provincia di Cosenza. In particolare si trova nel territorio di Crotona e appartiene alla strada statale n° 107 bis che con i suoi 41 km rappresenta la seconda infrastruttura più lunga della provincia di Crotona. L'attenzione è ricaduta su un segmento di circa 8 km che va dal km 173 al km 181 (figura 4.15).



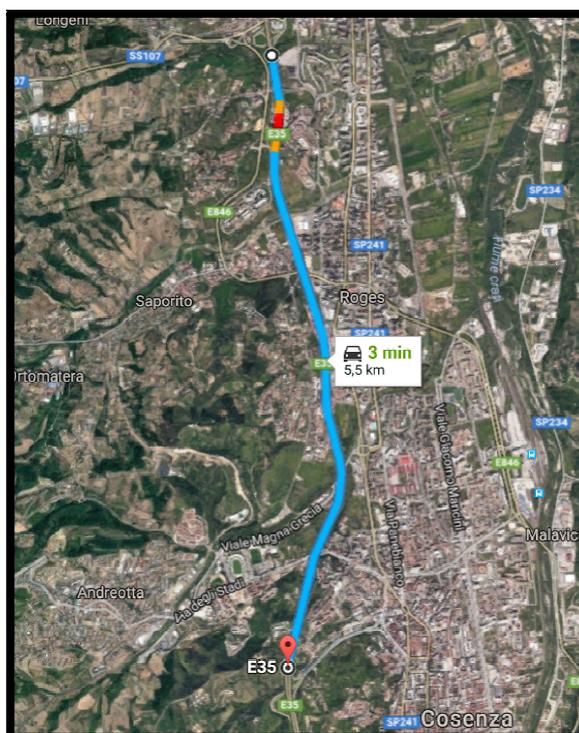
**Figura 4.15: TRACCIATO STRADALE S.S. 107 bis km 173-181**

Si tratta di un tracciato stradale ad unica carreggiata e a due corsie di 3,25 metri (figura 4.16).



#### A2 – km 253-258

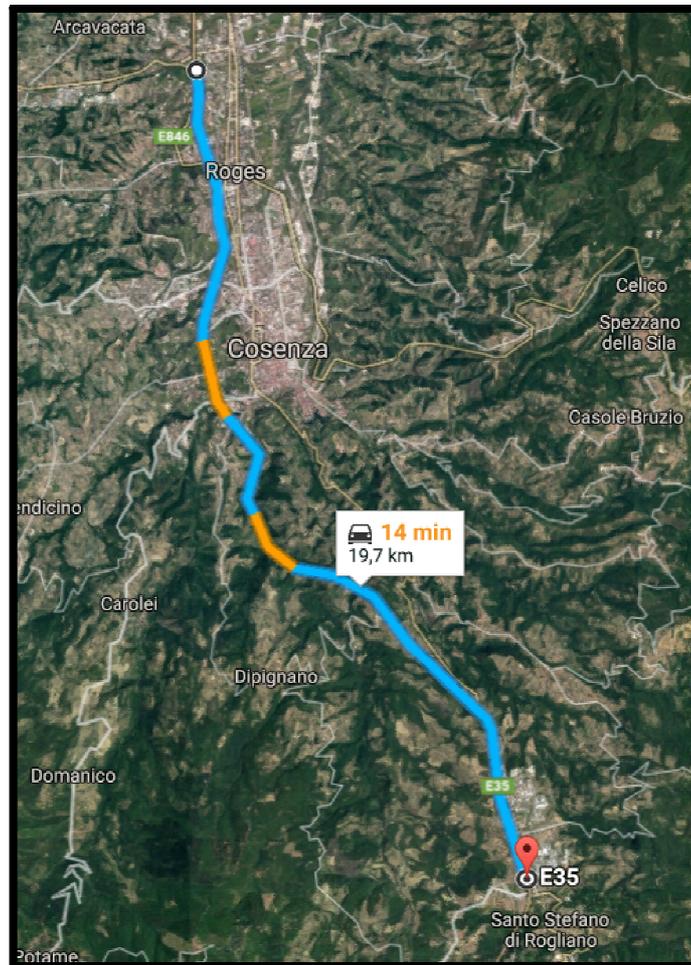
Tutti i percorsi autostradali oggetto del lavoro fanno parte dell'autostrada del mediterraneo. Il tracciato identificato con l'ID 8 è formato da due carreggiate (una per ogni senso di marcia) a due corsie di larghezza pari a 3,75 metri. Va dallo svincolo di Cosenza Nord allo svincolo di Cosenza sud dal km 253 al km 258 per una lunghezza di 5,5 km (figura 4.17).



**Figura 4.17: TRACCIATO STRADALE A2 km 253-258**

### A2 – km 253-273

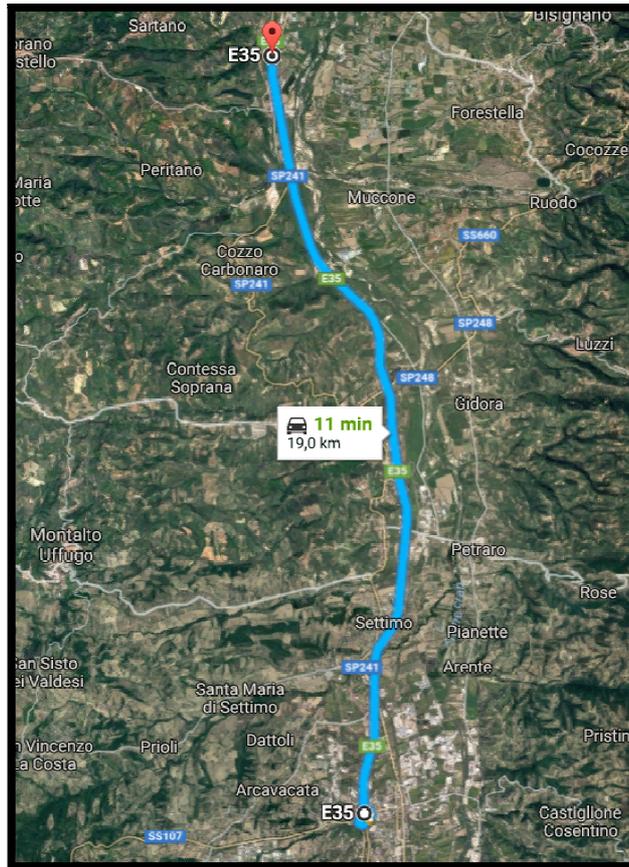
Ha le stesse caratteristiche del tracciato n°8. In effetti la prima parte del tracciato è la stessa. Il percorso 9 si estende per altri 12,2 km a sud dal km 253 al km 273. Va dallo svincolo di Cosenza Nord allo svincolo di Rogliano (figura 4.18).



**Figura 4.18: TRACCIATO STRADALE A2 km 253-273**

### A2 – km 253-273

L'ultimo tracciato considerato si trova a Nord dell'università della Calabria. Anche questo fa parte dell'autostrada del Mediterraneo (A2). Ha le stesse caratteristiche degli altri tracciati autostradali. Si estende per 19 km dal km 235 al km 254 (figura 4.19).



**Figura 4.19: TRACCIATO STRADALE A2 km 253-273**

### **4.3 L'ACQUISIZIONE DI DATI OGGETTIVI PER LA CLASSIFICAZIONE DELLO STILE DI GUIDA**

Poiché l'obiettivo della presente tesi è quello di ottenere uno strumento che consenta di classificare il comportamento di guida in maniera oggettiva, per poi vedere come lo stesso venga influenzato dalle condizioni fisiche e mentali del *driver*, è necessario acquisire i dati cinematici del veicolo lungo la traiettoria seguita.

Nel presente lavoro di tesi lo strumento che ha permesso di ottenere questo tipo di informazioni è lo smartphone.

#### **4.3.1 Lo smartphone come strumento per la rilevazione dei parametri cinematici delle traiettorie dei veicoli**

La forte diffusione, negli ultimi anni, degli smartphone ha determinato un notevole sviluppo di applicazioni legate all'infomobilità.

Con il termine infomobilità si intende l'insieme di dispositivi, servizi e applicazioni che consentono la gestione dell'informazione a supporto della mobilità di passeggeri o merci. In particolare, nel settore dei trasporti, i sistemi di infomobilità sono considerati come un mezzo in grado di aumentare la sicurezza nella mobilità e la sostenibilità economica, sociale ed ambientale, e di migliorare gli interventi di manutenzione e di emergenza.

Inoltre, grazie alle nuove tecnologie, come la presenza di navigatori GPS sui dispositivi mobile, la collettività ha la possibilità di fornire e ricevere informazioni geo-localizzate, di sapere qual è il percorso più conveniente in termini di costo e/o tempo, di conoscere i livelli di congestione della viabilità, ecc., aspetti molto importanti sia per gli enti gestori, sia per gli utenti delle infrastrutture.

L'utilizzo dei telefoni cellulari durante la guida di un'auto, ricorda a molti utenti i cinque punti che vengono tolti dalla patente nel caso di accertamento da parte delle autorità competenti. La rapida diffusione degli smartphones ha però portato molti ricercatori, nonché la stessa Commissione Europea dei Trasporti, a considerare questi dispositivi come delle vere e proprie stazioni di monitoraggio ed informazione a bordo dei veicoli.

Tra gli obiettivi individuati dalla Commissione Europea nel nuovo programma per la Sicurezza Stradale “Towards a European road safety area: policy orientations on road safety 2011-2020”, si fa riferimento proprio all’utilizzo di sistemi tecnologici ed intelligenti per migliorare la sicurezza stradale.

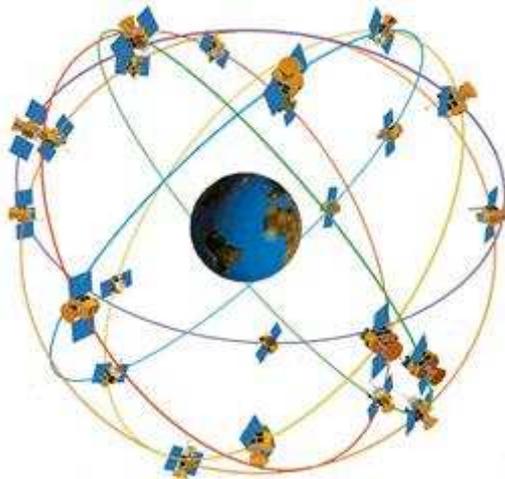
Lo sviluppo delle tecnologie di localizzazione e tracciamento dei veicoli, tramite GPS, e la massiccia integrazione di tali sistemi nei dispositivi mobile, come gli smartphone, hanno contribuito alla nascita di nuovi sistemi di controllo e gestione del traffico veicolare.

La scelta di utilizzare gli smartphones, da anni ritenuti strumenti di distrazione per i guidatori e causa anche di incidenti stradali, è data dalla loro rapida e capillare diffusione sul territorio e soprattutto perché sono diventati parte integrante della vita quotidiana degli utenti. Infatti, secondo uno studio condotto da Kleiner Perkins Caufield & Byers’s, gli italiani controllano 150 volte il proprio telefonino durante la giornata, una volta ogni 6 minuti più o meno. Si parla sempre più spesso di una nuova malattia, la Nomofobia, cioè la paura di rimanere senza collegamento mobile, fuori dalla cerchia dei social network, fuori dalla rete.

La Experian afferma che lo smartphone viene usato in media un’ora al giorno, considerando che, il 26% del tempo è dedicato alle telefonate, il 20% ai messaggi, il 15% ai social network, il 14% alla navigazione web ed il 9% alle e-mail.

#### **4.3.1.1 Il GPS**

Il Global Positioning System (GPS), è un sistema di posizionamento su base satellitare, a copertura globale e continua, gestito dal dipartimento della difesa statunitense. E’ composto da una rete di 27 satelliti artificiali in orbita e permette a chiunque possieda un ricevitore di conoscere la propria posizione (latitudine, longitudine e quota) sulla superficie terrestre, in un dato sistema di riferimento (figura 4.20).

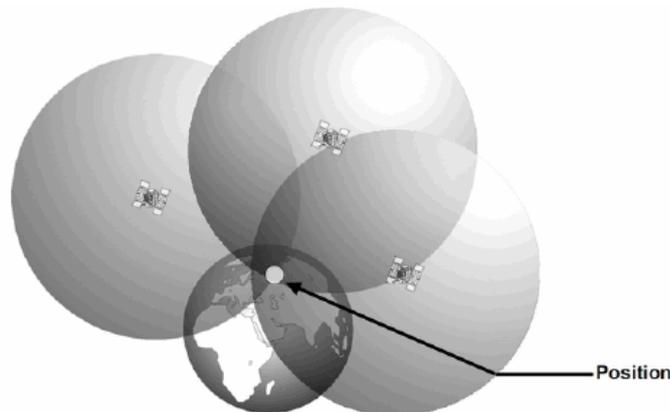


**Figura 4.20: SISTEMA GPS**

Nel 1991 gli USA aprirono al mondo il servizio con specifiche differenziate da quello militare. Venivano introdotti errori intenzionali nei segnali satellitari allo scopo di ridurre l'accuratezza della rilevazione, consentendo precisioni solo nell'ordine di 100-150 metri. Solo nel 2000 si poté arrivare ad una precisione del segnale di circa 10-20 metri. Viste le potenzialità di tale sistema, anche l'Unione Europea ha in progetto il completamento di una propria rete di satelliti per scopi civili, il Sistema di posizionamento Galileo.

Il sistema GPS si basa su un metodo di posizionamento sferico, che consiste nel misurare il tempo impiegato da un segnale radio a percorrere la distanza satellite-ricevitore. All'interno del satellite è presente un orologio atomico, il ricevitore dunque calcola l'esatta distanza di propagazione dal satellite a partire dalla differenza tra l'orario pervenuto e quello del proprio orologio sincronizzato con quello a bordo del satellite, tenendo conto della velocità di propagazione del segnale stesso. L'orologio a bordo dei ricevitori GPS è però molto meno sofisticato di quello a bordo dei satelliti e quindi deve essere corretto frequentemente. Tale sincronizzazione avviene durante l'accensione del dispositivo grazie all'informazione che arriva dal quarto satellite. Infatti, se il ricevitore avesse al suo interno un orologio atomico perfettamente sincronizzato, sarebbero sufficienti le informazioni fornite da 3 satelliti, ma non essendo così, il ricevitore deve risolvere un sistema di 4 incognite (latitudine, longitudine, altitudine e tempo) e quindi sono necessarie 4 equazioni. Conoscendo dunque il tempo impiegato dal segnale per giungere al ricevitore e

l'esatta posizione di almeno 3 satelliti per avere una posizione bidimensionale e di 4 per averne una tridimensionale, è possibile determinare la posizione nello spazio del ricevitore stesso. Tale procedimento, chiamato triangolazione, permette il calcolo della posizione di un punto fisso tramite la conoscenza della distanza che intercorre tra questo punto fisso e altri tre punti di posizione nota (figura 4.21).



**Figura 4.21: PROCEDIMENTO DI TRIANGOLAZIONE**

Dall'intersezione di tre sfere, tracciate a partire dai satelliti e con raggio pari alla distanza che intercorre tra essi ed il ricevitore, vengono generati due punti differenti. Uno posizionato nell'atmosfera e uno sulla superficie della terra. Il ricevitore dunque, scarta automaticamente il punto nell'atmosfera e restituisce la posizione del punto sulla terra. L'imprecisione della misura della posizione mediante GPS, non è dovuta solo ad errori intenzionali da parte della difesa statunitense, ma anche a:

- la velocità del segnale non costante, in quanto per arrivare dal satellite al ricevitore deve attraversare elementi aventi differente composizione (ionosfera e troposfera);
- il segnale non arriva lungo una retta perché viene riflesso a causa di ostacoli che incontra lungo il cammino (case, montagne, ecc...)
- esatta conoscenza della posizione dei satelliti (effemeridi).

Il basso costo e l'ubiquità dei sistemi GPS ha consentito di realizzare sistemi di tele-localizzazione, basati su tale tecnologia, affidabili e accurati.

I segnali GPS sono poco affetti dalle interferenze elettriche, e non richiedono l'installazione di un sistema complesso.

Oggi è disponibile su tutti gli smartphone un ricevitore GPS, sui quali è presente anche l'A-GPS (Assisted GPS), che riduce i tempi di sincronizzazione del dispositivo con i satelliti (fixing), durante l'uso del GPS, ed è associato ai sistemi di localizzazione, noti con l'acronimo LBS (Location Based Service) basati su telefonia cellulare.

Infatti, l'A-GPS, oltre a sfruttare i satelliti, si collega tramite la rete cellulare ad un Assistance server, al quale vengono inviate anche le informazioni sulla cella radio, di cui è nota la posizione e quindi il numero di satelliti disponibili nella data zona. Grazie a questo meccanismo il server elabora ed invia una lista dei satelliti al dispositivo mobile, mediante la rete cellulare.

Grazie, quindi, all'antenna GPS, all'A-GPS e al software di navigazione satellitare, gli smartphone possono essere utilizzati come navigatori satellitari veri e propri.

Generalmente, il GPS necessita di 8-9 satelliti visibili per raggiungere un buon livello di segnale e 3-4 per mantenerlo.

Grazie all'A-GPS, invece, servono solo 3-4 satelliti per l'allineamento, per cui i tempi di fixing si riducono notevolmente: da 3-30 minuti si passa a 5-20 secondi.

Va sottolineato che per il corretto funzionamento dell'A-GPS, è necessario acquisire dalla rete internet un file di piccola dimensione relativo alla posizione dei satelliti; tale operazione prevede un costo che dipende dal contratto stipulato con l'operatore telefonico ed è necessaria ad ogni riallineamento dei satelliti.

L'idea di fondo è la seguente: dato che ogni cella di telefonia mobile presente sul territorio ha una posizione fissa, si fa in modo che sia la cella a ricavare quali siano i satelliti GPS ad essa in vista, istante per istante. Quando un terminale A-GPS vuole conoscere la sua posizione, si collega tramite la rete cellulare ad un Assistance Server (che può anche essere gestito dall'operatore stesso), al quale viene inviata anche l'informazione sulla cella a cui l'utente è agganciato. Dato che sono noti i satelliti in vista alla cella, si può assumere ragionevolmente che anche il terminale A-GPS veda i medesimi satelliti. Pertanto il server elabora una lista con i satelliti in vista, e la invia attraverso la rete cellulare al terminale, che in questo modo può ricavare immediatamente la propria posizione.

#### 4.3.1.2 L'accelerometro.

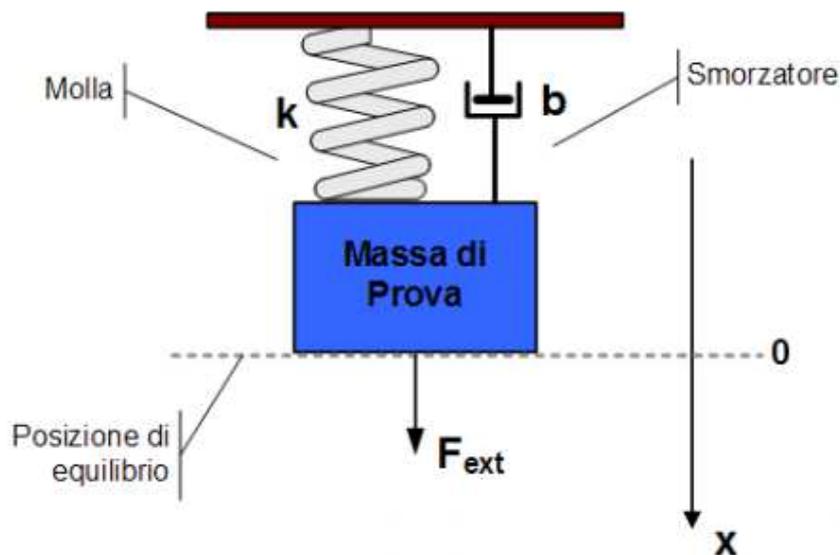
Un accelerometro è uno strumento di misura in grado di rilevare e/o misurare l'accelerazione, effettuando il calcolo della forza rilevata rispetto alla massa dell'oggetto (forza per unità di massa).

L'uso dell'accelerometro è aumentato notevolmente negli ultimi anni poiché, accanto alle tradizionali applicazioni in ambito scientifico ed aerospaziale, è stato adottato in numerosi campi civili (automobilistico, smartphone, testing, analisi meccanica, ludico, ecc) spesso affiancato ad altri sensori come giroscopi, magnetometri ecc.

Con il moltiplicarsi delle applicazioni, si sono diversificate anche le tipologie di questi strumenti ed oggi se ne possono contare decine di tipi, ognuno con caratteristiche funzionali e costruttive differenti.

Nella maggior parte degli accelerometri, il principio di funzionamento è lo stesso: una piccola massa (detta massa di prova, Proof Mass, o massa campione) viene tenuta sospesa grazie ad un elemento elastico ed in qualche modo ne viene rilevato lo spostamento quando una forza agisce su di essa. In presenza di un'accelerazione la massa si sposta dalla sua posizione di riposo di una quantità proporzionale all'accelerazione rilevata, la variazione della sua posizione viene convertita in un adeguato segnale elettrico contenente l'informazione relativa alla grandezza fisica misurata. Il sistema è dotato di un elemento smorzante per ridurre eventuali oscillazioni della massa. Quello che si ottiene è un "classico" della meccanica noto come sistema Massa-Molla-Smorzatore (MMS), la cui schematizzazione è riportata in figura 4.22.

A seconda degli spostamenti rilevabili, gli accelerometri possono essere ad un asse, a due o a tre. Generalmente nei dispositivi mobile è presente un accelerometro a tre assi, per cui è possibile conoscere le accelerazioni a cui è sottoposto il dispositivo considerando un sistema Cartesiano.



**Figura 4.22: SISTEMA MASSA-MOLLA-SMORZATORE DI UN ACCELEROMETRO**

Il comportamento del sistema risulta essere del secondo ordine. L'equazione 4.1 che mette in relazione la forza  $F_{ext}$ , e quindi l'accelerazione  $a$  applicata alla massa  $m$ , con lo scostamento  $x$  dalla posizione di equilibrio della stessa è la seguente:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + b \frac{\partial x}{\partial t} + kx = F_{ext} = m \cdot a \quad (4.1)$$

Dove:

- $k$  è la costante elastica della molla;
- $b$  è la costante di attrito dello smorzatore.

Dividendo tutto per  $m$  si ottiene la 4.2:

$$a = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{\omega_n}{Q} \frac{\partial x}{\partial t} + \omega_n^2 x \quad (4.2)$$

Dove i parametri  $\omega_n$  e  $Q$  indicano rispettivamente la Pulsazione di risonanza (4.3) e il fattore di qualità (4.4):

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.3)$$

$$Q = \frac{\omega_n \cdot m}{b} \quad (4.4)$$

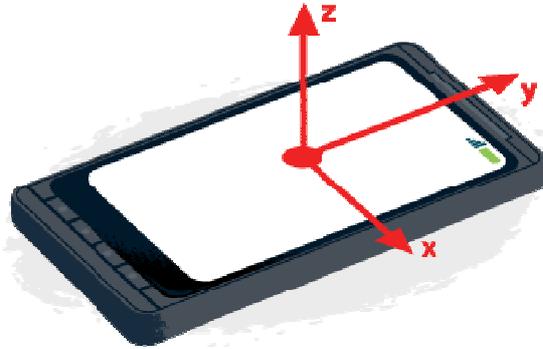
I moderni smartphone e tablet sono dotati di tre accelerometri, uno per ciascun asse, i quali permettono di determinare come viene mosso il nostro dispositivo. Molti giochi e applicazioni sfruttano questo strumento per farci pilotare aerei, astronavi e pupazzetti, ma vi sono anche programmi gratuiti che permettono di visualizzare i dati e salvarli su file di testo. Con essi è possibile riscoprire e verificare fenomeni fisici che vanno dalla meccanica classica alla relatività generale.

Ormai prodotti in miliardi di esemplari, gli accelerometri fanno parte della famiglia dei MEMS, Sistemi micro-elettro-meccanici (Micro ElectroMechanical Systems) o micromacchine. Si tratta di strumenti e meccanismi (ingranaggi, leve, bilance, interruttori) in silicio delle dimensioni di frazioni di millimetro opportunamente sagomati e litografati con tecniche analoghe a quelle con cui si realizzano i chip dei computer (figura 4.23.).



**Figura 4.23: ACCELEROMETRO ALL'INTERNO DI UNO SMARTPHONE**

Considerando i dispositivi con sistema operativo Android, il sistema ortogonale solidale al dispositivo è quello mostrato nella figura 4.24 (Android Developers):



**Figura 4.24: SISTEMA DI RIFERIMENTO ORTOGONALE SOLIDALE CON LO SMARTPHONE**

Questo vuol dire che tutti i sensori presenti nei dispositivi mobile con sistema Android rilevano le varie grandezze fisiche considerando questo sistema cartesiano.

Con riferimento all'accelerometro, esso fornisce le accelerazioni  $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$ .

Per poter determinare le accelerazioni a cui è sottoposto il veicolo ( $G(x)$ ,  $G(y)$ ,  $G(z)$ ), è quindi necessario ruotare questi assi, ossia calibrare (tarare) l'accelerometro secondo il sistema di riferimento del veicolo. Cioè il sistema di riferimento del veicolo è differente da quello dello smartphone. Coincidono solo se lo smartphone è posizionato nell'autovettura in maniera perfettamente orizzontale e l'asse y del sistema di riferimento dello smartphone coincide o è parallelo con il "longitudinal Axis" (vedi figura 4.25) del sistema di riferimento del veicolo.

L'accelerometro presente nei dispositivi mobile è soggetto, come tutti i sistemi inerziali in moto traslatorio accelerato rispetto ad un altro sistema inerziale, alla forza di inerzia o forza apparente, diretta in verso opposto alla forza a cui è soggetto il dispositivo.

Si consideri una condizione statica per cui sul dispositivo agisce solo la forza di gravità. Se il dispositivo è posto su un piano parallelo al piano formato dagli assi x y,

la forza di gravità sarà diretta secondo l'asse z, ma con verso opposto, per cui sul dispositivo agisce una forza pari a:

$$F_z = -F_{gravità} \quad (4.23)$$

Questo vuol dire che sull'accelerometro agisce una forza esattamente pari a quella di gravità, per cui esso rileva una accelerazione pari a:

$$a_z = -g \quad (4.24)$$

Se si desidera che l'accelerometro rilevi le accelerazioni che subisce un utente quando è a bordo di un mezzo di trasporto, e cioè le reazioni che si hanno a causa delle sollecitazioni a cui è soggetto il veicolo, il sistema di riferimento dell'accelerometro deve essere solidale con quello del veicolo. È necessario quindi calcolare gli angoli di Eulero per poter passare dai valori registrati secondo il sistema di riferimento dello smartphone a quelli secondo il sistema di riferimento del veicolo (figura 4.23).

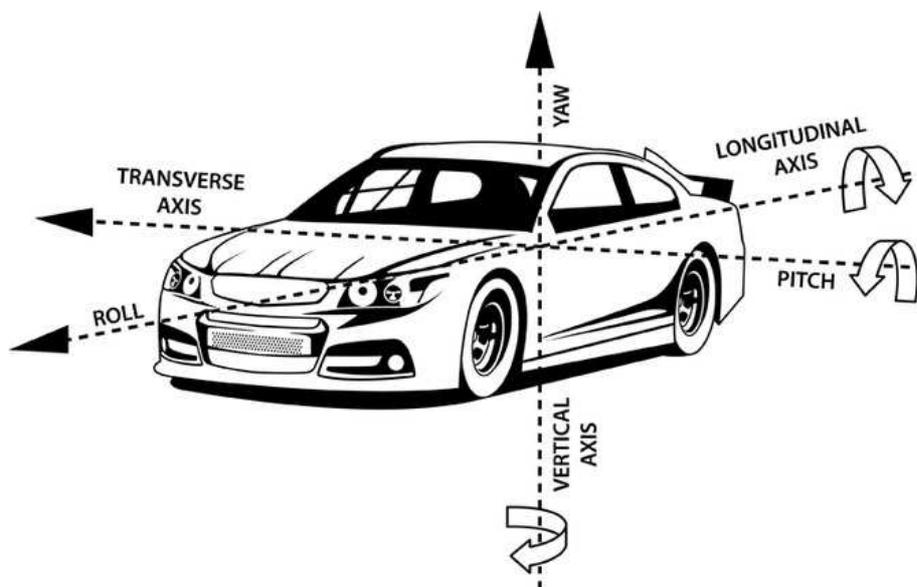


Figura 4.23: SISTEMA DI RIFERIMENTO DEL VEICOLO

Solo una volta calibrato il sistema di riferimento è possibile procedere al rilievo dei parametri cinematici.

Le informazioni ottenute saranno utilizzate al fine di perseguire l'obiettivo della sperimentazione di questa tesi.

#### **4.3.2 L'applicazione Torque e i parametri rilevati**

Grazie all'integrazione negli smartphone della tecnologia GPS e degli accelerometri triassiali, negli ultimi anni si sono sviluppate numerose applicazioni, che sfruttano tali dispositivi, nel campo dei trasporti.

Nel presente lavoro di tesi è stata utilizzata l'applicazione Torque. Si tratta di uno strumento diagnostico delle prestazioni del veicolo disponibile per qualsiasi dispositivo che lavora su sistema operativo Android. Torque permette di accedere a molti sensori all'interno del sistema di gestione motore veicolo, così come consente di visualizzare e cancellare i codici di errore.

Tale strumento viene supportato dai veicoli di più recente costruzione: come regola generale, la maggior parte dei veicoli benzina costruiti dopo il 2000 e la maggior parte dei Diesel prodotti dopo il 2004. Normalmente, per verificare se il veicolo è idoneo all'utilizzo dell'applicazione, basta controllare se è presente la parola "OBD2" sull'adesivo di identificazione dello stesso, situato all'interno del vano motore.

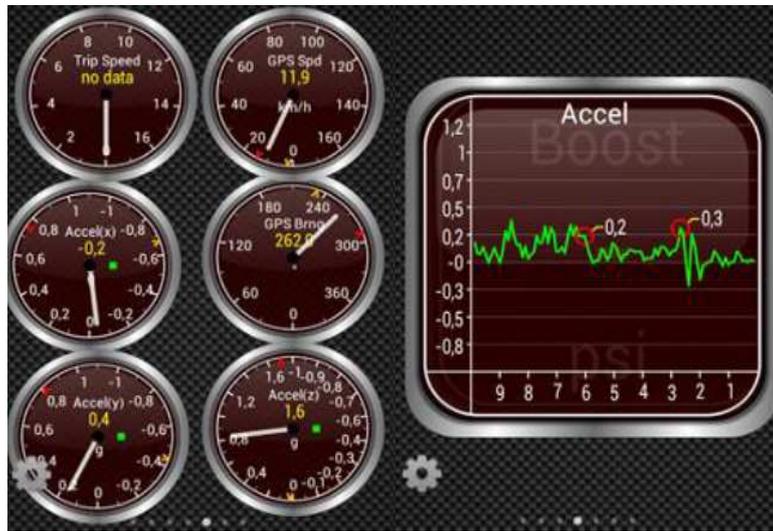
L'applicazione permette di ottenere in tempo reale una serie di informazioni come velocità e posizione del veicolo, accelerazioni, consumo di carburante, la potenza, temperature, emissioni di CO<sub>2</sub>, giri motore, pressione del carburante, ecc.

Il software permette di salvare ed esportare i dati in maniera georeferenziata, con una frequenza di 1 Hz. Cioè fornisce un file in formato CSV, dove ciascun record (insieme delle grandezze rilevate) viene registrato ogni secondo.

L'app funziona anche se non vi è collegamento alla presa OBD2. Torque, tramite il dispositivo GPS, rileva la posizione e la velocità mentre sfrutta l'accelerometro per rilevare le accelerazioni.

Oltre a registrare i dati, fornisce un'interfaccia grafica in tempo reale sul display del telefono, che può essere messa a punto secondo diverse configurazioni. Nel presente

studio l'interfaccia era del tipo illustrato in figura 4.24.



**Figura 4.24: INTERFACCIA GRAFICA DI TORQUE**

L'aspetto più interessante è comunque la possibilità di salvare tantissimi dati legandoli alla posizione GPS del mezzo.

Per poter effettuare il rilievo dei parametri cinematici e di conseguenza classificare lo stile di guida di ogni utente, è indispensabile posizionare il telefonino correttamente, in modo solidale al veicolo.

Una volta posizionato correttamente il dispositivo, premendo il tasto “calibrazione accelerometro”, l'applicazione effettua in automatico il calcolo degli angoli di Eulero.

Dopo aver calibrato l'accelerometro è possibile far partire la registrazione cliccando su “Toggle Loggins” e quando desiderato interromperla sempre premendo lo stesso tasto.

I parametri che sono stati rilevati per la sperimentazione di questo lavoro di tesi sono di due tipi: geografici e cinematici.

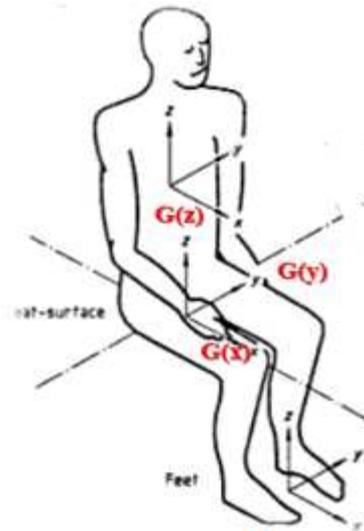
I parametri geografici sono:

- Longitudine [°];
- Latitudine [°].

I parametri cinematici sono:

- Velocità [m/s];

- Accelerazione longitudinale nella direzione del moto  $G(y)$  [ $m/s^2$ ];
- Accelerazione laterale nella direzione trasversale al moto  $G(x)$  [ $m/s^2$ ];
- Accelerazione verticale, nella direzione della forza di gravità,  $G(z)$  [ $m/s^2$ ].



**Figura 4.25: ACCELERAZIONI RILEVATE TRAMITE TORQUE**

#### 4.4 IL QUESTIONARIO PER LA RILEVAZIONE DELLO STATO PSICO-FISICO DEL DRIVER

Un altro obiettivo della tesi è quello di studiare l'influenza dei fattori psicofisici sul comportamento di guida dei *driver*. Quindi una volta definito un indicatore che definisce in maniera oggettiva il comportamento di guida (come vedremo in seguito rappresentato dalla percentuale di punti esterni al dominio di sicurezza), si andrà a analizzare come questo è influenzato dalle caratteristiche fisiche ed emozionali del conducente alla guida.

Per la rilevazione dei parametri psicofisici, è stato utilizzato un questionario ad auto-compilazione che viene compilato dall'utente prima di effettuare lo spostamento.

Viene compilato prima del viaggio in quanto si vuole investigare su come lo stato psico-fisico influenza lo stile di guida e non su come lo stato psico-fisico è influenzato dalla guida (Eboli et al., 2017d).

La scelta della modalità è ricaduta sul questionario ad auto-compilazione in quanto presenta i seguenti vantaggi:

- il costo è contenuto in quanto non ci sono spese relative agli intervistatori;
- l'assenza dell'intervistatore elimina il rischio di influenzare l'intervistato nel dare le risposte;
- l'intervistato ha tutto il tempo che vuole e ciò consente una maggiore meditazione sulle domande.

Il questionario rappresenta lo strumento base per l'esecuzione dell'intervista. La sua stesura rappresenta una fase molto delicata dell'indagine, essendo una potenziale fonte di buona parte degli errori che si possono commettere nella ricerca.

I tre aspetti chiave per la stesura del questionario in esame riguardano le categorie di domande, il layout del questionario e le scale di misurazione.

Nel presente lavoro di tesi è stata sviluppata una scheda di rilevazione basata sul differenziale semantico. Nello specifico sono state utilizzate domande chiuse in quanto non necessitano di un lavoro aggiuntivo al momento dell'elaborazione, poichè le informazioni contenute in esse sono già codificate e pronte per l'elaborazione.

Per quanto riguarda il layout l'aspetto principale riguarda la suddivisione delle domande in sezioni. Il questionario sviluppato è suddiviso nelle seguenti sezioni:

- una parte generale relativa all'intervistato (nominativo, ID) e al percorso (data, ora, numero rilievo ecc.)
- una sezione riguardante le caratteristiche del conducente tipo l'età, il genere e le caratteristiche attitudinali che sono elementi della personalità dell'intervistato e che quindi non variano da tracciato a tracciato;
- una sezione denominata condizioni psico-fisiche del conducente suddivisa in due sottosezioni (1. condizioni fisiche; 2. Condizioni emotive) che variano da rilievo a rilievo;
- un'ultima sezione in cui l'intervistato dichiara lo stile di guida adottato. Tale sezione è l'unica che deve essere compilata a fine rilievo.

Per quanto riguarda le scale di misurazione è stata adottato il "Differenziale Semantico" che è una tecnica che consente di quantificare l'aspetto connotativo del significato attribuito ad uno stimolo senza porre domande dirette.

#### **4.4.1 Il differenziale semantico**

Secondo Maggino e Mola (2007), nella definizione del significato di un concetto è possibile distinguere due aspetti:

- l'aspetto denotativo, che rappresenta la parte oggettiva in quanto risulta essere è uguale per tutti;
- l'aspetto connotativo che invece rappresenta la parte soggettiva in quanto cambia da soggetto a soggetto, poiché legato alle reazioni; emotive ed affettive che ciascun oggetto evoca a livello individuale.

Secondo gli autori, l'interesse della ricerca si focalizza sull'investigazione del secondo aspetto che permette di confrontare tra loro individui diversi. Gli autori sostengono che il significato attribuito ad uno stimolo possa essere misurato in diversi modi che comunque permettono di raccogliere informazioni soggettive.

Queste informazioni necessitano di essere quantificate per poter essere confrontate tra i diversi individui (o per lo stesso individuo in differenti momenti). Ciò si può ottenere facendo riferimento al cosiddetto *spazio semantico*, la cui struttura è stabile mentre la collocazione del concetto in tale spazio varia tra soggetti. Ciascun concetto può trovare collocazioni diverse nello spazio semantico, dato che soggetti diversi possono attribuire significati affettivi diversi. In questa ottica, il *Differenziale Semantico* rappresenta lo strumento che consente di quantificare l'aspetto connotativo del significato attribuito ad uno stimolo senza porre domande dirette. Per poter utilizzare il differenziale semantico occorre considerare due aggettivi bipolari e una scala di misurazione. Infatti esso è costituito da una serie di scale, ciascuna delle quali è composta da una coppia di aggettivi bipolari tra i quali è collocata una scala di *rating* (a 5 o 7 posizioni). Il ricercatore, se per quanto riguarda la scala di rating deve solamente scegliere il numero di posizioni (5 o 7), nella selezione delle coppie di aggettivi si trova ad affrontare un compito più delicato. Egli infatti, nella scelta delle coppie, deve tenere in considerazione alcuni aspetti. I 4 criteri che Maggino e Mola (2007) individuano come fondamentali nella scelta sono:

- attinenza degli aggettivi agli stimoli selezionati per ottenere misurazioni più sensibili;
- familiarità degli aggettivi ai soggetti che compongono il campione;
- effettiva bipolarità della coppia di aggettivi che devono essere realmente opposti nel loro significato;
- neutralità degli aggettivi selezionati: i soggetti del campione non devono avere la percezione che gli aggettivi siano orientati verso particolari giudizi di valore.

Quindi attraverso il differenziale semantico, ogni individuo valuta un concetto attraverso una scala di misurazione. Tale valutazione viene espressa funzione di due elementi:

- Qualità (valori positivi o negativi);
- Intensità (distanza al valore neutro).

Il Differenziale Semantico non si presenta, però, come uno strumento di misura standardizzato ma come un approccio alla misurazione. In questo senso, ogni volta che si intende utilizzare tale approccio è necessario procedere alla costruzione dello strumento in funzione del contesto e degli obiettivi conoscitivi specifici (Maggino e mola, 2007). La costruzione avviene secondo le seguenti fasi:

1. Individuazione e selezione dei concetti/stimoli inerenti lo scopo della ricerca;
2. Individuazione delle coppie di aggettivi che misurano i concetti/stimoli;
3. Scelta della scala di rating da inserire tra le coppie degli aggettivi bipolarari;
4. Scelta del layout;
5. Scelta della procedura di somministrazione agli individui (ad esempio presenza o meno dell'intervistatore);
6. Codifica e analisi dei dati.

Diversi autori hanno presentato il differenziale semantico attraverso differenti modalità. Ad esempio Osgood (1957) identifica diversi formati ottenuti dalla combinazione dell'ordine di presentazione dei concetti/stimoli e delle coppie di aggettivi. L'autore ritiene che le diverse modalità di presentazione non apportino alcuna alterazione del risultato. Di seguito si riportano i formati da lui proposti:

- ❖ Ciascuna coppia di aggettivi è somministrata relativamente a tutti gli stimoli selezionati (figura 4.26);

Concetto / Stimolo A	Aggettivo "a"	___	___	___	___	___	___	___	___	___	___	Aggettivo "b"
Concetto / Stimolo B	Aggettivo "a"	___	___	___	___	___	___	___	___	___	___	Aggettivo "b"
Concetto / Stimolo C	Aggettivo "a"	___	___	___	___	___	___	___	___	___	___	Aggettivo "b"

**Figura 4.26: COPPIA DI AGGETTIVI SOMMINISTRATA A TUTTI GLI STIMOLI SECONDO OSGOOD (1957)**

- ❖ La serie delle coppie di aggettivi è somministrata per ciascuno stimolo (figura 4.27);

Concetto / Stimolo A	
Aggettivo "a"	Aggettivo "b"
Aggettivo "c"	Aggettivo "d"
Concetto / Stimolo B	
Aggettivo "a"	Aggettivo "b"
Aggettivo "c"	Aggettivo "d"

**Figura 4.27: COPPIA DI AGGETTIVI SOMMINISTRATA PER CIASCUNO STIMOLO SECONDO OSGOOD (1957)**

L'ordine di presentazione dei concetti non è rilevante; al contrario, la sequenza e la polarità delle coppie di aggettivi rimangono le stesse per tutti gli stimoli.

Questo formato rende più semplice il compito dei soggetti che devono valutare e le successive fasi di codifica, trattamento e analisi dei dati.

- ❖ Ogni oggetto si trova sulla stessa linea della scala su cui deve essere valutato; i concetti e le scale sono combinati a caso e, altrettanto casualmente, sono disposti uno dopo l'altro (figura 4.28).

Aggettivo "a"	Aggettivo "b"
Aggettivo "c"	Aggettivo "d"
Aggettivo "e"	Aggettivo "f"

**Figura 4.28: ESEMPIO PROPOSTO DA OSGOOD (1957)**

In realtà le modalità di presentazione possibili sono moltissime; quelle appena mostrate sono solo una semplice classificazione.

La somministrazione del differenziale semantico richiede che il soggetto indichi la posizione più o meno vicina all'aggettivo di ciascuna coppia che ritiene più adatto a descrivere lo stimolo in questione, pensando allo stimolo da valutare senza meditare troppo.

#### 4.4.2 La scheda di rilevazione proposta

Lo strumento di rilevazione, utilizzato per la raccolta delle informazioni utili, è un questionario finalizzato all'autovalutazione (figura 4.29).

 UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE  
DINCI

Progetto di ricerca:  
**L'INFLUENZA DEI FATTORI PSICO-FISICI SULLO STILE DI GUIDA DEI CONDUCENTI DELLE AUTOVETTURE**

Responsabile scientifico: prof. GABRIELLA MAZZULLA

**PARTE GENERALE**

Nominativo conducente  ID

Data    Ora   Numero rilievo  Tipologia percorso

giorno mese anno ore minuti

1 Andata  
2 Ritorno

**SEZIONE A: CARATTERISTICHE DEL CONDUCENTE**

Età  1 Da 18 a 25  2 Da 26 a 40  3 Da 41 a 65  4 Oltre 65

Genere  1 Femmina  2 Maschio

Descrivi alcuni elementi della tua personalità, indicando un livello per ogni coppia di aggettivi secondo una scala numerica variabile da -2 (aggettivo a sinistra) a +2 (aggettivo a destra).

PIGRO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	DINAMICO
INDECISO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	DETERMINATO
IMPAZIENTE	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	PAZIENTE
IMPULSIVO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	RIFLESSIVO
SUPERFICIALE	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	PUNTIGLIOSO

**SEZIONE B: CONDIZIONI PSICO-FISICHE DEL CONDUCENTE**

Indica le tue CONDIZIONI FISICHE prima di effettuare questo percorso, utilizzando una scala numerica variabile a -2 (aggettivo a sinistra) a +2 (aggettivo a destra).

STANCO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	RIPOSATO
ASSONNATO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	VIGILE
AMMALATO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	SANO

Indica le tue CONDIZIONI EMOTIVE prima di effettuare questo percorso, utilizzando una scala numerica variabile a -2 (aggettivo a sinistra) a +2 (aggettivo a destra).

MALINCONICO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	ALLEGRO
PREOCCUPATO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	SPENSIERATO
AGITATO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	CALMO
ANNOIATO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	INTERESSATO
ARRABBIATO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	SERENO

**SEZIONE C: STILE DI GUIDA**

Indica lo stile di guida che hai adottato durante questo percorso, utilizzando una scala numerica variabile a -2 (prudente) a +2 (aggressivo).

AGGRESSIVO	<input type="text"/> -2	<input type="text"/> -1	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> +1	<input type="text"/> +2	PRUDENTE
------------	-------------------------	-------------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------	----------

Figura 4.29: SCHEDE DI RILEVAZIONE UTILIZZATE PER L'INDAGINE SPERIMENTALE

Come già accennato si compone di domande chiuse che non necessitano di un lavoro aggiuntivo al momento dell'elaborazione, in quanto le informazioni contenute in esse sono già codificate e pronte per l'elaborazione. Il questionario si basa sulla tecnica del differenziale semantico e utilizza una scala di rating a 5 posizioni con indicazione numerica delle posizioni in relazione alla distanza dalla posizione neutrale centrale a cui corrisponde il valore 0: le posizioni più estreme rispetto a quella centrale (più vicine agli aggettivi) sono identificate dal valore più alto (-2 e +2), mentre quelle più vicine alla posizione neutrale centrale dal valore più basso (-1 e +1). Ai valori che identificano la distanza dal centro viene associato un segno (positivo o negativo) per indicare la direzione di questa distanza: per convenzione positiva a destra e negativa a sinistra (figura 4.30).

	-2	-1	0	+1	+2	
Aggettivo "a"	<input type="checkbox"/>	Aggettivo "b"				
Aggettivo "c"	<input type="checkbox"/>	Aggettivo "d"				
Aggettivo "e"	<input type="checkbox"/>	Aggettivo "f"				

**Figura 4.30: SCALA DI RATING UTILIZZATA**

Il soggetto intervistato indica la posizione più o meno vicina all'aggettivo di ciascuna coppia che ritiene più adatto a descrivere lo stimolo in questione.

Il questionario, risulta suddiviso in 4 sezioni:

1. **PARTE GENERALE:** questa sezione si riferisce all'intervistato e al tracciato su cui viene effettuato il rilievo (figura 4.31). Viene riportato il nominativo del conducente e l'ID che gli viene assegnato. Nel lavoro in esame i rilievi sono stati svolti da un unico *driver* in quanto l'obiettivo è quello di studiare come varia il suo stile di guida al variare delle sue condizioni psico-fisiche. Sempre nella sezione è riportata la data e l'ora del rilievo. Viene anche riportato il numero progressivo del rilievo, in modo da poter assegnare un ID anche al rilievo. Nel questionario bisogna indicare anche la tipologia del percorso: se si tratta di un percorso in andata o in ritorno.

## PARTE GENERALE

Nominativo conducente						ID
Data			Ora		Numero rilievo	Tipologia percorso
giorno	mese	anno	ore	minuti		1 Andata
						2 Ritorno

**Figura 4.31: PARTE GENERALE DELLA SCHEDA DI RILEVAZIONE**

2. **CARATTERISTICHE DEL CONDUCENTE:** questa sezione riguarda le caratteristiche del *driver*. In particolare occorre indicare l'età, il genere e le caratteristiche attitudinali che sono elementi della personalità dell'intervistato e che quindi non variano nel tempo da rilievo a rilievo. Poiché l'indagine coinvolge un solo *driver*, questa sezione deve essere compilata una sola volta e vale per tutti i rilievi, in quanto le caratteristiche attitudinali sono elementi intrinseci della persona. Nello specifico le coppie di aggettivi scelte per definire le caratteristiche relative alla personalità del conducente sono (figura 4.32):

- Pigro - Dinamico;
- Indeciso - Indeterminato;
- Impaziente - Paziente;
- Impulsivo - Riflessivo;
- Superficiale - Puntiglioso.

### SEZIONE A: CARATTERISTICHE DEL CONDUCENTE

Età	1	Da 18 a 25	Genere	1	Femmina
	2	Da 26 a 40		2	Maschio
	3	Da 41 a 65			
	4	Oltre 65			

Descrivi alcuni elementi della tua personalità, indicando un livello per ogni coppia di aggettivi secondo una scala numerica variabile da -2 (aggettivo a sinistra) a +2 (aggettivo a destra).

PIGRO	-2	-1	0	+1	+2	DINAMICO
INDECISO	-2	-1	0	+1	+2	DETERMINATO
IMPAZIENTE	-2	-1	0	+1	+2	PAZIENTE
IMPULSIVO	-2	-1	0	+1	+2	RIFLESSIVO
SUPERFICIALE	-2	-1	0	+1	+2	PUNTIGLIOSO

**Figura 4.32: SEZIONE DEDICATA ALLE CARATTERISTICHE DEL CONDUCENTE**

3. CONDIZIONI PSICO-FISICHE DEL CONDUCENTE: la terza sezione (figura 4.33) si riferisce alle condizioni del *driver* ed è suddivisa in due sottosezioni:

- Condizioni fisiche;
- Condizioni emotive.

Questa sezione riguarda condizioni che variano nel tempo da rilievo a rilievo, e deve essere compilata non appena ci si appresta a percorrere il tragitto in quanto influisce sulla performance stessa.

La valutazione delle condizioni fisiche riguarda le seguenti coppie di oggettivi:

- Stanco/Riposato;
- Assonnato/Vigile;
- Ammalato/Sano.

Le coppie di aggettivi che descrivono lo stato emotivo del *driver* sono invece:

- Malinconico - Allegro;
- Preoccupato - Spensierato;
- Agitato - Calmo;
- Annoiato - Interessato;
- Arrabbiato - Sereno.

**SEZIONE B: CONDIZIONI PSICO-FISICHE DEL CONDUCENTE**

Indica le tue CONDIZIONI FISICHE prima di effettuare questo percorso, utilizzando una scala numerica variabile a -2 (aggettivo a sinistra) a +2 (aggettivo a destra).

STANCO	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2	RIPOSATO
ASSONNATO	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2	VIGILE
AMMALATO	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2	SANO

Indica le tue CONDIZIONI EMOTIVE prima di effettuare questo percorso, utilizzando una scala numerica variabile a -2 (aggettivo a sinistra) a +2 (aggettivo a destra).

MALINCONICO	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2	ALLEGRO
PREOCCUPATO	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2	SPENSIERATO
AGITATO	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2	CALMO
ANNOIATO	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2	INTERESSATO
ARRABBIATO	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2	SERENO

**Figura 4.33: SEZIONE DEL QUESTIONARIO RIFERITA ALLE CONDIZIONI PSICO-FISICHE DEL DRIVER**

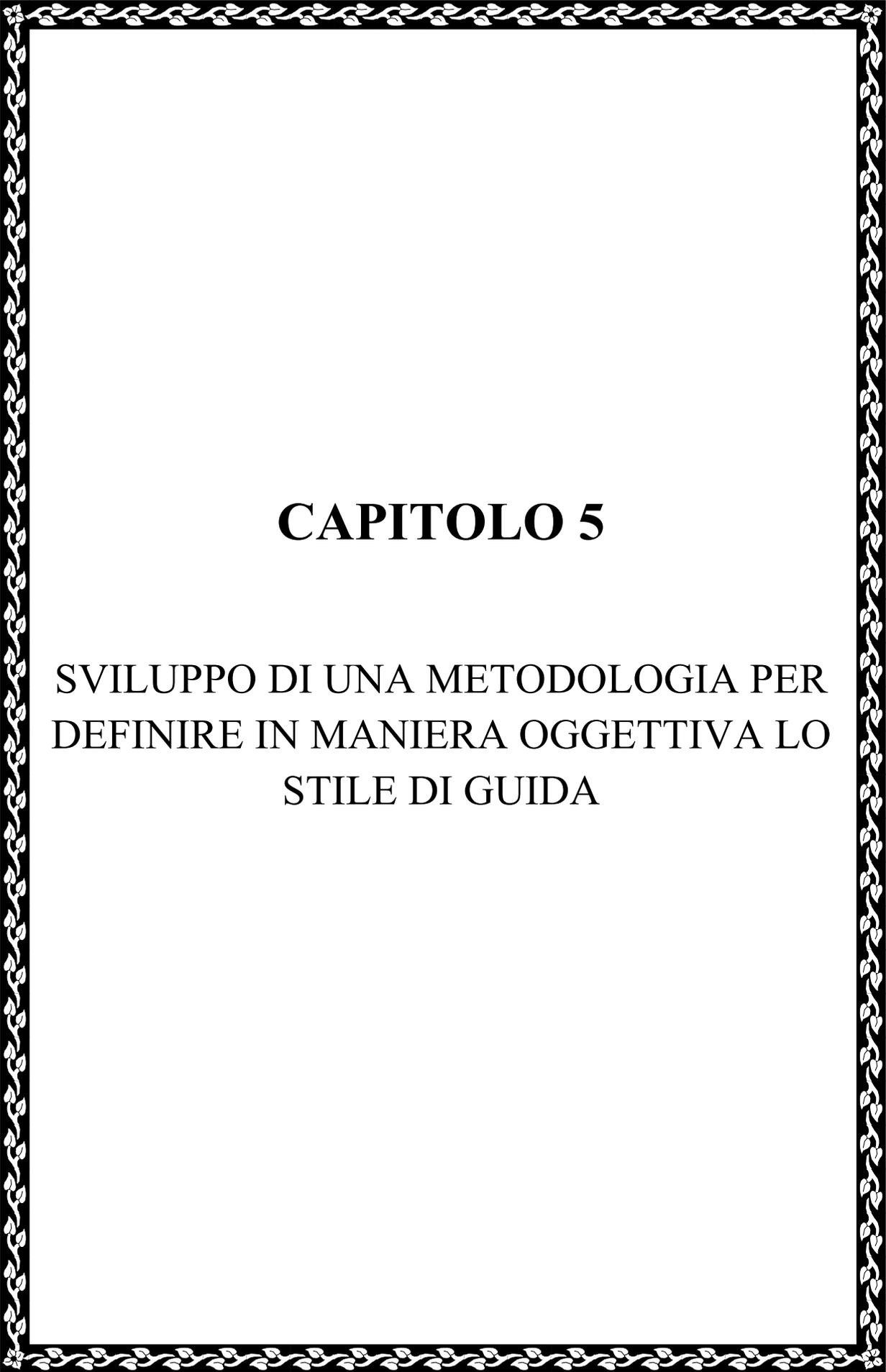
- **STILE DI GUIDA:** nell'ultima sezione il *driver* dichiara lo stile di guida adottato, cioè da un giudizio soggettivo dello stile di guida adottato durante il test drive, appena concluso. Si tratta di un'autovalutazione. Tale sezione è l'unica che deve essere compilata a fine rilievo. La valutazione avviene in funzione di una singola coppia di aggettivi, ovvero Aggressivo – Prudente, sempre utilizzando la stessa scala di rating a 5 posizioni (figura 4.34).

**SEZIONE C: STILE DI GUIDA**

Indica lo stile di guida che hai adottato durante questo percorso, utilizzando una scala numerica variabile a -2 (prudente) a +2 (aggressivo).

AGGRESSIVO    -2    -1    0    +1    +2   PRUDENTE

**Figura 4.34: SEZIONE DEL QUESTIONARIO DEDICATA ALLO STILE DI GUIDA ADOTTATO**



## **CAPITOLO 5**

**SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA PER  
DEFINIRE IN MANIERA OGGETTIVA LO  
STILE DI GUIDA**

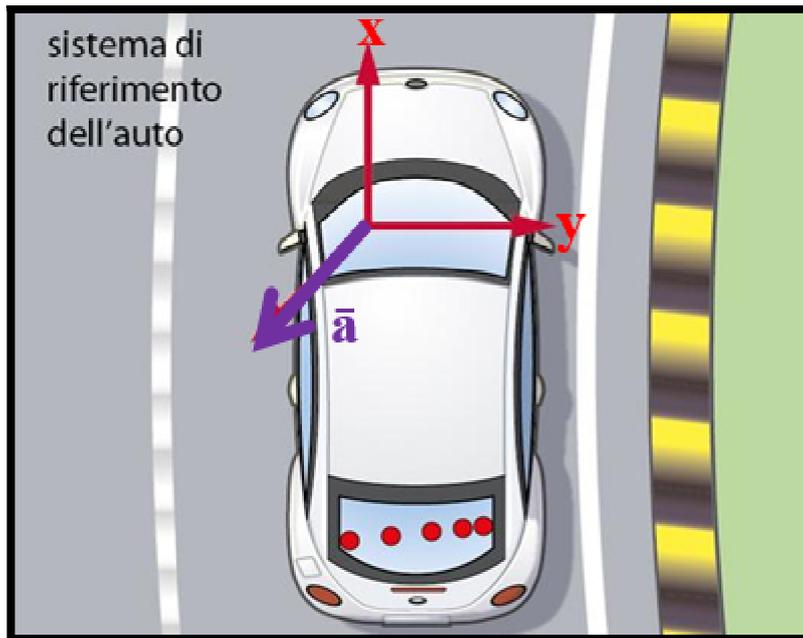
## 5. SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA PER DEFINIRE IN MANIERA OGGETTIVA LO STILE DI GUIDA

### 5.1 DEFINIZIONE DEI “DOMINI DI SICUREZZA”

L'obiettivo principale del presente lavoro di tesi è quello di analizzare come le condizioni psicofisiche del *driver* influenzano il suo stile di guida. Bisogna quindi sviluppare una metodologia che permetta di classificare in maniera oggettiva lo stile di guida dei conducenti delle autovetture sulla base dei principali parametri cinematici del veicolo che sono accelerazione e velocità. Infatti, per poter studiare l'effetto delle caratteristiche psicofisiche sul comportamento di guida occorre avere a disposizione una certa “misura dello stile di guida”. Occorre quindi sviluppare preliminarmente uno strumento che sia in grado di individuare le condizioni di guida sicure e quelle pericolose. Lo strumento deve, inoltre, essere in grado di fornire un indicatore che permetta di classificare lo stile di guida e che rappresenti una misura del comportamento alla guida.

Come visto nel capitolo 3 la maggior parte degli studi presenti in letteratura classificano il comportamento del *driver* sulla base di uno o al massimo due parametri cinematici. Non ci sono studi che considerano contemporaneamente velocità, accelerazione longitudinale e accelerazione trasversale. Per questo motivo, in questo lavoro di tesi, si è deciso di sviluppare una metodologia che tenga conto di tutti e tre i parametri contemporaneamente.

La metodologia proposta si basa sull'equilibrio dinamico del veicolo. Un veicolo che percorre una traiettoria è soggetto ad un vettore accelerazione  $\bar{a}$  che ha due componenti: una nella direzione del moto ( $x$ ), chiamata accelerazione longitudinale, e una nella direzione trasversale a quella del moto ( $y$ ), chiamata accelerazione laterale (figura 5.1).



**Figura 5.1: SISTEMA DI RIFERIMENTO DEL VEICOLO**

Il vettore accelerazione ha modulo pari a:

$$|\bar{a}| = \sqrt{a_{lat}^2 + a_{long}^2} \quad (5.1)$$

dove:

- $a_{long}$  è l'accelerazione longitudinale;
- $a_{lat}$  è l'accelerazione laterale.

Per la presenza di questa accelerazione e in accordo con la seconda legge di Newton, il veicolo sarà soggetto ad una forza sollecitante o stimolante  $F_S$  pari a;

$$F_S = m \cdot |\bar{a}| \quad (5.2)$$

dove  $m$  è la massa del veicolo.

Per l'equilibrio, la forza sollecitante sarà contrastata da una forza resistente  $F_R$  che dipende dal peso del veicolo e dal coefficiente di aderenza tra pneumatico e pavimentazione stradale:

$$F_R = W \cdot \mu \quad (5.3)$$

dove:

- $W$  è il peso del veicolo;
- $\mu$  è il coefficiente di aderenza tra pneumatico e pavimentazione stradale.

La 5.3 può essere riscritta come:

$$F_R = m \cdot g \cdot \mu \quad (5.4)$$

in cui  $g$  è l'accelerazione di gravità pari a  $9,806 \text{ m/s}^2$ .

In funzione dei valori assunti da  $F_S$  ed  $F_R$  si possono avere 3 situazioni ben distinte:

1.  $F_S < F_R \rightarrow$  CONDIZIONE DI GUIDA SICURA
2.  $F_S > F_R \rightarrow$  CONDIZIONE DI GUIDA PERICOLOSA
3.  $F_S = F_R \rightarrow$  CONDIZIONE DI GUIDA LIMITE

Nella condizione 1 la forza sollecitante è minore di quella resistente quindi si verifica una condizione di guida sicura.

Nella condizione 2 la forza sollecitante è maggiore di quella resistente. Tuttavia ciò non corrisponde, per forza, ad una situazione in cui si verifica lo slittamento e la perdita di controllo del veicolo. Infatti si sta ipotizzando, per semplicità, che il veicolo sia un corpo rigido rappresentabile con un punto materiale. In realtà il veicolo presenta numerosi gradi di libertà che determinano una redistribuzione delle masse che fanno sì che il veicolo non esca per forza dalla carreggiata. Anche la pendenza trasversale della corsia si oppone alla fuoriuscita del veicolo. È doveroso sottolineare che il coefficiente di aderenza utilizzato in fase di progettazione stradale è sottostimato in quanto si cerca di garantire un margine di sicurezza contro lo skidding. La condizione due rappresenta comunque una condizione di guida pericolosa.

Al fine di determinare i valori soglia dei parametri cinematici che permettono di classificare e di distinguere una condizione di guida sicura da una pericolosa, bisogna analizzare la condizione limite.

Facendo l'ipotesi cautelativa di non considerare la pendenza trasversale della corsia, nella condizione limite si ha il massimo coefficiente di aderenza contrasta la massima accelerazione consentita:

$$m \cdot |\bar{a}| = m \cdot g \cdot \mu \quad (5.5)$$

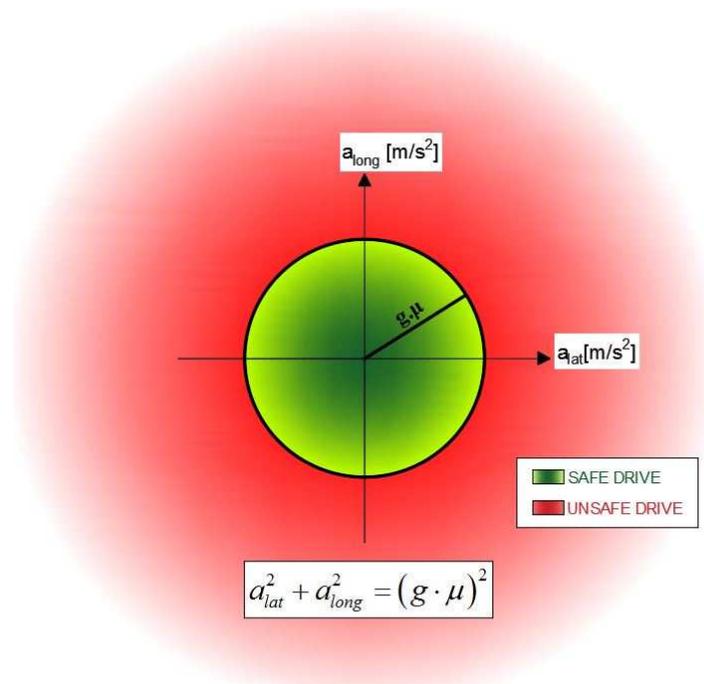
Sostituendo la 5.1 nella 5.5 si ha:

$$\sqrt{a_{lat}^2 + a_{long}^2} = g \cdot \mu \quad (5.6)$$

Elevando ambo I membri al quadrato si ottiene la 5.7:

$$a_{lat}^2 + a_{long}^2 = (g \cdot \mu)^2 \quad (5.7)$$

La 5.7 rappresenta, nel piano  $a_{long}$ - $a_{lat}$  una circonferenza di raggio  $g\mu$  centrata nell'origine degli assi (figura 5.2).



**Figura 5.2: CIRCONFERENZA CHE DELIMITA LA CONDIZIONE DI GUIDA SICURA**

La circonferenza rappresenta la frontiera tra la condizione di guida sicura (area verde) e quella pericolosa (area rossa). Il raggio della circonferenza, e quindi l'area che rappresenta le condizioni di guida sicure, dipende esclusivamente dal coefficiente di aderenza tra pneumatico e pavimentazione.

Tele coefficiente di aderenza ha 2 componenti:

- $\mu_x$  che è il coefficiente di aderenza tangenziale cioè nella direzione del moto;
- $\mu_y$  che è il coefficiente di aderenza radiale o laterale cioè nella direzione trasversale a quella del moto.

Secondo numerosi studi riportati in Lamm (1999) il coefficiente di aderenza trasversale è circa 0,925 volte quello di aderenza longitudinale:

$$\mu_y = 0.925 \cdot \mu_x \quad (5.8)$$

Le due componenti  $\mu_x$  e  $\mu_y$  sono legate tra loro dalla cosiddetta ellisse di aderenza che è rappresentata dall'equazione 5.9.

$$\frac{x^2}{\mu_x^2} + \frac{y^2}{\mu_y^2} = 1 \quad (5.9)$$

Quindi per ciascuna direzione del veicolo si ha un valore differente del coefficiente di aderenza globale che graficamente è la distanza tra l'ellisse e l'origine degli assi cartesiani (vedi figura 5.3).

In questo lavoro di tesi si è fatta l'ipotesi di considerare, per ciascuna direzione, un valore costante del coefficiente di aderenza globale pari al valore minore tra il coefficiente di aderenza trasversale e quello longitudinale. Cioè è stato considerato un valore costante pari al coefficiente di aderenza trasversale:

$$\mu = \mu_y \quad (5.10)$$

In questo modo l'ellisse viene approssimata con una circonferenza di raggio pari a  $\mu_y$  (figura 5.3).

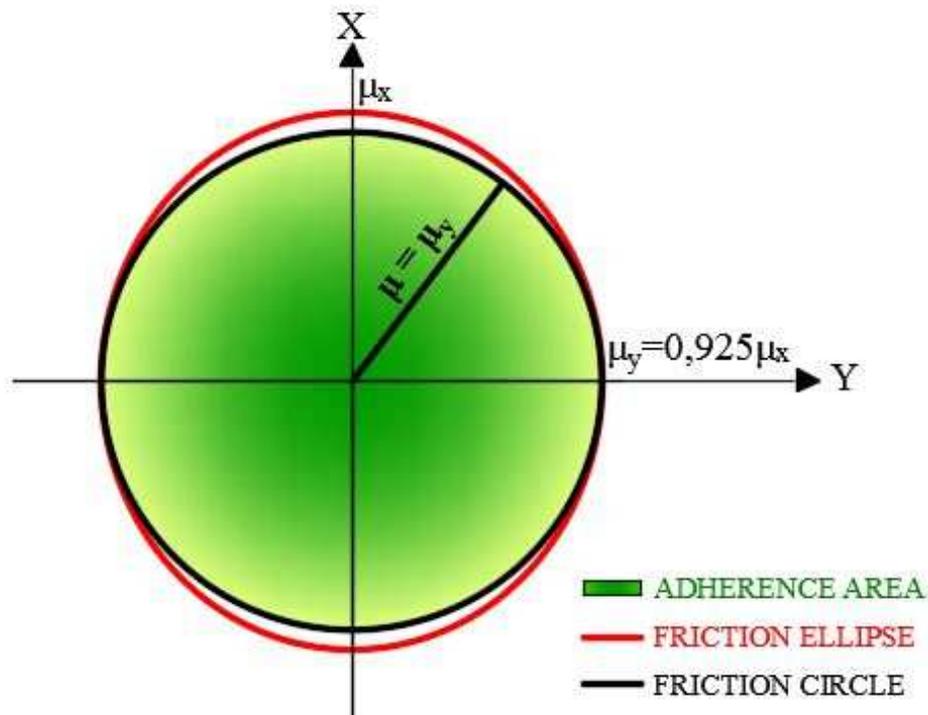


Figura 5.3: ELLISSE E CERCHIO DI ADERENZA

Come si può osservare dalla figura le due curve si discostano di poco tra loro. L'ipotesi fatta, oltre ad essere semplificative e comoda dal punto di vista pratico, è un'ipotesi cautelativa in quanto si va a considerare un'area di sicurezza a disposizione più piccola di quella che effettivamente si avrebbe considerando l'ellisse. Ciò significa che, facendo questa semplificazione, la metodologia fornisce delle soglie dei valori cinematici più basse e va a vantaggio di sicurezza. Con l'ipotesi fatta, il raggio della circonferenza dipende solo dal coefficiente di aderenza trasversale, quindi la 5.7 diventa:

$$a_{lat}^2 + a_{long}^2 = (g \cdot \mu_y)^2 \quad (5.11)$$

Il coefficiente di aderenza trasversale dipende da numerosi fattori come ad esempio la velocità, il tipo e le condizioni della superficie stradale, le caratteristiche degli pneumatici come la pressione, la mescola, il profilo e la profondità del battistrada. Tra questi il più importante è la velocità. In letteratura esistono diverse leggi che forniscono l'andamento del coefficiente di aderenza trasversale al variare della velocità. Essendoci in ogni Paese diverse caratteristiche delle superfici stradali e differenti condizioni generali, si hanno anche differenti relazioni che forniscono l'andamento del coefficiente di aderenza trasversale con la velocità.

Qualunque sia la legge adottata, sostituendola nella 5.11 si ottiene una circonferenza, il cui raggio varia con la velocità. In particolare il raggio decresce all'aumentare della velocità. Sostituendo la legge del coefficiente di aderenza trasversale nella 5.11 si ottiene quindi il dominio di sicurezza che tiene conto contemporaneamente di velocità accelerazione longitudinale e trasversale.

In questo lavoro di tesi il dominio di sicurezza è stato determinato per tre tipologie di strada:

- strade urbane;
- strade extraurbane;
- autostrade.

Per quanto riguarda le strade urbane e le autostrade è stata utilizzata la relazione dell'aderenza trasversale fornita dal CNR poiché l'indagine sperimentale è stata condotta su strade italiane. La normativa italiana non fornisce però un'unica legge per le autostrade e le strade extraurbane. Nella presente tesi si è ritenuto opportuno distinguere i due domini di sicurezza in quanto le due tipologie di strada presentano caratteristiche differenti e quindi è stata utilizzata la relazione dell'aderenza trasversale fornita dalla normativa tedesca (Lamm et al.1999). In fatti le strade extraurbane tedesche presentano caratteristiche simili a quelle italiane. Al fine di verificare la scelta fatta è stata effettuata un'indagine sperimentale come si vedrà nel seguito.

Si riportano i domini di sicurezza per le tre tipologie di strada.

### 5.1.1 Strade urbane

Nel caso delle strade urbane la relazione che fornisce il coefficiente di aderenza trasversale è una funzione discontinua. Nello specifico, la legge italiana fornisce un valore di  $\mu_y$  costante fino alla velocità di 25 km/h oltre la quale il coefficiente di aderenza trasversale decresce secondo una legge quadratica:

$$\begin{aligned} \mu_y &= 0,219 & V \leq 25 \text{ km/h} \\ \mu_y &= 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot V + 0,325 & V > 25 \text{ km/h} \end{aligned} \quad (5.12)$$

Sostituendo la 5.12 nella 5.11 si ottiene la legge che fornisce il dominio di sicurezza. Chiaramente si tratterà anche in questo caso di una funzione discontinua:

$$\begin{aligned} a_{lat}^2 + a_{long}^2 &= (2,15)^2 \text{ m/s}^2 & V \leq 25 \text{ km/h} \\ a_{lat}^2 + a_{long}^2 &= (11,77 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 33,73 \cdot 10^{-2} \cdot V + 3,19)^2 & V > 25 \text{ km/h} \end{aligned} \quad (5.13)$$

Il dominio di sicurezza può essere rappresentato sia nello spazio  $V$ - $a_{lat}$ - $a_{long}$  (figura 5.4), sia nel piano  $V$ - $a$  (figura 5.5). Sia nello spazio  $V$ - $a_{lat}$ - $a_{long}$  che nel piano  $V$ - $\bar{a}$ , ogni punto rappresenta una condizione di guida: se il punto ricade all'interno del dominio ci si trova in una condizione di guida sicura altrimenti in una condizione di guida pericolosa.

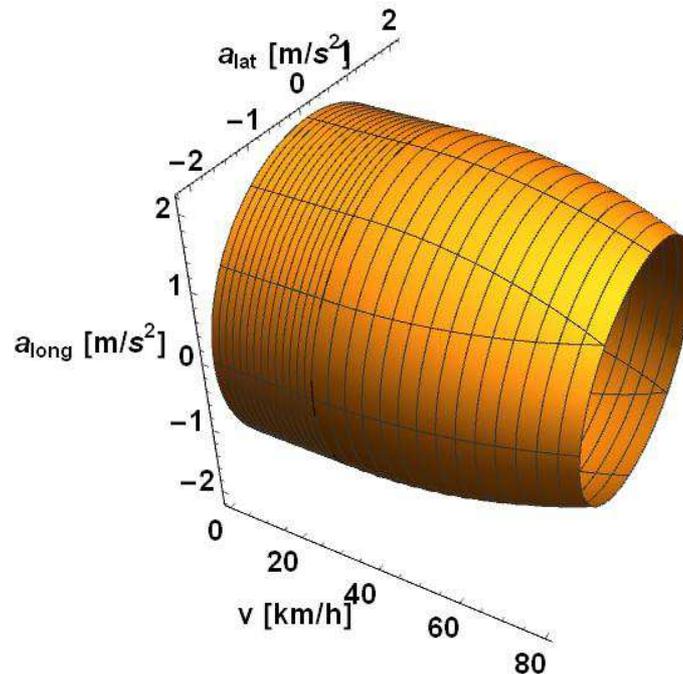


Figura 5.4: DOMINIO DI SICUREZZA PER STRADE URBANE

Nel piano V-a i valori che si trovano al di sotto dell'asse delle ascisse sono caratterizzati da valori negativi di accelerazione longitudinale, cioè sono caratterizzati da decelerazioni. Viceversa i punti che si trovano al di sopra rappresentano condizioni in cui la componente longitudinale assume valori positivi.

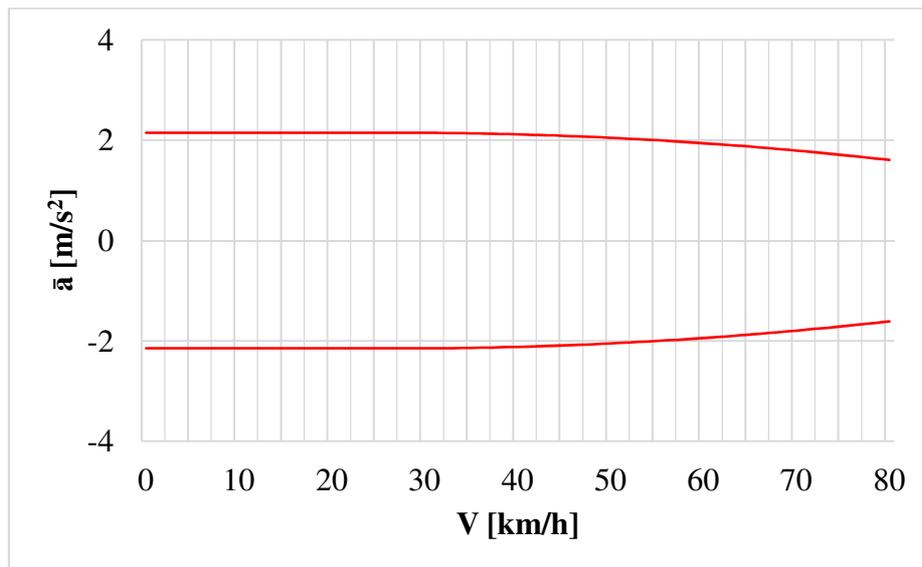


Figura 5.5: RAPPRESENTAZIONE DEL DOMINIO DI SICUREZZA NEL PIANO V-a PER STRADE URBANE

I valori massimi consentiti delle accelerazioni sono di circa  $2 \text{ m/s}^2$ .

### 5.1.2 Strade extraurbane

Nel caso delle strade extraurbane è stata utilizzata la relazione di Lamm (5.14) che fornisce l'andamento del coefficiente di aderenza trasversale secondo una funzione continua decrescente.

$$\mu_y = 0.198 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0.592 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0.569 \quad (5.14)$$

Il dominio associato alla 5.14 è quello fornito dalla 5.15:

$$a_{lat}^2 + a_{long}^2 = \left(1.94 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 5.8 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 5.58\right)^2 \quad (5.15)$$

La 5.15 può essere rappresentata nello spazio V- $a_{lat}$ - $a_{long}$  (figura 5.6).

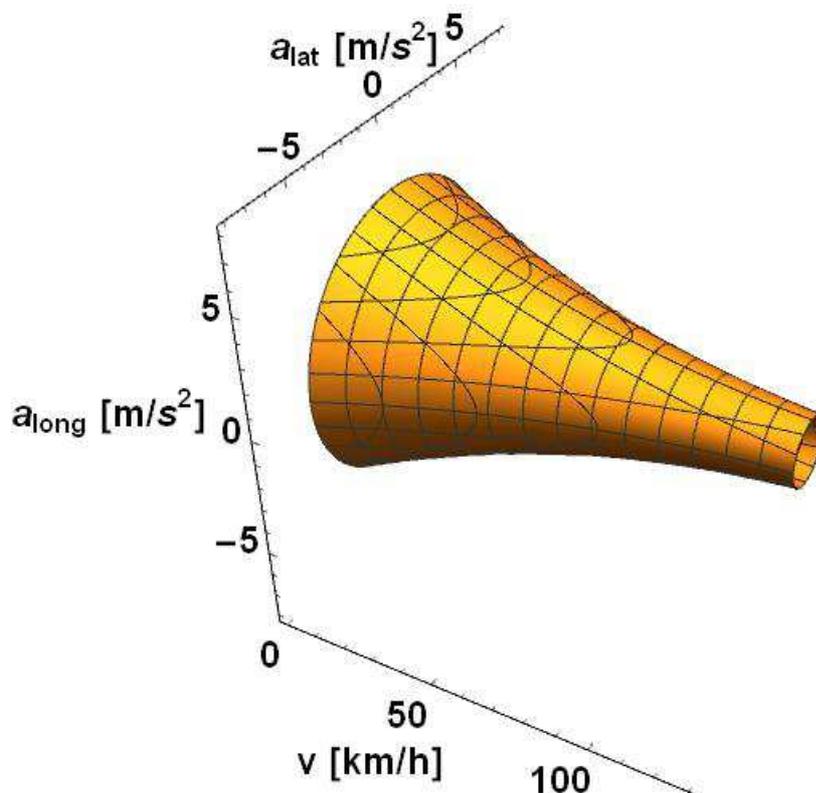
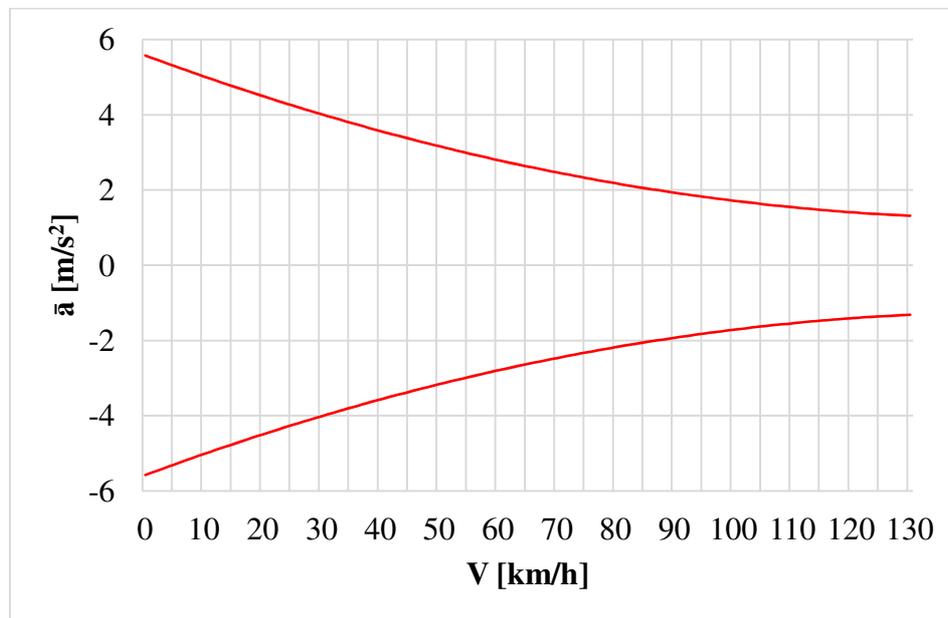


Figura 5.6: DOMINIO DI SICUREZZA PER STRADE EXTRAURBANE

Una comprensione più immediata dei valori soglia di accelerazione, in funzione della velocità, si ha considerando la rappresentazione del dominio di sicurezza nel piano V-a (figura 5.7).



**Figura 5.7: RAPPRESENTAZIONE DEL DOMINIO DI SICUREZZA NEL PIANO V-a PER STRADE EXTRAURBANE**

Per velocità molto basse, il valore massimo che il modulo del vettore accelerazione può raggiungere è di circa  $5 \text{ m/s}^2$  mentre per velocità molto alte la soglia è al di sotto dei  $2 \text{ m/s}^2$ .

### 5.1.3 Autostrade

Per l'ambito autostradale è stata utilizzata la relazione fornita dal CNR, secondo la quale il coefficiente di aderenza trasversale decresce all'aumentare della velocità seguendo una legge quadratica (5.16).

$$\mu_y = 1 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,0034 \cdot V + 0.325 \quad (5.16)$$

Sostituendo la 5.16 nella 5.11 si ottiene il dominio di sicurezza per l'ambito autostradale:

$$a_{lat}^2 + a_{long}^2 = (9,806 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,033 \cdot V + 3,187)^2 \quad (5.17)$$

La rappresentazione del dominio nello spazio V- $a_{lat}$ - $a_{long}$  è quella riportata in figura 5.8.

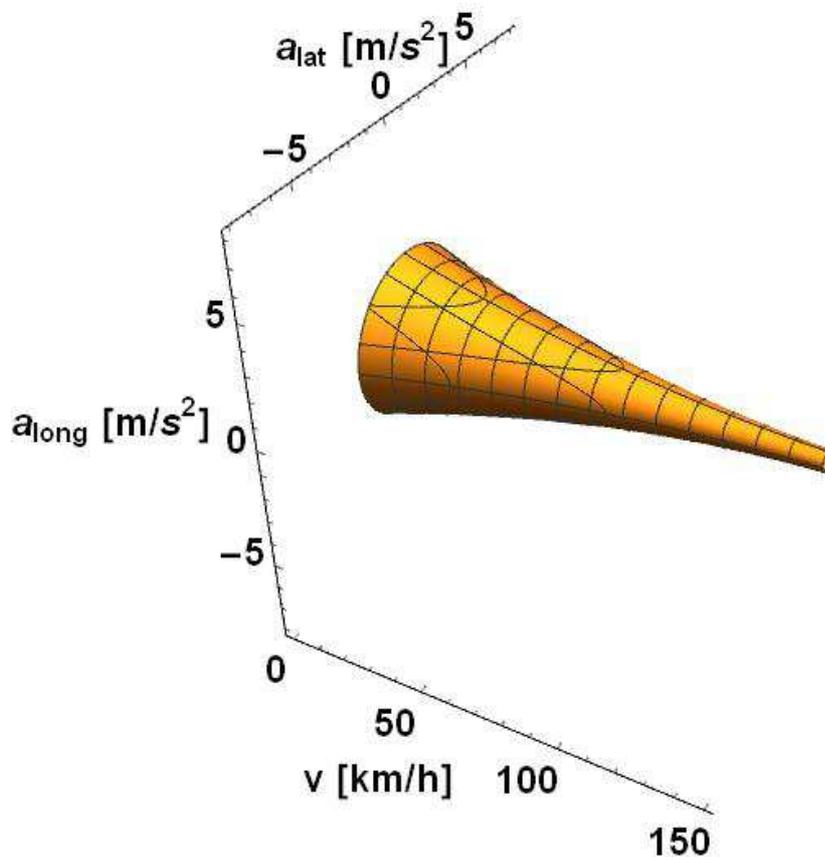
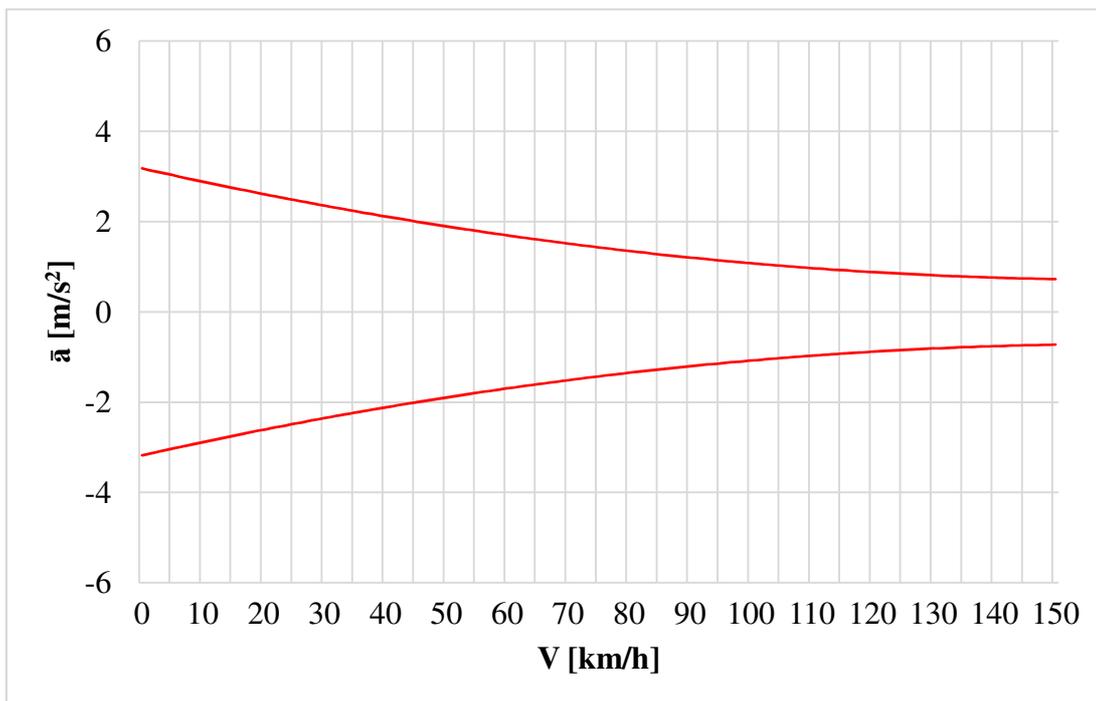


Figura 5.8: DOMINIO DI SICUREZZA PER AUTOSTRADE

Dalla rappresentazione del dominio nel piano V- $\bar{a}$  è possibile osservare come i valori massimi delle accelerazioni siano di circa 3 m/s<sup>2</sup> (figura 5.9).



**Figura 5.9: RAPPRESENTAZIONE DEL DOMINIO DI SICUREZZA NEL PIANO V- $\bar{a}$  PER AUTOSTRADE**

La tabella 5.1 riassume le relazioni adottate per il coefficiente di aderenza e il dominio di sicurezza sviluppato per ciascuna tipologia di strada.

Tipologia di strada	Equazione adottata per il coefficiente di aderenza trasversale	Equazione del dominio di sicurezza
Strada urbana	$\mu_y = 0,219$ $V \leq 25 \text{ km/h}$	$ \bar{a}  = 2,15 \text{ m/s}^2$ $V \leq 25 \text{ km/h}$
	$\mu_y = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot V + 0,325$ $V > 25 \text{ km/h}$	$ \bar{a}  = 11,77 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 33,73 \cdot 10^{-2} \cdot V + 3,19$ $V > 25 \text{ km/h}$
Strada extraurbana	$\mu_y = 0,198 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,592 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0,569$	$ \bar{a}  = 1,94 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 5,8 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 5,58$
Autostrada	$\mu_y = 1 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,0034 \cdot V + 0,325$	$ \bar{a}  = 9,806 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,033 \cdot V + 3,187$

**Tabella 5.1: EQUAZIONI CHE DESCRIVONO IL DOMINIO DI SICUREZZA PER LE TRE TIPOLOGIE DI STRADA**

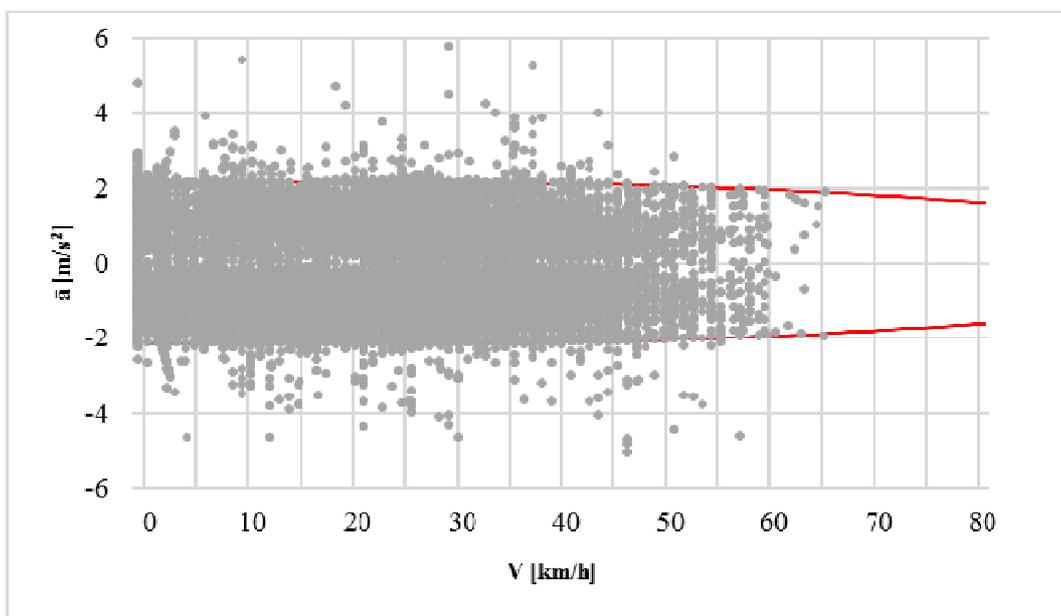
## 5.2 VALIDAZIONE DEI DOMINI DI SICUREZZA SVILUPPATI

Al fine di confermare i domini di sicurezza, e in particolare le scelte fatte per il coefficiente di aderenza trasversale, è stata condotta un'indagine sperimentale. L'obiettivo principale dell'indagine è stato quello di verificare che i valori di accelerazione e velocità, realmente registrati su strada, seguissero e si adattassero ai domini proposti.

A tal fine sono state registrate circa 260.000 reali condizioni di guida, effettuate da 14 *driver* su 10 differenti percorsi. I *driver* hanno percorso lo stesso percorso più volte al fine di collezionare differenti stili di guida.

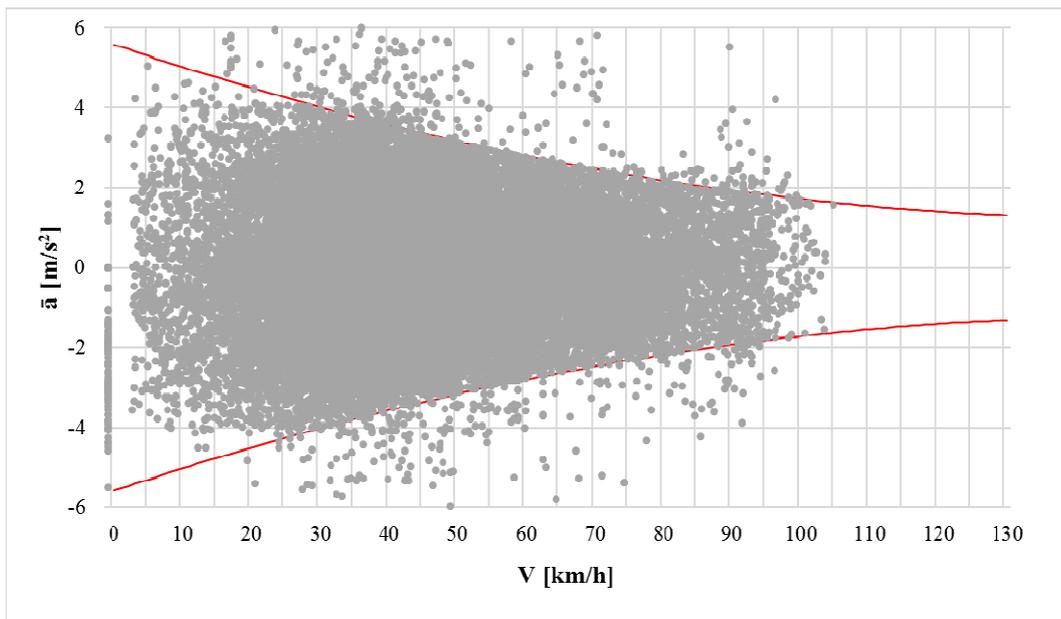
Di seguito si riportano i diagrammi a dispersione delle condizioni di guida registrate. Questi diagrammi vengono confrontati con i domini di sicurezza, sviluppati secondo leggi fisiche.

Per le strade urbane sono stati registrati circa 60.000 punti rappresentativi delle reali condizioni di guida. Come si può osservare dalla figura 5.10 i valori registrati, qualitativamente, confermano il dominio proposto.



**Figura 5.10: DIAGRAMMA A DISPERSIONE DELLE CONDIZIONI DI GUIDA REGISTRATE IN AMBITO URBANO**

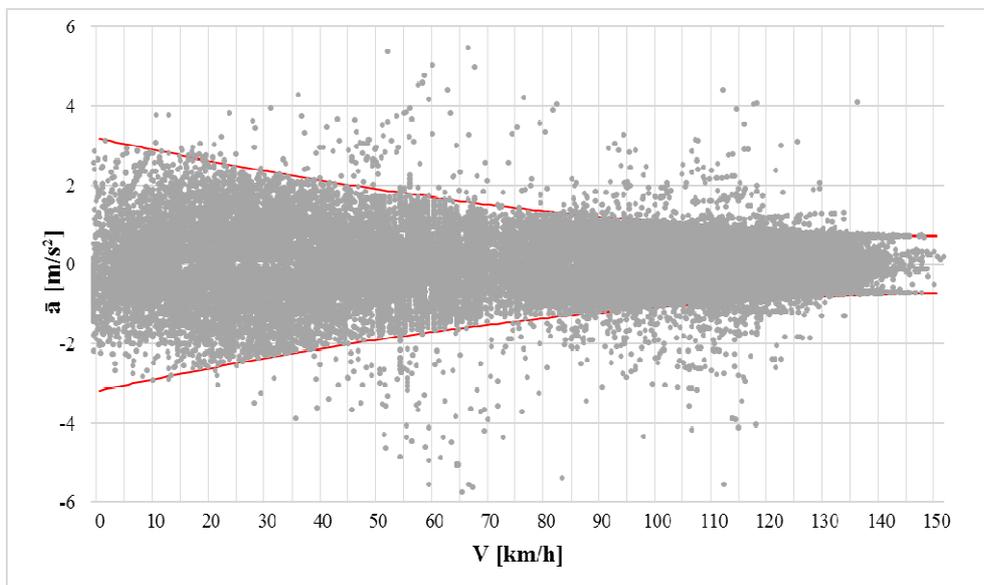
In ambito extraurbano sono state registrate circa 130.000 condizioni di guida. Come si può osservare dalla figura 5.11 i punti seguono e si adattano al dominio proposto. Viene dimostrata la correlazione negativa tra il vettore accelerazione e la velocità. Quindi la scelta di utilizzare la formula tedesca del coefficiente di aderenza trasversale si è rivelata molto valida.



**Figura 5.11: DIAGRAMMA A DISPERSIONE DELLE CONDIZIONI DI GUIDA REGISTRATE IN AMBITO EXTRAURBANO**

Sono pochi i punti esterni al dominio. Questi sono dovuti ad un comportamento aggressivo del *driver* che, volontariamente o meno, sceglie di adottare un livello di rischio maggiore rispetto alle condizioni medie registrate.

Infine anche in ambito autostradale, si è osservato che i punti seguono il dominio proposto. Circa 70.000 condizioni di guida sono state registrate. La figura 5.12 dimostra che i punti seguono la curva proposta, anche se nel range di velocità compreso tra 100 km/h e 130 km/h sembra che non sia propriamente in linea con il dominio proposto. Si tratta comunque di un effetto ottico dovuto a pochi punti registrati nel caso in cui i driver hanno dichiarato di aver adottato un comportamento eccessivamente aggressivo.



**Figura 5.12: DIAGRAMMA A DISPERSIONE DELLE CONDIZIONI DI GUIDA REGISTRATE IN AMBITO AUTOSTRADALE**

### 5.3 DEFINIZIONE DI UN INDICATORE OGGETTIVO DELLO STILE DI GUIDA

Ciascun condizione di guida può essere classificata in sicura o meno tramite i domini di sicurezza sviluppati. Quindi i domini permettono di avere un giudizio disaggregato dello stile di guida. In questo lavoro di tesi si è cercato di sviluppare anche un indicatore aggregato che fosse associato ad un'intera guida su strada e che rappresentasse un indicatore della qualità di marcia in termini di sicurezza stradale. L'idea è che un utente più pericoloso a parità di condizioni al contorno tende a trovarsi più volte nella condizione di guida pericolosa. Quindi, a parità di punti battuti, più punti esterni al dominio di sicurezza ci sono, più è alto il livello di rischio adottato dall'utente durante la guida. Sulla base di questa considerazione è stato sviluppato un indicatore oggettivo che permette di classificare lo stile di guida. Questo è rappresentato dalla percentuale di punti esterni al dominio:

$$\%PE = \frac{n_{PE}}{N} \cdot 100 \quad (5.18)$$

dove:

6.  $n_{PE}$  è il numero di punti esterni al dominio di sicurezza tra tutti quelli registrati cioè le condizioni di guida pericolose;
7.  $N$  è il numero di punti registrati cioè il numero di condizioni di guida registrate.

Per come è definito, ipoteticamente, questo indicatore può variare tra zero (quando non si hanno situazioni in cui l'utente ha avuto una guida sicura) e uno (quando in tutte le situazioni di guida vengono a mancare le condizioni di sicurezza).

Più è alto questo indicatore maggiore è il livello di rischio alla guida. Questo indicatore rappresenterà la base per effettuare gli studi di correlazione tra lo stile di guida e le condizioni psico-fisiche del *driver*. Rappresenterà quindi l'unità di misura dello stile di guida cioè una misura della pericolosità del *driver* alla guida.

## 5.4 DISCUSSIONE SULLA METODOLOGIA PROPOSTA

L'obiettivo della metodologia proposta è quello di fornire uno strumento, per ciascuna tipologia di strada, che permetta di analizzare lo stile di guida e classificare ciascuna condizione di guida in sicura o pericolosa. Come visto in precedenza, questo strumento, chiamato "Dominio di Sicurezza", è strettamente legato al coefficiente di aderenza trasversale tra pneumatico e pavimentazione stradale. Nel presente lavoro di tesi sono state scelte diverse relazioni che forniscono il valore del coefficiente di aderenza trasversale in funzione della velocità. Tuttavia, per quanto riguarda la trasferibilità dei risultati, bisogna evidenziare il fatto che la metodologia è applicabile anche ad altri contesti territoriali e a strade che presentano diverse caratteristiche. Tutto sta nello scegliere l'equazione del coefficiente di aderenza più adatta e nel verificare la scelta effettuata. Comunque, qualsiasi sia la relazione adottata per il coefficiente di aderenza trasversale, la metodologia continua ad essere valida permettendo di identificare una soglia dei valori cinematici. In funzione di questa soglia, si va a definire una percentuale di punti esterni che rappresenta un indicatore dello stile di guida. Il concetto è che all'aumentare dei punti esterni al dominio aumenta il rischio alla guida. Questi risultati sono quindi trasferibili ad altre nazioni: occorre solo sostituire la legge che fornisce l'aderenza trasversale nell'equazione 5.11.

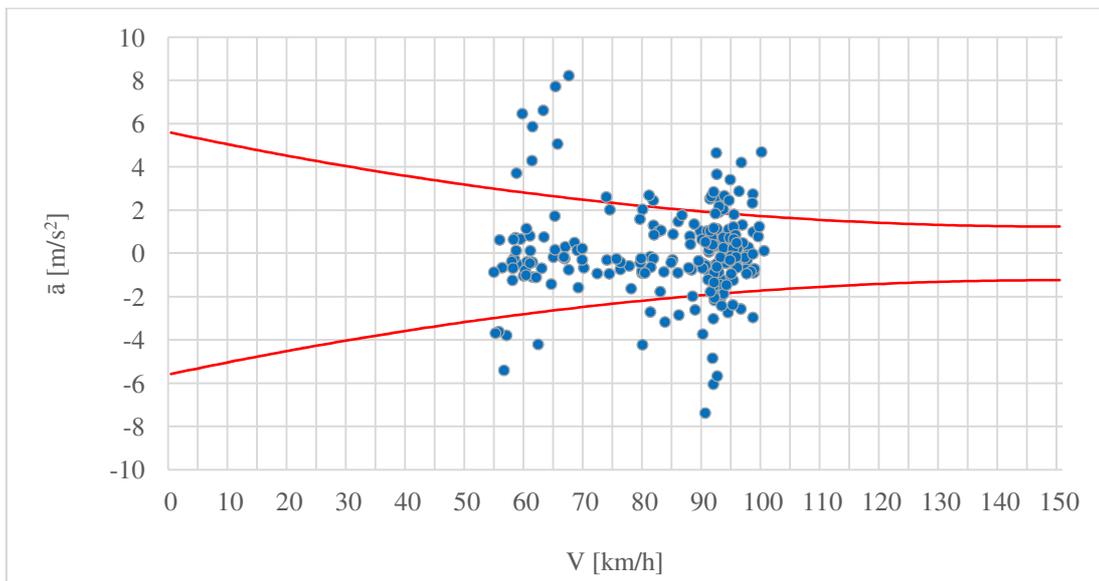
La metodologia considera il veicolo come isolato in quanto si vuole analizzare lo stile di guida in senso lato e non l'influenza degli altri utenti stradali sullo stile di guida adottato.

È opportuno ribadire un'altra volta che i punti che si trovano all'esterno del dominio non corrispondono ad incidenti ma a condizioni pericolose. Questo per le ipotesi cautelative fatte durante lo sviluppo della metodologia e perché le curve di aderenza forniscono un margine di sicurezza contro lo skidding.

## 5.5 RAPPRESENTAZIONE DEI RILIEVI CINEMATICI TRAMITE LA METODOLOGIA PROPOSTA

Si riportano, a titolo di esempio, due rilievi che descrivono due comportamenti di guida opposti avuti dal *driver* n°1: uno in cui il *driver* ha avuto una guida più aggressiva e una in cui ha avuto una guida più prudente. I rilievi sono stati effettuati su strada extraurbana.

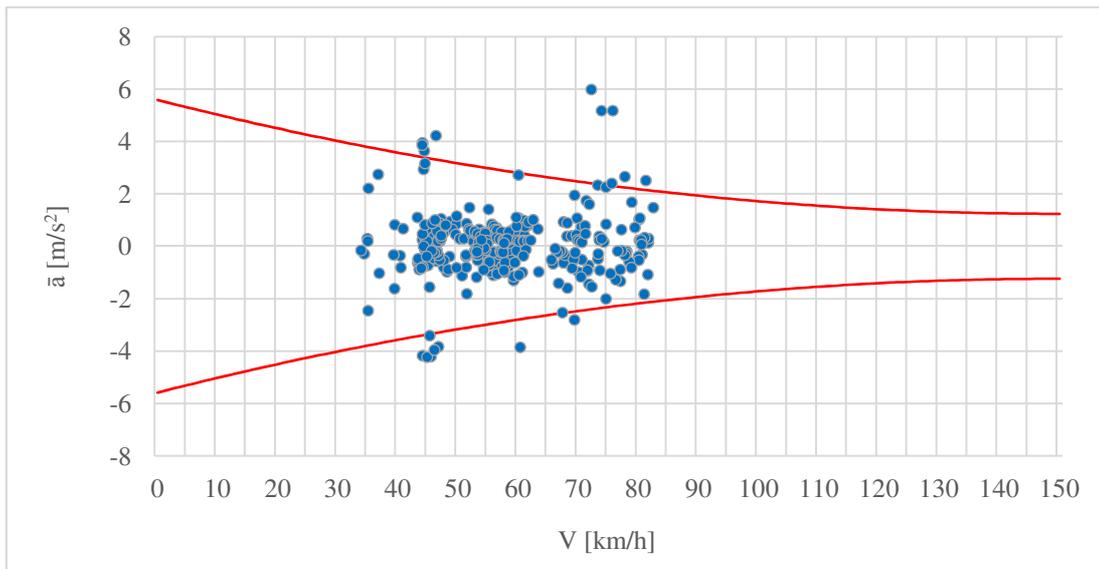
La figura 5.13 riporta un rilievo effettuato su un tracciato extraurbano in cui il *driver* ha avuto un comportamento qualitativamente molto pericoloso (o aggressivo). La percentuale di punti esterni al dominio è del 27% (%PE=27). Cioè su 265 condizioni di guida rilevate, ad intervalli di un secondo, 65 risultano essere pericolose.



**Figura 5.13: ESEMPIO DI COMPORTAMENTO QUALITATIVAMENTE AGGRESSIVO SU UN TRACCIATO EXTRAURBANO – DRIVER N°1**

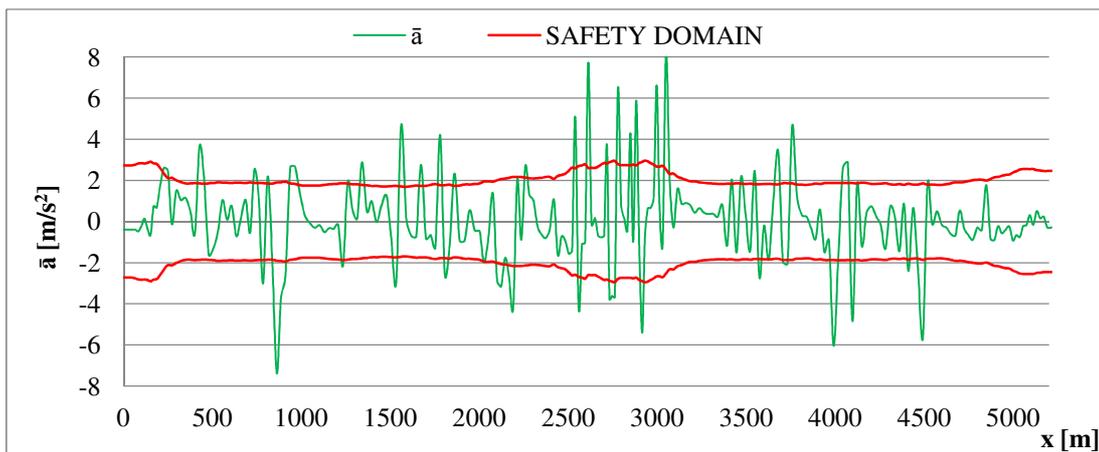
Come si può osservare dalla figura 5.13 i valori massimi di velocità sono intorno a 100 km/h, oltre il limite di velocità per la tipologia di strada (90 km/h). La maggior parte dei punti si trova tra 90 km/h e 100 km/h. Il modulo dell'accelerazione in molti punti assume valori intorno a  $8 \text{ m/s}^2$ . In molte condizioni vengono superati i  $4 \text{ m/s}^2$ . I punti sono abbastanza dispersi.

La figura 5.14 riporta un rilievo, sullo stesso percorso, in cui lo stesso utente ha avuto un comportamento più prudente. Si registrano infatti solo 16 punti su 316. Cioè la percentuale di punti esterni è del 5%. Come si può osservare la maggior parte dei punti sono compresi nell'intervallo di velocità 45-60 km/h. Poche sono le accelerazioni che superano 4 m/s<sup>2</sup> e l'accelerazione massima è intorno a 6 m/s<sup>2</sup>.



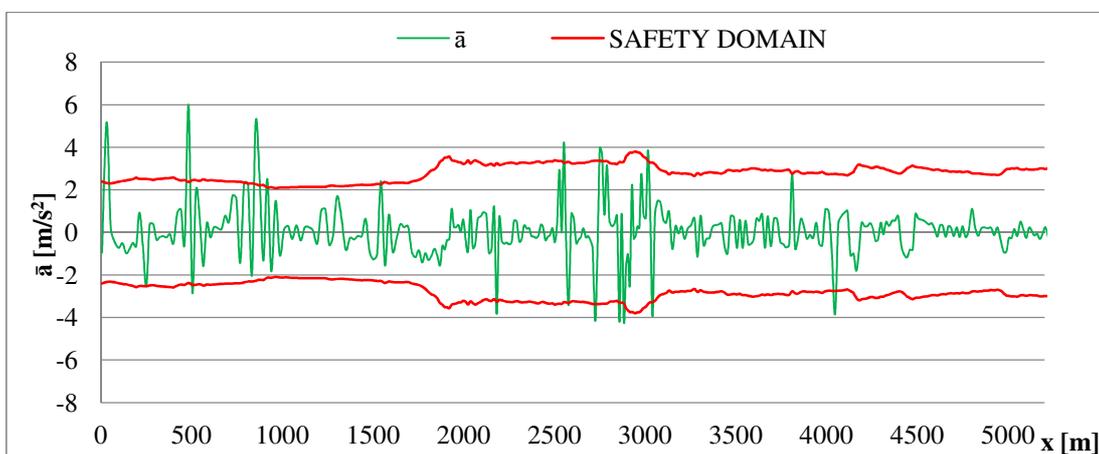
**Figura 5.14: ESEMPIO DI COMPORTAMENTO QUALITATIVAMENTE PRUDENTE SU UN TRACCIATO EXTRAURBANO – DRIVER N°1**

Poiché i punti sono geo-referenziati è possibile sapere in quale punto del tracciato l'utente si trova fuori dal dominio di sicurezza. La figura 5.15 mostra l'andamento del vettore accelerazione in funzione dello spazio percorso, nel caso in cui il *driver* ha avuto un comportamento più aggressivo. Si può osservare anche l'andamento del dominio di sicurezza nello spazio. Infatti, poiché in ciascun punto si ha una velocità diversa, si avrà anche un diverso coefficiente di aderenza trasversale disponibile e quindi un diverso valore del raggio del dominio di sicurezza. Come si può osservare il *driver* ha un comportamento pericoloso soprattutto dalla progressiva 2500 m alla progressiva 3500 m.



**Figura 5.15: ANDAMENTO DEL VETTORE ACCELERAZIONE NELLO SPAZIO NEL CASO DI COMPORTAMENTO AGGRESSIVO – DRIVER N°1**

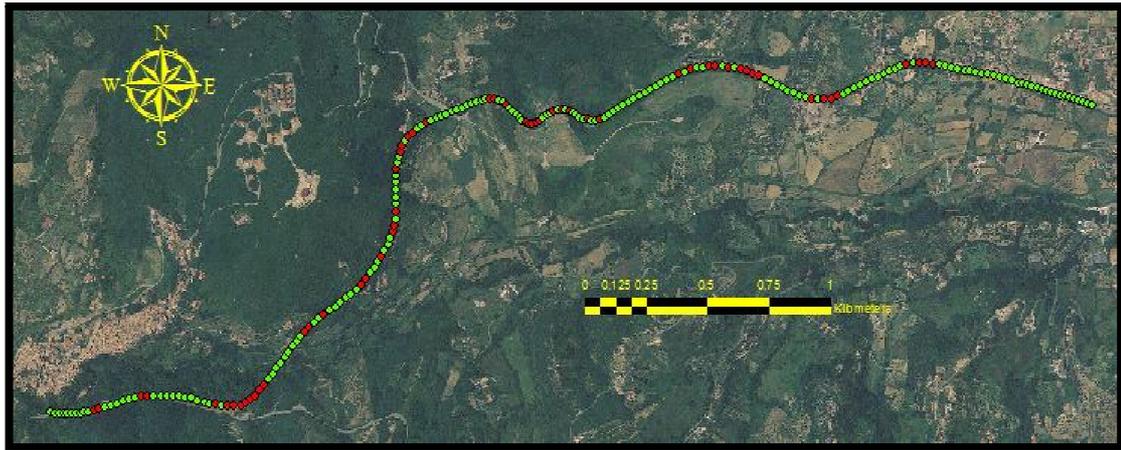
La figura 5.16 mostra invece l'andamento del vettore accelerazione e del dominio di sicurezza, in funzione dello spazio, nel caso in cui il *driver* ha avuto un comportamento più prudente. In questo caso il *driver* ha un comportamento aggressivo nei primi 1000 metri. Si vede chiaramente come i punti fuori dal dominio siano limitati.



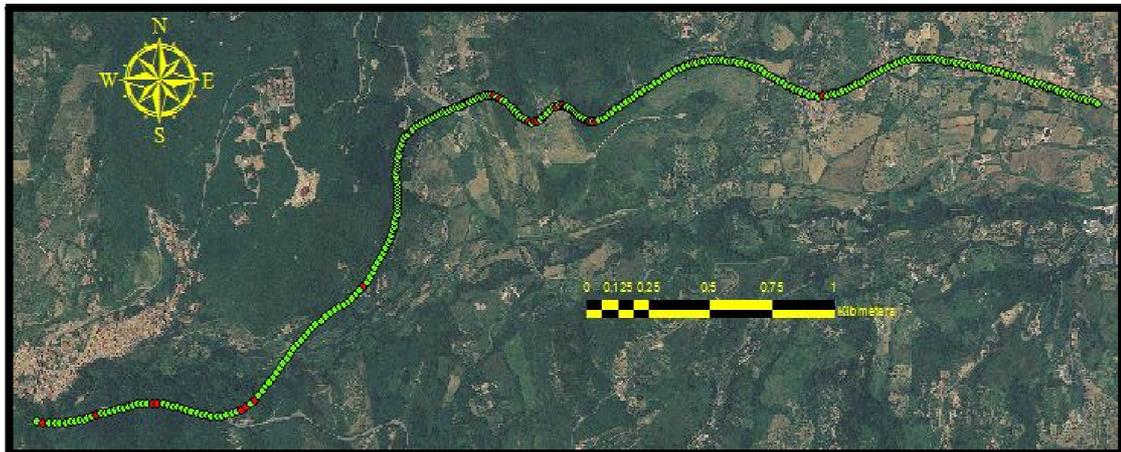
**Figura 5.16: ANDAMENTO DEL VETTORE ACCELERAZIONE NELLO SPAZIO NEL CASO DI COMPORTAMENTO PRUDENTE – DRIVER N°1**

Infine tramite l'utilizzo di un GIS (Geographic Information System) è possibile riportare i rilievi su mappa e indicare con il colore verde i punti in cui l'utente ha

avuto un comportamento sicuro e in rosso quelli in cui ha avuto un comportamento pericoloso. La figura 5.17 riporta il caso del *driver* che ha avuto una guida molto aggressiva mentre la figura 5.18 il caso in cui il *driver* ha avuto una guida più prudente. In questo modo risulta più immediata la comprensione dei punti del tracciato in cui si registra un comportamento pericoloso.

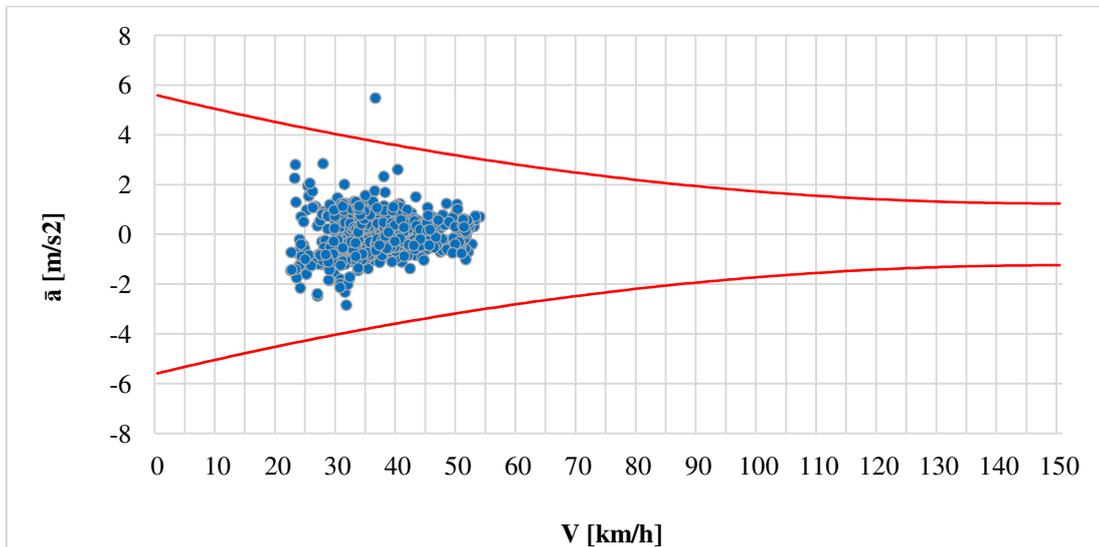


**Figura 5.17: RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA DEL COMPORTAMENTO AGGRESSIVO**

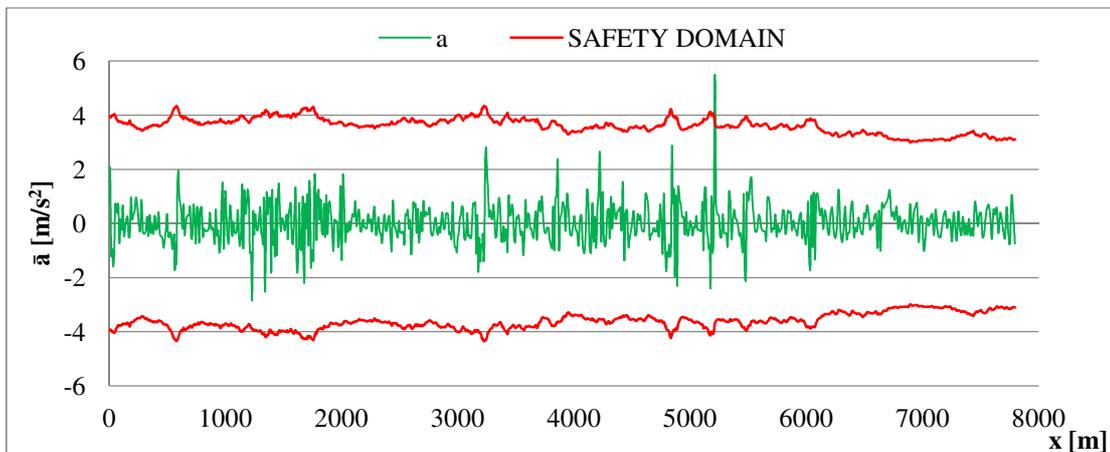


**Figura 5.18: RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA DEL COMPORTAMENTO PRUDENTE**

Le figure 5.19 e 5.20 riportano un caso estremo. Cioè il caso in cui il *driver* n°7 ha avuto il comportamento aggressivo in un solo punto del tracciato n°7 su 714 punti battuti.

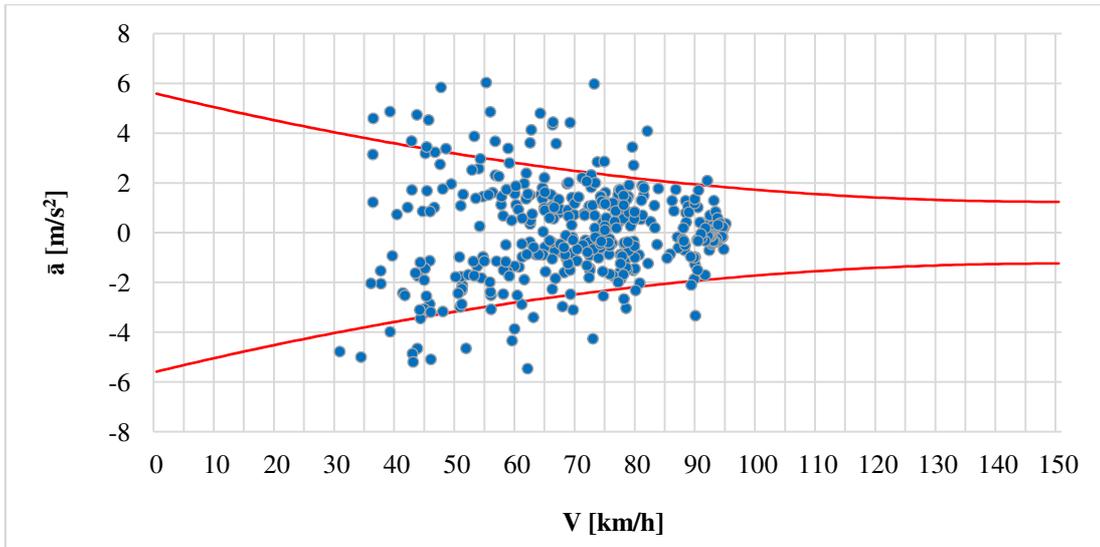


**Figura 5.19: ESEMPIO DI COMPORTAMENTO PRUDENTE – DRIVER N°7**

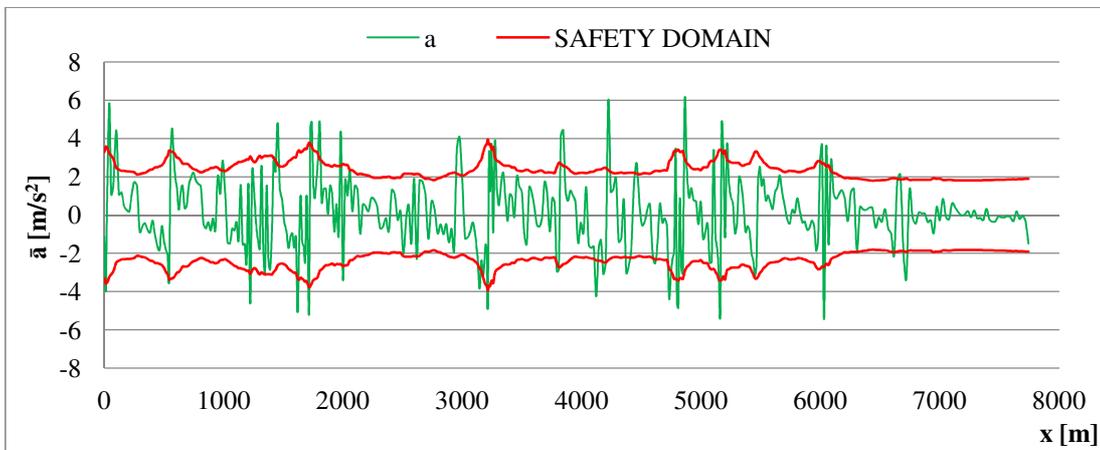


**Figura 5.20: ANDAMENTO DEL VETTORE ACCELERAZIONE NELLO SPAZIO NEL CASO DI COMPORTAMENTO PRUDENTE – DRIVER N°7**

Per completezza si riporta anche un rilievo effettuato dallo stesso *driver*, sullo stesso tracciato, in cui lo stesso ha avuto un comportamento più aggressivo (figura 5.21 e figura 5.22). La percentuale dei punti esterni è del 13% (51 punti esterni su 395 battuti).



**Figura 5.21: ESEMPIO DI COMPORTAMENTO AGGRESSIVO – DRIVER N°7**



**Figura 5.22: ANDAMENTO DEL VETTORE ACCELERAZIONE NELLO SPAZIO NEL CASO DI COMPORTAMENTO AGGRESSIVO – DRIVER N°7**



# **CAPITOLO 6**

## LA SPERIMENTAZIONE

## 6. LA SPERIMENTAZIONE

### 6.1 I DATI RILEVATI E ANALIZZATI

Durante il lavoro di tesi, è stata condotta un'indagine sperimentale al fine di investigare su come lo stato psicofisico del conducente influenzi la sua performance cioè il suo comportamento alla guida. In particolare sono stati eseguiti 584 rilievi su strada (circa 5.000 km percorsi). In totale sono state registrate circa 260.000 differenti condizioni di guida. In ambito urbano sono stati percorsi circa 500 km e sono state registrate circa 65.000 condizioni di guida provenienti da circa 200 rilievi. In ambito extraurbano circa 250 rilievi hanno fornito 130.000 differenti condizioni di guida. In ambito autostradale sono stati percorsi circa 2.200 km che hanno fornito circa 170.000 condizioni di guida. I dettagli relativi alla sperimentazione sono riportati in tabella 6.1.

Driver	N° di rilievi	Media punti per rilievo	Lunghezza percorso	ID percorso	Condizioni di guida registrate per ciascun driver	km percorsi da ciascun driver
1	34	255	5,2	3	8.670	176.8
1	21	416	7	4	8.736	147
2	29	300	5,2	4	8.700	150.8
2	31	270	5,3	5	8.370	164.3
3	11	400	7	4	4.400	77
4	12	400	7	4	4.800	84
5	34	610	19,5	9	20.740	663
6	32	700	19,5	9	22.400	624
7	31	475	8	7	14.725	248
8	42	251	2	1	10.542	84
9	32	1570	14,5	6	50.240	464
10	37	543	19	10	20.091	703
11	37	135	5.5	8	4.995	203.5
12	38	582	5	2	22.116	190
13	60	299	7	3	17.940	420
14	103	292	2	1	30.076	206
TOT	582				257.541	4.605,4

**Tabella 6.1: DESCRIZIONE DEI RILIEVI**

Tutti i rilievi sono stati eseguiti in condizioni di flusso libero, affinché il comportamento del *driver* non venisse influenzato e viziato dal traffico stradale.

Al *driver* è stato chiesto di guidare come fa normalmente, cioè senza essere influenzato dalla sperimentazione, per ottenere dei dati relativi ad una guida abituale. I rilievi registrati sono stati poi riportati su un GIS che ha permesso la loro elaborazione.

Per ogni rilievo, prima di iniziare il viaggio, il conducente ha compilato la scheda di auto-rilevazione relativa al proprio stato psico-fisico, precedentemente descritta. Nello specifico, l'utente ha indicato le proprie caratteristiche, condizioni fisiche ed emotive non appena si accingeva a percorrere il tracciato alla guida del veicolo, riportando, solo al termine della performance, un suo giudizio circa lo stile di guida adottato.

Si è cercato quindi di considerare più stati psico-fisici differenti e differenti comportamenti di guida.

Poiché sono stati effettuati 582 rilievi cinematici, sono stati raccolti 582 questionari ad autovalutazione.

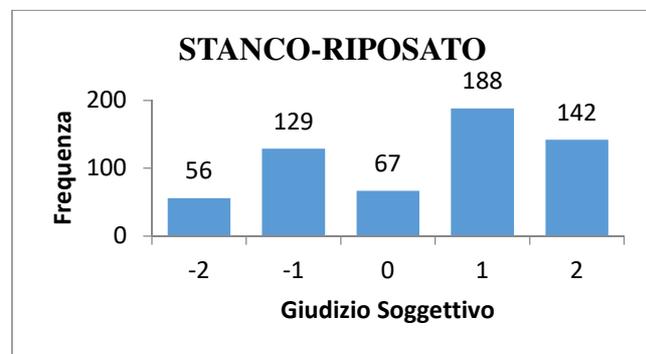
Prima di analizzare la correlazione esistente tra lo stato psicofisico e lo stile di guida adottato da ciascun *driver* si è sviluppato un criterio per classificare il livello di rischio alla guida secondo una scala a tre livelli.

## 6.2 DEFINIZIONE SOGGETTIVA DELLO STATO PSICOFISICO E DELLO STILE DI GUIDA DEL DRIVER

Prima di ognuna delle 582 rilevazioni, i *driver* hanno compilato la sezione riguardante il loro stato fisico ed emotivo. Per ciascuna coppia di aggettivi si riporta la distribuzione di frequenza:

- STANCO – RIPOSATO

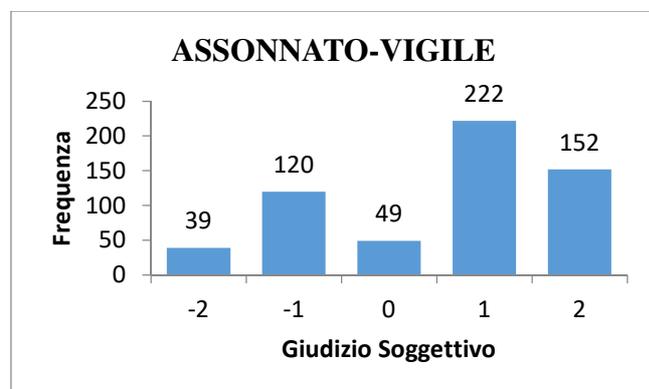
<i>Giudizio Soggettivo</i>	<i>Frequenza</i>
-2	56
-1	129
0	67
1	188
2	142
	582



**Figura 6.1: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: STANCO-RIPOSATO**

- ASSONNATO – VIGILE

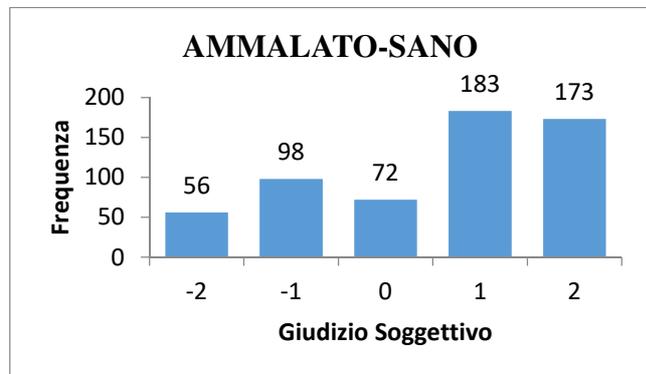
<i>Giudizio Soggettivo</i>	<i>Frequenza</i>
-2	39
-1	120
0	49
1	222
2	152
	582



**Figura 6.2: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: ASSONNATO-VIGILE**

- AMMALATO – SANO

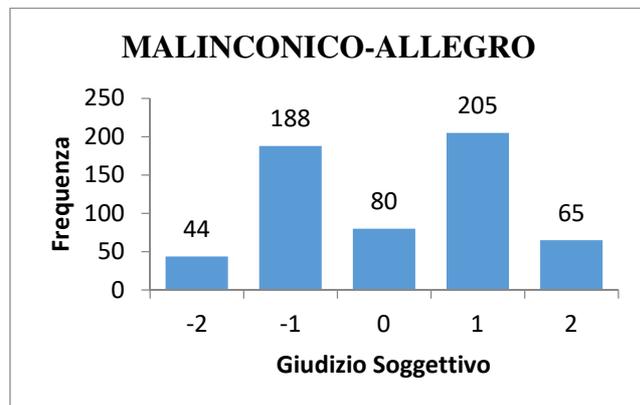
<i>Giudizio Soggettivo</i>	<i>Frequenza</i>
-2	56
-1	98
0	72
1	183
2	173
	582



**Figura 6.3: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: AMMALATO-SANO**

- MALINCONICO – ALLEGRO

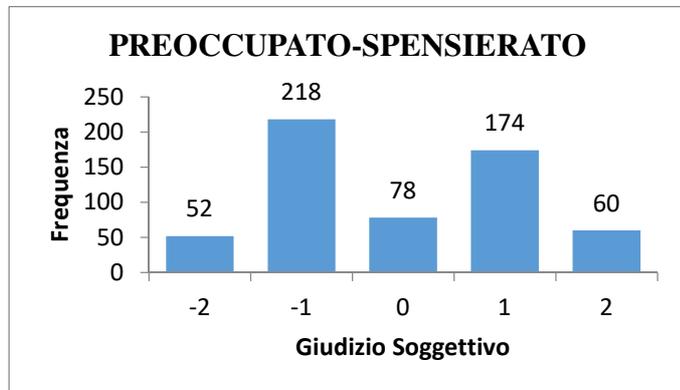
<i>Giudizio Soggettivo</i>	<i>Frequenza</i>
-2	44
-1	188
0	80
1	205
2	65
	582



**Figura 6.4: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: MALINCONICO-ALLEGRO**

- PREOCCUPATO – SPENSIERATO

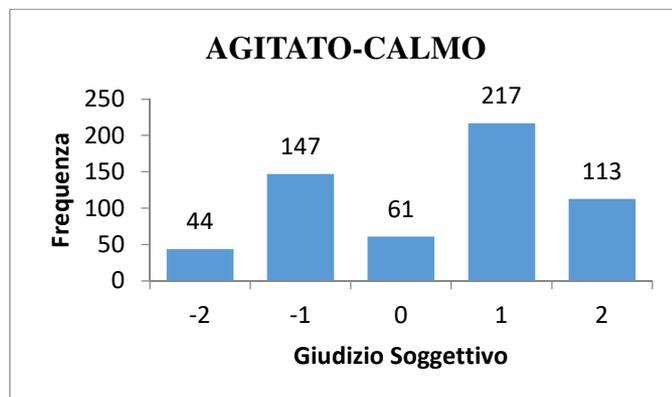
<i>Giudizio Soggettivo</i>	<i>Frequenza</i>
-2	52
-1	218
0	78
1	174
2	60
	582



**Figura 6.5: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: PREOCCUPATO-SPENSIERATO**

- AGITATO – CALMO

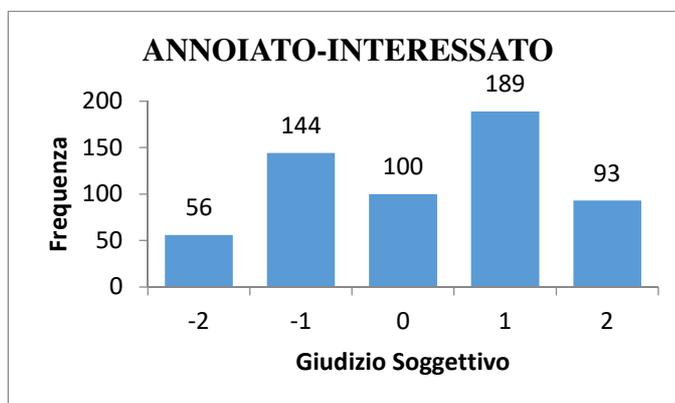
<i>Giudizio Soggettivo</i>	<i>Frequenza</i>
-2	44
-1	147
0	61
1	217
2	113
	582



**Figura 6.6: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: AGITATO – CALMO**

- ANNOIATO – INTERESSATO

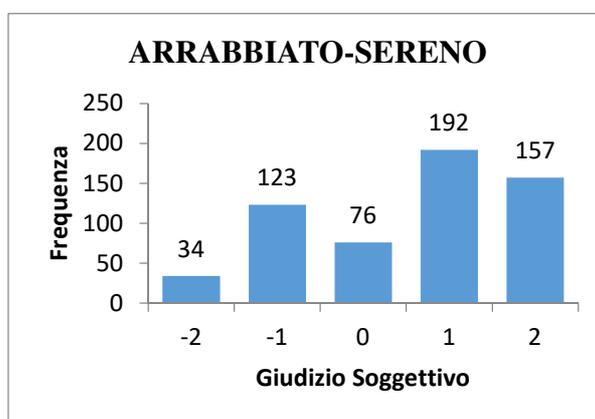
<i>Giudizio Soggettivo</i>	<i>Frequenza</i>
-2	56
-1	144
0	100
1	189
2	93
	582



**Figura 6.7: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: ANNOIATO – INTERESSATO**

- ARRABBIATO – SERENO

<i>Giudizio Soggettivo</i>	<i>Frequenza</i>
-2	34
-1	123
0	76
1	192
2	157
	582

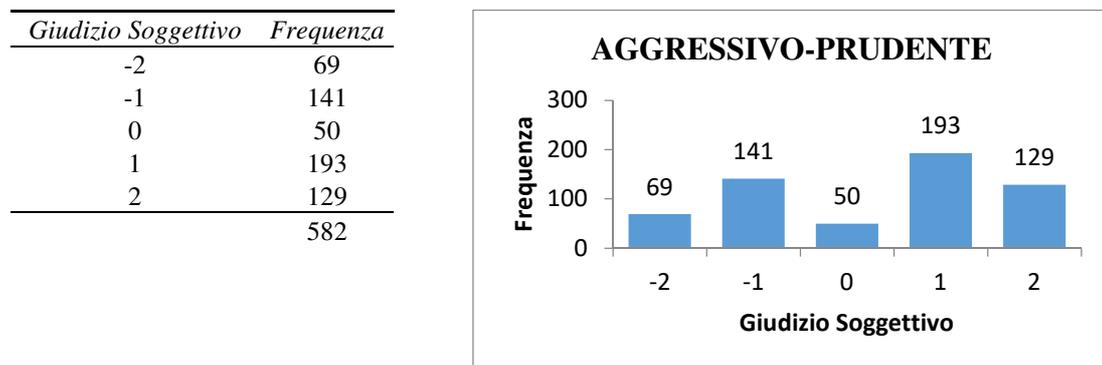


**Figura 6.8: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: ARRABBIATO-SERENO**

L'ultima parte della scheda di rilevazione è la sola che va compilata alla fine del rilievo dei parametri cinematici e si riferisce al viaggio appena concluso. Il *driver* che ha partecipato all'indagine ha dovuto dare una valutazione soggettiva sullo stile di guida adottato facendo riferimento alla solita scala di rating e considerando la

coppia di aggettivi aggressivo-prudente. Nella figura 6.9 è riportata la distribuzione delle frequenze dei giudizi forniti dall'utente:

- AGGRESSIVO – PRUDENTE (STILE DI GUIDA DICHIARATO)



**Figura 6.9: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA PER LA COPPIA DI AGGETTIVI: AGGRESSIVO-PRUDENTE**

Come si può osservare, nei 582 rilievi effettuati, i *driver* hanno dichiarato di aver guidato con diversi stili di guida. Si può osservare che sono stati effettuati numerosi rilievi per ogni giudizio oggettivo.

### 6.3 DEFINIZIONE OGGETTIVA DELLO STILE DI GUIDA DEL DRIVER

La definizione dello stile di guida dal punto di vista oggettivo è stata effettuata attraverso il dominio di sicurezza sviluppato in questo lavoro di tesi. In particolare l'indicatore che classifica il comportamento di guida è rappresentato dalla percentuale di punti che si trovano al di fuori del dominio. Maggiore è la percentuale di punti esterni, più elevato è il livello di rischio alla guida, quindi più pericolosa è la stessa. Al diminuire di questa percentuale, la guida del *driver* tende ad essere più sicura. Un comportamento di guida molto sicuro è quello in cui non si hanno punti esterni al dominio. Infatti ogni punto all'interno del dominio è rappresentativo di una condizione di guida sicura, mentre i punti al di fuori del dominio di sicurezza indicano una guida aggressiva o pericolosa.

Per tutti i 582 rilievi sono stati calcolati i punti esterni e interni al dominio. Sulla base di quest'ultimi è stata calcolata la percentuale di punti esterni cioè l'indicatore sviluppato nel capitolo relativo alla metodologia e chiamato %PE. Nella tabella 6.2 sono riportati i risultati ottenuti. Il primo numero dell'ID indica il *driver* mentre il numero dopo il punto il numero del rilievo.

La figura 6.10 riporta l'istogramma delle frequenze delle percentuali di punti esterni al dominio di sicurezza e la frequenza cumulata. È possibile osservare che in oltre l'86% dei casi l'indicatore %PE è al di sotto del 20%. La classe in cui la percentuale di punti esterni ricade maggiormente è la 5-10.

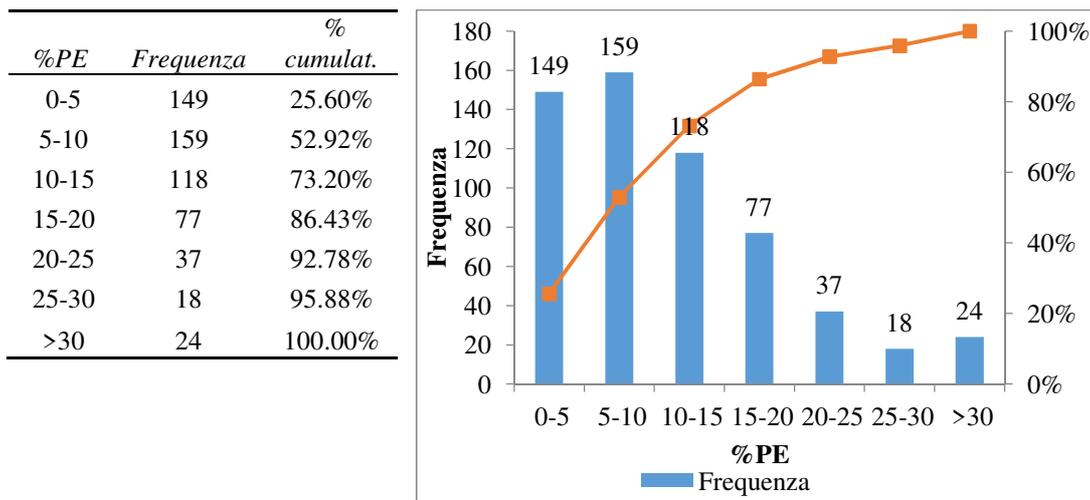


Figura 6.10: ISTOGRAMMA DELLE FREQUENZE DI %PE

ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE
1.01	15.38	2.II	5.56	5.31	4.50	8.17	0.41	10.26	11.25	12.35	2.75	14.2	8.52
1.02	17.67	2.III	4.63	5.32	35.00	8.18	3.14	10.27	11.31	12.36	4.98	14.21	10.45
1.03	23.91	2.IV	6.19	5.33	5.00	8.19	4.01	10.28	16.38	12.37	0.98	14.22	6.45
1.04	11.83	2.V	1.18	5.34	30.00	8.2	4.91	10.29	10.71	12.38	18.20	14.23	16.67
1.05	27.56	2.VI	3.88	6.01	37.07	8.21	4.26	10.3	22.55	13.01	0.33	14.24	9.54
1.06	26.48	2.VII	4.18	6.02	36.90	8.22	6.30	10.31	10.76	13.02	0.99	14.25	7.96
1.07	11.45	2.VIII	4.21	6.03	33.33	8.23	6.67	10.32	22.50	13.03	2.43	14.26	5.28
1.08	8.87	2.IX	2.75	6.04	30.72	8.24	6.05	10.33	4.60	13.04	3.75	14.27	9.13
1.09	19.23	2.X	4.03	6.05	30.71	8.25	5.20	10.34	6.32	13.05	2.69	14.28	8.28
1.1	6.04	2.XI	4.20	6.06	27.00	8.26	5.62	10.35	19.75	13.06	9.42	14.29	12.96
1.12	7.59	2.XII	2.71	6.07	20.93	8.27	5.73	10.36	3.45	13.07	4.18	14.3	7.89
1.13	21.83	2.XIII	1.07	6.08	16.15	8.28	11.59	10.37	24.65	13.08	2.22	14.31	14.29
1.14	10.49	2.XIV	1.83	6.09	17.41	8.29	9.89	11.01	10.88	13.09	5.59	14.32	15.85
1.15	10.94	2.XV	2.58	6.1	21.13	8.3	5.90	11.02	24.24	13.1	4.60	14.33	8.56
1.16	15.13	2.XVI	3.23	6.11	25.07	8.31	5.32	11.03	9.09	13.11	3.82	14.34	11.08
1.17	7.80	2.XVII	4.90	6.12	18.46	8.32	7.91	11.04	33.33	13.12	9.23	14.35	11.20
1.18	11.72	2.XVIII	1.86	6.13	27.17	8.33	1.98	11.05	31.90	13.13	8.33	14.36	5.63
1.19	11.36	2.XIV	5.39	6.14	11.08	8.34	8.30	11.06	25.78	13.14	12.50	14.37	5.90
1.2	10.55	2.XX	2.57	6.15	11.81	8.35	10.19	11.07	28.03	13.15	6.20	14.38	8.80
1.21	10.59	2.XXI	1.92	6.16	19.88	8.36	7.14	11.08	27.56	13.16	4.79	14.39	18.60
1.22	17.46	XXII	5.15	6.17	22.33	8.37	6.64	11.09	9.72	13.17	5.34	14.4	15.71
1.23	14.83	XXIII	4.49	6.18	20.72	8.38	2.75	11.1	44.35	13.18	12.40	14.41	21.97
1.24	11.45	XXIV	5.12	6.19	19.43	8.39	1.23	11.11	24.81	13.19	3.97	14.42	16.54
1.25	18.18	XXV	3.21	6.2	18.86	8.4	2.25	11.12	15.97	13.2	9.36	14.43	8.31
1.26	25.64	XXVI	4.31	6.21	21.67	8.41	14.56	11.13	30.16	13.21	6.18	14.44	6.61
1.27	15.42	XXVII	2.97	6.22	20.24	8.42	15.32	11.14	18.60	13.22	6.43	14.45	8.65
1.28	16.18	XXVIII	3.80	6.23	7.22	9.1	7.37	11.15	20.16	13.23	4.41	14.46	13.75
1.29	12.64	XXIX	3.14	6.24	23.22	9.2	8.97	11.16	36.84	13.24	4.78	14.47	11.56
1.3	15.38	XXX	2.16	6.25	24.82	9.3	9.97	11.17	13.89	13.25	4.91	14.48	4.37
1.31	6.01	XXXI	2.46	6.26	20.90	9.4	14.63	11.18	15.38	13.26	3.49	14.49	6.23
1.32	16.17	3.02	10.44	6.27	14.88	9.5	13.59	11.19	25.98	13.27	4.49	14.5	13.55
1.33	8.73	3.03	9.84	6.28	17.46	9.6	14.33	11.2	13.01	13.28	3.62	14.51	9.12
1.34	9.56	3.04	14.58	6.29	19.66	9.7	16.05	11.21	25.98	13.29	7.42	14.52	16.26
1.I	4.03	3.05	19.81	6.3	20.40	9.8	15.39	11.22	24.41	13.3	6.40	14.53	9.59
1.II	10.58	3.06	12.68	6.31	5.30	9.9	11.34	11.23	18.80	13.31	9.23	14.54	3.16
1.III	10.13	3.07	21.88	6.32	39.00	9.1	15.27	11.24	27.41	13.32	10.25	14.55	18.14
1.IV	9.60	3.09	4.26	7.01	5.73	9.11	14.02	11.25	28.00	13.33	4.58	14.56	17.80
1.V	7.06	3.1	5.76	7.02	2.44	9.12	14.30	11.26	36.52	13.34	3.51	14.57	19.16
1.VI	10.88	3.11	3.52	7.03	12.78	9.13	18.74	11.27	5.11	13.35	8.30	14.58	3.93
1.VII	15.97	3.13	1.97	7.04	9.40	9.14	15.39	11.28	20.28	13.36	9.02	14.59	4.09
1.VIII	7.77	3.15	10.51	7.05	7.22	9.15	15.63	11.29	23.02	13.37	10.04	14.6	7.62
1.IX	9.97	4.01	6.17	7.06	2.07	9.16	12.69	11.3	34.71	13.38	11.35	14.61	3.24
1.X	4.93	4.02	10.95	7.07	12.88	9.17	15.38	11.31	34.71	13.39	5.43	14.62	5.31

ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE	ID	%PE
1.XI	7.05	4.03	10.03	7.08	2.33	9.18	12.96	11.32	25.20	13.4	5.08	14.63	14.34
1.XII	12.81	4.04	5.62	7.09	8.69	9.19	10.83	11.33	5.64	13.41	3.05	14.64	4.58
1.XIII	5.64	4.05	4.34	7.1	7.00	9.2	20.80	11.34	36.45	13.42	3.82	14.65	4.76
1.XIV	14.10	4.06	6.47	7.11	10.43	9.21	17.53	11.35	14.25	13.43	8.70	14.66	34.62
1.XV	8.11	4.09	1.47	7.12	18.18	9.22	13.26	11.36	27.80	13.44	6.67	14.67	12.19
1.XVI	8.27	4.1	3.26	7.13	0.38	9.23	14.48	11.37	6.12	13.45	6.48	14.68	12.33
1.XVII	11.89	4.16	12.24	7.14	0.75	9.24	16.41	12.1	3.31	13.46	7.22	14.69	9.92
1.XVIII	10.82	4.17	0.76	7.15	0.17	9.25	16.55	12.2	4.27	13.47	1.02	14.7	18.83
1.XIX	9.02	4.18	3.44	7.16	0.13	9.26	15.81	12.3	4.87	13.48	4.76	14.71	5.96
1.XX	12.15	4.2	7.63	7.17	0.00	9.27	14.34	12.4	1.93	13.49	2.97	14.72	8.75
1.XXI	7.65	5.01	5.89	7.18	4.85	9.28	14.53	12.5	4.91	13.5	3.54	14.73	6.93
2.01	5.51	5.02	9.37	7.19	10.92	9.29	12.63	12.6	2.73	13.51	2.14	14.74	22.27
2.02	10.29	5.03	12.19	7.2	13.93	9.3	16.10	12.7	8.52	13.52	2.18	14.75	13.48
2.03	12.41	5.04	11.48	7.21	5.68	9.31	6.50	12.8	5.54	13.53	2.49	14.76	15.38
2.04	6.16	5.05	26.72	7.22	7.13	9.32	21.50	12.9	2.48	13.54	3.77	14.77	4.47
2.05	13.67	5.06	16.47	7.23	10.05	10.01	17.04	12.10	4.87	13.55	0.72	14.78	9.93
2.06	18.44	5.07	5.52	7.24	8.99	10.02	6.10	12.11	15.61	13.56	0.69	14.79	12.21
2.07	10.34	5.08	4.94	7.25	4.04	10.03	21.37	12.12	6.24	13.57	6.56	14.8	20.77
2.08	14.07	5.09	14.36	7.26	3.15	10.04	11.11	12.13	3.94	13.58	5.97	14.81	9.47
2.09	7.72	5.1	8.97	7.27	3.33	10.05	14.88	12.14	8.19	13.59	0.35	14.82	12.46
2.1	11.15	5.11	10.72	7.28	6.49	10.06	17.09	12.15	3.85	13.6	3.83	14.83	6.34
2.11	15.14	5.12	11.61	7.29	0.10	10.07	19.73	12.16	4.19	14.01	10.22	14.84	13.56
2.12	3.66	5.13	9.92	7.3	19.00	10.08	20.60	12.17	6.02	14.02	11.11	14.85	6.08
2.13	11.01	5.14	34.61	7.31	0.12	10.09	22.47	12.18	4.57	14.03	17.04	14.86	5.23
2.14	9.22	5.15	8.37	8.1	6.92	10.1	18.76	12.19	3.51	14.04	12.58	14.87	9.28
2.15	11.76	5.16	17.08	8.2	5.09	10.11	21.33	12.20	2.10	14.05	7.67	14.88	15.38
2.16	8.25	5.17	13.40	8.3	3.01	10.12	22.52	12.21	4.72	14.06	6.97	14.89	6.81
2.17	11.62	5.18	30.81	8.4	3.82	10.13	20.93	12.22	2.38	14.08	11.30	14.9	11.07
2.18	6.60	5.19	18.64	8.5	13.65	10.14	17.86	12.23	4.44	16.08	4.39	14.91	10.11
2.19	14.79	5.2	10.36	8.6	4.46	10.15	22.18	12.24	4.25	14.09	18.15	14.92	9.83
2.2	9.29	5.21	41.16	8.7	4.86	10.16	16.06	12.25	6.78	14.1	4.19	14.93	10.24
2.22	14.62	5.22	32.58	8.8	5.11	10.17	15.66	12.26	3.65	14.11	4.68	14.94	9.69
2.23	15.71	5.23	32.07	8.9	7.26	10.18	19.42	12.27	2.58	14.12	2.74	14.95	7.88
2.24	16.93	5.24	30.66	8.1	17.87	10.19	20.89	12.28	6.33	14.13	3.99	14.96	9.59
2.25	3.80	5.25	32.26	8.11	5.22	10.2	10.70	12.29	2.62	14.14	4.08	14.97	12.92
2.26	12.60	5.26	24.46	8.12	3.80	10.21	13.41	12.30	2.80	14.15	16.28	14.98	12.80
2.27	11.51	5.27	26.73	8.13	5.08	10.22	11.90	12.31	6.06	14.16	7.47	14.99	9.38
2.28	4.80	5.28	18.26	8.14	5.74	10.23	9.47	12.32	1.00	14.17	3.44	14.1	4.96
2.29	17.60	5.29	18.56	8.15	1.14	10.24	8.38	12.33	6.11	14.18	11.23	14.101	4.35
2.I	5.20	5.3	21.45	8.16	5.26	10.25	9.24	12.34	3.01	14.19	9.43	14.102	10.24
												14.103	11.71

**Tabella 6.2: %PE PER CIASCUN RILIEVO**

## 6.4 DEFINIZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO SECONDO UNA SCALA A TRE LIVELLI

Combinando sia la percentuale di punti esterni alla frontiera del dominio di sicurezza sviluppato e sia il giudizio soggettivo sullo stile di guida adottato (fornito dai *driver*), si è cercato di ottenere un giudizio complessivo sul livello di rischio alla guida. Lo scopo è stato quello di identificare 3 range di percentuale di punti esterni al dominio di sicurezza che rappresentano 3 diversi livelli di rischio: basso, medio e alto.

Quindi dopo aver calcolato la percentuale di punti esterni per ciascun rilievo, la stessa è stata associata ai corrispondenti giudizi soggettivi riguardo lo stile di guida adottato (ultima sezione del questionario), forniti dagli utenti esperti.

Nel questionario si ha, però, una scala di misurazione a 5 giudizi dove i *driver* esprimono un giudizio da -2 (comportamento di guida aggressivo) a +2 (comportamento di guida prudente). Al fine di identificare tre intervalli (o range) e quindi due soglie, i giudizi soggettivi sono stati raggruppati in due sole classi, cioè alcuni giudizi sono stati accorpati. Nello specifico, nella classe che identifica un comportamento aggressivo sono stati accorpati i giudizi soggettivi pari a -2, -1 e 0, mentre nella classe che identifica un comportamento prudente sono stati aggregati i giudizi 1 e 2. Così facendo, il comportamento del *driver* viene classificato in due sole modalità (Eboli et al., 2017a). È stato scelto di raggruppare la posizione centrale e neutrale (il giudizio zero) nella classe che identifica un comportamento aggressivo perché questa assunzione è più cauta e può essere vista a vantaggio di sicurezza nella definizione delle soglie.

Successivamente è stata calcolata la media delle percentuali di punti esterni associate alla classe che identifica il comportamento aggressivo e tale valore è stato considerato come rappresentativo della classe stessa. Oltre tale valori è assunto un livello di rischio alla guida “alto”.

Lo stesso calcolo è stato effettuato per le percentuali di punti esterne associate alla classe che identifica un comportamento alla guida prudente. Determinato questo valore si è assunto che al di sotto di questo valore il livello di rischio alla guida è “basso”.

Quindi calcolando le medie dei punti esterni per le due classi sono state identificate due soglie: una soglia superiore e una soglia inferiore.

Questo calcolo è stato effettuato per le tre tipologie di strada su cui è stata effettuata la sperimentazione. I risultati sono riportati in tabella 6.3.

TIPOLOGIA DI STRADA	SOGLIA INFERIORE [%]	SOGLIA SUPERIORE [%]
URBANA	5	10
EXTRAURBANA	7	10
AUTOSTRADA	15	25

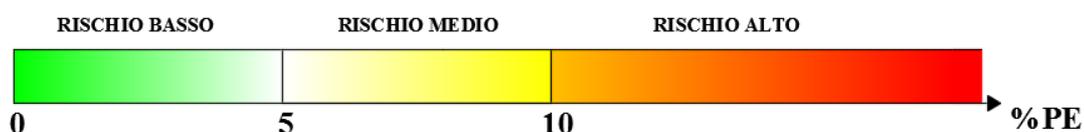
**Tabella 6.3: SOGLIE DI %PE PER CIASCUNA TIPOLOGIA DI STRADA**

Sulla base delle due soglie identificate, è stato possibile identificare i 3 range a cui corrispondono i tre livelli di rischio:

- Rischio basso: se la percentuale di punti che si trovano al di fuori del dominio di sicurezza è più bassa della soglia inferiore. In questo caso il *driver* è quasi sempre in condizioni di sicurezza e solo in pochi punti vengono a mancare queste condizioni;
- Rischio medio: la percentuale di punti esterni al dominio di sicurezza si trova tra la soglia inferiore e quella superiore. I punti in cui le condizioni di sicurezza vengono a mancare diventano significativi;
- Alto rischio: se la percentuale di punti esterni al dominio è maggiore della soglia superiore. I punti in cui il *driver* si trova in condizioni di guida pericolose sono numerosi e per questa ragione il *driver* risulta essere molto esposto al verificarsi di un incidente stradale.

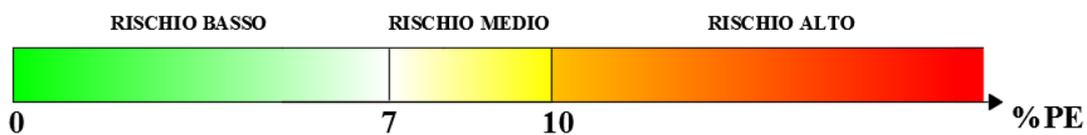
In questo modo è possibile identificare il livello di rischio sulla base delle sole grandezze cinematiche registrate.

La figura 6.11 riporta i range per strade urbane.



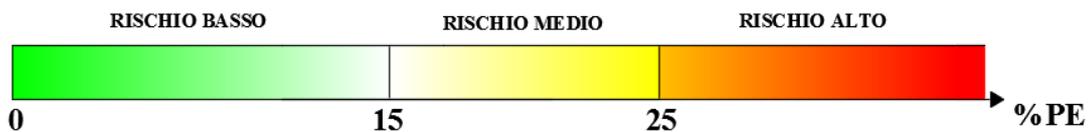
**Figura 6.11: IDENTIFICAZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO PER STRADE URBANE**

La figura 6.12 riporta i range per strade extraurbane.



**Figura 6.12: IDENTIFICAZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO PER STRADE EXTRAURBANE**

Infine la figura 6.13 riporta i range per autostrade. Come si può osservare le soglie sono più alte. Questo è dovuto al fatto che nella progettazione di questo tipo di strade si adotta un margine di sicurezza più alto per il coefficiente di aderenza trasversale.



**Figura 6.13: IDENTIFICAZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO PER AUTOSTRADE**

## 6.5 MISURA DELL'ERRORE DI PERCEZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO ALLA GUIDA

La percezione del rischio, in letteratura, viene valutata principalmente in maniera soggettiva essendo una caratteristica individuale che dipende dall'esperienza il *driver* ha con gli incidenti stradali (Nevelsteen et al., 2012). Tuttavia, sia le caratteristiche individuali del conducente che il comportamento di guida comportano determinati errori di percezione nella valutazione del livello di rischio; di conseguenza (Chen et al. 2013), i conducenti spesso non sono consapevoli del rischio reale che stanno assumendo. La loro percezione distorta del livello di rischio è spesso una delle cause principali degli incidenti stradali (Horswill et al. 2004). Quindi aumentare la consapevolezza dei conducenti sul loro stile di guida è necessario per migliorare la sicurezza stradale.

A tal fine, in questo paragrafo viene presentata una metodologia per misurare l'errore di percezione.

Confrontando l'indicatore oggettivo con il giudizio soggettivo fornito dai *driver* è inoltre possibile avere una "misura" dell'errore di percezione del livello di rischio del *driver* alla guida.

Per calcolare quest'errore di percezione sono state definite due misure dello stile di guida:

- la misura oggettiva rappresentata dall'indicatore chiamato OM;
- la misura soggettiva rappresentata dall'indicatore chiamato SM;

Come già visto, il livello di rischio alla guida viene definito oggettivamente tramite la percentuale di punti esterni al dominio di sicurezza. Nello specifico, sulla base del valore assunto da questa percentuale viene identificato un livello di rischio alla guida secondo una scala a tre livelli: livello di rischio basso, medio e alto. Per definire OM è stata associata una variabile discreta a ciascun livello. Quindi OM, in base ai dati oggettivi, può assumere tre valori:

- -1 per un livello di rischio alla guida alto;
- 0 per un livello di rischio alla guida medio;
- 1 per un livello di rischio alla guida basso.

La misura soggettiva (SM) del livello di rischio avviene tramite il questionario ad auto compilazione, già descritto in questo lavoro di tesi. Nello specifico, il *driver* esprime lo stile di guida adottato tramite una scala a 5 posizioni che vanno da -2 a 2. Al fine di avere un indicatore a 3 posizioni per SM, così come per OM, i punteggi -2 e -1 sono stati raggruppati in un unico punteggio pari a -1. Anche per i valori positivi è stata fatta la stessa cosa, cioè +1 e +2 sono stati raggruppati in un unico indicatore pari a +1.

Quindi anche SM, in base ai giudizi soggettivi, può assumere 3 valori:

- -1 per un comportamento aggressivo;
- 0 per un comportamento normale;
- 1 per un comportamento prudente.

Quindi noti i valori di SM ed OM, per ogni rilievo o guida è possibile definire un indice, chiamato ERPI (Error of Risk Perception Index), che misura l'errore di percezione del livello di rischio alla guida. L'ERPI è dato dalla relazione 6.1.

$$ERPI = OM - SM \quad (6.1)$$

Poiché OM ed SM variano tra -1 e +1, allora l'ERPI varierà tra -2 e +2. Più il valore dell'ERPI si avvicina allo zero più piccolo è l'errore di percezione.

$$|ERPI| \leq 2 \quad (6.2)$$

Valori negativi dell'ERPI indicano un errore di percezione a svantaggio di sicurezza mentre valori positivi indicano un errore a vantaggio di sicurezza. Il valore -2 indica il massimo errore a svantaggio di sicurezza, poiché il *driver* ha oggettivamente una guida aggressiva ma dichiara di essere prudente. Il valore +2 indica il massimo valore a vantaggio di sicurezza cioè il *driver* ha una guida prudente ma dichiara di

essere aggressivo. Il valore 0 indica che non c'è errore di percezione cioè il *driver* è consapevole dello stile di guida adottato.

Per testare la metodologia, che fornisce una misura dell'errore di percezione del livello di rischio alla guida, è stata condotta un'analisi sperimentale su un tratto della strada statale n°107 di lunghezza pari a 6 km. Ulteriori sette *driver* hanno percorso il tracciato e hanno percorso circa 1.100 km realizzando 165 rilievi.

Innanzitutto è stato calcolato OM per tutti i 165 rilievi, sulla base dei punti esterni al dominio di sicurezza valido per strade extraurbane.

La stessa cosa è stata fatta per SM sulla base dei giudizi rilevati tramite il questionario.

Come si può osservare dalla tabella 6.4, il valore di OM pari a -1 è quello predominante per il campione analizzato (84 volte su 165). Questo significa che i *driver*, il più delle volte (circa il 70%), hanno adottato un alto livello di rischio alla guida.

Dalla tabella 6.4 si può anche osservare che nel 60% dei casi i *driver* hanno dichiarato di essere stati prudenti durante la guida. L'obiettivo è quello di verificare che i giudizi dichiarati corrispondano al vero. In realtà i dati oggettivi e soggettivi sembrano in contrasto tra di loro, e per questo è necessario esaminarli approfonditamente.

Nella tabella 6.5 vengono riportati i dati osservati e misurati per ciascun *driver*. Per quanto riguarda OM tutti i giudizi seguono l'andamento medio ad eccezione del *driver* n°4 per il quale il livello di rischio assunto è basso nell'80% delle volte. Per quanto riguarda SM, tutti i *driver* hanno dichiarato nella maggior parte dei casi di essere stati prudenti ad eccezione del *driver* n°7 che ha dichiarato di essere prudente solo nel 25% dei casi (mediamente una volta su 4).

Giudizio	OM		SM	
	N° di rilievi	%	N° di rilievi	%
1	51	30,9	98	59,4
0	30	18,2	17	10,3
-1	84	50,9	50	30,3
	<b>165</b>	<b>100,0</b>	<b>165</b>	<b>100,0</b>

**Tabella 6.4: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DEI VALORI ASSUNTI DA OM E SM**

Giudizio	OM			SM	
	Driver	N° di rilievi	%	N° di rilievi	%
1	1	0	0,0	20	60,6
0		4	12,1	1	3,0
-1		29	87,9	12	36,4
		<b>33</b>	<b>100,0</b>	<b>33</b>	<b>100,0</b>
1	2	2	9,5	13	61,9
0		5	23,8	3	14,3
-1		14	66,7	5	23,8
		<b>21</b>	<b>100,0</b>	<b>21</b>	<b>100,0</b>
1	3	4	13,8	19	65,5
0		4	13,8	3	10,3
-1		21	72,4	7	24,1
		<b>29</b>	<b>100,0</b>	<b>29</b>	<b>100,0</b>
1	4	25	80,6	21	67,7
0		6	19,4	1	3,2
-1		0	0,0	9	29,0
		<b>31</b>	<b>100,0</b>	<b>31</b>	<b>100,0</b>
1	5	3	27,3	9	81,8
0		1	9,1	0	0,0
-1		7	63,6	2	18,2
		<b>11</b>	<b>100,0</b>	<b>11</b>	<b>100,0</b>
1	6	5	41,7	9	75,0
0		4	33,3	0	0,0
-1		3	25,0	3	25,0
		<b>12</b>	<b>100,0</b>	<b>12</b>	<b>100,0</b>
1	7	12	42,9	7	25,0
0		6	21,4	9	32,1
-1		10	35,7	12	42,9
		<b>28</b>	<b>100,0</b>	<b>28</b>	<b>100,0</b>

**Tabella 6.4: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DEI VALORI ASSUNTI DA OM E SM PER CIASCUN DRIVER**

Successivamente, dopo quest'analisi preliminare relativa ad OM ed SM, è stato calcolato l'indice ERPI per tutti i 165 rilievi su strada. La tabella 6.6 mostra la distribuzione di frequenza dei valori assunti dall'indice. È possibile notare che una percentuale elevata dei valori dell'indice è pari a 0, cioè ad un errore di percezione nullo. Ciò indica che il campione di *driver* esaminato ha una buona capacità di giudizio (in circa il 50% dei casi).

Valori	N° di rilievi	%
2	12	7,3
1	7	4,2
0	78	47,3
-1	24	14,5
-2	44	26,7
	<b>165</b>	<b>100,0</b>

**Tabella 5.6: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DEI VALORI ASSUNTI DALL'ERPI**

La media ponderata dell'ERPI, cioè l'ERPI del campione, risulta essere pari a -0,49.

Valori	Driver	N° di rilievi	%	ERPI
2	1	0	0,0	-1.12
1		0	0,0	
0		12	36,4	
-1		5	15,2	
-2		16	48,5	
		<b>33</b>	<b>100,0</b>	
2	2	0	0,0	-0.95
1		0	0,0	
0		8	38,1	
-1		6	28,6	
-2		7	33,3	
		<b>21</b>	<b>100,0</b>	
2	3	0	0,0	-1.00
1		1	3,4	
0		11	37,9	
-1		4	13,8	
-2		13	44,8	
		<b>29</b>	<b>100,0</b>	
2	4	6	19,4	0.42
1		3	9,7	
0		20	64,5	
-1		2	6,5	
-2		0	0,0	
		<b>31</b>	<b>100,0</b>	
2	5	1	9,1	-1.00
1		0	0,0	
0		3	27,3	
-1		1	9,1	
-2		6	54,5	
		<b>11</b>	<b>100,0</b>	
2	6	1	8,3	-0.33
1		1	8,3	
0		5	41,7	
-1		3	25,0	
-2		2	16,7	
		<b>12</b>	<b>100,0</b>	
2	7	4	14,3	0.25
1		2	7,1	
0		19	67,9	
-1		3	10,7	
-2		0	0,0	
		<b>28</b>	<b>100,0</b>	

**Tabella 6.7: DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DEI VALORI ASSUNTI DALL'ERPI PER CIASCUN DRIVER**

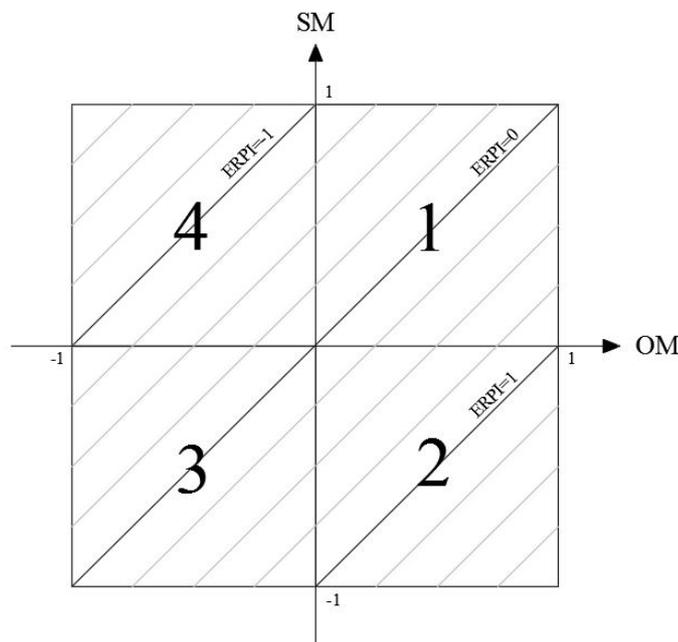
Solo per una piccola parte del campione si registra un errore di percezione a svantaggio di sicurezza, poiché i *driver* hanno oggettivamente un comportamento di

guida prudente ma dichiarano di essere aggressivi alla guida. Tuttavia, per una gran parte del campione (più del 40%) si registra un errore a svantaggio di sicurezza, poiché i *driver* hanno oggettivamente un comportamento aggressivo ma dichiarano di essere prudenti

Analizzando i dati, distinti per ogni *driver*, è possibile osservare che c'è una certa differenza tra gli errori di percezione (tabella 6.7). L'ultima colonna della tabella rappresenta il valore medio dell'ERPI per ciascun *driver*.

Nello specifico, è possibile osservare che l'errore massimo a svantaggio di sicurezza si ha per i *driver* n° 1, 3, e 5 (circa il 50% dei rilievi), mentre il massimo errore a vantaggio di sicurezza si ha per i *driver* n° 4 e 7 (ERPI pari a 0,42 e 0,25 rispettivamente). Si può notare che per l'utente 7, nella maggior parte dei casi (67,9%), non vi è errore di percezione.

Questa metodologia proposta permette quindi di valutare l'errore di percezione che i *driver* commettono nello stimare le condizioni di rischio. Al fine di generalizzare i risultati ottenuti, si è scelto di rappresentare l'ERPI su un diagramma in cui sulle ascisse vi sono i valori di OM e sulle ordinate quelli di SM. Si tratta di una quadrant analysis (figura 6.14).



**Figura 6.14: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELL'ERPI**

L'origine degli assi corrisponde ad un valore nullo dell'ERPI. Questo punto separa i valori positivi da quelli negativi di OM ed SM. Essendo l'ERPI la differenza tra OM ed SM, tutti i punti che si trovano sulla diagonale (bisettrice del primo e del terzo quadrante) saranno caratterizzati da un errore di percezione pari a zero. La bisettrice del primo e del terzo quadrante ha, infatti equazione  $OM-SM=0$ . Di seguito si riporta una definizione generalizzata per ciascun quadrante, senza fare distinzione tra i punti che si trovano sopra o sotto la bisettrice del diagramma proposto.

Nel primo quadrante del diagramma si hanno valori positivi sia di OM che di SM. Nell'area del primo quadrante sono presenti le condizioni di guida per cui non si ha distorsione nella percezione del rischio poiché OM ed SM hanno un segno concorde. I *driver* adottano un comportamento di guida sicuro e dichiarano, correttamente di avere uno stile di guida prudente. Quindi il primo quadrante rappresenta i *driver* che assumono un basso livello di rischio alla guida.

Il secondo quadrante rappresenta i punti per cui OM assume valori positivi mentre SM assume valori negativi. Questo quadrante contiene quelle situazioni in cui vi è una distorta percezione del rischio, che comunque è a vantaggio di sicurezza. In fatti i *driver* adottano, oggettivamente, un comportamento prudente ma dichiarano di essere stati aggressivi. Quindi, il secondo quadrante rappresenta i *driver* che percepiscono una soglia bassa del livello di rischio, e che quindi possono essere considerati molto sensibili al rischio di essere coinvolti in un incidente stradale.

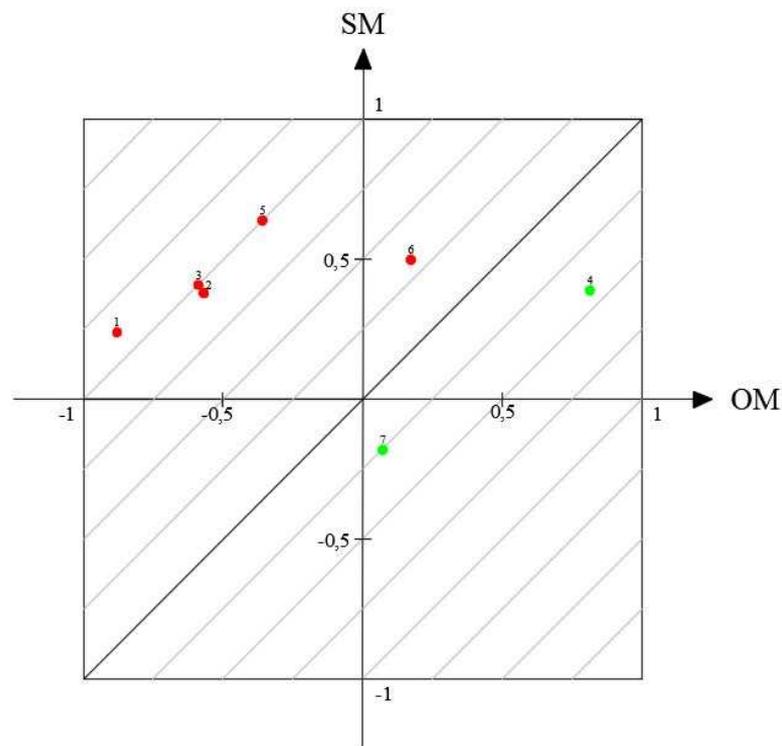
Il terzo quadrante del diagramma contiene i punti in cui sia OM che SM assumono valori negativi. Come per il primo quadrante non vi è distorsione nella percezione del rischio, poiché i segni di OM ed SM sono concordi. I *driver* hanno un comportamento di guida pericoloso e dichiarano di essere stati aggressivi. Per questo motivo il terzo quadrante può essere visto come quello che contiene i *driver* che assumono un elevato livello di rischio alla guida.

Il quarto quadrante contiene quei punti dove OM è negativo e SM è positivo. C'è, quindi, una distorsione della percezione del rischio, e questa percezione è a svantaggio di sicurezza. Infatti, i *driver* si reputano prudenti ma in realtà sono aggressivi. Questa rappresenta la situazione più pericolosa. Quindi il quarto quadrante contiene quei *driver* che percepiscono un'elevata soglia del rischio, e che

possono essere classificati come *driver* che non hanno un'alta sensibilità nei confronti del rischio di essere coinvolti in un incidente stradale.

Il primo e il quarto quadrante sono suddivisi in due parti (due aree triangolari): una sopra e una sotto alla bisettrice del diagramma. I punti che ricadono sopra la diagonale hanno valori di OM minori di quelli di SM. Quest'area corrisponde a una situazione più pericolosa. I punti che ricadono sotto la diagonale hanno valori di OM maggiori di quelli di SM (ERPI>0) e corrispondono ad un errore di percezione a vantaggio di sicurezza.

La figura 6.15 riporta i valori media di OM ed SM per ciascun *driver*.



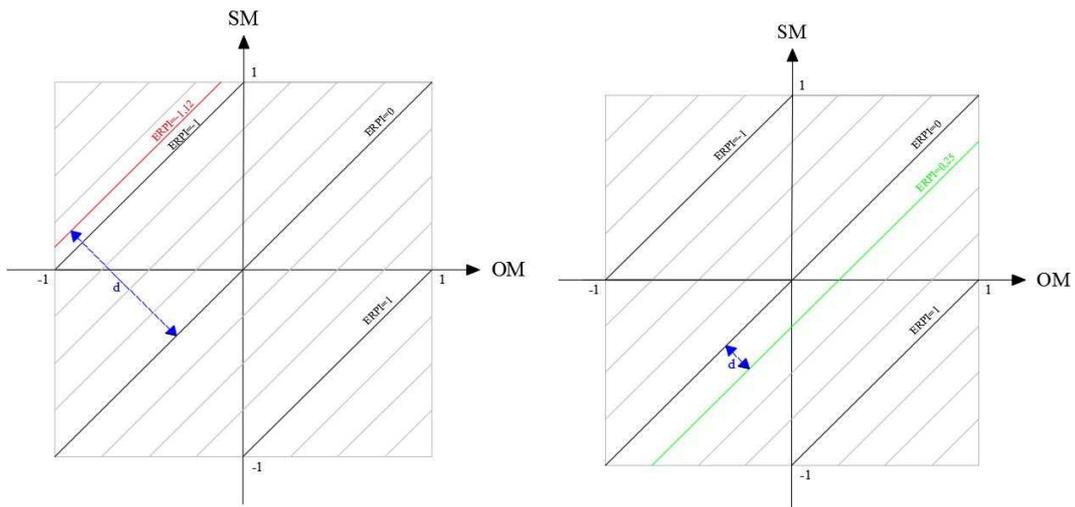
**Figura 6.15: QUADRANT ANALYSIS DELLE MISURE OGGETTIVE E SOGGETTIVE DELLO STILE DI GUIDA**

Ad eccezione dei *driver* n° 4 e n° 7, tutti i punti si trovano sopra la diagonale principale. La maggior parte si trova nel quarto quadrante cioè l'ERPI è negativo e i *driver* risultano essere poco sensibili al rischio di essere coinvolti in un incidente stradale. Per i *driver* 4 e 7, l'ERPI risulta essere positivo.

Una distinzione va fatta tra i *driver* 4 e 6: tutti e due si trovano nel primo quadrante ma uno ha ERPI positivo e l'altro negativo.

Al fine di mostrare una rappresentazione grafica dell'ERPI, in figura 6.16 si considerano il comportamento del *driver* 1 e 7.

Il *driver* n°1 ha un indice pari a -1,12, cioè è quello che ha l'indice negativo più alto mentre il *driver* 4 ha l'indice positivo più basso, pari a 0,25. Il *driver* 1 è un esempio di *driver* che dovrebbe ridurre la soglia di rischio percepita e che dovrebbe essere sensibilizzato verso i problemi di sicurezza stradale. Anche il *driver* ha una percezione distorta ma questa è a vantaggio di sicurezza. Una più intuitiva quantificazione grafica dell'errore di percezione può essere fatta considerando la distanza "d" tra la diagonale (bisettrice del 1 e terzo quadrante) e la retta che rappresenta l'ERPI. Infatti l'ERPI può essere visto come una retta di equazione  $OM-SM=x$ , dove x è il valore assunto dall'ERPI.



**Figura 6.16: ESEMPI DELLA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELL'ERPI PER I DRIVER N°1 E N°7**

Nel primo caso l'ERPI viene rappresentato da una retta di equazione  $OM-SM=-1,12$  che si trova completamente nel 4 quadrante.

Nel secondo caso l'ERPI viene rappresentato da una retta di equazione  $OM-SM=0,25$  che attraversa il primo e il terzo quadrante.

Nel primo caso la distanza "d" è maggiore rispetto al secondo caso e questo conferma che c'è una maggiore distorsione nella percezione.

In conclusione, i risultati ottenuti permettono di avere a disposizione uno strumento per valutare l'errore di percezione del livello di rischio alla guida. Lo strumento è rappresentato da un semplice ed intuitivo grafico costituito da 4 quadranti, che descrive differenti condizioni sulla base dei valori assunti da OM e da SM. Questo studio differisce da quelli presenti in letteratura, i quali si basano solo sull'individuazione del livello di rischio e non sull'errore di percezione nella valutazione del livello di rischio (Eboli et al., 2017c).

Si ritiene che questa metodologia presenti dei vantaggi rispetto agli altri studi perché considera congiuntamente misure oggettive e soggettive della percezione del rischio. Molto spesso i conducenti dei veicoli non sono consapevoli del rischio preso mentre guidano, e la loro distorta percezione del rischio rappresenta una delle principali cause degli incidenti stradali. Aumentare la consapevolezza del livello di rischio alla guida, al fine di incentivare i conducenti ad avere una guida più sicura, è necessario per migliorare la sicurezza stradale. Tuttavia sia questa consapevolezza che il livello di rischio alla guida, cioè lo stile di guida, dipendono dalle caratteristiche psicofisiche che il *driver* presenta durante l'attività di guida su strada. Il paragrafo 6.6 si concentra sull'analisi della relazione tra lo stile di guida e le caratteristiche psicofisiche del *driver*.

## 6.6 ANALISI DELLA CORRELAZIONE TRA LO STILE DI GUIDA E LE CONDIZIONI PSICO-FISICHE DEL DRIVER

Dopo aver definito in maniera oggettiva il comportamento alla guida attraverso la percentuale di punti esterni al dominio di sicurezza (che rappresentano un indicatore del livello di rischio del conducente), la tesi si prefigge come ulteriore obiettivo, quello di studiare la correlazione tra lo stile di guida e lo stato psicofisico del *driver*, rilevato tramite questionario.

Lo scopo è capire quali sono le caratteristiche che in maggior misura influenzano lo stile di guida.

In particolare, in questo paragrafo, vengono analizzate le correlazioni tra lo stile di guida (sia rappresentato dall'indicatore %PE e sia dalla sua discretizzazione in punteggi -1, 0 e +1, che corrispondono a livello di rischio alto, medio e basso) e i punteggi dello stato psico-fisico ottenuti tramite il questionario.

La relazione esistente tra le due famiglie di variabili viene analizzata attraverso l'indice di Pearson che è un indice che esprime un' eventuale relazione di linearità tra due variabili.

Date due variabili statistiche X e Y, l'indice di correlazione di Pearson è definito come il rapporto tra la loro covarianza e il prodotto delle deviazioni standard delle due variabili (relazione 6.3).

$$\rho_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (6.3)$$

dove con  $\rho$  è indicata la correlazione tra X e Y.

Esplicitando la covarianza e la deviazione standard si ottiene la (6.4).

$$\rho_{XY} = \frac{\sum((x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y}))}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \cdot \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (6.4)$$

Dove  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  sono le medie dei campioni e x e y sono le generiche variabili.

L'indice di Pearson è un valore numerico compreso tra -1 e +1 che esprime la forza di una relazione lineare fra due variabili (relazione 6.5). Più quest'indice è prossimo a 1, in valore assoluto, più la correlazione è forte. Il valore 0 indica che non c'è correlazione tra le variabili. Valori positivi indicano che al crescere di una grandezza cresce anche l'altra, mentre valori negativi ci dicono che al crescere di una grandezza l'altra diminuisce.

$$-1 \leq \rho_{XY} \leq 1 \quad (6.5)$$

La tabella\_ riporta la correlazione tra il livello di rischio, oggettivamente misurato, e le condizioni fisiche. Il livello di rischio alla guida può essere basso (indicato con +1), normale (indicato con lo 0) e alto (indicato con -1), a secondo del range in cui ricade la percentuale di punti esterni al dominio di sicurezza (che è l'indicatore sviluppato in questo lavoro di tesi per classificare lo stile di guida).

	<i>STANCO-RIPOSATO</i>	<i>ASSONNATO-VIGILE</i>	<i>AMMALATO-SANO</i>
LIVELLO DI RISCHIO (-1,0,+1)	0,39	0,43	0,40

**Tabella 6.8: CORRELAZIONE TRA IL LIVELLO DI RISCHIO ALLA GUIDA E LE CONDIZIONI FISICHE DEL DRIVER**

Come si può osservare dalla tabella\_ i coefficienti di Pearson sono tutti positivi. Ciò significa che quando le condizioni fisiche del *driver* sono buone, lo stesso tende ad avere uno stile di guida più prudente cioè caratterizzato da un livello di rischio basso (indicato con +1). Quindi un buono stato fisico del *driver* ha effetti positivi sul suo stile di guida. Questo significa che la correlazione con l'indicatore %PE è negativa cioè all'aumentare del numero di punti esterni al dominio il giudizio va verso i giudizi negativi (quelli che si trovano sulla sinistra della coppia di aggettivi bipolari). Quando l'utente è stanco, assonato e ammalato i punti esterni al dominio di sicurezza tendono ad aumentare. Cioè quando si è riposati, vigili e non ammalati il comportamento alla guida tende ad essere più prudente.

Dalla tabella 6.8 si evince che la correlazione tra le grandezze in esame è buona essendo intorno a 0,4. La coppia di aggettivi che in maggior misura influenza il comportamento alla guida è “Assonnato-Vigile”, che presenta una correlazione pari a 0,43.

La tabella 6.9 riporta invece la correlazione tra la percentuale di punti esterni (cioè il livello di rischio alla guida) e le condizioni emotive. Anche in questo caso si registrano valori del coefficiente di Pearson positivi. Cioè buone condizioni dello stato emotivo del *driver* influenzano positivamente lo stile di guida. Come è possibile osservare dalla tabella 6.9 anche in questo caso la correlazione è buona e risulta superiore a 0,4 per 3 coppie di aggettivi su 5. Tuttavia, per le altre due coppie il coefficiente di Pearson risulta essere circa 0,35.

La coppia di aggettivi che in maggior misura influenza il comportamento alla guida è la coppia “Arrabbiato-Interessato”. Cioè la rabbia alla guida porta il *driver* a trovarsi molte volte al di fuori del dominio di sicurezza cioè in condizioni di guida pericolose.

	MALINCONICO- ALLEGRO	PREOCCUPATO- SPENSIERATO	AGITATO- CALMO	ANNOIATO- INTERESSATO	ARRABBIATO- SERENO
LIVELLO DI RISCHIO (-1,0,+1)	0,42	0,35	0,40	0,34	0,43

**Tabella 6.9: CORRELAZIONE TRA IL LIVELLO DI RISCHIO ALLA GUIDA E LE CONDIZIONI EMOTIVE DEL DRIVER**

In conclusione si può affermare che vi è una correlazione abbastanza forte sia tra le condizioni fisiche e lo stile di guida e sia tra quest’ultimo e le condizioni emotive. Come si può osservare dai valori di correlazione sia le condizioni fisiche che quelle emotive hanno, più o meno, la stessa influenza.

L’analisi di correlazione effettuata, ha permesso di verificare che c’è una dipendenza tra lo stile di guida e le condizioni psico-fisiche del *driver*. Il risultato principale è che valori positivi dello stato psicofisico (vedi scheda di rilevazione) del *driver* portano ad avere uno stile di guida prudente. Viceversa, valori negativi, portano ad avere una guida aggressiva.

## 6.7 SVILUPPO DI UN MODELLO SEM PER ANALIZZARE LA CORRELAZIONE TRA LE GRANDEZZE ESAMINATE

### 6.7.1 Premessa

Al fine di confermare il fatto che vi è correlazione tra lo stato fisico-emotivo del *driver* e il suo stile di guida è stato sviluppato un modello ad equazioni strutturali.

I modelli ad equazioni strutturali (Structural Equation Models, SEM) rappresentano una delle metodologie più diffuse nell'analisi di dati comportamentali poiché consentono di studiare le interrelazioni esistenti tra variabili non direttamente misurabili, dette variabili latenti o fattori. Essi suscitano interesse per due ragioni fondamentali. La prima è da ricondursi all'esigenza di ridurre la dimensionalità dei dati; qualora, infatti, l'informazione contenuta nelle interrelazioni tra molte variabili possa essere ricondotta ad un insieme più piccolo, diventa più semplice individuare una struttura sottostante i dati.

La seconda ragione risiede nel fatto che il concetto di variabile latente si ritrova in molti ambiti applicativi, in particolar modo nelle scienze sociali.

Si pensi, per esempio, al caso in cui variabili come l'età o l'esperienza alla guida, di per sé misurabili, possano essere affette da errori di misurazione, dovuti a errori di rilevazione o causati da difficoltà inerenti lo strumento di misura utilizzato; tali variabili diventano allora non osservabili.

Altra situazione è quella in cui la variabile latente è invece un costrutto teorico per sua natura non osservabile e non misurabile come, ad esempio, la soddisfazione del cliente verso un determinato servizio. In tali casi si dispone di variabili misurabili, "la percezione di alcuni aspetti del servizio" nel caso dell'analisi di soddisfazione, che sono causalmente legate al costrutto teorico d'interesse e che consentono, in ultima analisi, di realizzarne una misurazione.

Quindi i modelli di equazioni strutturali (SEM) sono modelli di regressione a equazioni multiple in cui la variabile di risposta in un'equazione di regressione può apparire come una variabile esplicativa in un'altra equazione. Nei SEM "non ricorsivi", due variabili in un modello possono influenzarsi reciprocamente, direttamente o indirettamente attraverso un ciclo di "feedback". I modelli di equazioni strutturali possono includere variabili "latenti" - variabili che non sono

misurate direttamente, ma piuttosto indirettamente attraverso i loro effetti (detti indicatori) o, talvolta, attraverso le loro cause osservabili.

I passi principali nei SEM comprendono la specificazione del modello, la stima dei parametri, la valutazione del modello e dei parametri e la modificazione del modello. Questa sequenza può essere ripetuta molte volte fino a quando non si trovi un modello considerato accettabile.

### **6.7.2 Il modello proposto**

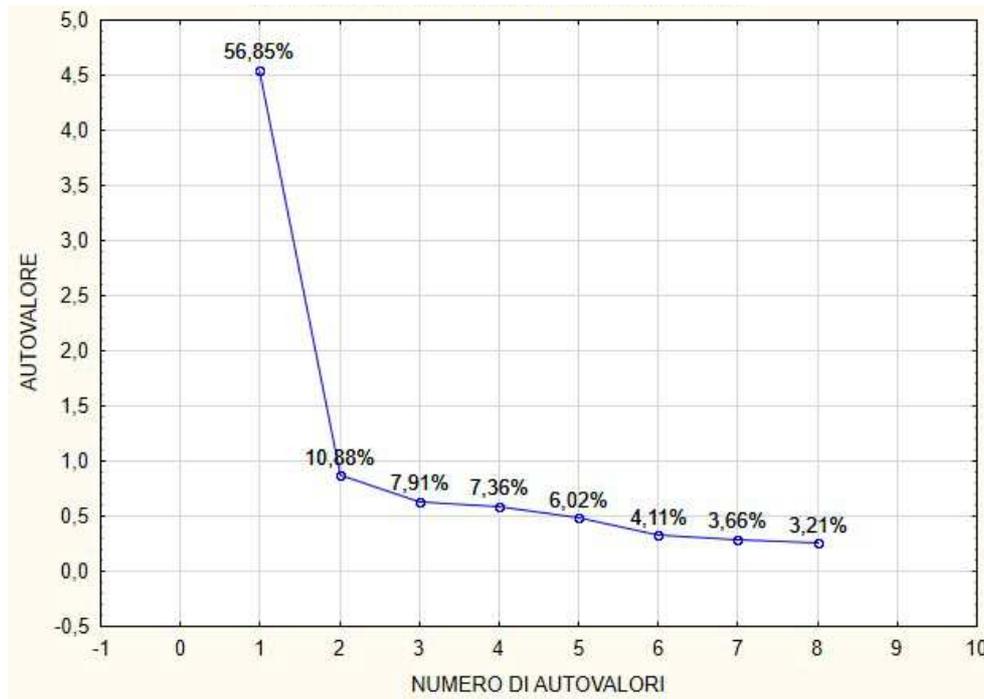
I 482 rilievi effettuati rappresentano la base per osservare i possibili cambiamenti dello stile di guida effettuato al variare delle condizioni fisiche ed emotive. Le relazioni ipotizzate tra lo stato psicofisico e lo stile di guida sono state investigate mediante una analisi SEM. L'analisi SEM è una specifica tipologia di analisi di regressione che spiega le relazioni tra variabili indipendenti (esogene) e variabili dipendenti (endogene).

Il modello proposto è formato da un modello di misurazione per le variabili endogene, un modello di misurazione per le variabili esogene e un modello strutturale. I modelli di misurazione definiscono le variabili latenti mentre il modello strutturale rappresenta le relazioni tra le variabili esogene ed endogene. Le variabili latenti ipotizzate sono dei costrutti che non possono essere direttamente osservati, ma devono essere definiti attraverso delle variabili osservate, chiamate indicatori.

In particolare, dopo un'analisi delle componenti principali, sono stati supposti due costrutti latenti esogeni che sono stati chiamati "Condizioni Fisiche" e "Condizioni Emotive". Secondo il modello proposto, questi due costrutti latenti influenzano un costrutto latente che rappresenta lo stile di guida, simulato da una variabile latente endogena.

Ciascun costrutto latente è spiegato dalle caratteristiche del *driver* che cambiano durante la guida. Sulla base dell'analisi delle componenti principali, la prima variabile latente endogena è stata collegata a 3 indicatori osservati mentre la seconda variabile latente endogena è stata collegata a 5 indicatori osservati (figura 6.19). Le due componenti principali scelte spiegano circa il 70% della varianza totale (figura 6.17). La tabella 6.10 riporta i risultati dell'analisi delle componenti principali. Il

raggruppamento in fattori si può comprendere più facilmente attraverso il grafico a dispersione (figura 6.18). Dalla figura emerge che le variabili del Fattore 1 si trovano nel quarto quadrante mentre quelle del Fattore 2 si trovano nel terzo.



**Figura 6.17: AUTOVALORI DELLA MATRICE DI CORRELAZIONE**

Variabile	FATTORE	FATTORE
	1	2
Stanco-Riposato	-0.69	0.48
Assonnato-Vigile	-0.68	0.43
Ammalato-Sano	-0.65	0.3
Malinconico-Allegro	-0,76	-0.33
Preoccupato-Spensierato	-0,75	-0.41
Agitato-Calmo	-0,76	-0.24
Annoiato-Interessato	-0,75	-0.03
Arrabbiato-Sereno	-0,82	-0.18

**Tabella 6.10: RISULTATI DELL'ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI**

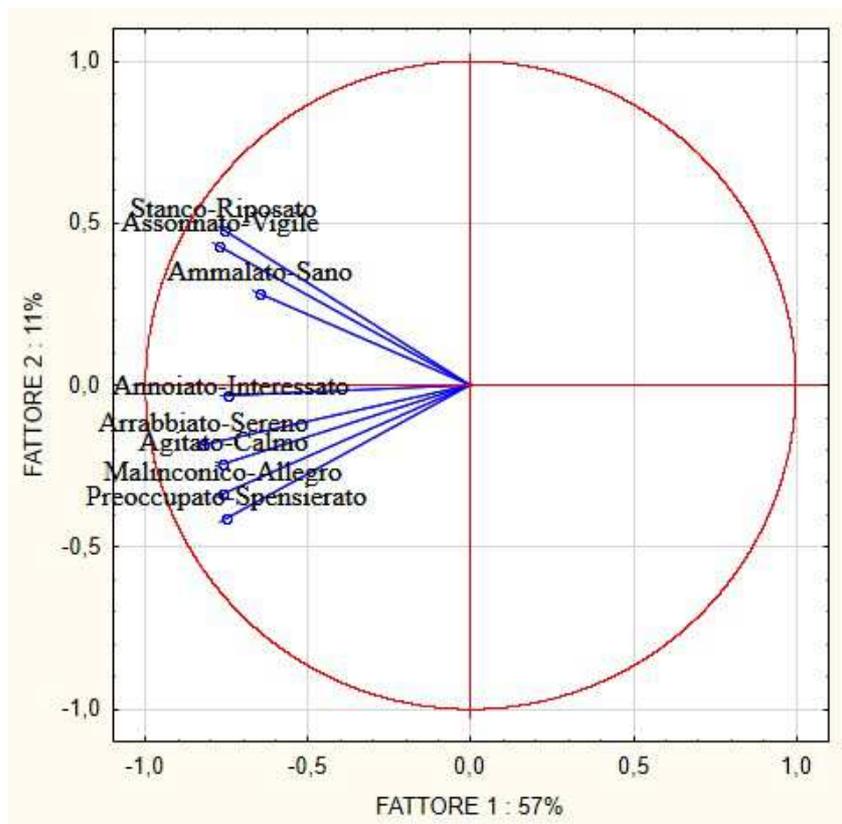


Figura 6.18: PROIEZIONE DELLE VARIABILI NEL GRAFICO DEI FATTORI

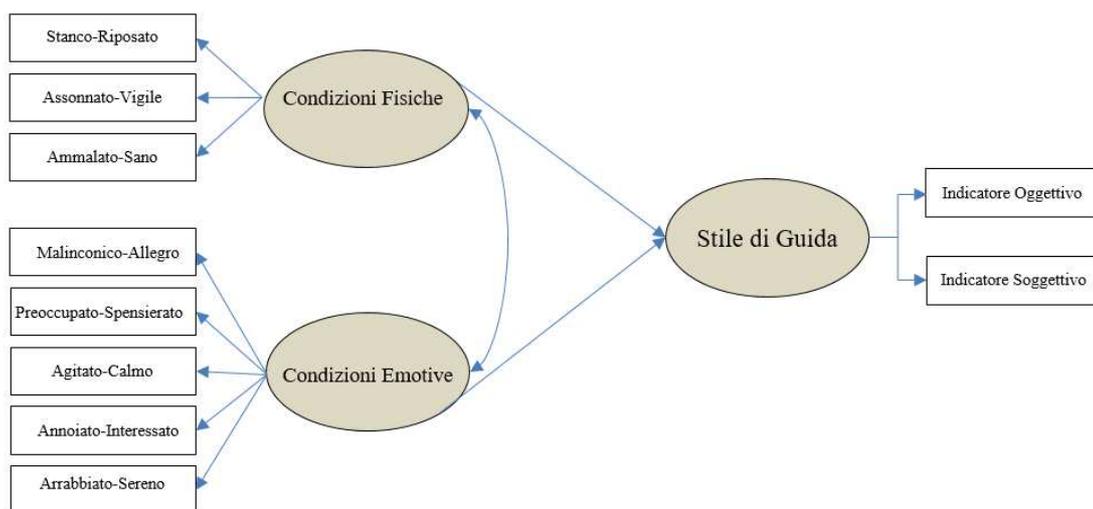


Tabella 6.19: IL MODELLO SEM PROPOSTO

Come è possibile osservare dalla figura 6.19, la variabile latente endogena è collegata a due indicatori osservati dello stile di guida. Cioè lo stile di guida è spiegato da due indicatori. Il primo indicatore misura lo stile di guida da un punto di vista soggettivo, attraverso il giudizio soggettivo sullo stile di guida dato dai conducenti delle autovetture coinvolti nell'indagine. Il secondo indicatore misura lo stile di guida in maniera oggettiva sulla base dei valori istantanei di accelerazione e velocità, e considerando il dominio sviluppato. Questo indicatore è stato determinato sulla base dell'indice %PE. Esso però è stato discretizzato: sulla base del valore di %PE e definendo 5 intervalli di punti esterni al dominio di sicurezza (per ogni tipologia di strada), sono stati determinati i valori assunti dall' *Indicatore Oggettivo*, che variano da 0 a 5 per come riportato in tabella 6.11.

Tipo di strada	Valore dell' <i>ObjectiveEvaluation</i>				
	0	1	2	3	4
Strada urbana	≤ 5%	5-10 %	10-15 %	15-20 %	> 20%
Strada extraurbana	≤ 5%	5-10 %	10-15 %	15-20 %	> 20%
Autostrada	≤ 15%	15-20 %	20-25 %	25-30 %	> 30%

**Tabella 6.11: DEFINIZIONE DEI VALORI DELL'OBJECTIVEEVALUATION SULLA BASE DELLA PERCENTUALE DI PUNTI ESTERNI AL DOMINIO DI SICUREZZA**

In questo modo si hanno 5 valori dell'indicatore soggettivo (da questionario) e 5 indicatori dell'indicatore oggettivo.

### 6.7.3 I risultati del modello proposto

I risultati ottenuti dal modello proposto sono riportati in tabella 6.12, usando la nomenclatura adottata in Bollen (1989). I modelli stimati per il modello consistono in 23 pesi di regressione, 1 covarianza e 13 varianze, per un totale di 37 parametri.

Per i modelli di misurazione i parametri stimati consistono in 8 termini di errore e 2 costrutti latenti, per un totale di 10 variabili esogene inosservabili.

Le misure della bontà di adattamento (goodness-of-fit) indicano che il modello proposto si adatta bene ai dati osservati.

Nello specifico, il valore ottenuto dal rapporto tra il valore minimo del Chi-quadro e i gradi di libertà (CMIN/DF) è pari a 5,78 (relazione 6.6).

$$\frac{CMIN}{DF} = 5,78 \quad (6.6)$$

Tale rapporto è significativo a un livello di probabilità 0,000 ed è superiore al valore raccomandato pari a 5 (Hooper et al., 2008). Come riportato in Hu e Bentler (1999), questo criterio indica la discrepanza tra il campione e la matrice di covarianza adottata. L'indice di adattamento è pari a 0,95 (GFI = 0,95) cioè superiore al valore raccomandato di 0,9 (Hooper et al., 2008). Anche l'AGFI (Adjusted Goodness-of-Fit Index ) risulta essere pari a 0,9.

		Regression Weights	Standard Error	Probability level	Standard Regression Weights
<i>Variabile latente endogena</i>	<i>Variabile latente esogena</i>				
Driving Style	⇐ Condizioni Fisiche	0,147	0,098	0,05	0,120
Driving Style	⇐ Condizioni Emotive	0,788	0,077	***	0,832
<i>Variabili endogene osservate</i>	<i>Variabile latente esogena</i>				
Stanco-Riposato	⇐ Condizioni Fisiche	1,443	0,101	***	0,836
Assonnato-Vigile	⇐ Condizioni Fisiche	1,465	0,102	***	0,867
Ammalato-Sano	⇐ Condizioni Fisiche	1,000			0,584
Annoiato-Interessato	⇐ Condizioni Emotive	0,824	0,046	***	0,697
Malinconico-Allegro	⇐ Condizioni Emotive	0,826	0,043	***	0,730
Preoccupato-Spensierato	⇐ Condizioni Emotive	0,829	0,044	***	0,728
Agitato-Calmo	⇐ Condizioni Emotive	0,950	0,047	***	0,770
Arrabbiato-Sereno	⇐ Condizioni Emotive	1,000			0,820
<i>Variabili endogene osservate</i>	<i>Variabile latente endogena</i>				
Indicatore Soggettivo	⇐ Stile di Guida	1,000			0,735
Indicatore Oggettivo	⇐ Stile di Guida	-0,704	0,056	***	-0,585

**Tabella 6.12: RISULTATI DEL MODELLO PROPOSTO**

Al fine di verificare che il modello ipotizzato si adattasse bene alla matrice varianza-covarianza, è stato calcolato il Normed Fit Index (NFI) e il Comparisons Fit Index (CFI) che rappresenta una forma rivisitata del primo. Essendo NFI=0,94 e il CFI=0,95, le misure di adeguatezza sono state ritenute soddisfacenti. Infatti, considerando le raccomandazioni di Browne and Cudeck (1993) and Hair et al. (2009), si può affermare che un CFI  $\geq 0,8$  risulta abbastanza buono per la validità strutturale del modello.

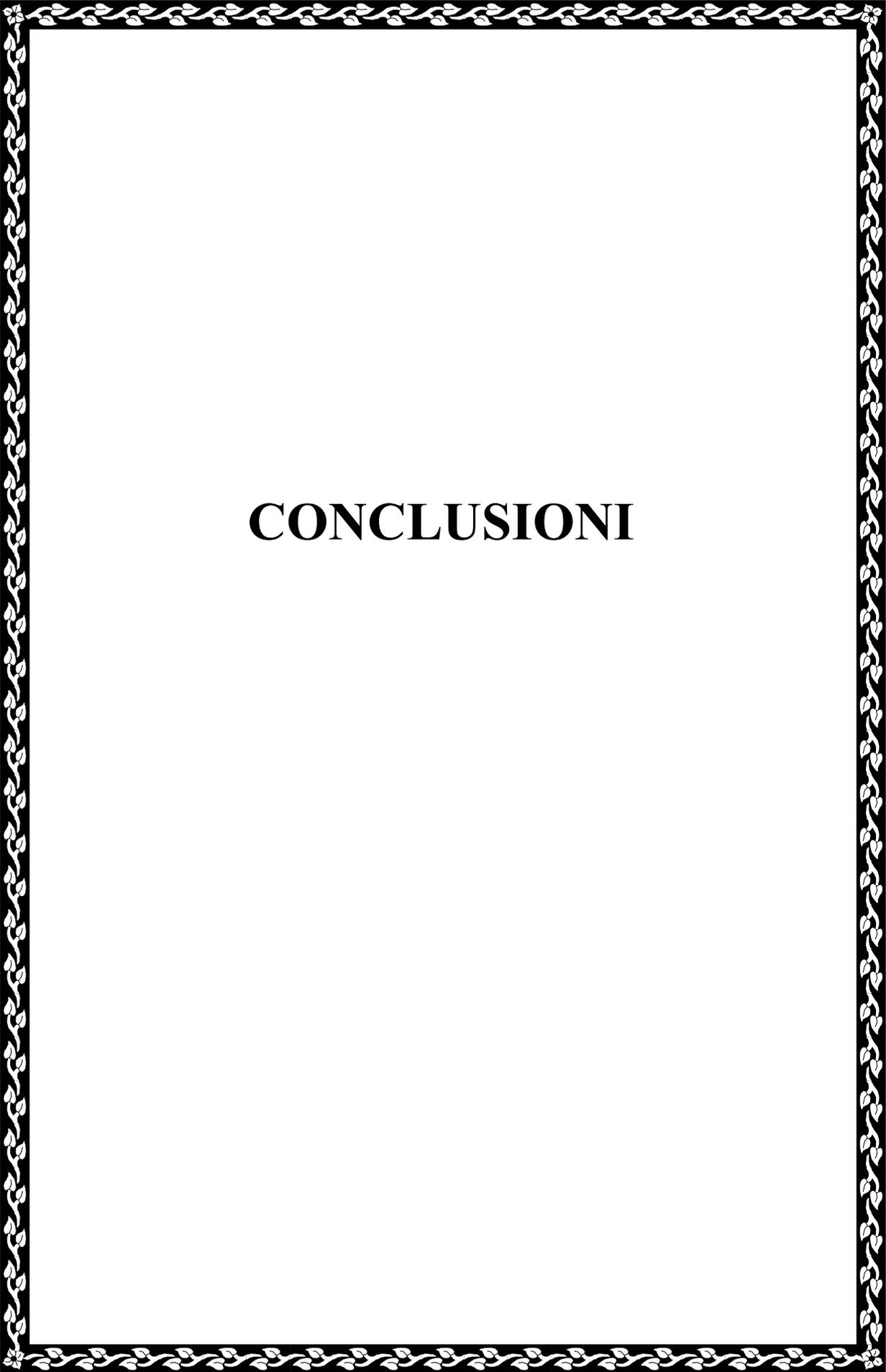
Anche la covarianza tra i due costrutti latenti esogeni è significativa, indicando un valore di correlazione stimato pari a 0,623.

Dai risultati emerge che lo stile di guida è influenzato positivamente dai costrutti latenti “condizioni fisiche” e “condizioni emotive”. Inoltre ciascun indicatore osservato, relativo alle condizioni del *driver*, è collegato al costrutto latente esogeno attraverso una relazione positiva. Si osserva che c'è concordanza tra l'indicatore soggettivo e i costrutti latenti “condizioni fisiche” e “condizioni emotive”. Al contrario vi è discordanza tra i due costrutti latenti e l'indicatore oggettivo. Questo è dovuto al fatto che, come ci si aspettava, vi è un segno positivo tra lo “Stile di Guida” e l'“Indicatore Soggettivo” mentre il segno è negativo tra lo “Stile di Guida” e l'“Indicatore Oggettivo”. Non è sorprendente il fatto che se l'indicatore soggettivo aumenta, lo stile di guida tende a rappresentare un comportamento alla guida prudente e vice versa. Analogamente, se l'indicatore oggettivo aumenta (cioè aumenta la percentuale di punti esterni al dominio che rappresentano le condizioni di guida pericolose), lo stile di guida tende a rappresentare un comportamento alla guida aggressivo.

Ad esempio un *driver* che è “vigile” durante la guida, tende a definirsi prudente e anche il suo comportamento oggettivo risulta prudente. Se invece è stanco, assonnato o ammalato risulta essere incline verso un comportamento aggressivo e caratterizzato da un'elevata percentuale di punti esterni al dominio di sicurezza.

Lo stesso ragionamento può essere fatto per le condizioni emotive: se il *driver* presenta buone condizioni emotive tende ad essere prudente, altrimenti aggressivo.

Questo studio ha quindi confermato che lo stile di guida è influenzato sia dalle condizioni fisiche che da quelle emotive.



# CONCLUSIONI

## CONCLUSIONI

La velocità e le accelerazioni descrivono il moto di un veicolo. Quindi, questi parametri risultano essere di fondamentale importanza per descrivere il comportamento alla guida dei conducenti dei veicoli. Per tale motivo, risulta molto utile analizzare i parametri cinematici istantanei e geo-referenziati del veicolo, registrati lungo le traiettorie seguite.

In questo lavoro di tesi è stata proposta una metodologia per analizzare e classificare il comportamento di guida sulla base dei parametri cinematici del veicolo, registrati lungo la traiettoria seguita. Partendo dall'equilibrio dinamico del veicolo, è stato determinato uno strumento che permette di classificare le condizioni di guida in sicure o pericolose, considerando contemporaneamente velocità, accelerazione longitudinale e accelerazione trasversale. Lo strumento, chiamato "dominio di sicurezza stradale" risulta essere differente per tipologia di strada (urbana, extraurbana o autostrada). Esso è stato validato attraverso dei rilievi cinematici su strada che hanno confermato le ipotesi teoriche.

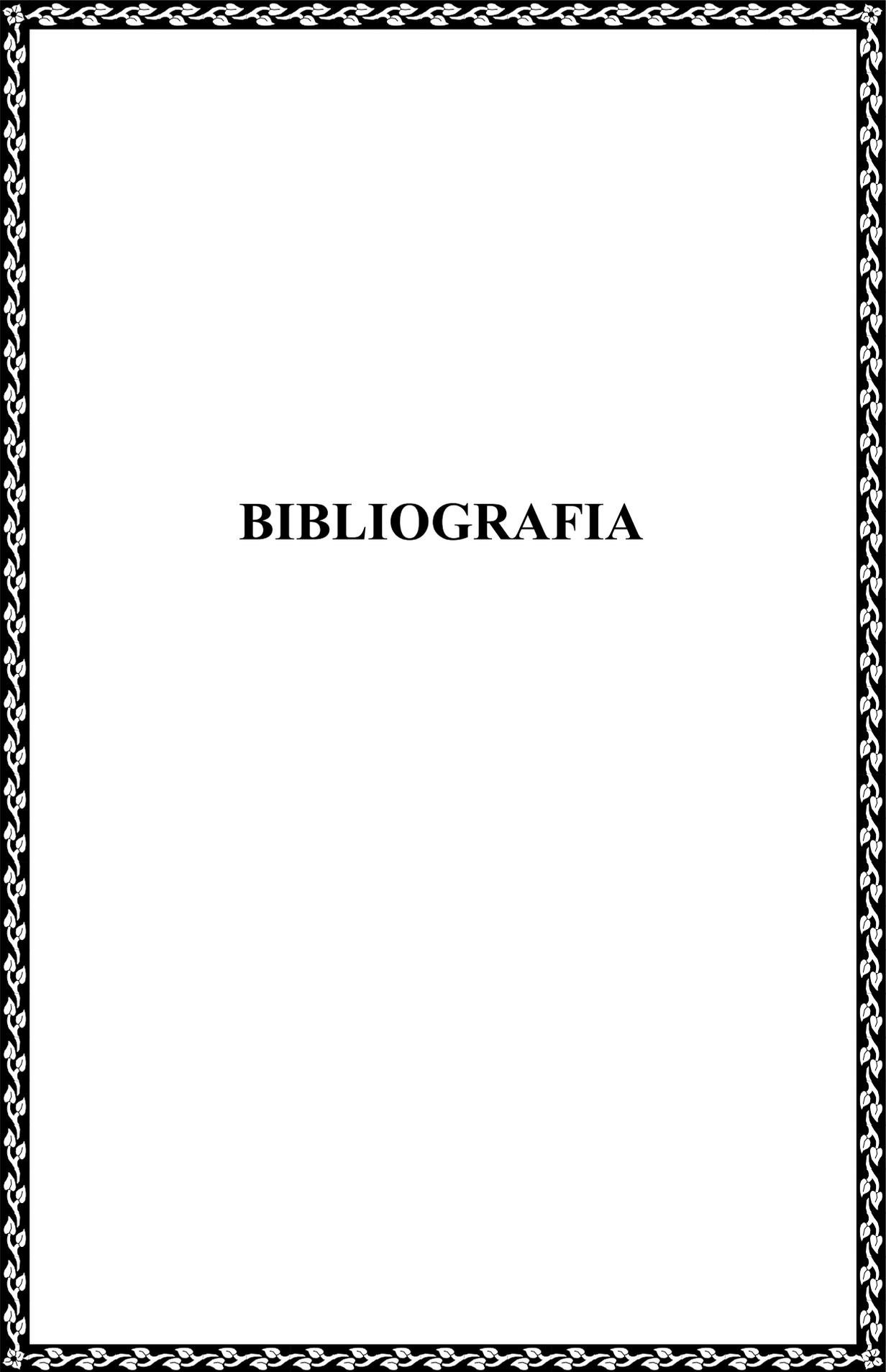
Questo strumento potrebbe risultare molto utile per migliorare la sicurezza stradale: esso permette di individuare quei punti del tracciato stradale in cui il *driver* adotta una guida pericolosa, al fine di trasmettergli informazioni sul suo comportamento di guida, fargli aumentare la soglia di attenzione e fargli prendere le dovute contromisure. Ad esempio, attraverso lo sviluppo di un ITS (come ad esempio una applicazione per smartphone) e tramite un segnale acustico, si potrebbe informare il *driver*, in tempo reale, sulla condizione di guida cioè se si trova fuori dal dominio di sicurezza sviluppato.

Sulla base del dominio di sicurezza, in questo lavoro di tesi, è stato sviluppato un indicatore oggettivo dello stile di guida, rappresentato dalla percentuale di punti esterni alla frontiera del dominio. Questo indicatore rappresenta una misura del livello di rischio alla guida che il *driver* adotta. Esso infatti aumenta in modo proporzionale all'aumentare del numero di situazioni di guida pericolose in cui il conducente del veicolo viene a trovarsi. Di conseguenza, più questo indicatore è elevato più il rischio alla guida è elevato. Sulla base dei giudizi degli utenti esperti sono state definite delle soglie di questo indicatore. Cioè combinando misure oggettive e soggettive dello stile

di guida è stato possibile classificare il livello di rischio secondo una scala a tre livelli: basso, medio e alto. L'obiettivo è quello di fornire un giudizio complessivo sulla guida adottata. Molto spesso, i conducenti non sono consapevoli del loro livello di rischio e l'errata percezione del rischio è una delle principali cause degli incidenti stradali. È necessario, quindi, aumentare la consapevolezza dei conducenti per avere una guida più sicura. La tesi fornisce anche una misura dell'errore di percezione riassunta in un indice, opportunamente sviluppato, e rappresentata graficamente. Questa informazione potrebbe aiutare ogni guidatore a vedere il reale pericolo all'interno del proprio stile di guida. La conoscenza del reale pericolo potrebbe portare ad avere uno stile di guida più responsabile. Sono possibili diversi approcci per incoraggiare un comportamento responsabile, ma è importante analizzare la guida, rilevare i comportamenti a rischio e fornire suggerimenti di guida personalizzati per ogni guidatore.

L'ultima parte della tesi si concentra sull'influenza delle condizioni fisiche ed emotive sullo stile di guida. Dai risultati emerge che vi è una buona correlazione tra le due tipologie di grandezze. Nello specifico buone condizioni ed emotive portano ad avere un livello di rischio basso, cioè uno stile di guida più prudente. Viceversa uno stato psico-fisico alterato determina una guida pericolosa. Mettersi alla guida arrabbiato ed agitato porta ad avere uno stile di guida aggressivo e poco sicuro.

I risultati sono stati confermati anche dal modello alle equazioni strutturali sviluppato e proposto.



# **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

AASHTO 2012. Policy on geometric design of highways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2012.

Aberg L., Rimmo P.A. (1998). Dimensions of aberrant driver behaviour. *Ergonomics* 41(1), pp. 39-56.

af Wåhlberg, A. E. (2006). Speed choice versus acceleration behavior as traffic accident predictor. *Journal of Safety Research*, 37, pp. 43–51.

Ajzen, I., Fishbein., M., (1980): Understanding attitudes and predicting behaviour. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall.

Ajzen, I., 1985. From intentions to actions: A theory of planned behaviour. In Kuhl, J & Beckmann (eds): Action control. From cognition to behaviour. Berlin, Springer Verlag, pp 11-40.

Aljaafreh, A., Alshabat, N., Najim Al-Din, M. S. (2012). Driving style recognition using fuzzy logic. Paper presented at the 2012 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, Istanbul, Turkey.

Aljaafreh, A., Alshabat, N., Najim Al-Din, M. Driving style recognition using fuzzy logic. In Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES), Istanbul, Turkey, 24–27 July 2012; pp. 460–463.

Amado, S., Arikan, E., Kaca, G., Koyuncu, M., Turkan, B. N. (2014). How accurately do drivers evaluate their own driving behavior? An on-road observational study. *Accident Analysis and Prevention*, 63, pp. 65–73.

Aronsson, K. (2006). Female and male driving behaviour on Swedish urban roads and streets. Stockholm: KTH, Department of Transport and Logistics.

Arthur, W., Barret, G.V., Alexander, R.A. (1992). Prediction of vehicular accident involvement: A meta-analysis. *Journal of Safety Research*, 23, pp.73-80.

Arthur, W., Doverspike, D. (2001). Predicting motor vehicle crash involvement from a personality measure and a driving knowledge test. *Journal of Prevention and Intervention in the Community* 22(1), pp. 35-42.

Bagdadi, O., & Várhelyi, A. (2011). Jerky driving: An indicator of accident proneness? *Accident Analysis & Prevention*, 43, pp. 1359–1363.

Barrett, G. B., Alexander, R. A., Forbes, B. (1973). Analysis and performance requirements for driving decision making in emergency situations. Technical Report no. DOT HS-800 867. Washington, DC: NHTSA, U.S. Department of Transportation.

Bianchi, A., & Summala, H. (2004). The “genetics” of driving behavior: Parents’ driving style predicts their children’s driving style. *Accident Analysis & Prevention*, 36, 655–659.

Biral F., Lot R. (2009). An interpretative model of g-g diagrams of racing motorcycle,” in: *Proc. 3rd Int. Conf. Mech. Eng. and Mechanics*. Beijing, P.R. China, Oct. 21–23.

Blockley P.N., Hartley L.R., (1995). Aberrant driving behaviour: errors and violations. *Ergonomics* 38, pp. 1975-1771.

Boyce, T. E., & Geller, E. S. (2002). An instrumented vehicle assessment of problem behavior and driving style: Do younger males really take more risks? *Accident Analysis and Prevention*, 34, pp. 51–64.

Bogdanović V., N. Ruškić. (2013). The research of vehicle acceleration at signalized Intersections. *Traffic Transp.*, 25, (1), pp. 33–42.

Bollen, K. (1989). *Structural Equations with Latent Variables*. New York: John Wiley.

Brooks R.M. (2012). Acceleration characteristics of vehicles in rural Pennsylvania. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 12 (3), pp. 449–453.

Browne, M.W. and Cudeck R. (1993). Alternative Ways of Assessing Model Fit. In: *Testing Structural Equation Models*, in Bollen, K.A. and J.S. Long (Eds.). Newbury Park, USA: SAGE Publication, pp. 136-162.

Canale S., Leonardi S., Fabiano C., (1998a). L'analisi del rischio a supporto degli strumenti per l'adeguamento funzionale delle infrastrutture viarie. *Atti del Convegno SIIV (Adeguamento funzionale e manutenzione delle infrastrutture viarie) - Milano - 19/20*.

Canale S., Leonardi S., Nicosia, F., (1998b). Criteri di adeguamento delle infrastrutture stradali alla luce del progresso tecnologico degli autoveicoli" - *Atti del Convegno SIIV (Adeguamento funzionale e manutenzione delle infrastrutture viarie) - Milano - 19/20*.

Canale S., Distefano N., Leonardi S., (2009). *Progettare la sicurezza stradale- Criteri e verifiche di sicurezza per la progettazione e l'adeguamento degli elementi delle infrastrutture viarie: intersezioni, tronchi, sovrastrutture, gallerie, opere idrauliche, barriere di sicurezza, illuminazione, segnaletica ed interventi di traffic calming*, Edilizia, Quadernio per la progettazione, EPC Libri, Roma, 2009

Chen, S.W., Fang, C.Y., Tien, C.T.(2013). Driving behaviour modelling system based on graph construction’, *Transportation Research part C*, 26, pp. 314–330.

C.N.R., *Norme funzionali e geometriche delle strade extraurbane*. D.M. 5/11/2001 G.U. 4/1/2002 S.O. serie generale, 2002.

- Cooper, J.M., Vladisavljevic, I., Medeiros-Ward, N., Martin, P.T., Strayer, D.L., (2009). An investigation of driver distraction near the tipping point of traffic flow stability. *Human Factors* 51 (2), pp. 261–268.
- Crowne, D. P., Marlowe, D. (1960). A new scale of social desirability independent of psychopathology. *Journal of Consulting Psychology*, 24, pp. 349–354.
- Da Lio M., Biral F., Bertolazzi E. (2005). Combining safety margins and user preferences into a driving criterion for optimal control-based computation of reference maneuvers for an ADAS of the next generation. *Intelligent Vehicles Symposium*. Las Vegas, USA, June 6-8.
- Donges, E. (1999). A conceptual framework for active safety in road traffic. *Vehicle System Dynamics*, 32(2/3), pp. 113–128.
- de Groot, S., Centeno Ricote, F., & de Winter, J. C. F. (2012). The effect of tire grip on learning driving skill and driving style: A driving simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15, pp. 413–426.
- Deery, H. A. (1999). Hazard and risk perception among young novice drivers. *Journal of Safety Research*, 30, pp. 225–236.
- Deffenbacher, J. L., Lynch, R. S., Oetting, E. R., Swaim, R. C. (2002). The Driving Anger Expression Inventory: A measure of how people express their anger on the road. *Behaviour Research and Therapy*, 40, pp. 717–737.
- Deffenbacher, J. L., Oetting, E. R., Lynch, R. S. (1994). Development of a Driving Anger Scale. *Psychological Reports*, 74, pp. 83–91.
- Delhomme, P., Meyer, T., 1998. Control motivation and young drivers' decision making. *Ergonomics*, 41 (3), pp. 373–393.
- Desai, A. V., & Haque, M. A. (2006). Vigilance monitoring for operator safety: A simulation study on highway driving. *Journal of Safety Research*, 37, pp. 139–147.
- de Waard, D., Dijksterhuis, C., Brookhuis, K. A. (2009). Merging into heavy motorway traffic by young and elderly drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 41, pp. 588–597.
- de Winter, J. C. F., & Dodou, D. (2010). The Driver Behaviour Questionnaire as a predictor of accidents: A meta-analysis. *Journal of Safety Research*, 41, pp. 463–470.
- Dörr, D., Grabengieser, D., Gauterin, F. (2014). Online driving style recognition using fuzzy logic. *17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 20146957822*, pp. 1021-1026.
- Dong, Y., Hu, Z., Uchimura, K., Murayama, N. (2011). Driver inattention monitoring system for intelligent vehicles: A review. *IEEE Trans. Intelligent Transport Systems*, 12, pp. 596–614.

Dula, C. S. (2003). Validity and reliability assessment of a dangerous driving self-report measure (Dissertation). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.

Eboli L., Mazzulla G., Pungillo G (2016). Combining speed and acceleration to define car user' safe or unsafe driving behavior. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 68, pp. 113-125.

Eboli L., Mazzulla G., Pungillo G (2017a). How to define the accident risk level of car drivers by combining objective and subjective measures of driving style. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 49, pp. 29-38.

Eboli L., Guido G., Mazzulla G., Pungillo G., Pungillo R. (2017b). Investigating car users' driving behavior through speed analysis. *PROMET, Traffic&Transportation* 29 (2), pp. 193-202.

Eboli L., Mazzulla G., Pungillo G (2017c). Measuring the driver's perception error in the traffic accident risk evaluation. *IET Intelligent Transport Systems* 11(10), pp. 659-666.

Eboli L., Mazzulla G., Pungillo G. (2017d). The influence of physical and emotional factors on driving style of car drivers: a survey design. *Travel Behaviour and Society* 7, pp. 43-51.

Elander, J., West, R., & French, D. (1993). Behavioral correlates of individual differences in road traffic crash risk: An examination of methods and findings. *Psychological Bulletin*, 113, pp. 279–294.

Eren, H., Makinist, S., Akin, E., & Yilmaz, A. (2012). Estimating driving behavior by a smartphone. Paper presented at the 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Madrid, Spain.

Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures*. Bingley, UK: Emerald Group.

El-Shawarby I., Rakha H., Inman V.W., Davis G.W., 2007. Evaluation of driver deceleration behaviour at signalised intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2018 (1), p. 29–35.

Evans, L. (2006). Innate sex differences supported by untypical traffic fatalities. *Chance*, 19, 10–16.

Evans, L. (1985). Human Behaviour Feedback and Traffic Safety. *Human Factors*, 27 (5), pp. 555-576.

Event Data Recorders: Summary of Findings by the NHTSA EDR Working Group. Report NHTSA-99-5218. NHTSA, U.S. Department of Transportation, 2001.

- Factor, R., Mahalel, D., & Yair, G. (2007). The social accident: A theoretical model and a research agenda for studying the influence of social and cultural characteristics on motor vehicle accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 39, pp. 914–921.
- Farah, H., Bekhor, S., Polus, A., Toledo, T. (2009). A passing gap acceptance model for two-lane rural highways. *Transportmetrica*, 5, pp. 159–172.
- French, D. J., West, R. J., Elander, J., & Wilding, J. M. (1993). Decision-making style, driving style, and self-reported involvement in road traffic accidents. *Ergonomics*, 36, pp. 627–644.
- Fuller, R. (1984). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 27(11), pp. 1139-1155.
- Fuller, F (2000). The Task-Capability Interface Model of the driving process. *Recherche Transports Sécurité*, 66, pp. 47-59.
- Furnham, A. and Saipe, J.(1993). Personality correlates of convicted drivers. *Personality and Individual Differences* 14 (2), pp. 329–336.
- Gibson, J.J., Crooks, L. E. (1938). A theoretical field-analysis of automobile-driving. *The American Journal of Psychology*, 11(3).
- Gopher, D., Kahneman, D. (1971). Individual differences in attention and the prediction of flight criteria. *Perceptual and Motor Skills* , 33, pp.1335-1342.
- Grindle A.C., Dickinson A.M., Boettcher W. (2000). Behavioral safety research in manufacturing settings: A review of the literature. *Journal of Organizational Behavior Management*. 2 (1), pp. 29-37.
- HaiLin, W., Hanhui, L., Zhumei, S. (2010). Fatigue driving detection system design based on driving behavior. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing*, Haiko, China, 11–12 November 2010; pp. 549–552.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. Black W.C. 2009. *Multivariate Data Analysis*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Hakamies-Blomqvist, L. (2006). Are there safe and unsafe drivers? *Transportation Res. F*, 9, pp. 347-352.
- Häkkinen, S. (1958). *Traffic accidents and driver characteristics. A statistical and psychological study*. Helsinki, Finland: Institute of Occupational Health.
- Han, I., Yang, K.S. (2009). Characteristic analysis for cognition of dangerous driving using automobile black boxes. *International Journal of Automotive Technology* 10(5), pp. 597–605.

- Harano, R. M., Peck, R. L., & McBride, R. S. (1975). The prediction of accident liability through biographical data and psychometric test. *Journal of Safety Research*, 7, pp. 16-72.
- Harris, P.B., Houston, J.M., Vazquez, J.A., Smither, J.A., Harms, A., Dahlke, J.A., Sachau, D.A. (2014). The Prosocial and aggressive driving inventory (PADI): A self-report measure of safe and unsafe driving behaviors. *Accident Analysis and Prevention*, 72, pp. 1–8.
- Hauer, E. e Lovell, J., (1986). New directions for learning about safety effect of measures. *Transportation Research Record 1068*, pp. 96-102, TRB, Washington DC (USA).
- Hickman, J.S., Geller, E.S.(2005). Self-management to increase safe driving among short-haul truck drivers. *Journal of Organizational Behavior and Management*.
- Hills, B.L. (1980). Vision, visibility, and perception in driving. *Perception*, 9, pp.183-216.
- Hoedemaeker, M. & K. Brookhuis, K. (1998). Behavioural adaptation to driving with an adaptive cruise control (ACC). *Transportation Research, Part F*, 1, pp. 95-106.
- Hong, J.H.; Margines, B.; Dey, A.K. A smartphone-based sensing platform to model aggressive driving behaviors. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 26 April–1 May 2014; pp. 4047–4056.
- Hooper D., Coughlan J., Mullen M.R. (2008). Structural equation modelling: guideline for determining model fit. *Electronic Journal of Business research Methods*, 6(1), pp. 53-60.
- Horswill, M.S., Mckenna, F.P.(2004). A cognitive approach to situation awareness: theory and application'.In Banbury, A.S., Tremblay, S. (Eds.) (Ashgate Publishing, pp. 155–175.
- Houston, J.M.; Harris, P.B.; Norman, M. The aggressive driving behavior scale: Developing a self-report measure of unsafe driving practices. *N. Am. J. Psychol.* 2003, 5, 269–278.
- Hu, Li-tze, Peter M. Bentler (1999).Cutoff Criteria for Fit Indexes in Covariance Structure Analysis: Conventional Criteria versus New Alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6 (1), pp. 1–55.
- Imkamon T., Saensom P., Tangamchit P., Pongpaibool P. (2008). Detection of hazardous driving behavior using fuzzy logic,” in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 2008. ECTI-CON 2008. 5th International Conference on, 2, pp. 657 –660.

Ishibashi, M., Okuwa, M., Doi, S., & Akamatsu, M. (2007). Indices for characterizing driving style and their relevance to car following behavior. In SICE Annual Conference 2007 (pp. 1132–1137). Piscataway, NJ: IEEE.

Janssen, W. H. (1979). Route planning en geleiding: Een literatuur studies. Report IZF 1979 C- 13. Soesterberg (The Netherlands): Institute for Perception TNO (As cited by Michon, 1985).

Johnson, D.A., Trevidi, M.M.(2011). Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform. In: Proceedings 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 1609–1615.

Junger, M., West, R., Timman, R. (2001). Crime and risky behavior in traffic: An example of cross-situational consistency. *Journal of Research in Crime and Delinquency*, 38, pp. 439–459.

Katsianis, N., Eliou, N., Iliadou, E. (2013). Driver's behavior assessment as an indicator of accident involvement. In N. A. Stanton (Ed.), *Advances in human aspects of road and rail transportation*, 3, pp. 500–508.

Kenda J., Kopac, J. (2011). Measurements and analyses of lateral acceleration in traffic of vehicle. *Technical Gazette*, 18, (2), pp. 281-286.

Keskinen, E., Hatakka, M., Katila, A. (1992). Inner models as basis for traffic behaviour. *J Traffic Med*, 20(4), pp. 147-152.

Keskinen, E., Ota, H., Katila, A. (1998). Older drivers fail in intersections: Speed discrepancies between older and younger male drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 30, pp. 323–330.

Klebensberg, D (1977). Das Model der subjektiven und objektiven Sicherheit. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, Vol 36, No 4, 285-294.

Kleisen, L. M. B. (2011). The relationship between thinking and driving styles and their contribution to young driver road safety (PhD dissertation). University of Canberra, Bruce, Australia.

Kontogiannis, T., Kossiavelou, Z., Marmaras, N., (2002). Self-reports of aberrant behavior on the roads: error and violations in sample of Greek drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 34 (3), pp. 381-399.

Krause T.R., Robin J.L., Knipling R.R. (1999). The Potential Application of Behavior-Based Safety in the Trucking Industry. Report No. FHWA-MC-99-071. Federal Highway Administration, Office of Motor Carrier and Highway safety, Washington D.C.

Lajunen, T., Karola J., Summala, H. (1997). Speed and acceleration as measures of driving style in young male drivers. *Perceptual and Motor Skill*, 85, pp 3-16.

Lajunen, T., Özkan, T. (2011). Self-report instruments and methods. In B. E. Porter (Ed.), *Handbook of traffic psychology* (pp. 43–59). London, UK: Elsevier.

Lajunen, T., Parker, D., Summala, H. (2004). The Manchester Driver Behaviour Questionnaire: A cross-cultural study. *Accident Analysis and Prevention*, 36(2), pp. 231-238.

Lajunen, T., Summala, H. (1995). Driving experience, personality, and skill and safety-motive dimensions in drivers' self-assessments. *Personality and Individual Differences*, 19(3), pp. 307–318.

Lamm, R., Psarianos, B., and T. Mailaender. *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw-Hill, 1999.

Langari R. and Jong-Seob Won, (2005). Intelligent energy management agent for a parallel hybrid vehicle-part I: system architecture and design of the driving situation identification process. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 54(3), pp. 925 - 934.

Laureshyn A., Åström K., BrundellFreij K. (2009). From speed profile data to analysis of behavior. *IATSS research*, 33(2), pp. 89-96.

Lee, J. D., D. L. Strayer (2004). Preface to a special section on driver distraction. *Human Factor*, 46, pp. 583-586.

Lei, Y., Liu, K., Fu, Y., Li, X., Liu, Z., Sun, S. (2016). Research on driving style recognition method based on driver's dynamic demand. *Advances in Mechanical Engineering* 8(9), pp. 1-14.

Lewis, R. E. (1956). Consistency and car driving skill. *British Journal of Industrial Medicine*, 13, pp. 131–141.

Lewis, R. E. (1953). Some measures of driver behaviour. *Operational Research Quarterly*, 4, pp. 10–15.

Lotan, T., Toledo, T. (2006). An in-vehicle data recorder for evaluation of driving behavior and safety. In: *Proceedings of the Transportation Research Board 85th Annual Meeting*, pp. 112–119.

Lindeman, J., Verkasalo M., (1995). Personality, Situation, and Positive-Negative Asymmetry in Socially Desirable Responding', *European Journal of Personality* 9(2), pp. 125-134.

McIver John. (1996). *The GG Diagram*.

Maggino F. (2005). *L'analisi dei dati nell'indagine statistica*, Firenze University Press, Firenze.

Maggino F., Mola T. (2007). *Il differenziale semantico per la misura degli atteggiamenti: costruzione, applicazione e analisi*, Firenze, Università degli studi di Firenze.

Martinussen, L.M., Møller, M., Prato, C.G. (2014). Assessing the relationship between the Driver Behavior Questionnaire and the Driver Skill Inventory: Revealing sub-groups of drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 26(PART A), pp. 82-91

Maycock, G, Lockwood, CR and Lester, J (1991). *The accident liability of car drivers*. Department of Transport, TRL Report RR 315. Transport Research Laboratory, Crowthorne, England.

McEvoy, S., Stevenson, M., Woodward, M. (2007). The contribution of passengers versus mobile phone use to motor vehicle crashes resulting in hospital attendance by the driver. *Accident Analysis and Prevention*, 39, pp. 1170 –1176.

McKenna, F. P. (1982). The human factor in driving accidents - An overview of approaches and problems. *Ergonomics*, 25, pp. 867–877.

Meiring, G.A.M., Myburgh, H.C. (2015). A Review of Intelligent Driving Style Analysis Systems and Related Artificial Intelligence Algorithms. *Sensors (Switzerland)* 15(12), pp. 30653-30682.

Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In: *Human Behavior and Traffic Safety* (L. Evans and R. Schwing eds.). Plenum Press, New York.

Michon, J.A. (1989). Explanatory pitfalls and rule-based models”, *Accident Analysis and Prevention*, 21(4), pp. 341-353.

Milliken W.F., Milliken D.L. *Race Car Vehicle Dynamics (R146)*. SAE International, 1995, ISBN I56091-526-9.

Mohamad, I., Ali, M., Ismail, M. (2011). Abnormal driving detection using real time Global Positioning System data. In *Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpace)*, Penang, Malaysia, 12–13 July 2011; pp. 1–6.

Møller, M., Haustein, S. (2014). Peer influence on speeding behaviour among male drivers aged 18 and 28. *Accident Analysis and Prevention*, 64, pp. 92–99.

Murphey, Y. L., Milton, R., Kiliaris, L. (2009). Driver’s style classification using jerk analysis. In *IEEE Workshop on Computational Intelligence in Vehicles and Vehicular Systems*, 2009 (pp. 23–28). Piscataway, NJ: IEEE.

- Näätänen, R., Summala, H. (1974): A model for the role of motivational factors in drivers' decision-making. *Accident Analysis and Prevention*, 6, pp. 243-261.
- Näätänen, R., Summala, H. (1976). Road-user behavior and traffic accidents. Amsterdam, Netherlands: North-Holland.
- Nevelsteen, K., Steenberghen, T., Van Rompaey, A. (2012): 'Controlling factors of the parental safety perception on children's travel mode choice', *Accident Analysis and Prevention*, 45, pp. 39–49.
- Neves T.M.G.F.G.(2014). Experimental evaluation of comfort and safety in light-duty vehicles. Thesis to obtain the Master of Science Degree in Mechanical Engineering. Instituto Superior Técnico Lisboa.
- Ogle J., Guensler R., Bachman W., Koutsak M., Wolf J. (2002). Accuracy of global positioning system for determining driver performance parameters. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2002, 1818/2002, pp.12.–24.
- Östlund J., L. Nilsson, J. Tornros , A. Forsman (2006). Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving. VTI Report 533A for the EC Project HASTE. Linköping, Sweden, VTI.
- Özkan, T., Lajunen, T., 2005. A new addition to DBQ: Positive driver behavior scale. *Transportation Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8 (4), pp. 355-368.
- Paefgen, J., Kehr, F., Zhai, Y., & Michahelles, F. (2012). Driving behavior analysis with smartphones: Insights from a controlled field study. In *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (Article 36)*. New York, NY: ACM.
- Parasuraman, R., Nestor, P.G. (1991). Attention and driving skills in aging and Alzheimer's disease. *Human Factors*, 33, pp. 539-557.
- Parker D., Lajunen T., Stradling S.G. (1998) Attitudinal Predictors of Interpersonally Aggressive Violations on the Road. *Trans. Research F*, 1(1), pp. 11–24.
- Parker, D., Reason, J. T., Manstead, A, Stradling, S. G., (1995). Driver errors, driving violations, and accident involvement. *Ergonomics*, 38 (5), pp. 1036-1048.
- Petridou, E., Moustaki, M., (2001). Human factors in the causation of road traffic crashes. *Eur. J. Epidemiol.* 16, 819–826. doi:http://dx.doi.org/10.1023/A:1;1007649804201
- Poo, F. M., Ledesma, R. D. (2013). A study on the relationship between personality and driving styles. *Traffic Injury Prevention*, 14, pp. 346–352.

- Rafael, M., Sanchez, M., Mucino, V., Cervantes, J., & Lozano, A. (2006). Impact of driving styles on exhaust emissions and fuel economy from a heavy-duty truck: Laboratory tests. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 13, pp. 56–73.
- Ranney, T.A. (1994). Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accident Analysis and Prevention*, 26, pp. 733–750.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human machine interaction. An approach to cognitive engineering*. North Holland.
- Rasmussen, J (1983). Skills, Rules, and Knowledge: Signals, Signs and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13(3), pp. 257-266.
- Reason, J., 1997. *Managing the Risk of Organizational Accidents, Organisational Accidents*. Ashgate Publishing Limited, Aldershot, England.
- Reimer, B., Donmez, B., Lavalliere, M., Mehler, B., Coughlin, J. F., & Teasdale, N. (2013). Impact of age and cognitive demand on lane choice and changing under actual highway conditions. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 125–132.
- Reymond G., Kemeny A., Droulez J., Berthoz A.(2001). Role of lateral acceleration in curve driving: driver model and experiments on a real vehicle and a driving simulator. *Hum. Factors*, 43 (3), pp. 483–495.
- Rice Roy, Donald A. A (1970). *Driver Characterizing Function, The g-g Diagram*. Cornell Aeronautical Laboratory Report No.VJ-2882-K.
- Ritchie M. L., McCoy W. K., Welde W. L.(1968). A study of the relation between forward velocity and lateral acceleration in curves during normal driving. *Human Factors*, 1968, 10, pp. 255–258.
- Robertson, D. I., Winnett, M. A., & Herrod, R. T. (1992). Acceleration signatures. *Traffic Engineering and Control*, 1, pp. 485–491.
- Roetting M., Huang Y.H., McDevitt J.R., Melton D. (2003). When technology tells you how you drive—truck drivers’ attitudes towards feedback by technology *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, 6(4), pp. 275-287.
- Rothengatter, T (1988). Risk and the absence of pleasure: A motivational approach to modelling road user behaviour. *Ergonomics*, 31(4), pp. 599-607.
- Rumar, K. (1985). The role of perceptual and cognitive filters in observed behavior. In: Evans’, L., Schwing, R.C. (Eds.), *Human Behavior and Traffic Safety*. Plenum, London, New York, pp. 151–165.
- Sagberg, F., Selpi, Bianchi Piccinini, G.F., & Engström, J., (2015). A Review of Research on Driving Styles and Road Safety. *Human Factors* 57(7), pp. 1248-1275

Saad, F. (2004). Behavioural adaptations to new driver support systems: Some critical issues. In 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (pp. 288–293). Piscataway, NJ: IEEE.

Shinar, D. (2007). Traffic safety and human behavior. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

Sievert W. (1994). The influence of modern electronic systems in motor vehicles on accident statistics. *Journal for traffic road safety (Zeitschrift fuer Verkehrssicherheit)*, 2, pp. 72-82.

Spek, A.C.E., Wieringa, P.A., Janssen, W.H., 2006. Intersection approach speed and accident probability. *Transp. Res. Part F: Traffic Psychol. Behav.* 9, 155–171.

Stutts, J.C., Feaganes, J.R., Reinfurt, D., Rodgman, E., Hamlett, C., Gish, K., Staplin, L. (2005). Driver's exposure to distractions in their natural driving environment. *Accident Analysis and Prevention*, 37, pp. 1093–1101.

Sullman, M.J.M., Meadows, M.L., Pajo, K.B. (2002). Aberrant driving behaviours amongst New Zealand truck drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(3), pp 217-232.

Sulzer-Azaroff B., Austin J. (2000) Does BBS Work? *Professional Safety*, 45(7), pp. 19-24.

Sümer, N., Ozkan, T., & Lajunen, T. (2006). Asymmetric relationship between driving and safety skills. *Accident Analysis & Prevention*, 38, 703–711.

Summala, H (1988): Risk control is not risk adjustment: The zero-risk theory of driver behaviour and its implications. *Ergonomics*, 31(4), pp. 491-506.

Taylor, D. H. (1964): Drivers' Galvanic Skin Response and the Risk of Accident. *Ergonomics*, 1964, 7, pp. 439-451.

Taubman-Ben-Ari, O. (2006). Couple similarity for driving style. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9, pp. 185–193.

Taubman-Ben-Ari, O., Mikulincer, M., & Gillath, O. (2004). The Multidimensional Driving Style Inventory: Scale construct and validation. *Accident Analysis & Prevention*, 36, pp. 323–332.

The European Transport Safety Council. Ranking EU Progress on Road Safety: 10th Road Safety Performance Index Report. Retrieved July 2016, from The European Transport Safety Council: <http://etsc.eu/wp-content/uploads/10-PIN-annual-report-FINAL.pdf>

Tillmann, W. A., & Hobbs, G. E. (1949). The accident-prone automobile driver: A study of the psychiatric and social background. *American Journal of Psychiatry*, 106, pp. 321–331.

Treat J. R., Tumbas N. S., McDonald S. T., Shinar D., Hume R. D., Mayer R. E., (1977). Tri-level study of the causes of traffic accidents. Volume I: Casual factor tabulations and assessment. Final report (No. DOT-HS-034-3-534), Washington: National Highway Traffic Safety Administration.

Turetschek, C. (2006). Behaviour observation in connection with the evaluation of ISA, STORM and ACC. Bron, France: HUMANIST Consortium.

Underwood, G. (2013). On-road behaviour of younger and older novices during the first six months of driving. *Accident Analysis & Prevention*, 58, pp. 235–243.

van der Horst, A. R. A. A (1990). Time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters. PhD thesis, Technische Universiteit Delft, Delft, Netherlands.

Verschuur, W. L. G., Hurts, K. (2008). Modelling safe and unsafe driving behavior. *Accident Analysis and Prevention*, 40, pp. 644–656.

Verster JC, Roth T. (2012). Drivers can poorly predict their own driving impairment: a comparison between measurements of subjective and objective driving quality. *Psychopharmacology*, 219(3), pp. 775–81.

Wagenaar, W.A., Reason, J.T., (1990). Types and tokens in road accident causation. *Ergonomics* 33 (10/11), pp. 1365–1375.

Wang J., Dixon K.K, Li H., Ogle J. (2004). Normal acceleration behaviors of passenger vehicles starting from rest at all way stop controlled intersections. *Transportation Research Record No 1883*, TRB, National Research Council, pp. 158–166.

Weiss, A. P., Lauer, A. R. (1930). *Psychological principles in automotive driving*. Columbus: The Ohio State University.

Wasielewski, P. (1984). Speed as a measure of driver risk: Observed speeds versus driver and vehicle characteristics. *Accident Analysis & Prevention*, 16, 89–103.

West, R., French, D., & Elander, J. (1990). The bases of differential accident liability: Cognition, motivation, or motivated cognition? Paper presented at Behavioural Research in Road Safety, Nottingham, UK.

West, R., French, D., Kemp, R., & Elander, J. (1993). Direct observation of driving, self-reports of driver behavior, and accident involvement. *Ergonomics*, 36, pp. 557–567.

Wiesenthal, D. L., Hennessy, D., & Gibson, P. M. (2000). The Driving Vengeance Questionnaire (DVQ): The development of a scale to measure deviant drivers' attitudes. *Violence and Victims*, 15, pp. 115–136.

Wilde, G.J.S (1982). The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. *Risk Analysis*, 2(4), pp. 209-226.

World Health Organization Global Status Report on Road Safety 2013: Supporting a Decade of Action; Available online: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2013/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/).

World Health Organization (WHO). Global Status Report on Road Safety, 2015.

Xie, C-qiu., Parker, D., (2002). A social psychological approach to driving violations in two Chinese cities. *Transportation Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5 (4), pp. 293-308.

Xiong, H. M., Boyle, L. N., Moeckli, J., Dow, B. R., & Brown, T. L. (2012). Use patterns among early adopters of adaptive cruise control. *Human Factors*, 54, pp. 722–733.

Xu J., Yang K., Shao Y.M., Lu G.Y. (2015). An Experimental Study on Lateral Acceleration of Cars in Different Environments in Sichuan, Southwest China. *Discrete Dyn. Nat. Soc.*, pp. 1–16.

Yan, X. D., Radwan, E., & Guo, D. H. (2007). Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance. *Accident Analysis & Prevention*, 39, pp. 843–852.

[www.aci.it](http://www.aci.it)

[www.istat.it](http://www.istat.it)