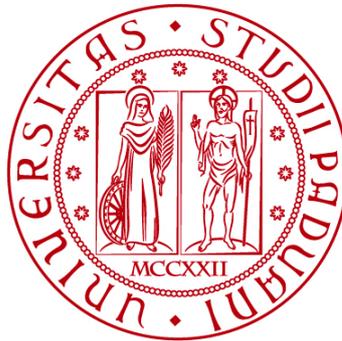


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
Curriculum: Sistemi e Infrastrutture di Trasporto



TESI DI LAUREA

**QUANTIFICAZIONE DELL'IMPATTO DELLA CONFIGU-
RAZIONE DEI SENSORI DI TRAFFICO SULLA PRECI-
SIONE DEI DATI DI CONTEGGIO**

Relatore: Chiar.mo Prof. RICCARDO ROSSI
Correlatori: Dott. Ing. GREGORIO GECHELE
Dott. Ing. ALBERTO SARTO

Laureando: DIEGO ZERBIN

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1 - SISTEMI DI MONITORAGGIO DEL TRAFFICO STRADALE	3
1.1 IMPORTANZA DEL MONITORAGGIO DEL TRAFFICO	4
1.2 GRANDEZZE OGGETTO DI RILIEVO E DISPOSITIVI DI RACCOLTA DATI.....	5
1.2.1 Dispositivi di rilevazione non intrusivi – RADAR.....	7
1.2.1.1 Doppler microwave radar.....	8
1.3 OBIETTIVO DELLA TESI: EFFETTO DELLE MODALITÀ DI RILIEVO MONODIREZIONALE E BIDIREZIONALE CON DISPOSITIVI RADAR DI TIPO DOPPLER.....	10
Capitolo 2 - METODOLOGIA ADOTTATA	15
2.1 METODOLOGIA DI RILIEVO SU CAMPO.....	17
2.1.1 Procedura di rilievo: prima giornata	17
2.1.2 Procedura di rilievo: seconda giornata.....	21
2.1.3 Procedura di rilievo: terza giornata	22
2.2 CODIFICA DATI VIDEO.....	23
2.2.1 PREPARAZIONE DELLA CODIFICA VIDEO	24
2.2.2 CODIFICA VIDEO	26
2.2.2.1 Classificazione veicolare nella fase di codifica video.....	26
2.2.3 RISULTATI DELLA CODIFICA VIDEO.....	27
2.3 TARATURA EX-POST DEI DISPOSITIVI RADAR.....	29
2.3.1 PREPARAZIONE ALLA TARATURA	29
2.3.2. PROCEDIMENTO DI CALIBRAZIONE.....	30
Capitolo 3 - CASO DI STUDIO	33
3.1 Il dispositivo utilizzato: ViaCount II.....	34
3.2 SEZIONI DI RILIEVO	37
3.2.1 R01 – COMUNE DI CAMPONOGARA	38
3.2.1.1 Strumenti conteggio radar	39

3.2.1.2 Strumenti rilievo video	41
3.2.2 R02 – COMUNE DI CAMPONOGARA	43
3.2.2.1 Strumenti conteggio radar	43
3.2.2.2 Strumenti rilievo video	46
3.2.3 R03 – COMUNE DI FIESSO D’ARTICO	48
3.2.3.1 Strumenti conteggio radar	48
3.2.3.2 Strumenti rilievo video	51
3.2.4 R04 – COMUNE DI FOSSÒ	53
3.2.4.1 Strumenti conteggio radar	53
3.2.4.2 Strumenti rilievo video	56
3.2.5 R05 – COMUNE DI MIRA	58
3.2.5.1 Strumenti conteggio radar	58
3.2.5.2 Strumenti rilievo video	61
3.2.6 R06 – COMUNE DI MIRA	63
3.2.6.1 Strumenti conteggio radar	63
3.2.6.2 Strumenti rilievo video	66
3.2.7 R07 – COMUNE DI MARTELLAGO	68
3.2.7.1 Strumenti conteggio radar	68
3.2.7.2 Strumenti rilievo video	71
3.2.8 R08 – COMUNE DI MARTELLAGO	73
2.2.8.1 Strumenti conteggio radar	73
3.2.8.2 Strumenti rilievo video	76
3.2.9 R09 – COMUNE DI PADOVA	78
2.2.9.1 Strumenti conteggio radar	78
3.2.9.2 Strumenti rilievo video	80
Capitolo 4 - ANALISI STATISTICA DEI DATI RACCOLTI.....	83
4.1 ANALISI STATISTICA DESCRITTIVA.....	83
4.1.1 CONSIDERAZIONI SUI DIAGRAMMI DI DISPERSIONE	94
4.2 ANALISI DI REGRESSIONE.....	95

4.2.1 METODOLOGIA UTILIZZATA.....	95
4.2.1.1 La regressione di Poisson.....	97
4.2.1.2 Altri modelli di regressione per variabili conteggio	98
4.2.2 ANALISI DEI DATI RACCOLTI	102
4.2.3 ANALISI DEI RESIDUI – DIAGNOSI DELLE ASSUNZIONI	106
4.2.4 RISULTATI E PREVISIONI DEL MODELLO	110
Conclusioni	117
Bibliografia	119

Introduzione

Nell'ambito dell'ingegneria dei trasporti hanno da tempo un'importanza rilevante i sistemi di monitoraggio del traffico, utilizzati al fine di ottenere dati utili per studi di ricerca, la calibrazione di modelli di simulazione del traffico veicolare, la progettazione delle infrastrutture viarie. Tra le tecnologie esistenti, i dispositivi di tipo non intrusivo sono quelli che hanno sicuramente trovato maggiore diffusione, grazie alla loro fruibilità nei rilievi di breve durata (tipologia d'interesse nelle attività di ricerca) e ai costi relativamente contenuti, e tra questi i radar microonde di tipo Doppler. Questa tipologia di dispositivi è utilizzabile in modalità monodirezionale (rilievo di una corsia) o in modalità bidirezionale (rilievo di due corsie, con diverso senso di marcia); questo lavoro di tesi si propone di analizzare le prestazioni offerte da questi strumenti in queste due modalità di funzionamento, valutando, in particolare, l'impatto del fenomeno dell'occlusione sulla qualità dei dati raccolti in modalità bidirezionale.

Nel primo capitolo, viene introdotto il tema del monitoraggio del traffico, analizzando le tipologie di dispositivi disponibili, le grandezze di rilievo d'interesse e la sua importanza nell'ambito dell'ingegneria dei trasporti. Viene poi presentato in maniera più approfondita l'obiettivo di questo lavoro di tesi, in relazione all'analisi bibliografica condotta, che ha messo in mostra la carenza di informazioni in merito al tema della tesi.

Nel secondo capitolo viene introdotta la metodologia operativa adottata, dando particolare risalto alle attività di campo che hanno portato all'acquisizione dei dati di traffico (rilievi radar e video) e alle attività di elaborazione successivamente condotte (codifiche video e taratura ex-post degli strumenti).

Il terzo capitolo presenta nel dettaglio la strumentazione utilizzata per i rilievi di campo e una descrizione delle 9 sezioni oggetto di rilievo che costituiscono il caso di studio oggetto della tesi. Infine, il quarto capitolo presenta l'analisi statistica condotta sui dati elaborati, che attraverso un modello di regressione per variabili di tipo "conteggio" ha permesso di quantificare l'effetto della modalità di funzionamento sulla qualità dei dati raccolti.

Capitolo 1

SISTEMI DI MONITORAGGIO DEL TRAFFICO STRADALE

Con il termine monitoraggio si intende una serie di attività finalizzate a controllare il deflusso stradale per molteplici motivi, tra i quali, oltre a quelli di carattere ingegneristico, anche quelli sanzionatori applicati dalle amministrazioni comunali e dalle forze dell'ordine.

In Italia, il Nuovo Codice della Strada (Titolo II, Art. 13, Norme per la gestione e la costruzione delle strade, Comma 7 del Nuovo Codice della Strada – D.Lgs. 285 del 30 aprile 1992) prevede in maniera esplicita l'obbligo per “gli enti proprietari delle strade a effettuare rilevazioni del traffico”, nell'ambito di un'attività più generale finalizzata all'istituzione di un archivio nazionale delle strade, nell'intento di individuare i punti di maggiore congestione del traffico e favorire l'innalzamento dei livelli di sicurezza sull'intera rete nazionale.

Attualmente però, non esistono precisi riferimenti normativi circa le modalità di realizzazione di sistemi di monitoraggio del traffico veicolare.

In tale lacuna si possono individuare le cause di risultati spesso parziali e disomogenei (sia qualitativamente, sia quantitativamente) riscontrati in diverse attività di monitoraggio. Un tentativo di miglioramento in tal senso è dato dal documento del Ministero dei Lavori Pubblici “Sistemi di Monitoraggio. Linee Guida per la Progettazione” (Ministero dei Lavori Pubblici, 2001), che fornisce alcune indicazioni pratiche di tipo generale sull'attività di progettazione di questi sistemi. Negli Stati Uniti storicamente c'è sempre stato un interesse maggiore per l'argomento del monitoraggio; infatti, la Federal Highway Administration (FHWA) ha redatto e aggiornato nel tempo la Traffic Monitoring Guide (TMG): documento che illustra le linee guida per i programmi di monitoraggio del traffico.

1.1 IMPORTANZA DEL MONITORAGGIO DEL TRAFFICO

Nell'ambito della progettazione di un sistema di monitoraggio del traffico veicolare uno degli aspetti principali di cui tener conto è la definizione degli obiettivi per i quali si effettuano le attività di monitoraggio.

Gli obiettivi perseguiti con l'introduzione di un sistema di monitoraggio possono essere molteplici (Sistemi di monitoraggio del traffico – Linee guida per la progettazione, Cap.2 Par. 2.2 Obiettivi di monitoraggio, Ministero dei Lavori Pubblici, 2001):

- **Regolazione del traffico;**
- **Informazione all'utenza;**
- **Gestione dei pedaggi;**
- **Controllo della sosta;**
- **Lotta contro le infrazioni;**
- **Sicurezza dei pedoni;**
- **Assistenza alla guida;**
- **Sorveglianza di passaggi a livello;**
- **Sicurezza nelle gallerie;**
- **Protezione opere d'arte;**
- **Manutenzione della carreggiata;**
- **Studi, ricerche, statistiche.**

Di particolare interesse per questo lavoro di tesi è proprio l'ultimo obiettivo elencato. I sistemi di monitoraggio utilizzati ordinariamente nella gestione del traffico possono infatti essere adoperati per finalità di studio e ricerca (es. elaborazione e calibrazione di modelli, analisi del comportamento di guidatori, ecc.). I dati più frequentemente oggetto di monitoraggio sono i volumi veicolari, la classificazione dei veicoli, le velocità, le densità.

1.2 GRANDEZZE OGGETTO DI RILIEVO E DISPOSITIVI DI RACCOLTA DATI

La selezione degli strumenti più adatti alla raccolta dei dati e alla loro elaborazione dipende direttamente dalle grandezze oggetto di rilievo.

Le grandezze più significative oggetto di monitoraggio, riferibili a più elementi della rete viaria (ad esempio sezione, intersezione o arco), sono:

- le variabili di base del deflusso veicolare (flusso, velocità, densità);
- grandezze complementari o derivate, quali la presenza/transito dei veicoli, le lunghezze di coda, il livello di congestione e i tempi di percorrenza;
- caratteristiche dei veicoli come peso totale, peso per asse, lunghezza, altezza e tasso di occupazione (numero di passeggeri);
- classificazione tipologica dei veicoli (auto, commerciali, moto, pedoni...);
- infrazioni dei veicoli come eccesso di velocità, mancato rispetto del semaforo rosso o del segnale di stop, sosta vietata, marcia in controsenso;
- condizioni metereologiche e parametri ambientali, quali la presenza di nebbia, ghiaccio, vento, pioggia o neve, concentrazioni di sostanze inquinanti e livelli di pressione sonora.

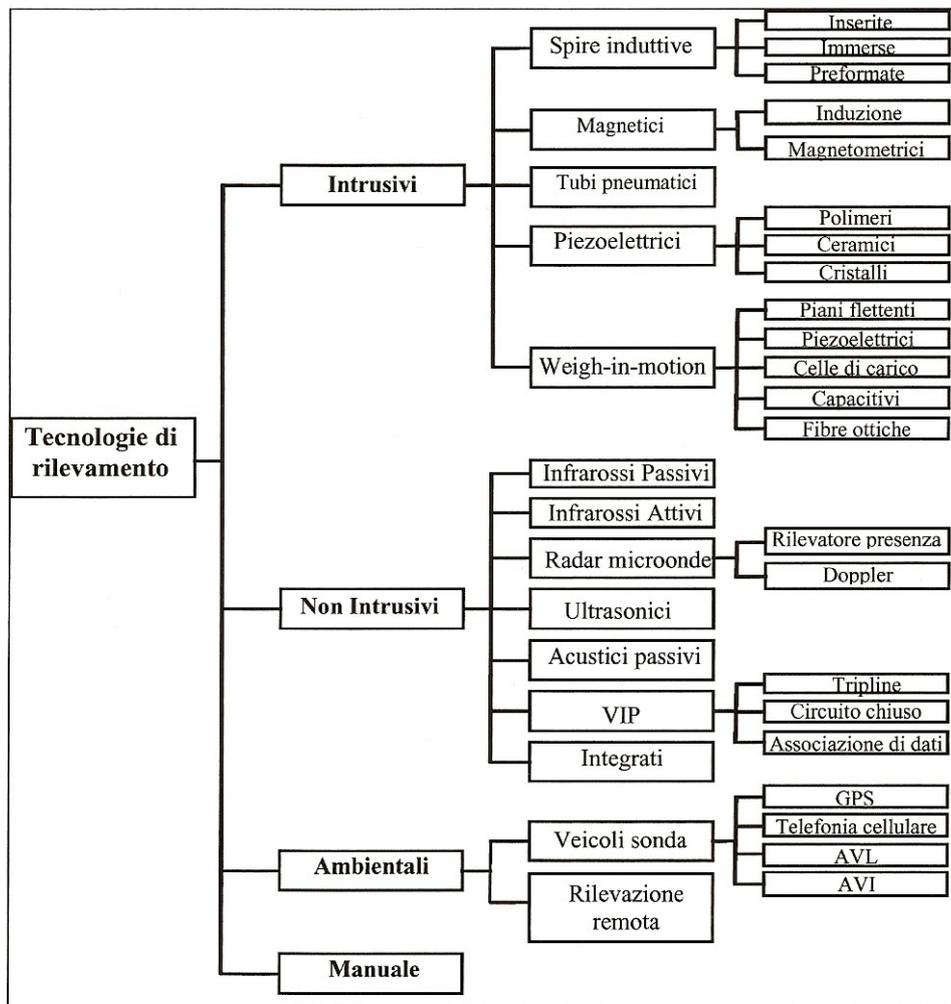
Per rilevare le grandezze sono disponibili diverse tipologie di strumenti/sensori, con caratteristiche differenti che li rendono di volta in volta più o meno adatti al contesto applicativo, alle finalità del rilievo, alle prestazioni richieste e ai costi che si possono sostenere (Dalla Chiara et al., 2013; Mussone e Marescotti, 2007).

Una possibile classificazione suddivide i dispositivi in quattro tipologie fondamentali:

- **Dispositivi intrusivi:** installati in modo permanente o temporaneo direttamente sulla superficie stradale;
- **Dispositivi non-intrusivi:** installati in modo permanente o temporaneo su strutture poste ai lati della carreggiata o sopra di essa (es. pali o portali);

- **Dispositivi ambientali:** montati su veicoli in movimento sulla sede stradale (veicoli sonda) che trasmettono periodicamente informazioni sul traffico ad un centro di controllo;
- **Rilevamento manuale.**

Di seguito viene riportato uno schema che illustra tale classificazione.



Il rilevamento manuale è ormai desueto a causa delle limitazioni che comporta, quali la durata dei rilievi (è necessario garantire un adeguato riposo agli operatori), la sicurezza del personale operativo (è necessario garantire condizioni di lavoro idonee e sicure), l'affidabilità dei dati raccolti, che può essere inficiata da fenomeni di affaticamento degli operatori.

Grazie al suo basso costo, viene impiegato quando sono necessari rilievi di modesta entità (poche ore), quali conteggio veicolare, identificazione dei movimenti di svolta ad un'intersezione stradale, rilevazione del tasso di occupazione veicolare, esecuzione di indagini cordionali e altre tipologie di interviste all'utenza.

I limiti di questo metodo di rilievo hanno gradualmente indirizzato la scelta verso i **dispositivi di rilievo automatici**, che offrono il vantaggio di raccogliere in modo continuo e preciso le informazioni sul traffico, anche per periodi prolungati.

1.2.1 Dispositivi di rilevazione non intrusivi – RADAR

I dispositivi di tipo automatico hanno dunque un ruolo importante nella raccolta dei dati di traffico, sia per la creazione di archivi dati storici, sia per applicazioni in tempo reale.

Le tecnologie di tipo intrusivo (*Figura 1-1*) presentano difficoltà e limitazioni di tipo applicativo, che riguardano la necessità di ricorrere alla chiusura temporanea di alcuni tratti stradali, al fine di garantire la sicurezza del personale installatore, possibili difficoltà di installazione dovute alla geometria della sezione stradale, e in alcuni casi potenziali effetti negativi sulla sicurezza della circolazione veicolare (es. circolazione dei motocicli). Inoltre, per alcuni dispositivi intrusivi utilizzati per rilievi temporanei, sussiste la possibilità di subire danneggiamenti per effetto di trattamenti sulla pavimentazione stradale (es. operazioni dei mezzi sgombraneve).

Le tecnologie non intrusive sopperiscono ad alcune di queste difficoltà in quanto richiedono un'interferenza minima o nulla con il flusso veicolare durante le operazioni di installazione o di manutenzione, che solitamente avvengono a lato della carreggiata (più raramente al di sopra). (Minge et al., 2010).

Nella categoria dei dispositivi di tipo non intrusivo, sono particolarmente utilizzati i rilevatori radar, strumenti portatili che sfruttano la tecnologia radar (Radio Detection and Ranging) al fine di determinare la posizione di elementi fissi o mobili, grazie ai principi della rifrazione delle microonde [1-30 GHz].

Esistono due tipologie di sensori a microonde, in base al tipo di onda emessa; la più comune è la tipologia dei radar di tipo Doppler.

1.2.1.1 Doppler microwave radar

I radar microonde di tipo Doppler sono rilevatori che utilizzano il principio Doppler-Fizeau al fine di rilevare la presenza di veicoli sulla sede stradale.

Quando un'onda di frequenza f emessa da una sorgente fissa incontra un veicolo in transito, essa viene riflessa e rilevata da un ricevitore con frequenza variata f' . La differenza tra la frequenza emessa e quella riflessa da parte del sensore, detta frequenza di Doppler-Fizeau F_d , indica il passaggio di un veicolo.

$$F_d = f' - f = \frac{2 \cdot v \cdot \cos \Phi}{\lambda}$$

Dall'equazione risulta che F_d [Hz] è proporzionale alla velocità istantanea del veicolo v [m/s] e inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda emessa λ [m] e dipende dall'angolo Φ [°] che il fascio d'onde emesse forma con il vettore velocità del veicolo.

Il sensore funge da sorgente ed emette onde elettromagnetiche a frequenza costante (solitamente con una frequenza di 10 GHz), secondo due configurazioni:

- laterale: rilievo dei flussi per singole corsie o per più corsie;
- frontale: rilievo dei flussi per singole corsie, della presenza dei veicoli o della lunghezza di una coda;

In genere l'accuratezza dei dati diminuisce all'aumentare delle corsie rilevate, a seguito di fenomeni di schermatura del fascio di onde emesse da parte dei veicoli in transito.

Le informazioni registrate dal rilevatore radar sono:

- conteggio
- velocità istantanea
- lunghezza veicolare
- headways (intertempi veicolari)
- direzione di marcia

I principali vantaggi offerti dall'utilizzo di questo tipo di sensore sono:

- limitata sensibilità alle avverse situazioni metereologiche;
- misura diretta e precisa della velocità;
- possibilità di funzionamento su più corsie;
- facilità di installazione grazie alle dimensioni compatte e leggere.

Gli svantaggi invece sono:

- richiesta la presenza di personale specializzato;
- calibrazione a volte difficoltosa;
- impossibilità di rilevare veicoli fermi o a velocità $v \leq 3km/h$;
- problemi di occlusione (schermatura di veicoli in transito) quando utilizzato in modalità bidirezionale o su più corsie.

1.3 OBIETTIVO DELLA TESI: EFFETTO DELLE MODALITÀ DI RILIEVO MONODIREZIONALE E BIDIREZIONALE CON DISPOSITIVI RADAR DI TIPO DOPPLER

Come già indicato, le attività di monitoraggio del traffico veicolare assolvono a una molteplicità di obiettivi. Nella pratica professionale i rilievi di breve periodo sono ampiamente utilizzati nella redazione di studi di impatto viabilistico per l'analisi dei flussi veicolari, in particolare, relativi alle fasce orarie di punta.

Raramente i sistemi di monitoraggio permanente, in capo agli enti gestori, forniscono infatti dati di traffico puntuali e capillari, per cui è spesso richiesta l'esecuzione di rilievi di traffico specifici.

In tale contesto, lo strumento più di frequente utilizzato è il radar di tipo Doppler.

I dispositivi disponibili in commercio permettono l'installazione sia in modalità monodirezionale, sia bidirezionale: nella prima modalità il radar rileva il traffico sulla sola corsia ad esso adiacente; nella modalità bidirezionale il radar rileva invece il traffico nei due sensi di marcia.

L'installazione degli strumenti in modalità monodirezionale assicura una maggior precisione del rilievo ma richiede un radar per ciascuna corsia.

La modalità di installazione bidirezionale offre il vantaggio di monitorare due corsie con un unico dispositivo, riducendo quindi i costi relativi all'uso della strumentazione e del personale per l'installazione rispetto al caso monodirezionale.

Di contro, l'installazione bidirezionale presenta una minor precisione nel rilievo, dovuta principalmente a fenomeni di occlusione (veicoli della corsia più vicina che schermano con il loro transito i veicoli nella corsia più lontana).

Allo stato attuale, sulla base della ricerca bibliografica condotta, non sono emerse valutazioni quantitative puntuali sulla qualità dei dati di traffico nel caso di rilievi condotti in modalità bidirezionale. Come si vedrà dall'analisi del materiale raccolto, un tema ricorrente in letteratura è il problema dell'occlusione riferito a rilievi multicorsia in una sola direzione di marcia, ma non viene mai considerata e valutata la possibilità dei due differenti metodi di utilizzo sopra descritti.

In prima istanza sono stati analizzati alcuni manuali di riferimento per i rilievi del traffico: Traffic Monitoring Guide (FHWA, 2022), Traffic Monitoring Handbook

(Florida Department of Transportation, 2023), Traffic Detector Handbook, Vol.1, (FHWA, 2006) e Sistemi di Monitoraggio del Traffico – Linee Guida per la Progettazione (Ministero dei Lavori Pubblici, 2001). In questi documenti non viene mai esplicitata la possibilità d'uso dei dispositivi radar in modalità mono- o bidirezionale. Analogamente, anche nelle pubblicazioni scientifiche analizzate, nonostante esse siano focalizzate sul confronto tra le prestazioni di diversi strumenti per il monitoraggio del traffico, viene considerato il fenomeno dell'occlusione che è la principale causa delle differenti precisioni di misura tra l'installazione monodirezionale e quella bidirezionale.

Analizzando i manuali d'uso degli strumenti di rilievo del traffico, spesso emerge il problema dell'occlusione, considerato uno svantaggio dei sensori che prevedono un'installazione a bordo strada, siano essi radar di tipo microonde, sistemi a infrarossi, o sistemi di acquisizione video.

Di seguito una definizione del fenomeno dell'occlusione presa dal Traffic Monitoring Guide: *“Lo svantaggio dei sensori non intrusivi a montaggio laterale è che sulle strade a più corsie, il traffico che utilizza le corsie più lontane dalla posizione del sensore può essere oscurato dai veicoli (e in particolare di mezzi pesanti) che viaggiano nelle corsie più vicine al sensore. Questo fenomeno è chiamato **occlusione**. L'occlusione determina una sottostima del volume totale e può falsare le stime di velocità se il traffico all'interno della carreggiata viaggia a una velocità diversa da quella delle corsie esterne”*.

Inoltre, lo stesso documento, con riferimento specifico ai sistemi di rilievo radar microonde, indica tra i punti deboli: *“A volte non rilevano veicoli che viaggiano affiancati (tra due corsie). Problemi di occlusione con traffico intenso e situazioni di stop-and-go e corsie multiple.”*

Ancora, è d'interesse quanto il Traffic Monitoring Guide consiglia per ridurre i problemi di occlusione in fase di rilievo nei sensori che ne soffrono: *“...In generale, più il sensore non intrusivo è posizionato in alto rispetto alla carreggiata, minore è il problema dell'occlusione. Tuttavia, l'innalzamento verticale del sensore 1) aumenta i costi di installazione e manutenzione; 2) diminuisce la risoluzione con cui il sensore rileva i veicoli sulla strada; 3) aumentano le oscillazioni che il sensore*

riceve dal palo su cui monta, le quali portano ad altre forme di degrado della precisione. È necessario rispettare le altezze di installazione consigliate dal produttore. Il montaggio del sensore direttamente sopra la corsia di marcia è un modo per ridurre significativamente le possibilità di occlusione. Per questo motivo i sensori montati in alto tendono a essere più precisi dei sensori laterali della stessa tecnologia. Lo svantaggio dei sensori sopraelevati è che la corsia di marcia deve essere normalmente chiusa per l'installazione dei sensori e ogni volta che si effettua la manutenzione, perché si ritiene che il materiale possa cadere sulla carreggiata durante tali attività. Le corsie chiuse creano una potenziale congestione nelle strade ad alto traffico.”

Infine, consiglia di applicare un fattore di correzione della sottostima in fase di codifica dei dati.

Il Traffic Monitoring Handbook (FDOT) riferisce del problema dell'occlusione specialmente in riferimento ai sistemi ad infrarossi, riportando all'incirca le stesse osservazioni del TMG (Traffic Monitoring guide). Anch'esso consiglia l'utilizzo di un fattore di correzione in fase di codifica.

Anche il Traffic Detector Handbook descrive il fenomeno dell'occlusione e riporta due tipi di anomalie derivanti da tale fenomeno: “...i sensori installati a lato di una carreggiata e che visualizzano più corsie di traffico ad angolazione perpendicolare od obliqua rispetto alla direzione del flusso, possono presentare due tipi di anomalie nei dati. La prima si verifica quando i veicoli alti occludono al sensore la visione sulle corsie più lontane. L'occlusione può potenzialmente causare un sotto-conteggio o una falsa misurazione della velocità media.

La seconda anomalia si verifica quando i veicoli alti proiettano la loro sagoma nelle corsie adiacenti. Quando un sensore è sensibile a questo effetto, esso esegue un sovra-conteggio e, anche in questo caso può riportare una velocità media fuorviante.

Pertanto, il tipo di sensore, la sua altezza e posizione di montaggio, la tipologia di traffico, la configurazione stradale e gli angoli di visuale del sensore devono essere analizzati in relazione all'applicazione prevista. Alcuni sistemi non intrusivi possono essere più o meno sensibili rispetto altri a questo tipo di anomalie.”

Analizzando il tema dell'occlusione nell'ambito della bibliografia di settore che affronta il tema del confronto di prestazioni tra strumenti di rilievo del traffico è emerso che il problema viene riconosciuto (non sempre) ma non viene mai analizzato in maniera quantitativa.

Per esempio, nella pubblicazione "Evaluation of non-intrusive technologies for traffic detection" (Minge et al., 2010) viene effettuato un confronto tra sensori di traffico non intrusivi, valutandone le loro prestazioni in termini di accuratezza nel conteggio, nella misura della velocità e nella classificazione veicolare.

In riferimento allo strumento Smartwave Sensor HD (radar di tipo microwave) viene riscontrato quanto segue: *"...Tuttavia, un'analisi veicolo-per-veicolo ha rilevato alcuni fenomeni di occlusione quando autocarri in movimento lento nella corsia più vicina al sensore, oscuravano le corsie più lontane, causando un conseguente sotto-conteggio di circa il 20% nelle corsie occluse, nei periodi di forte congestione. Si è quindi notato che l'occlusione riduce l'accuratezza del sensore nelle condizioni di forte congestione, poiché il sensore è installato in una posizione che non ha una linea visiva oltre ai veicoli pesanti di grandi dimensioni...Dopo aver analizzato questi risultati con il fornitore del sensore si è appreso che il Wavetronix SmartSensor HD dispone di un metodo integrato per mitigare gli effetti negativi dell'occlusione, applicando un fattore quando si verificano determinate condizioni di flusso. Ad esempio quando i veicoli nella corsia più vicina al sensore hanno velocità ridotte i volumi di traffico delle corsie occluse vengono scalati per tener conto dei veicoli non rilevati dal sensore... In condizioni di free flow l'occlusione non è un fattore determinante e l'accuratezza del sensore è compresa entro il 2% di errore..."*

La pubblicazione "Use of hi-resolution data for evaluating accuracy of traffic volume counts collected by microwave sensors" (Chang et al., 2016) valuta le prestazioni degli strumenti utilizzando come benchmark dati di riferimento raccolti manualmente. In questa pubblicazione si riconosce il problema dell'occlusione nei radar a microonde: *"...La posizione di installazione è importante per evitare l'occlusione causata da altri veicoli. Se possibile, il sensore deve essere posizionato vicino alle corsie più importanti. Se i movimenti di svolta a sinistra sono più importanti, il sensore deve essere posizionato sul lato sinistro dell'intersezione..."*

Ancora, il documento “Vehicle detector evaluation” (Middleton & Parker, 2002), che analizza le prestazioni di strumenti di rilievo non-intrusivi da utilizzare in alternativa alle spire induttive, riscontra che i dispositivi montati a bordo strada soffrono di problemi di occlusione e fornisce una definizione del fenomeno dell’occlusione simile a quanto visto nel manuale “Traffic Detector Handbook”, riportando le due possibili tipologie di anomalie riscontrabili.

Altre pubblicazioni consultate di tipologia simile, come ad esempio “Improving the accuracy and applicability of Kansas Traffic data” (Kondyli et al., 2019), “An assessment of loop detector and RTMS performance” (Coifman, 2004), “Evaluation of the accuracy of traffic volume counts collected by microwave sensors (Chang , 2015), affrontano il problema dell’occlusione in maniera minore, riconoscendone comunque i tratti salienti ovvero che i sensori montati a bordo strada ne soffrono e che l’errore aumenta per le corsie più distanti.

Un aspetto ricorrente nella letteratura analizzata è dunque la consapevolezza che il fenomeno di occlusione sia presente e influenzi la qualità dei dati di traffico raccolti nel caso di rilievi multicorsia, in una sola direzione di marcia. Non viene invece mai considerato l’utilizzo del radar per rilevare due corsie aventi direzioni di marcia opposti.

È quindi obiettivo di questa tesi analizzare l’effetto delle modalità di rilievo mono e bidirezionale sulla qualità dei dati di traffico raccolti, al fine di fornire indicazioni operative per l’ottimizzazione delle attività di rilievo del traffico veicolare.

Capitolo 2

METODOLOGIA ADOTTATA

Il presente capitolo si focalizza sulla presentazione dettagliata della metodologia adottata per l'acquisizione dei dati di campo e la loro elaborazione nell'ambito del presente lavoro di tesi.

Il capitolo si articola in tre sezioni fondamentali.

Nel paragrafo 2.1 vengono descritte le procedure, le operazioni e le scelte metodologiche adottate per ciascun rilievo in situ, condotto nel contesto della presente ricerca. Questa sezione fornisce una panoramica dettagliata delle modalità con cui sono stati acquisiti i dati di traffico.

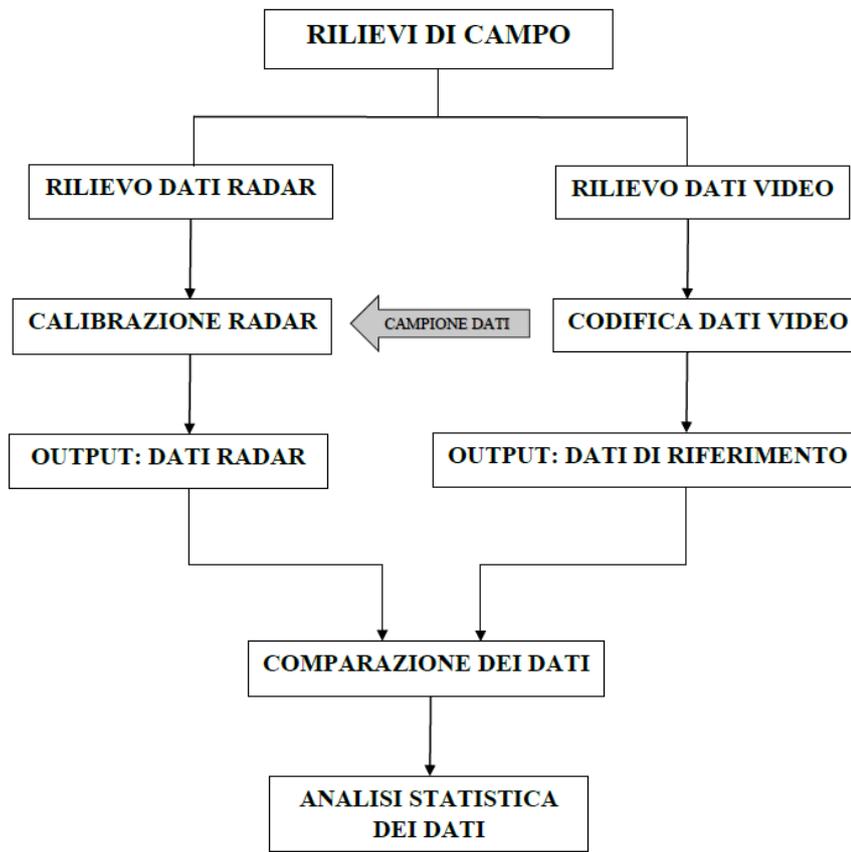
Successivamente, nel paragrafo 2.2, vengono presentate le modalità di codifica dei dati video, che hanno permesso di determinare i dati di riferimento per l'analisi comparativa delle prestazioni degli strumenti.

Infine, il paragrafo 2.3 presenta l'attività di taratura dei radar, effettuata al fine di ottimizzare la qualità dei dati raccolti e conseguentemente determinare i conteggi classificati riferiti a ciascuna sezione.

Viene di seguito riportato un diagramma a blocchi (*Figura 2-1*), che descrive in maniera sintetica le operazioni svolte e le loro relazioni reciproche.

Tali procedure vengono poi descritte in maniera dettagliata nei paragrafi seguenti.

La comparazione e l'analisi statistica dei dati di traffico è oggetto specifico del capitolo 4.



2.1 METODOLOGIA DI RILIEVO SU CAMPO

La procedura di rilievo, di seguito articolata nelle tre giornate-tipo nelle quali si è svolto ogni rilievo (*Par. 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3*), è stata applicata allo stesso modo per ogni sezione di conteggio.

I paragrafi seguenti espongono le procedure che nel diagramma a blocchi di *Figura 2-1* sono indicate nei blocchi “RILIEVO DATI RADAR” e “RILIEVO DATI VIDEO”.

2.1.1 Procedura di rilievo: prima giornata

Nella prima giornata di ogni sessione si sono svolte le attività di installazione dei radar nelle sezioni di rilievo (della durata di circa 30 minuti per ciascun dispositivo), effettuata da una squadra di 3 operatori, secondo un preciso schema operativo:

1. **fissaggio dei dispositivi** su pali dell’illuminazione pubblica o della segnaletica stradale (preventivamente individuati tramite sopralluogo virtuale con Google Earth) con fascette metalliche (*Figura 2-2*). I dispositivi sono stati installati in modalità monodirezionale a circa 1 metro di altezza, mentre in modalità bidirezionale in una posizione sopraelevata (circa 3 metri) per limitare l’effetto di occlusione. Le distanze dalla carreggiata, le altezze dal suolo, la direzione del radar sono state individuate con l’obiettivo di garantire le migliori prestazioni da parte degli strumenti, basandosi sull’esperienza pregressa degli installatori;
2. **taratura degli strumenti**, effettuata collegandosi agli strumenti con software proprietario via cavo USB, per verificare la corrispondenza tra le lunghezze dei veicoli in transito rilevate ed effettive. Preliminarmente sono stati cancellati eventuali dati già presenti nella memoria dello strumento e verificate le impostazioni (orario, impostazioni del sensore, tensione della batteria). Poi si è proceduto alla pre-taratura vera e propria, riportando le misure (rilevate dallo strumento) dei veicoli su schede di calibrazione cartacee al fine di determinare le soglie provvisorie tra le classi in funzione delle lunghezze rilevate per ogni veicolo (bici, moto, auto, commerciali leggeri, commerciali medi, commerciali pesanti/bus).

Nel caso di disallineamento eccessivo tra le lunghezze, si sono modificati il posizionamento del radar, e/o i parametri del sensore, fino ad ottenere un risultato soddisfacente.

3. **completamento dell'installazione del radar**, con chiusura dello sportellino e messa in sicurezza con catene antifurto e lucchetti, fissaggio degli avvisi ad attestare la regolarità dell'attività svolta e rilievo fotografico del radar installato (*Figure 2-3 e 2-4*).
4. **installazione dei pali telescopici per il rilievo video**, fissati sui supporti presenti, in modo da velocizzare le operazioni nella giornata successiva.

I dispositivi radar possono rilevare i veicoli in transito in modalità ENTRANTE o USCENTE, a seconda della direzione di marcia del veicolo rispetto al sensore.

Un veicolo viene definito **ENTRANTE** quando esso viene rilevato mentre è in avvicinamento rispetto al sensore.

Un veicolo viene definito **USCENTE** quando esso viene rilevato mentre si allontana dal sensore.

I dispositivi che sono stati installati in modalità monodirezionale sono stati posizionati in modo che rilevassero sempre i veicoli entranti.

I dispositivi che sono stati installati in modalità bidirezionale rilevano sempre sia i veicoli entranti che quelli uscenti.

Vengono di seguito riportate alcune immagini che mostrano esempi di scheda di calibrazione, esempi della documentazione fotografica richiesta per la chiusura dei radar (*Figure 2-3, 2-4, 2-6*), gli avvisi informativi (*Figura 2-5*) e l'installazione del dispositivo.



Figura 2-2: Installazione dispositivo radar.



Figura 2-3: Foto che attesta la corretta accensione del radar.



Figura 2-4: Foto che attesta la chiusura del radar.

2.1.2 Procedura di rilievo: seconda giornata

La seconda giornata di ogni sessione corrispondeva con il giorno d'interesse per il rilievo, effettuato nel periodo 07:00-19:00 come stabilito dalla programmazione. In questo caso lo schema operativo prevede:

1. **installazione della prima videocamera** su uno dei pali telescopici installati il giorno precedente, accensione e verifica dell'inquadratura, avvio della registrazione mediante app proprietaria poco prima delle ore 07:00;
2. **monitoraggio delle videocamere** durante il rilievo, al fine di garantire il regolare svolgimento del rilievo nelle due sezioni, assicurandosi che le videocamere fossero accese e nella posizione impostata, in sicurezza e senza arrecare intralcio alla circolazione;
3. **installazione della seconda videocamera** sul palo telescopico, alle ore 12:00, in modo da garantire la continuità delle riprese video, dal momento che una singola videocamera non ha la memoria sufficiente a coprire l'intero periodo;
4. **monitoraggio delle videocamere** nel corso del pomeriggio e disinstallazione della prima videocamera;
5. **disinstallazione della seconda videocamera** al termine del periodo di interesse (ore 19:00).

Questa sequenza di operazioni è stata ripetuta per tutte le sezioni in provincia di Venezia, mentre per la sezione 9 a Padova sono state usate due videocamere Panasonic in grado di coprire tutta la giornata di riprese senza la necessità della sovrapposizione.

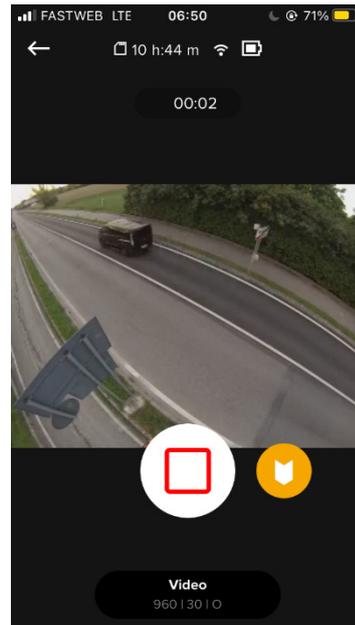


Figura 2-8: Fermo immagine dell'applicazione utilizzata per la gestione della videocamera GoPro da smartphone.

2.1.3 Procedura di rilievo: terza giornata

Nel terzo giorno della sessione, la squadra provvedeva a disinstallare i radar nelle due sezioni, effettuando lo scarico dei dati di traffico tramite i pc.

2.2 CODIFICA DATI VIDEO

Questo paragrafo e i suoi sotto paragrafi descrivono le procedure che nel diagramma a blocchi di *Figura 2-1* sono indicate nel blocco “CODIFICA DATI VIDEO”.

A seguito della codifica dati video, sono ottenuti quelli che nel diagramma a blocchi sono indicati come “OUTPUT: DATI DI RIFERIMENTO”.

Una volta convertiti opportunamente i video, la codifica è stata effettuata tramite una maschera in Microsoft Access fornita da ATraKI S.r.l. (*Figura 2-9*). La maschera permette di visualizzare il video tramite un player ed effettuare la codifica di tipo VBV (vehicle-by-vehicle) utilizzando specifici comandi da tastiera:

1. registrando un record per ogni singolo passaggio veicolare;
2. classificando il veicolo;
3. archiviando il corrispondente fermo immagine.

È, inoltre, possibile velocizzare la riproduzione del video, interromperla, avanzare/retrocedere per singoli fotogrammi al fine di rendere più precisa, confortevole e versatile l’operazione di codifica.

Ogni record archiviato nel database è descritto dai seguenti attributi:

- “ID”, ovvero il numero progressivo del record;
- “classe veicolo”, cioè la classe veicolare del veicolo, identificata da un numero da 1 a 6 (1 = moto, 2 = auto, 3 = commerciale leggero, 4 = commerciale medio, 5 = commerciale pesante, 6 = bus);
- “frame”, l’istante in cui viene registrato il passaggio del veicolo, espresso in millisecondi trascorsi dall’inizio del filmato;
- “corsia”, indica la corsia. In questo lavoro di codifica tale parametro è sempre uguale a 1 in quanto le strade sono tutte a singola corsia per senso di marcia;
- “direzione”, indica la direzione di marcia analizzata, distinta nei valori 2 e 3;
- “idRilievo”, identifica il file video da cui è stato codificato un record;
- “strImg” riporta il percorso nel quale è stato salvato lo screenshot relativo al record stesso.

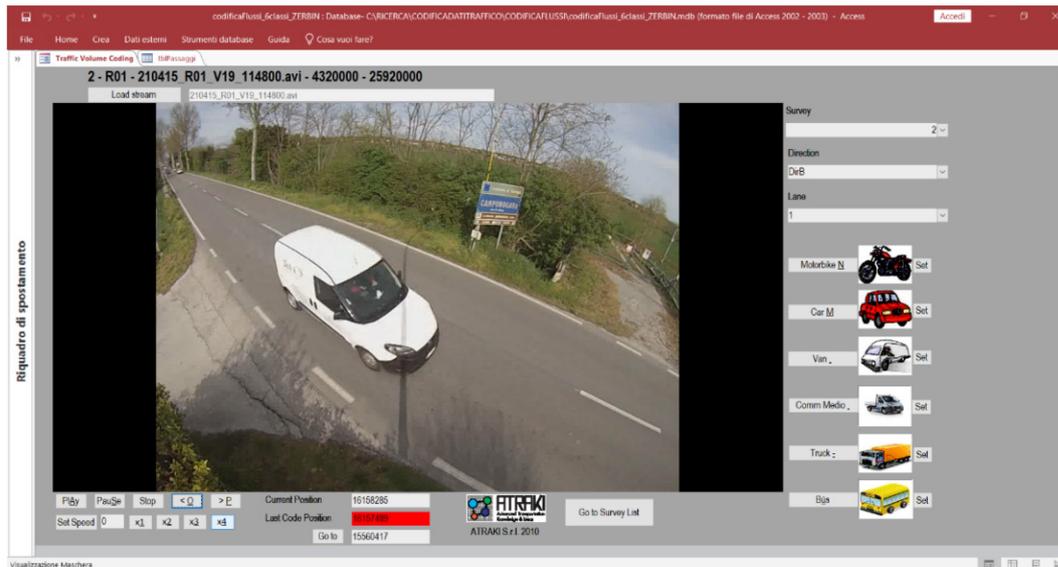


Figura 2-9: Maschera di codifica. Schermata di esempio.

2.2.1 PREPARAZIONE DELLA CODIFICA VIDEO

I video raccolti sul campo sono stati uniti e convertiti in formato MP4 con maggiore compressione in modo da poter essere più agevolmente gestiti nel database di Microsoft Access.

Le informazioni utili all'impostazione della codifica video, quali il giorno e l'ora d'inizio rilievo, il comune e il codice della sezione sono state raccolte e importate in una specifica tabella (*Figura 2-10*) del database. In particolare, per ogni video sono stati determinati gli istanti di inizio codifica e di fine codifica, in modo da garantire 12 ore di codifica per sezione.

A tal proposito, si evidenzia che nelle sezioni R02, R06 ed R08 l'avvio delle videocamere è stato posticipato, come osservabile dalla *Tabella 2-1*, a seguito di difficoltà riscontrate in fase di installazione. Solo per le sezioni R02 e R08 tale condizione ha portato ad alcune lacune nei video (pari a circa 20 secondi e a 10 minuti, rispettivamente).

ID RILIEVO	GIORNO RILIEVO	ORA INIZIO	INIZIO CODIFICA	FINE CODIFICA	COMUNE	SEZIONE
1	15/04/2021	06:45:00	07:00:00	12:59:59	Camponogara	R01
2	15/04/2021	11:48:00	13:00:00	19:00:00	Camponogara	R01
3	15/04/2021	07:25:00	07:30:00	12:59:59	Camponogara	R02
4	15/04/2021	12:32:00	13:00:00	19:29:40	Camponogara	R02
5	20/04/2021	06:50:00	07:00:00	12:59:59	Fiesso d'Artico	R03
6	20/04/2021	12:56:00	13:00:00	19:00:00	Fiesso d'Artico	R03
7	20/04/2021	06:29:00	07:00:00	12:59:59	Fossò	R04
8	20/04/2021	12:31:00	13:00:00	19:00:00	Fossò	R04
9	22/04/2021	06:50:00	07:00:00	12:59:59	Mira	R05
10	22/04/2021	12:18:00	13:00:00	19:00:00	Mira	R05
11	22/04/2021	07:15:00	07:15:00	12:59:59	Mira	R06
12	22/04/2021	12:51:00	13:00:00	19:15:00	Mira	R06
13	28/04/2021	06:50:00	07:00:00	12:59:59	Martellago	R07
14	28/04/2021	12:29:00	13:00:00	19:00:00	Martellago	R07
15	28/04/2021	07:10:00	07:10:00	12:59:59	Martellago	R08
16	28/04/2021	12:50:00	13:00:00	19:00:00	Martellago	R08
17	20/05/2021	06:14:58	07:00:00	19:00:00	Padova	R09_A
18	20/05/2021	06:20:59	07:00:00	19:00:00	Padova	R09_B

Tabella 2-1: Video utilizzati per la codifica. Descrizione sintetica.

2.2.2 CODIFICA VIDEO

La codifica dei video è stata svolta dal laureando analizzando progressivamente le sezioni disponibili, una direzione per volta, per un totale di 216 ore di video.

2.2.2.1 Classificazione veicolare nella fase di codifica video

Per la codifica video si è scelto di utilizzare una classificazione a 6 classi, definite sulla base della lunghezza del veicolo, uno degli aspetti più rilevanti nel determinare il suo impatto funzionale nel traffico stradale.

La suddivisione in classi veicolari per la codifica video è la seguente:

- **M = MOTOCICLI:** tutti i veicoli a motore aventi 2 o 3 ruote (lunghezze di massima da 1,5 a 2,2 m);
- **A = AUTOMOBILI:** autovetture quali microcar, utilitarie, compatte, sedan, cabriolet, station wagon, SUV, monovolumi, minivan, piccoli furgoncini ecc. (lunghezze di massima da 1,8 a 6 m);
- **CL = COMMERCIALI LEGGERI:** automobili con carrello appendice, furgoni, furgoni trasporto passeggeri, minibus con massimo 9 posti, pick-up (lunghezze di massima da 5, a 7 m);
- **CM = COMMERCIALI MEDI:** camper, furgoni, autocarri centinati, autocarro con cassone (anche ribaltabile) ecc. (lunghezze di massima da 6, a 8 m);
- **CP = COMMERCIALI PESANTI:** motrici, camion rimorchio, grossi autocarri con cassone ribaltabile (e gru), bisarche, bilici, autotreni, macchine agricole ecc. (lunghezza di massima maggiore di 8 m);
- **B = BUS:** minibus con più di 9 posti, scuolabus, autobus, autosnodati (lunghezza di massima maggiore di 8 m).

2.2.3 RISULTATI DELLA CODIFICA VIDEO

Tramite il richiamo di apposite *query* nel database di Access è stato possibile esportare i risultati della codifica organizzati in un file Excel.

I dati sono stati aggregati per classe veicolare, sezione di conteggio e direzione in intervalli di 15 minuti, coprendo le 12 ore considerate per il rilievo.

Il dataset così ottenuto è stato assunto come rappresentazione di riferimento dei fenomeni circolatori nelle nove sezioni di rilievo (a meno di errori umani nella codifica), ed utilizzato sia come punto di partenza per la taratura ex-post dei dispositivi radar, sia come benchmark di confronto per la valutazione delle prestazioni dei dispositivi di rilievo radar.

Di seguito, in *Tabella 2-2* un estratto esempio del dataset che raccoglie i risultati della codifica. Le colonne riportanti i numeri da 1 a 6 indicano le 6 classi veicolari usate per la codifica nell'ordine in cui sono state presentate sopra.

Il database "Dati_Tesi.accdb" contiene i risultati della codifica per esteso.

SEZ	Dir	LANE	ID_15min	INTERVALLO	1	2	3	4	5	6
R01	2	1	29	07:00-07:15	0	100	11	5	0	1
R01	2	1	30	07:15-07:30	0	95	8	12	2	3
R01	2	1	31	07:30-07:45	1	113	9	5	2	2
R01	2	1	32	07:45-08:00	0	93	7	3	2	0
R01	2	1	33	08:00-08:15	0	101	6	3	2	1
R01	2	1	34	08:15-08:30	0	98	10	2	1	0
R01	2	1	35	08:30-08:45	2	84	4	4	0	1
R01	2	1	36	08:45-09:00	1	76	6	7	1	4
R01	2	1	37	09:00-09:15	0	63	6	2	0	1
R01	2	1	38	09:15-09:30	0	57	4	4	3	0
R01	2	1	39	09:30-09:45	0	55	4	3	1	0
R01	2	1	40	09:45-10:00	0	66	2	4	1	0
R01	2	1	41	10:00-10:15	1	48	5	3	1	1
R01	2	1	42	10:15-10:30	0	64	2	3	2	0
R01	2	1	43	10:30-10:45	0	51	4	7	0	0
R01	2	1	44	10:45-11:00	1	67	5	3	0	1
R01	2	1	45	11:00-11:15	1	68	6	2	0	1
R01	2	1	46	11:15-11:30	0	63	5	0	2	0
R01	2	1	47	11:30-11:45	0	62	15	0	1	0
R01	2	1	48	11:45-12:00	1	64	5	2	1	1
R01	2	1	49	12:00-12:15	0	72	7	2	1	2
R01	2	1	50	12:15-12:30	1	57	8	0	1	2
R01	2	1	51	12:30-12:45	0	49	8	1	0	4
R01	2	1	52	12:45-13:00	0	53	7	1	2	1
R01	2	1	53	13:00-13:15	1	56	4	7	0	1
R01	2	1	54	13:15-13:30	1	61	4	4	2	0
R01	2	1	55	13:30-13:45	0	41	8	3	4	2
R01	2	1	56	13:45-14:00	2	50	6	1	1	1
R01	2	1	57	14:00-14:15	0	50	6	0	5	4
R01	2	1	58	14:15-14:30	1	46	2	4	2	1
R01	2	1	59	14:30-14:45	0	55	3	3	2	1
R01	2	1	60	14:45-15:00	1	45	3	0	1	0
R01	2	1	61	15:00-15:15	1	48	5	3	0	2
R01	2	1	62	15:15-15:30	0	56	6	1	2	1
R01	2	1	63	15:30-15:45	2	69	6	1	3	1
R01	2	1	64	15:45-16:00	3	64	5	1	0	1
R01	2	1	65	16:00-16:15	1	65	5	1	1	1
R01	2	1	66	16:15-16:30	1	60	3	4	4	0
R01	2	1	67	16:30-16:45	1	70	9	4	0	1
R01	2	1	68	16:45-17:00	0	76	5	3	2	1
R01	2	1	69	17:00-17:15	1	54	7	1	4	1
R01	2	1	70	17:15-17:30	0	68	5	1	0	1
R01	2	1	71	17:30-17:45	1	75	7	2	0	0
R01	2	1	72	17:45-18:00	1	83	11	1	1	0
R01	2	1	73	18:00-18:15	0	71	5	1	1	1
R01	2	1	74	18:15-18:30	0	97	9	1	3	1
R01	2	1	75	18:30-18:45	2	80	9	0	2	0
R01	2	1	76	18:45-19:00	2	75	4	3	1	0

Tabella 2-2: Estratto del risultato della codifica video per la Sezione R01, direzione A.

2.3 TARATURA EX-POST DEI DISPOSITIVI RADAR

Prima di valutare l'accuratezza dei dispositivi radar si è scelto di effettuare una calibrazione degli stessi ex-post. Questo significa che dopo la taratura effettuata sul campo (descritta nel *Par. 2.1.1*) si è voluto affinare la precisione dello strumento, lavorando sui dati radar e una parte dei dati video raccolti durante il rilievo.

Questo paragrafo descrive le operazioni che nel diagramma a blocchi di *Figura 2-1* viene riassunto nel blocco "CALIBRAZIONE RADAR". I dati di output di questa procedura sono identificati nel blocco "OUTPUT: DATI RADAR".

2.3.1 PREPARAZIONE ALLA TARATURA

L'operazione di calibrazione ex-post è stata effettuata, per ciascuna sezione, sui dati di traffico ricavati dalla codifica video riferiti alla fascia oraria 09:00 - 11:00.

Si è scelto di considerare questa fascia oraria in quanto disponibile per tutte le sezioni e perché generalmente caratterizzata da flussi non troppo consistenti e da minori rischi di congestione, e quindi minore probabilità che il radar abbia operato con scarsa accuratezza.

Rispetto alla classificazione usata nella codifica video, alcune classi veicolari sono state aggregate, riducendo a 4 il numero complessivo:

- **MOTO**
- **AUTO**
- **COMMERCIALI LEGGERI** (commerciali leggeri + commerciali medi)
- **COMMERCIALI PESANTI** (commerciali pesanti + bus)

Viene inoltre considerato il **TOTALE** dei veicoli transitati nel quarto d'ora (somma dei veicoli di ciascuna classe).

Di seguito in *Tabella 2-3* un estratto relativo alla sezione R01 del dataset excel che raccoglie i conteggi per le fasce 09:00 – 11:00, dove è possibile osservare a sinistra il risultato della codifica video (6 classi) e a destra il raggruppamento in 4 classi e il tasso di flusso orario per ciascun intervallo.

SEZ	Dir	LANE	ID	15min	INTERVALLO	1	2	3	4	5	6	INTERVALLO	M	A	CL	CP	TOT	M_TF	A_TF	CL_TF	CP_TF	TOT_TF
R01	2	1	37	09:00-09:15	0	63	6	2	0	1	09:00-09:15	0	63	8	1	72	0	252	32	4	288	
R01	2	1	38	09:15-09:30	0	57	4	4	3	0	09:15-09:30	0	57	8	3	68	0	228	32	12	272	
R01	2	1	39	09:30-09:45	0	55	4	3	1	0	09:30-09:45	0	55	7	1	63	0	220	28	4	252	
R01	2	1	40	09:45-10:00	0	66	2	4	1	0	09:45-10:00	0	66	6	1	73	0	264	24	4	292	
R01	2	1	41	10:00-10:15	1	48	5	3	1	1	10:00-10:15	1	48	8	2	59	4	192	32	8	236	
R01	2	1	42	10:15-10:30	0	64	2	3	2	0	10:15-10:30	0	64	5	2	71	0	256	20	8	284	
R01	2	1	43	10:30-10:45	0	51	4	7	0	0	10:30-10:45	0	51	11	0	62	0	204	44	0	248	
R01	2	1	44	10:45-11:00	1	67	5	3	0	1	10:45-11:00	1	67	8	1	77	4	268	32	4	308	
R01	3	1	37	09:00-09:15	0	56	9	1	1	5	09:00-09:15	0	56	10	6	72	0	224	40	24	288	
R01	3	1	38	09:15-09:30	0	51	6	3	5	1	09:15-09:30	0	51	9	6	66	0	204	36	24	264	
R01	3	1	39	09:30-09:45	1	46	6	4	2	1	09:30-09:45	1	46	10	3	60	4	184	40	12	240	
R01	3	1	40	09:45-10:00	0	56	1	2	4	2	09:45-10:00	0	56	3	6	65	0	224	12	24	260	
R01	3	1	41	10:00-10:15	0	51	3	1	0	0	10:00-10:15	0	51	4	0	55	0	204	16	0	220	
R01	3	1	42	10:15-10:30	0	65	6	1	3	0	10:15-10:30	0	65	7	3	75	0	260	28	12	300	
R01	3	1	43	10:30-10:45	1	55	1	0	2	1	10:30-10:45	1	55	1	3	60	4	220	4	12	240	
R01	3	1	44	10:45-11:00	1	45	7	5	5	1	10:45-11:00	1	45	12	6	64	4	180	48	24	256	

Tabella 2-3: Estratto del dataset usato per la taratura dei radar, sezione R01.

2.3.2. PROCEDIMENTO DI CALIBRAZIONE

Per la calibrazione ex-post dei dispositivi radar è stato usato uno script in linguaggio Java messo gentilmente a disposizione dallo studio ATraKI S.r.l.

Lo script in questione implementa un procedimento iterativo, il quale partendo da una suddivisione di primo tentativo delle soglie che determinano l'ampiezza delle classi veicolari, affina di volta in volta tali soglie fino a raggiungere la maggior precisione possibile della suddivisione in classi confrontata con il campione (conteggio video).

In particolare, il procedimento di calibrazione ex-post può essere riassunto nei punti seguenti:

1. Viene importato il file con i dati grezzi di ciascun radar, contenente per ogni veicolo registrato l'istante di passaggio, la direzione e la sua lunghezza rilevata dal radar;
2. Viene redatto un file di primo tentativo che stabilisce le soglie delle lunghezze di ciascuna classe veicolare, ovvero gli intervalli di lunghezza entro la quale i veicoli vengono assegnati ad una determinata classe. Il file di primo tentativo è compilato prendendo come riferimento approssimativo le misure massime e minime di ciascuna classe ricavate dalle schede di calibrazione cartacee compilate sul campo, per ciascun radar di ogni sezione;
4. I dati di output dei radar, elaborati come sopra descritto, vengono quindi confrontati con i corrispondenti conteggi condotti con i filmati video;

5. Sulla base dell'errore tra conteggio radar e conteggio video, vengono modificate le soglie delle classi veicolari come descritto nel punto 2. Il processo continua ripercorrendo i punti precedenti in modo iterativo, fino al raggiungimento di un errore tra i due conteggi che sia ritenuto accettabile.

Di seguito alcune osservazioni sui criteri adottati durante la procedura:

- Per la scelta delle soglie durante ogni iterazione successiva alla prima, si è cercato di ottenere una taratura più fedele possibile al campione della codifica video, mettendo in secondo piano le soglie rilevate dall'osservazione delle schede di calibrazione, usate inizialmente come soglie di primo tentativo;
- Si è cercato di minimizzare l'errore percentuale della categoria "AUTO". Questo poiché essa è sempre la categoria predominante in termini di flusso.
- Si è cercato di tenere il più basso possibile l'errore della categoria "COMMERCIALI PESANTI" osservandone però la differenza intera tra i due dataset e non quella percentuale (essi sono in numero minore rispetto le auto). Questo accorgimento è stato adottato in quanto il traffico pesante incide molto nell'eventuale dimensionamento di un'infrastruttura stradale.

Il procedimento di modifica delle soglie, rilancio dello script e verifica della taratura è stato eseguito sotto la supervisione dell'Ing. Gecchele, e reiterato fino al raggiungimento di una accuratezza considerata ottimale per la tipologia di dispositivo (ViaCount II) e per la sua installazione (monodirezionale o bidirezionale).

Capitolo 3

CASO DI STUDIO

L'attività di raccolta dati è stata pianificata e concordata assieme ai collaboratori del Prof. Rossi, ovvero l'Ing. Gregorio Gecchele e l'Ing. Alberto Sarto, definendo tempi, risorse e persone coinvolte, sulla base degli obiettivi prefissati. Per ogni sezione di rilievo è stato seguito un protocollo ben definito, che ha garantito la raccolta dati in modo sistematico e omogeneo (cfr. Capitolo 2).

La strumentazione impiegata per il rilievo comprendeva:

- 8 dispositivi radar modello ViaCount, impiegando sempre gli stessi dispositivi per l'installazione monodirezionale (VC0063, VC0051, VC0033, VC0163UNIPD) e sempre gli stessi dispositivi per l'installazione bidirezionale (VC0148, VC0149, VC0194, VC0195). Si è cercato inoltre di utilizzare i dispositivi mantenendo quasi sempre gli stessi quartetti di radar per una determinata sezione;
- Sistemi di fissaggio per i radar quali fascette metalliche, pali di prolunga, catene antifurto, lucchetti per le catene;
- 5 videocamere GoPro Hero3 fornite di relative batterie e schede di memoria. V17, V19, V21, V22 erano le videocamere in uso, una era tenuta come riserva per le emergenze;
- 2 videocamere Panasonic (utilizzate nella sola sezione R09);
- 2 pali telescopici per il montaggio delle videocamere ad un'altezza utile ad assicurare una ripresa ottimale;
- Vari avvisi di segnalazione e relative fascette di plastica per fissarli;
- Schede di calibrazione;
- 2 PC laptop per la calibrazione in situ dei dispositivi radar e lo scarico dati;
- Cordella metrica per rilevare altezze di installazione dei radar e distanze dalla carreggiata;
- Dispositivi di protezione individuale, coerentemente con quanto prescritto dal D.Lgs. n. 81 del 2008;

- Copia cartacea delle comunicazioni inviate agli Enti proprietari/gestori della rete viaria interessata dai rilievi.

3.1 Il dispositivo utilizzato: ViaCount II

Nell'ambito di questo lavoro di tesi sono stati utilizzati 8 dispositivi radar ViaCount II, prodotti dall'azienda tedesca Via Traffic Controlling GmbH con sede a Leverkusen.

Di seguito una descrizione del prodotto riportata dal sito di un venditore: "Si tratta di un radar di tipologia a microonde Doppler che consente il rilevamento dei singoli veicoli in una o entrambe le direzioni di marcia. L'installazione avviene a lato strada su pali esistenti; l'apparecchio è in grado di funzionare anche durante il periodo invernale.

L'apparecchio emette un campo di onde radar, ed ogni movimento all'interno del campo radar emesso provoca una modifica della frequenza del segnale riflesso.

Il risultato dell'analisi combinata dei segnali emessi e riflessi è un segnale a bassa frequenza proporzionale alla velocità degli oggetti in movimento. Il rilevatore di traffico radar è quindi a tutti gli effetti un rilevatore di movimento.

I movimenti radiali, ovvero ortogonali ai vettori del campo di onde radar che non causano una variazione della distanza dai sensori, non provocano modifiche di frequenza del segnale riflesso e pertanto non forniscono un segnale a bassa frequenza di tipo Doppler.

Il transceiver del rilevatore di traffico (trasmettitore e ricevitore ad alta frequenza) è composto da due ricevitori, la cui posizione è sfasata di 1/4 di lunghezza d'onda. Attraverso il cambio di fase dei segnali dei due ricevitori viene ottenuta la direzione dell'oggetto all'interno del campo radar. Un segnale privo di cambio di fase viene identificato come disturbo e non classificato.

Il rilevatore effettua il controllo sul campo radar costantemente. Qualsiasi oggetto che penetri il campo con un movimento superiore ai 20 cm viene elaborato, e ne viene calcolata la direzione e velocità. Il tempo impiegato dall'operazione di elaborazione varia a seconda della velocità dell'oggetto; le velocità rilevabili vanno da 0,7 km/h a 255 km/h, con tempi di elaborazione per oggetto variabili tra 1 s e 5 ms." (TT Tech Traffic Solution).

Ecco quindi riportate alcune specifiche tecniche del prodotto:

- Rilevamento monodirezionale o bidirezionale;
- Possibilità di distinzione passaggi in 10 classi di velocità e 6 classi veicolari;
- Errori di misurazione stimati dichiarati: Velocità $\Delta V \pm 3\%$, Conteggio $\Delta n \pm 1\%$, Classificazione $\Delta c \pm 5\%$
- Autonomia di circa 14 giorni con singola batteria da 12 V;
- Dimensioni 260 x 372 x 234 (A x L x P), peso 3,2 Kg (senza batteria), trasportabile con maniglia;
- trasferimento dati su pc tramite porta seriale;
- memorizzabili 360000 veicoli (4MB) estendibile a 720000;
- velocità rilevate: 0,7 – 255 km/h
- Tipologia Radiotrasmittitore Classe 1 CE 0682;
- Larghezza raggio radar (-3dB) $12^\circ \times 17^\circ$;
- Tipologia radar: Doppler 24.165 GHz, K-Band < 5mW 20dBm, 100mW EIRP;
- Raggio di rilevamento fino a 250 m in condizioni ottimali;
- Temperatura di esercizio: tra -40°C e $+70^\circ \text{C}$;
- Altezza di installazione possibile: tra 0,5 e 3.2 m;
- Bluetooth e GPS opzionali.

In *Figura 3-1* viene riportata un'illustrazione del radar ViaCount II.



Figura 3-1: Radar ViaCount II

3.2 SEZIONI DI RILIEVO

Vengono di seguito presentate le nove sezioni oggetto di rilievo per la raccolta dati, situate nella provincia di Venezia, ad eccezione della sezione n° 9, situata in provincia di Padova.

I rilievi sono stati effettuati nel periodo che va dal 15/04/21 al 20/05/21. Essi vengono riportati in *Tabella 3-1*.

DATA RILIEVO	COMUNE	N° SEZIONE
15/04/21	Camponogara (VE)	R01
15/04/21	Camponogara (VE)	R02
20/04/21	Fiesso d'Artico (VE)	R03
20/04/21	Fossò (VE)	R04
22/04/21	Mira (VE)	R05
22/04/21	Mira (VE)	R06
28/04/21	Martellago (VE)	R07
28/04/21	Martellago (VE)	R08
20/05/21	Padova (PD)	R09

Tabella 3-1: Sezioni di rilievo con relativa ubicazione e data del rilievo.

Vengono di seguito presentate le sezioni, descrivendone l'ubicazione, la strumentazione installata, lo svolgersi delle attività. Per ogni sezione è stato prodotto un report contenente i grafici relativi ai dati di traffico orari raccolti (ALLEGATO 1).

In Fig. 3-2 viene mostrata una visione d'insieme della zona di ubicazione delle 9 sezioni stradali analizzate.

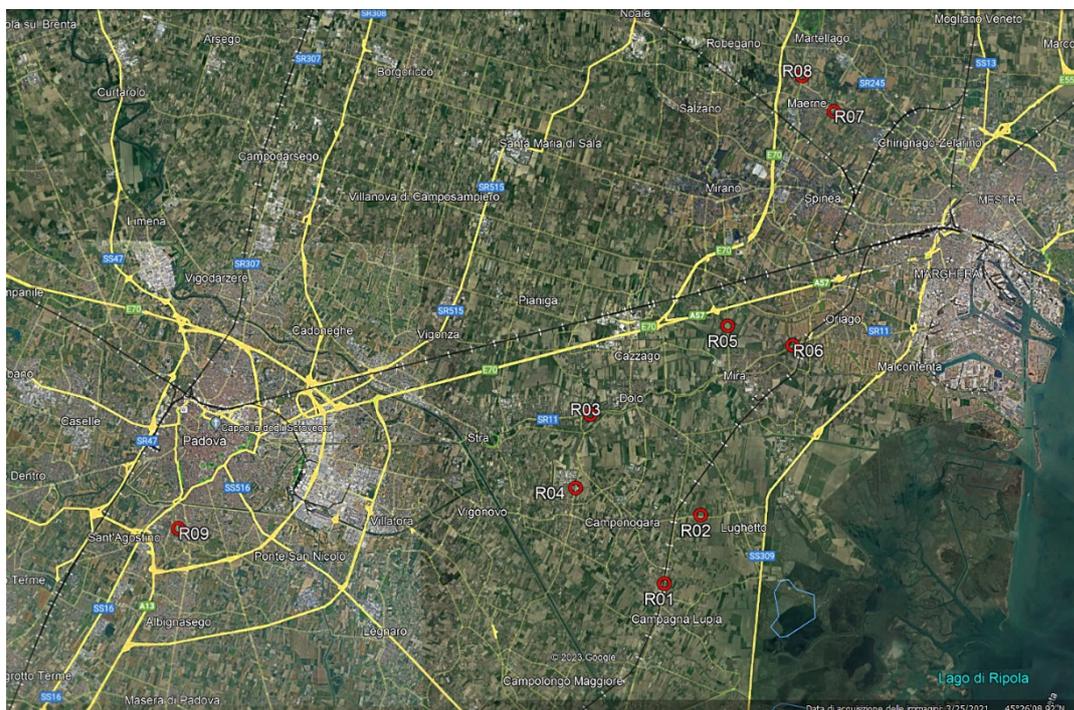


Figura 3-2: Visione d'insieme della mappa delle sezioni, fonte Google Earth.

3.2.1 R01 – COMUNE DI CAMPONOGARA

La sezione R01 è sita nel Comune di Camponogara (VE) – via Cesare Battisti, nella frazione di Prozzolo – al confine con il Comune di Campagna Lupia (VE).

La direzione A corrisponde con il Nord, in direzione Prozzolo; la direzione B corrisponde con il Sud, in direzione Piove di Sacco (PD).

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.



Figura 3-3: Vista planimetrica R01, fonte Google Earth.

3.2.1.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0063, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord;
- ViaCount 0163UNIPD, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0194, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord e USCENTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0195, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud ed USCENTE rispetto la direzione Nord.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 14/05/21, e disinstallati il giorno 16/05/2021, in modo da garantire il funzionamento per l'intero giorno di interesse (15/05/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0063



Postazione radar VC0163UNIPD



Postazione radar VC0194



Postazione radar VC0195

Figura 3-4: Postazioni radar R01.

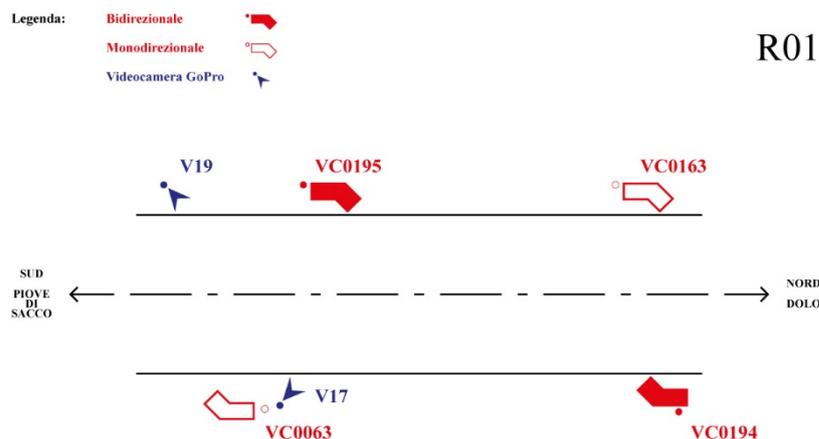


Figura 3-5: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo

3.2.1.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera GoPro V17, in prossimità del radar VC0063, con inquadratura verso Nord;
- Videocamera GoPro V19, dallo stesso lato del radar VC0195, leggermente spostata. Inquadratura verso Nord.

La registrazione video è cominciata alle ore 06:45 per la videocamera V17 e alle ore 11:48 per la videocamera V19.

Le due videocamere e relativi pali telescopici di supporto sono stati disinstallati dopo le ore 19:00, in modo da garantire 12 ore di rilievo video in continuo.

In *Figura 3-5* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-6: Inquadratura videocamera V17, R01.



Figura 3-7: Inquadratura videocamera V19, R01.

3.2.2 R02 – COMUNE DI CAMPONOGARA

La sezione R02 è sita nel Comune di Camponogara (VE) in via A. Volta, nella frazione di Calcroci.

La direzione A corrisponde con l'Est, in direzione Romea; la direzione B corrisponde con l'Ovest, in direzione Calcroci.

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.



Figura 3-8: Vista planimetrica R02, fonte Google Earth.

3.2.2.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0033, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Est;
- ViaCount 0051, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Ovest;
- ViaCount 0149, installato bidirezionale ENTRANTE rispetto la direzione Est ed USCENTE rispetto la direzione Ovest;
- ViaCount 0148, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Ovest ed USCENTE rispetto la direzione Est.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 14/04/21, e disinstallati il giorno 16/04/2021, in modo da garantire il funzionamento nel giorno di interesse (15/04/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0033



Postazione radar VC0051



Postazione radar VC0149



Postazione radar VC0148

Figura 3-9: Postazioni radar R02.

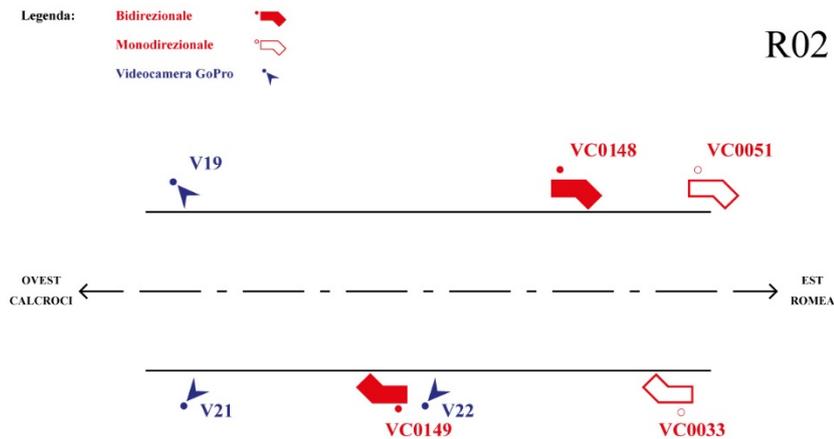


Figura 3-10: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo

3.2.2.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera GoPro V21, lato radar VC0149, leggermente distanziata rispetto a quest'ultimo. Inquadratura verso Est;
- Videocamera GoPro V22, in prossimità del radar VC0149. Inquadratura verso Est.

La registrazione video è cominciata alle ore 07:25 per la videocamera V21 e alle ore 12:32 per la videocamera V22.

I due dispositivi e relativi pali telescopici nel quale erano montati sono stati disinstallati dopo le ore 19:25, in modo da garantire 12 ore consecutive di rilievo video. In *Figura 3-10* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-11: Inquadratura videocamera V21, R02.



Figura 3-12: Inquadratura videocamera V22, R02.

3.2.3 R03 – COMUNE DI FIESSO D'ARTICO

La sezione R03 è sita nel Comune di Fiesso d'Artico (VE) in via Riviera del Brenta, strada SR11.

La direzione A corrisponde con l'Est, in direzione Dolo (VE); la direzione B corrisponde con l'Ovest, in direzione Fiesso d'Artico.

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.

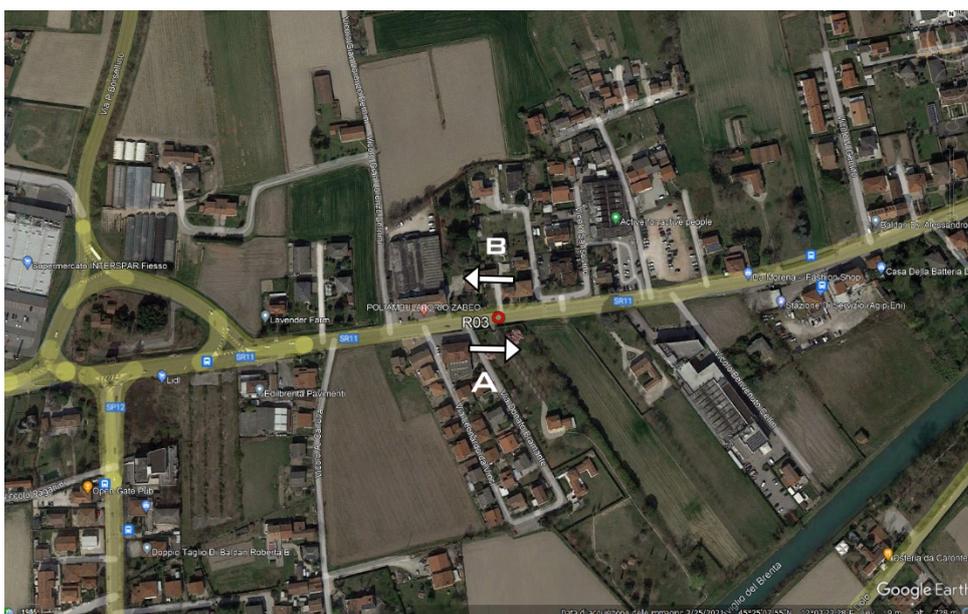


Figura 3-12: Vista planimetrica R03, fonte Google Earth.

3.2.3.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0063, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Est;
- ViaCount 0163UNIPD, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Ovest;
- ViaCount 0195, installato bidirezionale ENTRANTE rispetto la direzione Est ed USCENTE rispetto la direzione Ovest;
- ViaCount 0194, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Ovest ed USCENTE rispetto la direzione Est.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 19/04/21, e disinstallati il giorno 21/04/2021, in modo da garantire il funzionamento nel giorno di interesse (20/04/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0063



Postazione radar VC0163UNIPD



Postazione radar VC0195



Postazione radar VC0194

Figura 3-13: Postazioni radar R03.

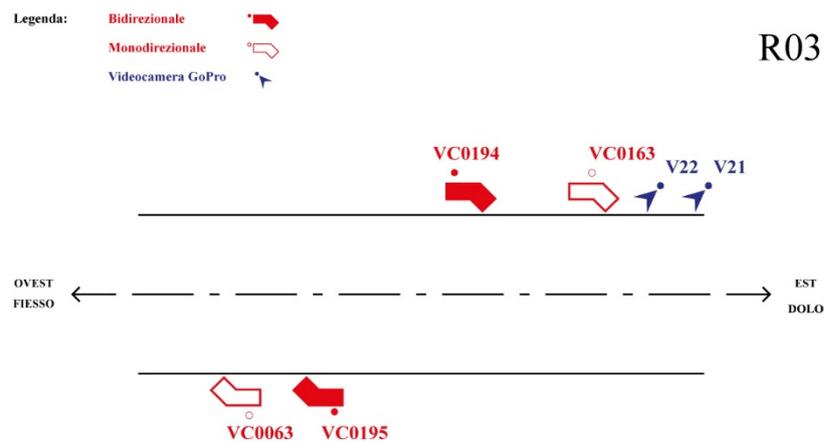


Figura 3-14: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo

3.2.3.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera GoPro V21, vicino al radar VC0163. Inquadratura verso Ovest;
- Videocamera GoPro V22, adiacente a V21. Inquadratura come V21, verso Ovest.

La registrazione video è cominciata alle ore 06:50 per la videocamera V21 e alle ore 12:56 per la videocamera V22.

I due dispositivi e relativi pali telescopici nel quale erano montati sono stati disinstallati dopo le ore 19:00, in modo da garantire 12 ore consecutive di rilievo video. In *Figura 3-14* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-15: Inquadratura videocamera V21, R03.



Figura 3-16: Inquadratura videocamera V22, R03.

3.2.4 R04 – COMUNE DI FOSSÒ

La sezione R04 è sita nel Comune di Fossò (VE) in via A. Volta, nella frazione di Calcroci.

La direzione A corrisponde con il Nord, in direzione Fiesso D'Artico; la direzione B corrisponde con il Sud, in direzione Fossò.

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.

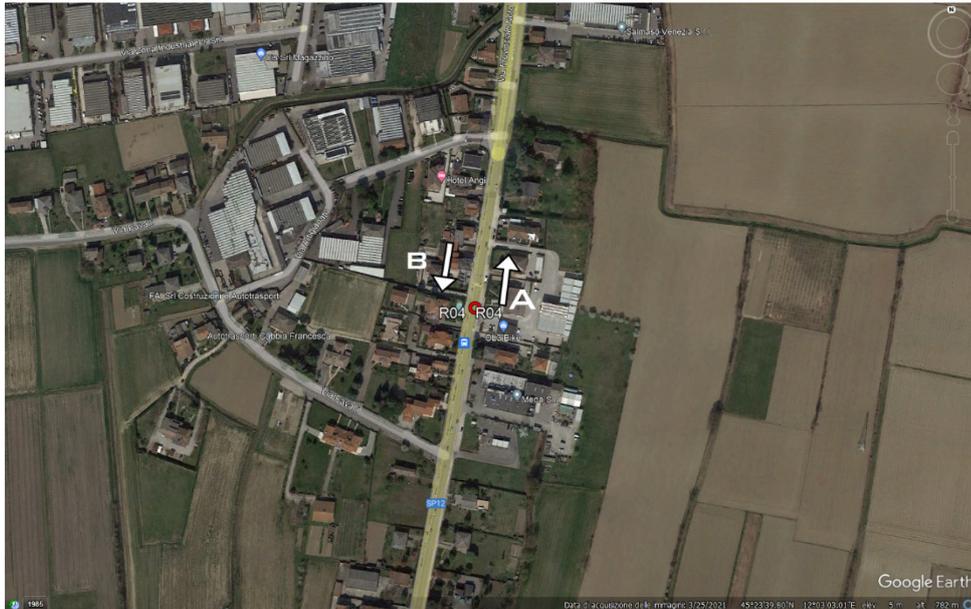


Figura 3-17: Vista planimetrica R04, fonte Google Earth.

3.2.4.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0033, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord;
- ViaCount 0051, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0149, installato bidirezionale ENTRANTE rispetto la direzione Nord ed USCENTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0148, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud ed USCENTE rispetto la direzione Nord.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 19/04/21, e disinstallati il giorno 21/04/2021, in modo da garantire il funzionamento nel giorno di interesse (20/04/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0033



Postazione radar VC051



Postazione radar VC0149



Postazione radar VC0148

Figura 3-18: Postazioni radar R04.

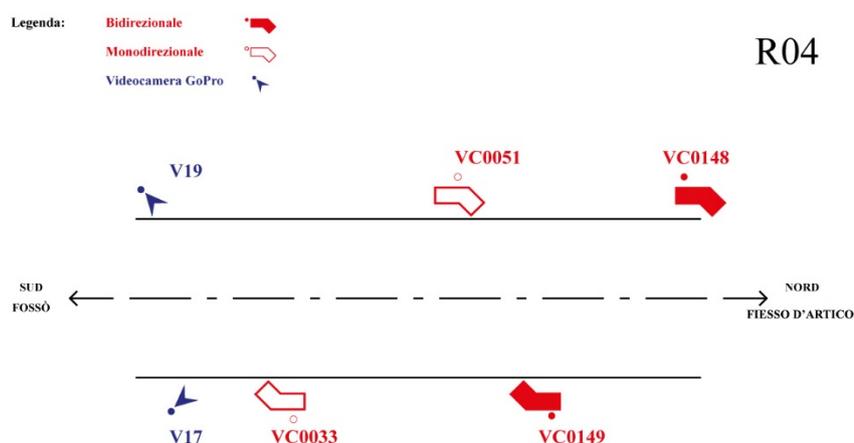


Figura 3-19: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo.

3.2.4.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera GoPro V17, lato radar VC0033, posizionata vicino a quest'ultimo. Inquadratura verso Nord;
- Videocamera GoPro V19, lato radar VC0051. Inquadratura verso Nord.

La registrazione video è cominciata alle ore 06:29 per la videocamera V17 e alle ore 12:31 per la videocamera V19.

I due dispositivi e relativi pali telescopici nel quale erano montati sono stati disinstallati dopo le ore 19:00, in modo da garantire 12 ore consecutive di rilievo video. In *Figura 3-19* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-20: Inquadratura videocamera V17, R04.



Figura 3-21: Inquadratura videocamera V19, R04.

3.2.5 R05 – COMUNE DI MIRA

La sezione R05 è sita nel Comune di Mira (VE) in via Miranese.

La direzione A corrisponde con il Nord, in direzione Mirano (VE); la direzione B corrisponde con il Sud, in direzione Mira.

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.



Figura 3-22: Vista planimetrica R05, fonte Google Earth.

3.2.5.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0063, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord;
- ViaCount 0163UNIPD, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0195, installato bidirezionale ENTRANTE rispetto la direzione Nord ed USCENTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0194, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord ed USCENTE rispetto la direzione Sud.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 21/04/21, e disinstallati il giorno 23/04/2021, in modo da garantire il funzionamento nel giorno di interesse (22/04/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0063



Postazione radar VC0163UNIPD



Postazione radar VC0195



Postazione radar VC0194

Figura 3-23: Postazioni radar R05.

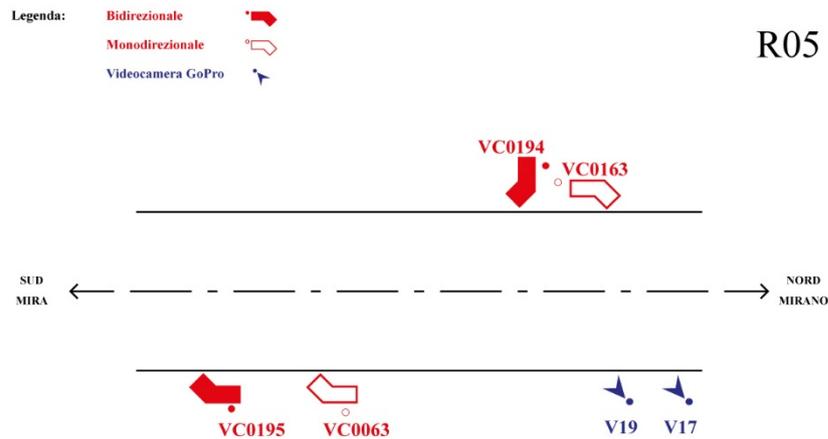


Figura 3-24: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo.

3.2.5.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera GoPro V17, lato radar VC0063. Inquadratura verso Sud;
- Videocamera GoPro V19, vicina a V17. Inquadratura come V17, verso Sud.

La registrazione video è cominciata alle ore 06:50 per la videocamera V17 e alle ore 12:18 per la videocamera V22.

I due dispositivi e relativi pali telescopici nel quale erano montati sono stati disinstallati dopo le ore 19:00, in modo da garantire 12 ore consecutive di rilievo video. In *Figura 3-24* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-25: Inquadratura videocamera V17, R05.



Figura 3-26: Inquadratura videocamera V19, R05.

3.2.6 R06 – COMUNE DI MIRA

La sezione R06 è sita nel Comune di Mira (VE) in via Nazionale.

La direzione A corrisponde con il Nord-Est, in direzione Venezia; la direzione B corrisponde con il Sud-Ovest, in direzione Mira.

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.



Figura 3-27: Vista planimetrica R06, fonte Google Earth

3.2.6.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0033, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord-Est;
- ViaCount 0051, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud-Ovest;
- ViaCount 0148, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud-Ovest ed USCENTE rispetto la direzione Nord-Est.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 21/04/21, e disinstallati il giorno 23/04/2021, in modo da garantire il funzionamento nel giorno di interesse (22/04/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0033



Postazione radar VC051



Postazione radar VC0148

Figura 3-28: Postazioni radar R06

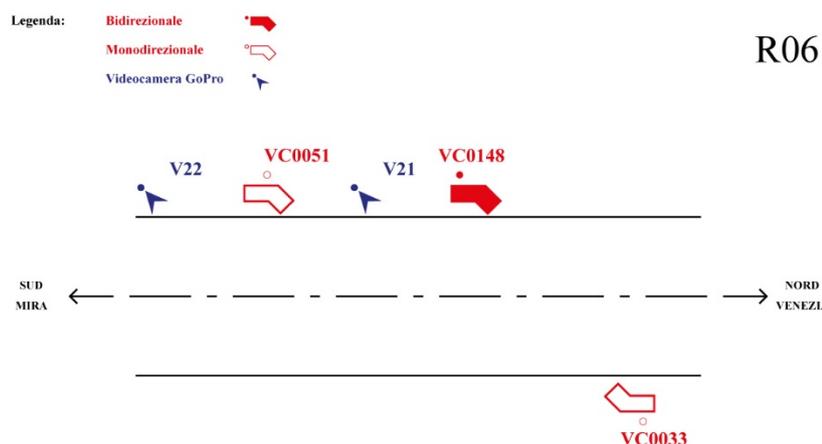


Figura 3-29: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo

3.2.6.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera GoPro V21, installata tra il radar VC0051 e il radar VC0148. Inquadratura verso Nord-Est;
- Videocamera GoPro V22, installata prima del radar VC0051. Inquadratura come V21, verso Nord-Est.

La registrazione video è cominciata alle ore 07:15 per la videocamera V21 e alle ore 12:51 per la videocamera V22.

I due dispositivi e relativi pali telescopici nel quale erano montati sono stati disinstallati dopo le ore 19:15, in modo da garantire 12 ore consecutive di rilievo video. In *Figura 3-29* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-30: Inquadratura videocamera V21, R06.



Figura 3-31: Inquadratura videocamera V22, R06.

3.2.7 R07 – COMUNE DI MARTELLAGO

La sezione R07 è sita nel Comune di Martellago (VE) in via Olmo, strada SP38, al confine tra le frazioni di Maerne e Olmo.

La direzione A corrisponde con l'Est, in direzione Olmo; la direzione B corrisponde con l'Ovest, in direzione Maerne.

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.

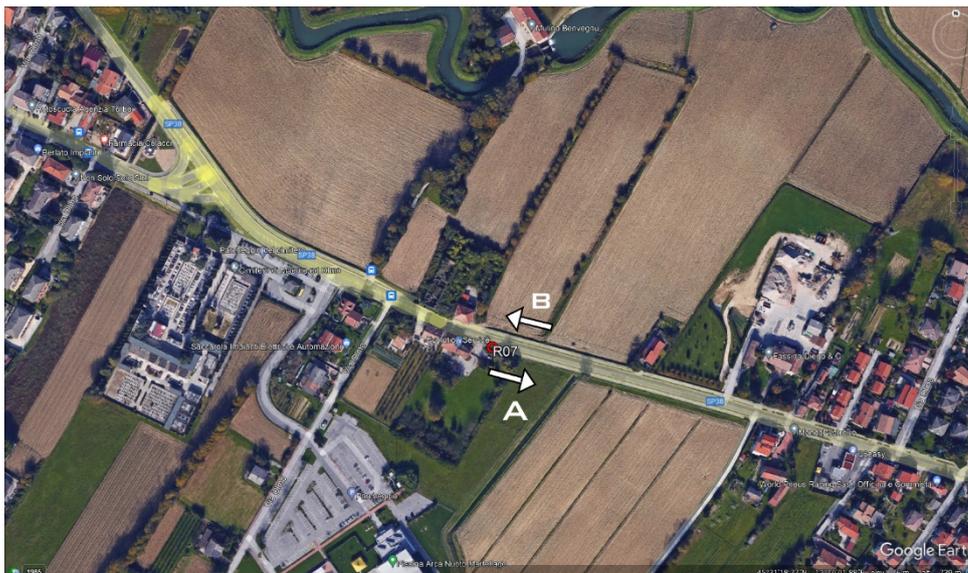


Figura 3-32: Vista planimetrica R07, fonte Google Earth

3.2.7.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0063, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Est;
- ViaCount 0051, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Ovest;
- ViaCount 0148, installato bidirezionale ENTRANTE rispetto la direzione Ovest ed USCENTE rispetto la direzione Est;
- ViaCount 0149, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Ovest ed USCENTE rispetto la direzione Est.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 27/04/21, e disinstallati il giorno 29/04/2021, in modo da garantire il funzionamento nel giorno di interesse (28/04/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0063



Postazione radar VC051



Postazione radar VC0148



Postazione radar VC0148

Figura 3-33: Postazioni radar R07.

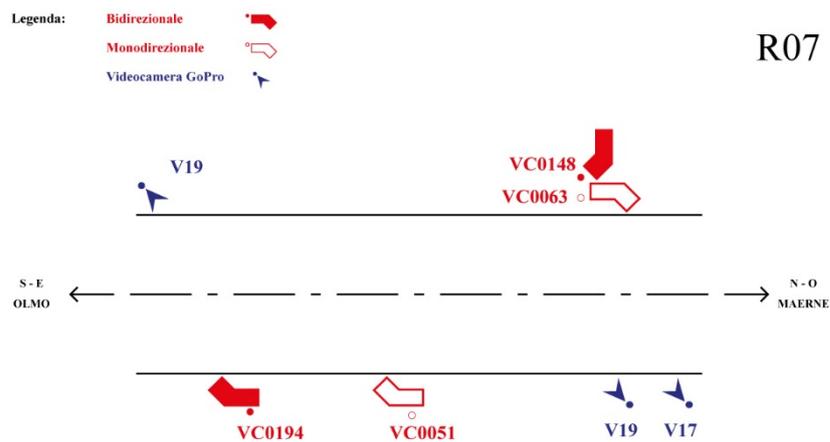


Figura 3-34: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo

3.2.7.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera GoPro V17, installata lato radar VC0051. Inquadratura verso Est;
- Videocamera GoPro V19, adiacente a V17. Inquadratura come V19, verso Est.

La registrazione video è cominciata alle ore 06:50 per la videocamera V17 e alle ore 12:29 per la videocamera V19.

I due dispositivi e relativi pali telescopici nel quale erano montati sono stati disinstallati dopo le ore 19:00, in modo da garantire 12 ore consecutive di rilievo video. In *Figura 3-34* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-35: Inquadratura videocamera V17, R07.



Figura 3-36: Inquadratura videocamera V19, R07.

3.2.8 R08 – COMUNE DI MARTELLAGO

La sezione R08 è sita nel Comune di Martellago (VE) in via Roma, strada SP36.

La direzione A corrisponde con il Nord, in direzione Martellago; la direzione B corrisponde con il Sud, in direzione Maerne.

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.



Figura 3-37: Vista planimetrica R08, fonte Google Earth.

2.2.8.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0033, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord;
- ViaCount 0163UNIPD, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0195, installato bidirezionale ENTRANTE rispetto la direzione Nord ed USCENTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0194, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord ed USCENTE rispetto la direzione Sud.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 27/04/21, e disinstallati il giorno 29/04/2021, in modo da garantire il funzionamento nel giorno di interesse (28/04/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0033



Postazione radar VC0163UNIPD



Postazione radar VC0195



Postazione radar VC0194

Figura 3-38: Postazioni radar R08.

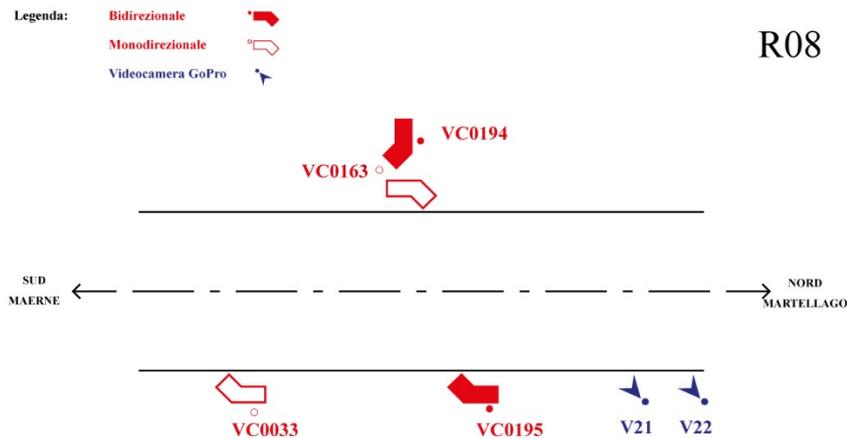


Figura 3-39: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo.

3.2.8.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera GoPro V21, lato radar VC0195. Inquadratura verso Sud;
- Videocamera GoPro V22, vicina a V21. Inquadratura come V21, verso Sud.

La registrazione video è cominciata alle ore 07:10 per la videocamera V21 e alle ore 12:29 per la videocamera V22.

I due dispositivi e relativi pali telescopici nel quale erano montati sono stati disinstallati dopo le ore 19:10, in modo da garantire 12 ore consecutive di rilievo video. In *Figura 3-39* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-39: Inquadratura videocamera V21, R08.



Figura 3-40: Inquadratura videocamera V22, R08.

3.2.9 R09 – COMUNE DI PADOVA

La sezione R09 è sita nel Comune di Padova in via Pietro Confortini, nel quartiere Guizza.

La direzione A corrisponde con il Nord, in direzione Padova centro; la direzione B corrisponde con il Sud, in direzione Guizza.

Nell'immagine che segue viene mostrata la planimetria della sezione.



Figura 3-41: Vista planimetrica R09, fonte Google Earth

2.2.9.1 Strumenti conteggio radar

I dispositivi radar installati in questa sezione sono:

- ViaCount 0051, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord;
- ViaCount 0063, installato in modalità monodirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Sud;
- ViaCount 0149, installato bidirezionale, ENTRANTE rispetto la direzione Nord ed USCENTE rispetto la direzione Sud.

I quattro strumenti sono stati installati il giorno 19/05/21, e disinstallati il giorno 21/05/2021, in modo da garantire il funzionamento nel giorno di interesse (20/05/21).

Di seguito vengono riportate le immagini delle postazioni di rilievo e uno schema esplicativo della disposizione dei radar e delle videocamere.



Postazione radar VC0051

Postazione radar VC0051, altra visuale.

Figura 3-42: Postazioni radar R09.

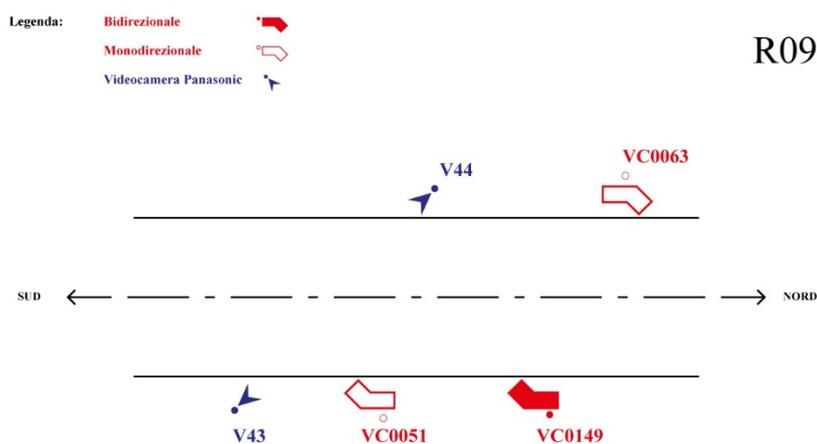


Figura 3-39: Schema illustrativo della disposizione degli strumenti di rilievo.

3.2.9.2 Strumenti rilievo video

I dispositivi di rilievo video installati in questa sezione sono:

- Videocamera Panasonic V43, installata dal lato del radar VC0051. Inquadratura verso Nord;
- Videocamera Panasonic V44, installata dal lato del radar VC0063. Inquadratura verso Sud.

La registrazione video è cominciata alle ore 06:14 per la videocamera V43 e alle ore 06:20 per la videocamera V44.

I due dispositivi e relativa staffatura con la quale erano montati sono stati disinstallati dopo le ore 19:00, in modo da garantire 12 ore consecutive di rilievo video da due diverse angolazioni. La durata della batteria di questo modello di videocamera ha permesso che ciascuna di esse coprisse l'intera giornata.

In *Figura 3-43* è riportata una rappresentazione della disposizione delle videocamere nella sezione.

Vengono di seguito riportate le inquadrature delle due videocamere.



Figura 3-43: Inquadratura videocamera V243, R09.



Figura 3-44: Inquadratura videocamera V44, R09.

Capitolo 4

ANALISI STATISTICA DEI DATI RACCOLTI

Il presente capitolo è dedicato all'analisi statistica dei dati raccolti durante i rilievi di campo. Al fine di valutare le prestazioni dei dispositivi radar nelle due differenti modalità di installazione si è sviluppata un'analisi di regressione, dopo aver impostato una prima analisi descrittiva dei dati raccolti.

L'analisi dei dati è stata condotta con il software R (R Core Team, 2023) utilizzando i seguenti pacchetti: *dplyr*, *MASS*, *car*, *ggplot2*, *pscl*, *trending*, *AER*.

4.1 ANALISI STATISTICA DESCRITTIVA

L'analisi descrittiva ha considerato il dataset contenente i conteggi veicolari aggregati in intervalli pari a 15 minuti, per un totale di 12 ore per ciascuna giornata di rilievo. Le variabili considerate sono state le seguenti:

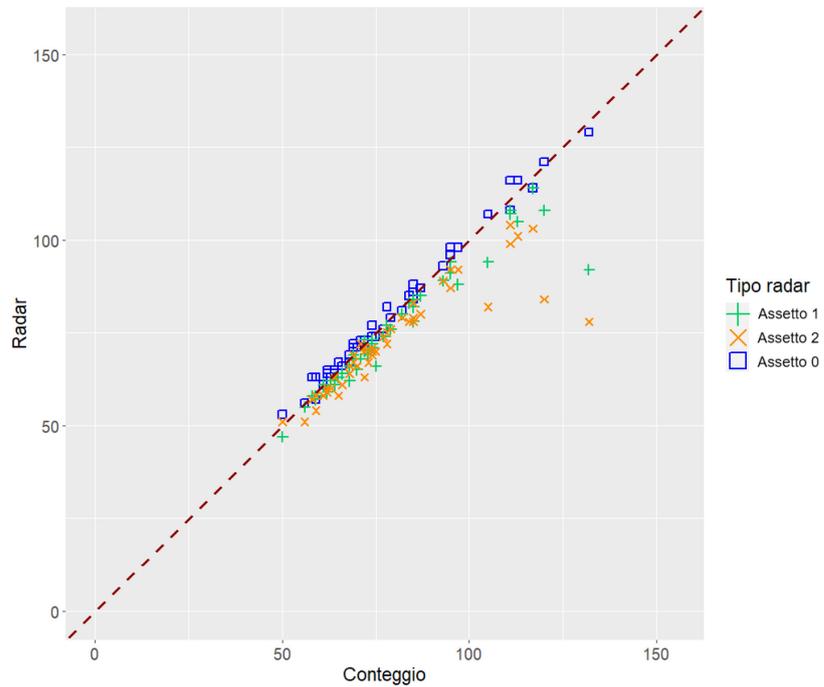
- CONTEGGIO = conteggio veicolare ricavato dall'analisi dei video
- RADAR = conteggio veicolare ottenuto dai radar
- ASSETTO = variabile dummy che definisce la modalità di rilievo del radar (pari a 0 se monodirezionale, 1 se bidirezionale che rileva la corsia più vicina, 2 se bidirezionale che rileva la corsia più lontana)
- SCARTO = differenza tra il valore del conteggio video e il valore rilevato dal radar per il dato intervallo
- SE = scarto quadratico ("SCARTO" elevato al quadrato)
- AE = errore assoluto quadratico (valore assoluto di "SCARTO").

Il conteggio veicolare è stato determinato in rapporto alle classi veicolari considerate nell'analisi (4 classi; motocicli, automobili, commerciali leggeri, commerciali pesanti e bus) e al volume totale (somma delle classi).

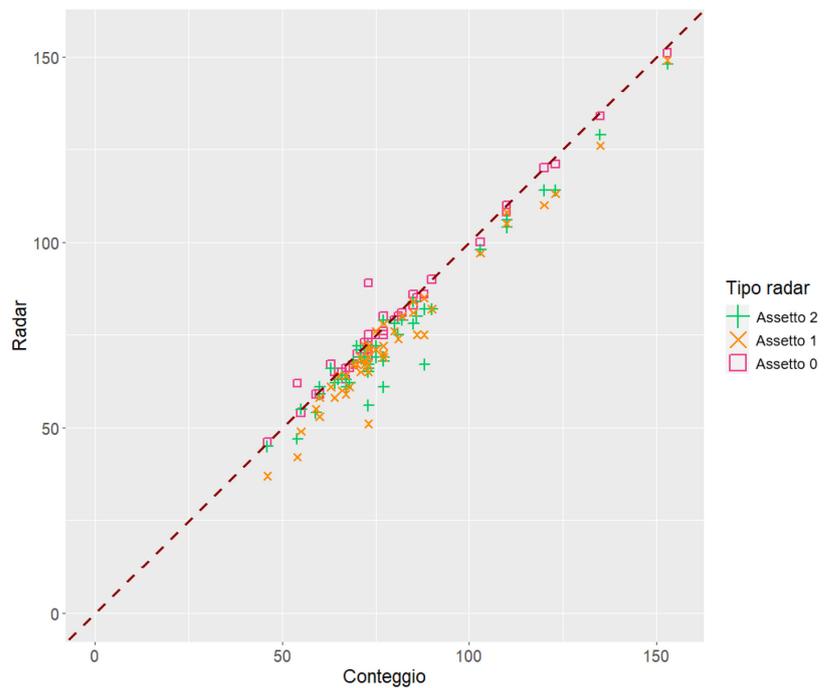
Di seguito (*Figure da 4-1 a 4-9*) sono riportati i diagrammi di dispersione relativi al conteggio totale per ogni sezione e direzione, nei quali sono messi a confronto i

valori dei conteggi ottenuti dalle varie tipologie di radar con il valore di riferimento (variabili RADAR e CONTEGGIO).

• **R01 – COMUNE DI CAMPONOGARA**



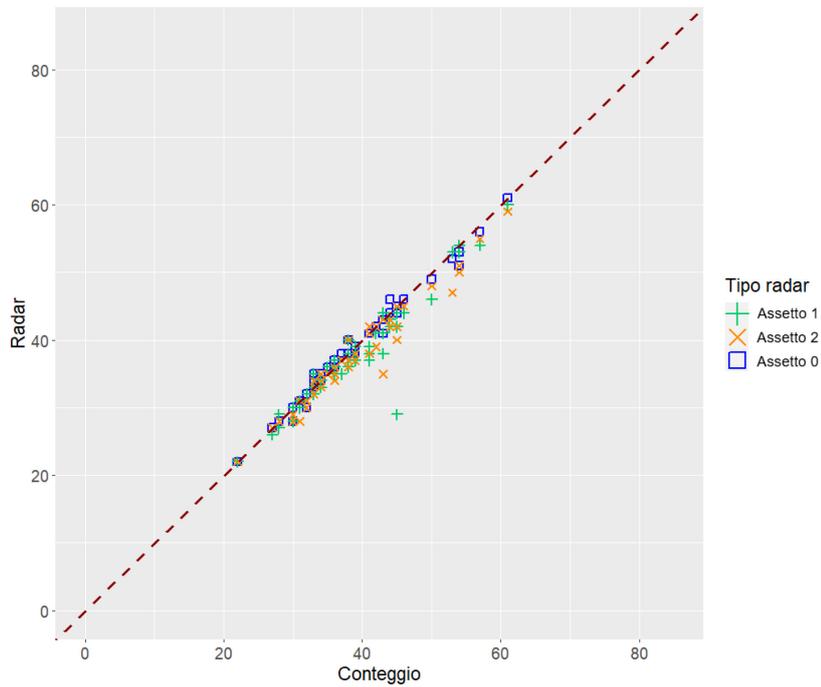
R01 DIREZIONE A (NORD)



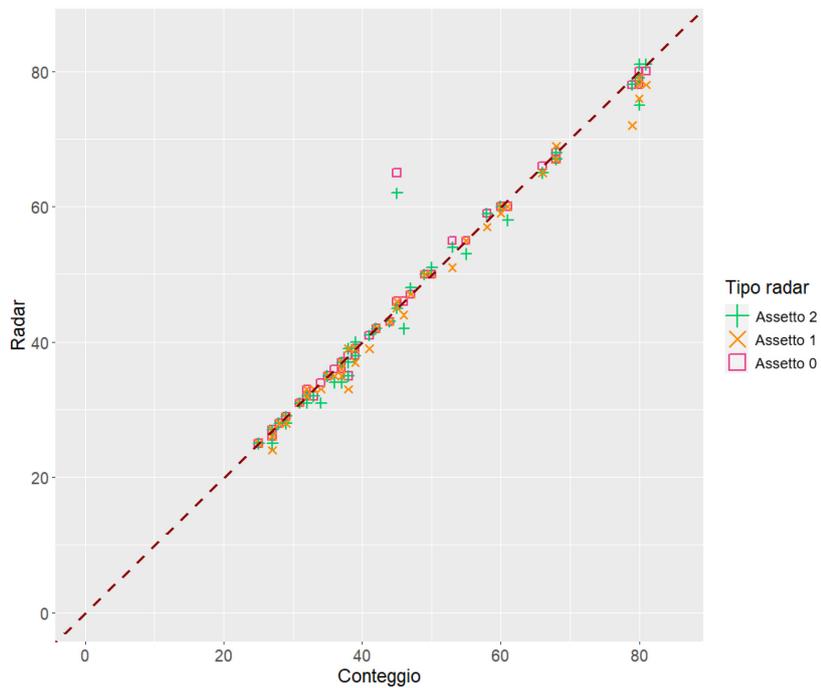
R01 DIREZIONE B (SUD)

Figura 4-1: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R01.

- **R02 – COMUNE DI CAMPONOGARA**



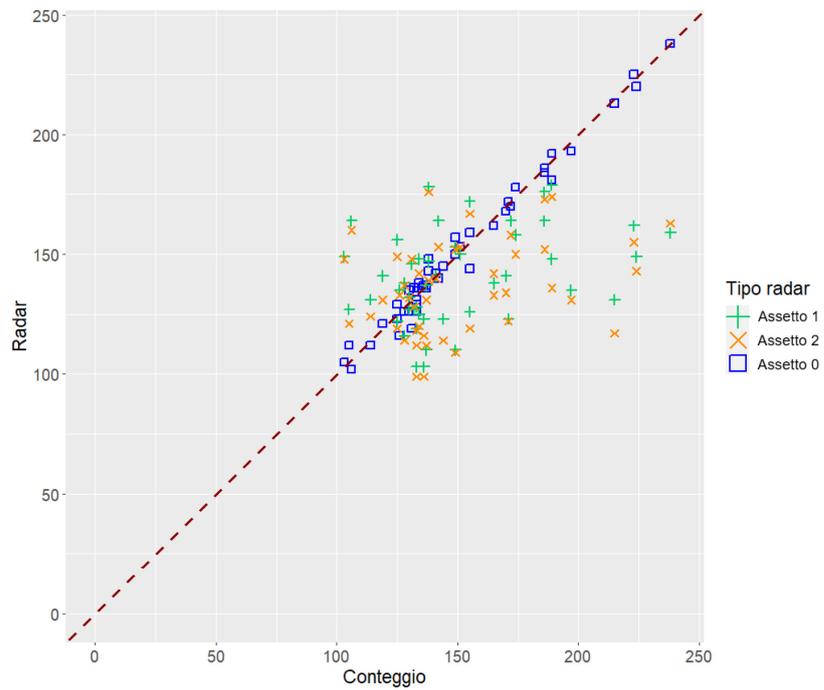
R02 DIREZIONE A (EST)



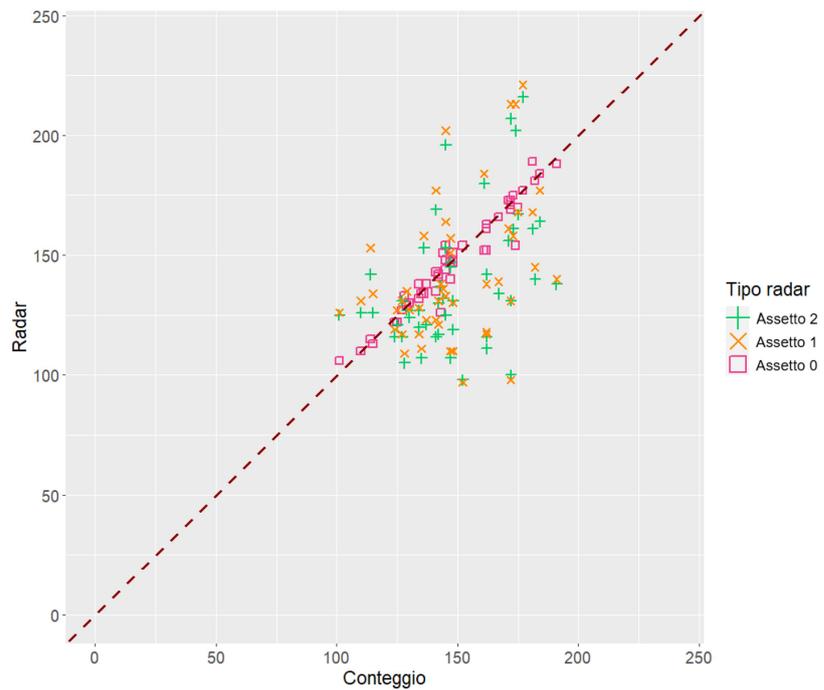
R02 DIREZIONE B (OVEST)

Figura 4-2: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R02.

• **R03 – COMUNE DI FIESSO D'ARTICO**



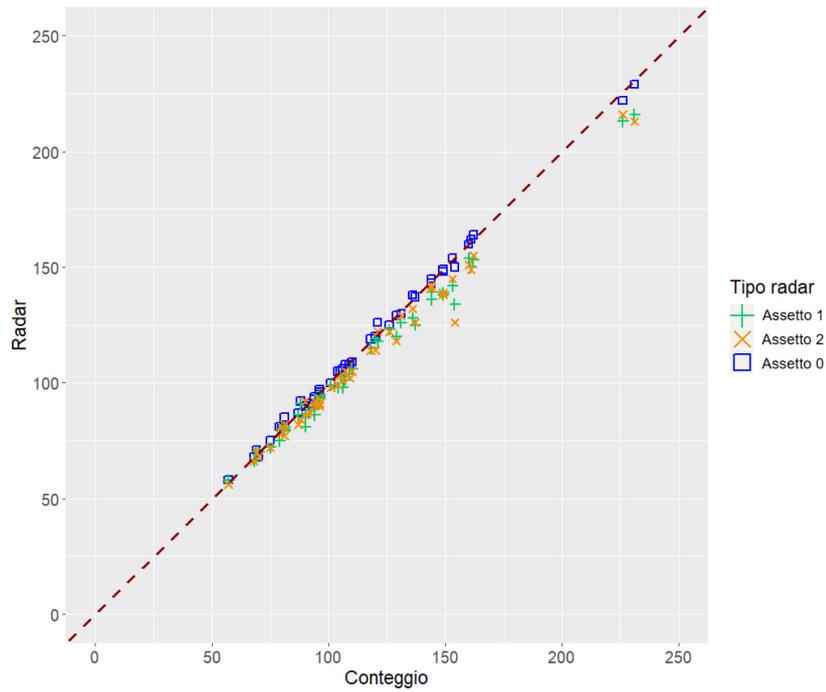
R03 DIREZIONE A (EST)



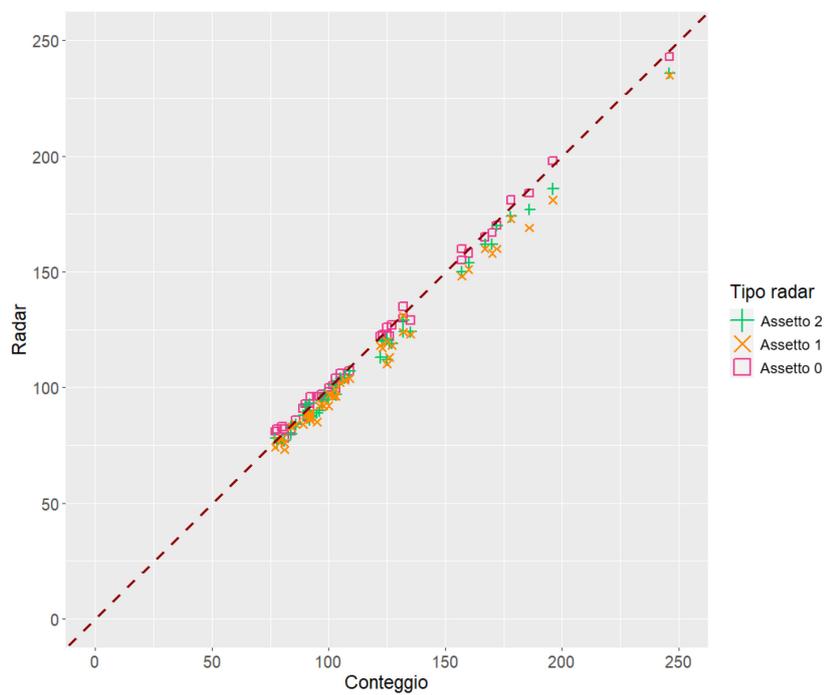
R03 DIREZIONE B (OVEST)

Figura 4-3: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R03.

- **R04– COMUNE DI FOSSÒ**



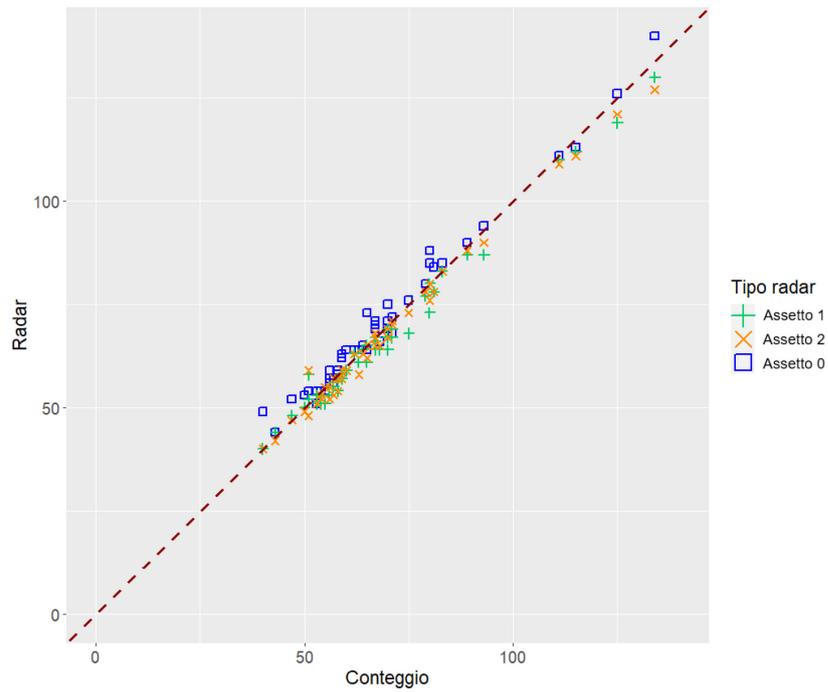
R04 DIREZIONE A (NORD)



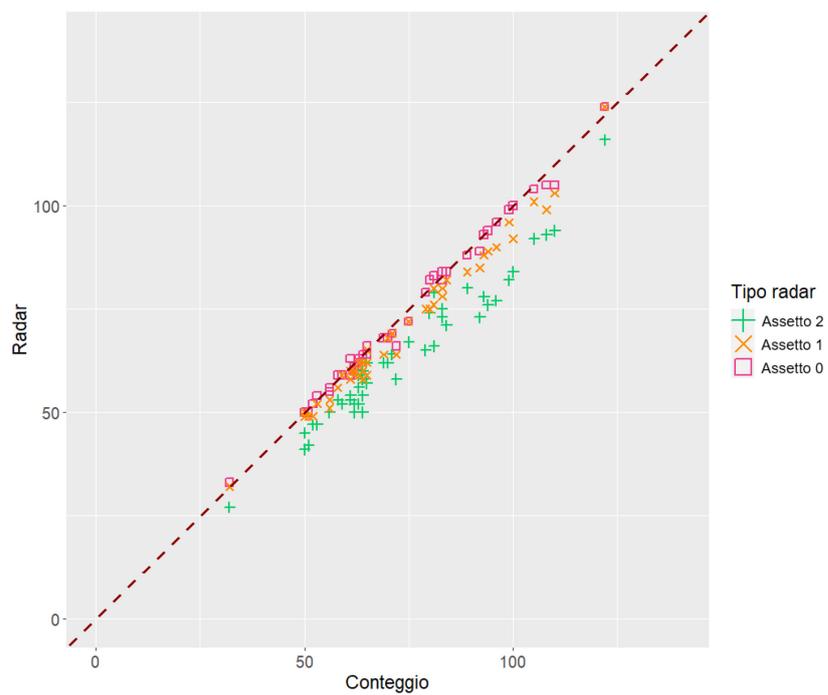
R04 DIREZIONE B (SUD)

Figura 4-4: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R04.

• R05 – COMUNE DI MIRA



R05 DIREZIONE A (NORD)



R05 DIREZIONE B (SUD)

Figura 4-5: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R05.

- **R06 – COMUNE DI MIRA**

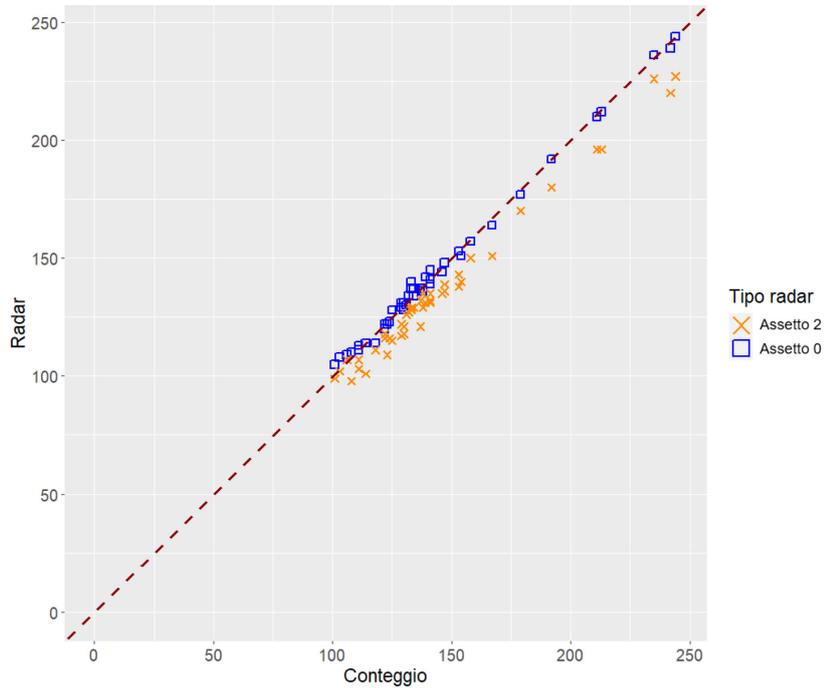
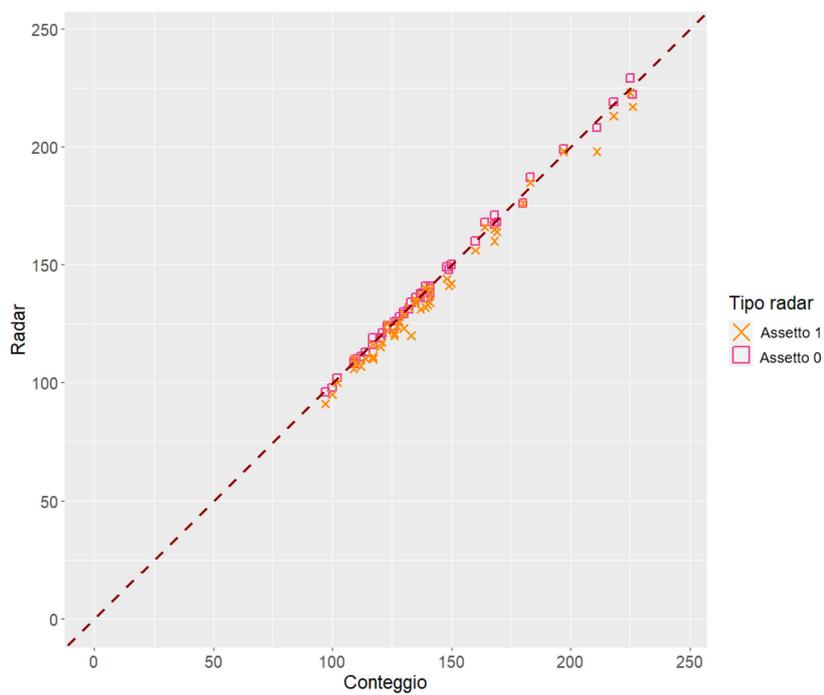
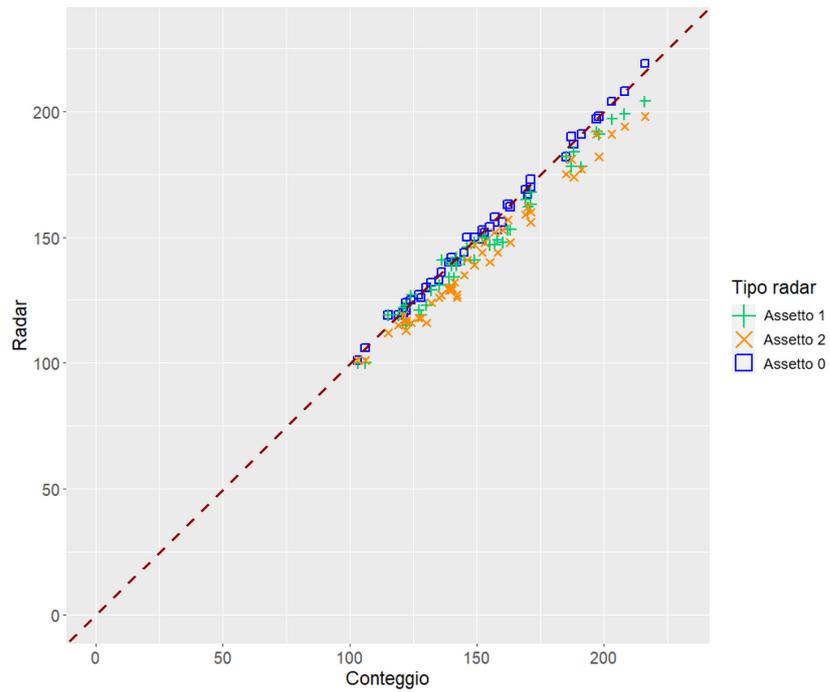
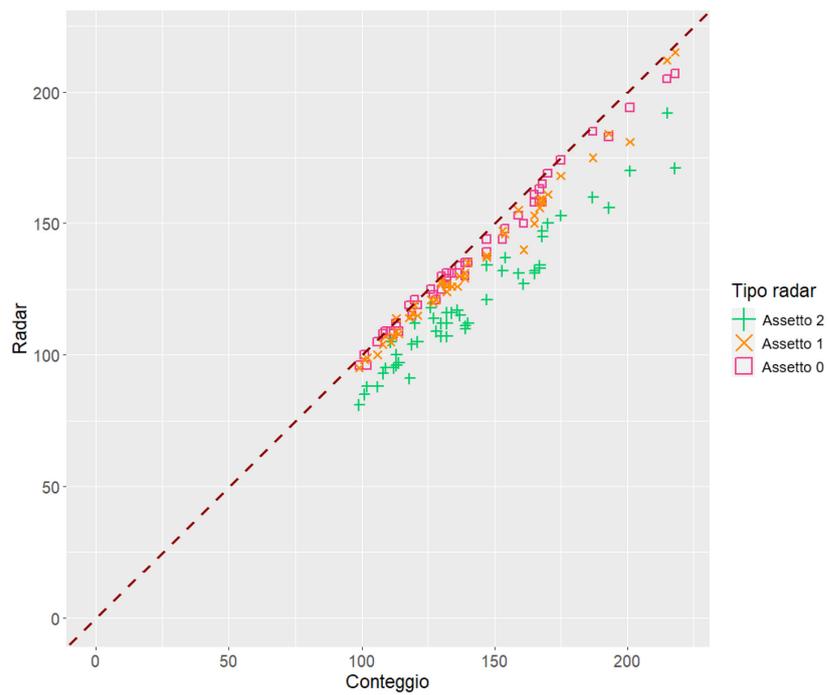
**R06 DIREZIONE A (NORD-EST)****R06 DIREZIONE B (SUD-OVEST)**

Figura 4-6: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R06.

• **R07 – COMUNE DI MARTELLAGO**



R07 DIREZIONE A (EST)



R07 DIREZIONE B (OVEST)

Figura 4-7: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R07.

- **R08 – COMUNE DI MARTELLAGO**

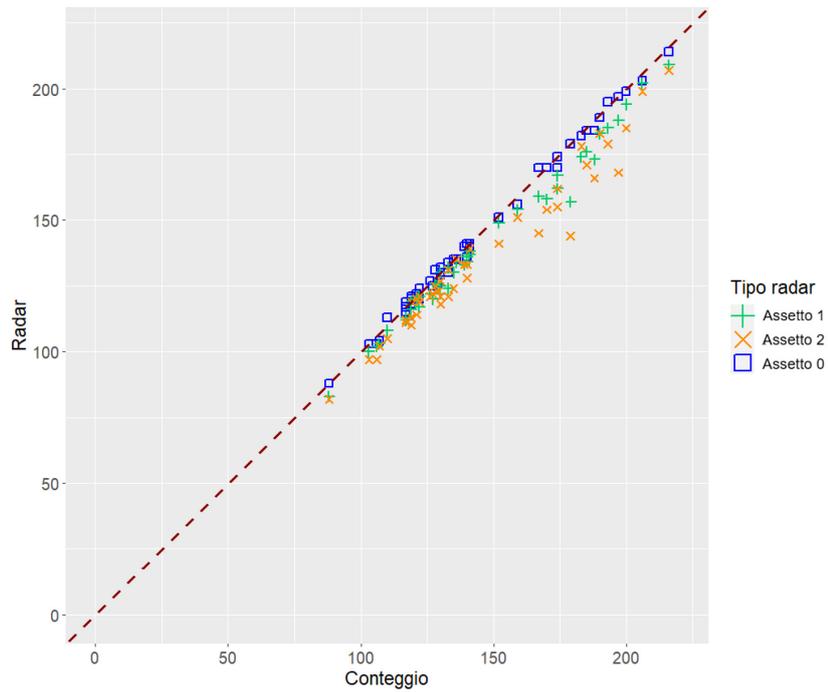
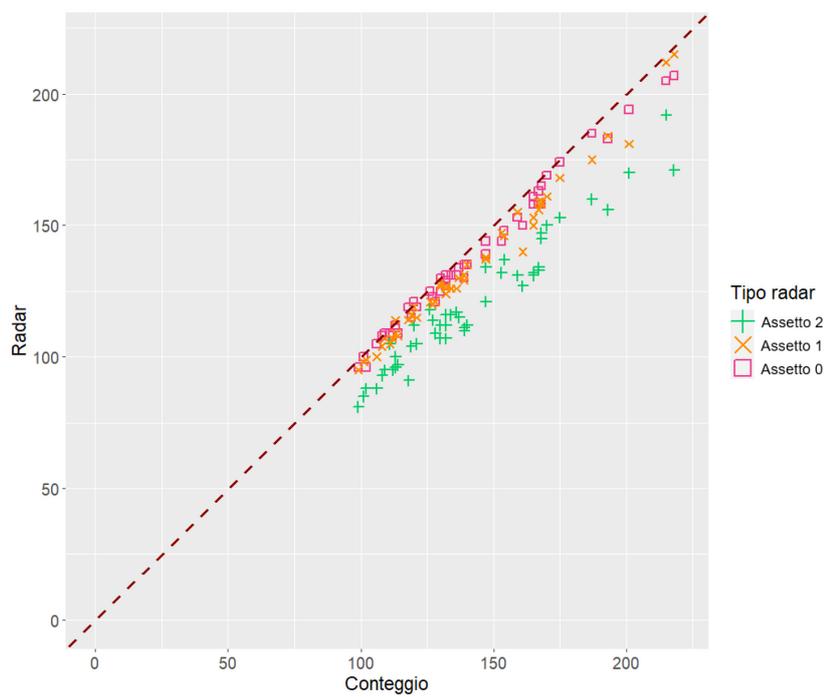
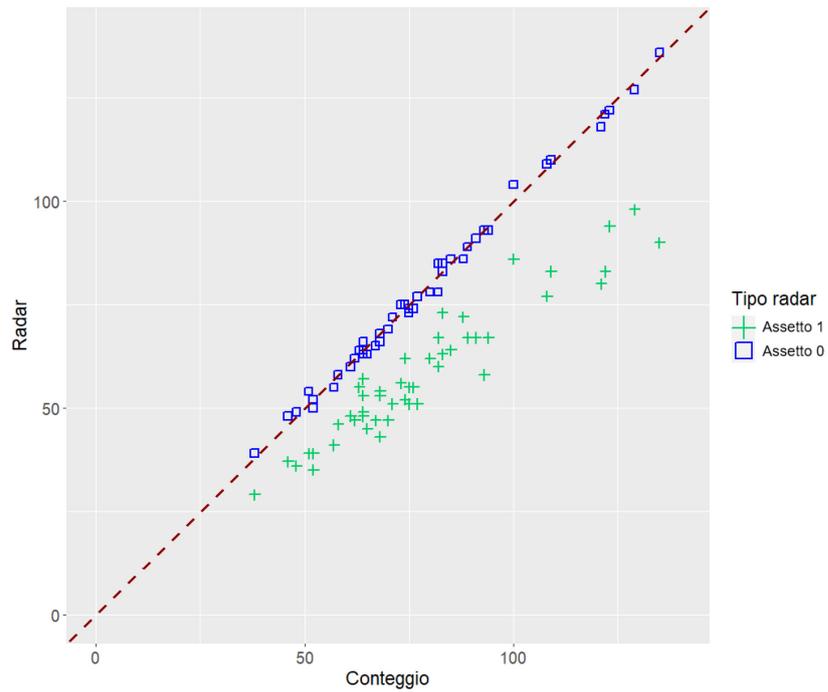
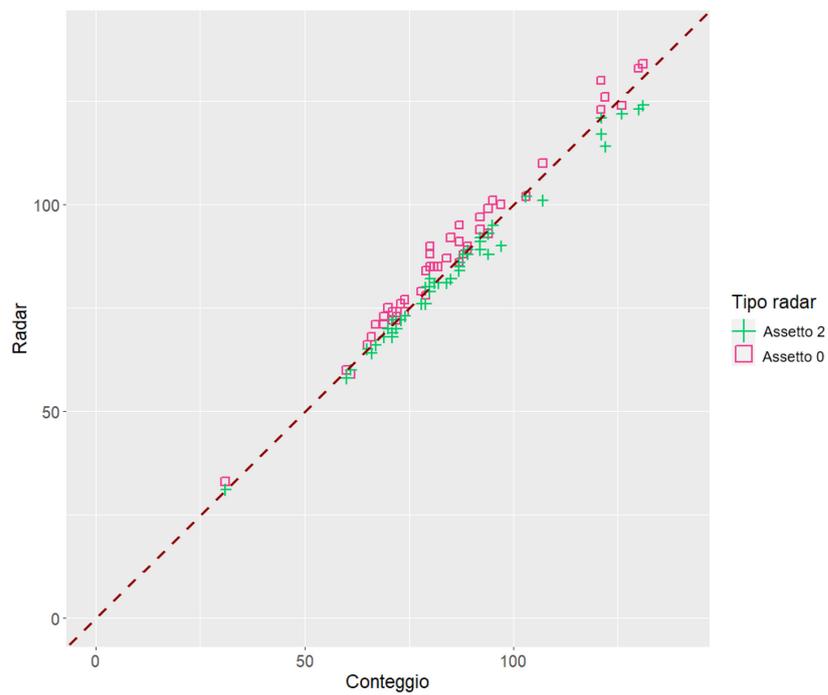
**R08 DIREZIONE A (NORD)****R08 DIREZIONE B (SUD)**

Figura 4-8: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R08.

• **R09 – COMUNE DI PADOVA**



R09 DIREZIONE A (NORD)



R09 DIREZIONE B (SUD)

Figura 4-9: Diagrammi di dispersione tra conteggio radar e conteggio video sui veicoli totali per ciascuna direzione, sezione R09.

4.1.1 CONSIDERAZIONI SUI DIAGRAMMI DI DISPERSIONE

Quanto più i simboli che rappresentano il dato integrato dell'intervallo si allontanano dalla bisettrice tanto più è grande l'errore dello strumento in quel rilievo.

Dall'analisi dei grafici di dispersione è possibile individuare alcune tendenze, quantomeno in termini qualitativi, a partire dalla considerazione che quanto più i punti sperimentali si allontanano dalla bisettrice, tanto maggiore è l'errore dello strumento in quel rilievo:

- i punti relativi ai radar operanti in modalità monodirezionale (ASSETTO=0) tendono a distribuirsi lungo la bisettrice dei diagrammi, ad indicare un errore che si mantiene contenuto rispetto ai volumi osservati;
- i punti relativi ai radar operanti in modalità bidirezionale all'aumentare del flusso totale (conteggio) si allontanano dalla bisettrice, ovvero aumenta l'errore nel conteggio (sottostima del valore vero);
- l'entità di tale scostamento varia in rapporto all'assetto radar considerato; i conteggi riferiti alla corsia più lontana (ASSETTO=2), mostrano scostamenti maggiori rispetto ai conteggi riferiti alla corsia più vicina (ASSETTO=1), per effetto del fenomeno di occlusione;
- si riscontrano alcune anomalie nel funzionamento degli strumenti, con valori dei punti collocati al di sopra della bisettrice (sovrastima del valore vero). Tali condizioni riguardano, in particolare, le sezioni R03, R05A, R09 e sono riconducibili a particolari assetti della sezione stradale (es. presenza di corsie ciclabili o di altri elementi esterni di disturbo) che hanno prodotto condizioni di funzionamento non ottimali.

Nello specifico:

- la sezione R03 (Comune di Fiesso d'Artico) presenta una distribuzione anomala dei punti dei radar in modalità bidirezionale, in entrambe le direzioni.
- nella sezione R09 (Comune di Padova), in direzione B il radar monodirezionale tende a sovrastimare il flusso, probabilmente per la presenza di biciclette in transito nella pista ciclabile adiacente alla carreggiata;

- nella sezione R05 (Comune di Mira), il radar monodirezionale che rileva la direzione A (Nord, Mirano) sovrastima il flusso, probabilmente per la presenza di biciclette in transito nella ciclabile dall'altro lato del fiume.

Queste casistiche particolari sono state opportunamente considerate nello sviluppo del modello di regressione.

4.2 ANALISI DI REGRESSIONE

In questo paragrafo viene presentata l'analisi quantitativa dei dati raccolti, effettuata mediante la stima di un modello di regressione binomiale negativa, che descriva le relazioni tra le variabili osservate. Per l'implementazione delle analisi statistiche, si è fatto riferimento diretto a quanto indicato in Coxe et al. (2003) e Huang & Cornell (2012).

4.2.1 METODOLOGIA UTILIZZATA

I conteggi veicolari sono variabili di tipo “*conteggio*”, ovvero variabili che riflettono il numero di occorrenze di un evento in un determinato periodo di tempo. Questo significa che una variabile conteggio può assumere soltanto valori interi positivi o uguali a 0, poiché un evento non può verificarsi un numero negativo di volte.

L'utilizzo di variabili di tipo conteggio nella regressione ai minimi quadrati (OLS, *Ordinary Least Squares regression*) può potenzialmente portare ad alcuni problemi. La regressione lineare standard (ai minimi quadrati) presenta delle assunzioni minime (poco restrittive) per quanto riguarda le variabili indipendenti del modello (predittori), quindi una variabile di tipo conteggio può essere usata come indipendente con una sola cautela: se la varianza della variabile indipendente è molto piccola (come spesso accade con variabili conteggio aventi un intervallo di valori ridotto), il coefficiente di regressione di quella variabile sarà molto instabile e avrà un errore standard elevato (Cohen, West & Aiken, 2003).

Tuttavia, questo non è un problema specifico delle variabili indipendenti di tipo conteggio; qualsiasi predittore avente piccola varianza darà luogo ad un coefficiente di regressione instabile.

Problemi diversi possono verificarsi quando variabili di tipo conteggio vengono usate come variabili dipendenti (variabili risultato) nella regressione lineare standard. Quando la media della variabile dipendente è relativamente alta (empiricamente si considera alta se superiore a 10), la regressione lineare standard può essere applicata senza grosse difficoltà. Tuttavia, quando la media della variabile dipendente è bassa, la regressione lineare produce risultati indesiderati come errori standard falsati e significatività nei test.

La regressione lineare standard prevede, inoltre, alcune importanti assunzioni relative agli errori nel modello per soddisfare l'inferenza statistica. Gli errori del modello sono definiti come la differenza tra valore atteso e valore previsto. I residui sono quindi delle stime degli errori del modello e possono essere valutati per la validazione del modello.

Le tre principali assunzioni che riguardano gli errori nel modello di regressione lineare standard sono:

- Normalità condizionale della distribuzione degli errori: per qualsiasi valore di un predittore X , la distribuzione condizionale degli errori dato X è una distribuzione normale;
- Omoschedasticità (varianza costante): le varianze delle distribuzioni condizionate degli errori presentano uguale varianza σ^2 per tutti i valori di X ;
- Indipendenza: i dati non sono raggruppati in gruppi o contesti che potrebbero fornire informazioni sui valori di altri errori.

Tipicamente invece, le variabili di tipo conteggio presentano condizioni di:

- Non-normalità nella distribuzione degli errori;
- Eteroschedasticità (varianza degli errori non costante).

Queste caratteristiche, come si è potuto constatare, portano risultati distorti e di inefficienza nei test di significatività statistica come i t-test della regressione lineare standard (Gardner et al., 1995; Long, 1997).

Per questo motivo si è scelto di esplorare strade alternative alla regressione lineare standard.

4.2.1.1 La regressione di Poisson

La **regressione di Poisson** è un tipo di analisi statistica appartenente alla famiglia dei modelli lineari generalizzati (GLiM, *Generalized Linear Model*), la cui funzione di collegamento (link function) è il logaritmo naturale. La forma funzionale che ne consegue è la seguente:

$$\ln \hat{\mu} = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_p \cdot X_p$$

Dove $\hat{\mu}$ è la variabile dipendente, X_1, X_2, \dots, X_p sono i predittori (variabili indipendenti), β_0 è l'intercetta e β_p è il coefficiente di regressione del predittore X_p .

La stima dei parametri nella regressione di Poisson avviene tramite metodi di massima verosimiglianza, a differenza di quanto avviene nella regressione lineare standard, nella quale la stima avviene tramite i minimi quadrati. Sostanzialmente, nella stima della massima verosimiglianza si considerano diversi valori dei parametri, si calcola la probabilità che i dati osservati provengano da una popolazione con quei parametri e si scelgono i valori di ciascun parametro che determinano la più alta probabilità di aver prodotto i dati osservati.

Dopo aver stimato tutti i parametri, è utile avere una misura di quanto è valido il modello adottato.

La regressione di Poisson non dispone di un equivalente diretto dell'indicatore R^2 utilizzato nella regressione lineare standard. In ogni caso, ogni modello stimato tramite metodi di massima verosimiglianza produrrà un valore di *devianza* per il modello. Tuttavia, la devianza, a differenza di R^2 , è un indicatore di validità relativo, non assoluto e può quindi essere interpretato solo in relazione ad un altro modello. Inoltre, la devianza non rappresenta la bontà in termini assoluti del modello rispetto ai dati, ma indica quanto il modello sia peggiore rispetto ad un modello ideale.

Per questo motivo nella regressione di Poisson è possibile calcolare l'indicatore *Pseudo- R^2* , tramite la devianza.

Le misure di *Pseudo- R^2* rappresentano la riduzione proporzionale della devianza dovuta all'inclusione dei predittori. Ricordando che una grande devianza indica uno scarso adattamento del modello, le misure di *Pseudo- R^2* indicano quanto il modello è vicino al modello perfetto.

Cameron e Windmeijer (1997) hanno suggerito che la devianza di un ipotetico modello di regressione di Poisson con solo un'intercetta (cioè senza predittori), può

essere completamente separata in due parti non sovrapposte. Poiché la varianza è una misura dell'inadeguatezza, questa misura si riduce aggiungendo predittori al modello di sola intercetta, se essi hanno una certa accuratezza nel rappresentare il risultato. La prima parte è la devianza che rimane dopo l'inserimento dei predittori (devianza non spiegata, o devianza del modello adattato), la seconda parte rappresenta la quantità di cui la devianza si riduce con l'aggiunta di predittori che spiegano il risultato (devianza spiegata). La devianza spiegata del modello adattato è la devianza del modello di sola intercetta meno la devianza del modello adattato.

Quindi:

$$R_{devianza}^2 = 1 - \frac{\text{devianza (modello adattato)}}{\text{devianza (solo intercetta)}}$$

Come l' R^2 , questo *pseudo- R^2* , varia tra 0 e 1 e aumenta con l'aggiunta di predittori. Altre misure di *pseudo- R^2* sono state sviluppate per i modelli lineari generalizzati. Per esempio, Cox e Snell (1989) hanno sviluppato una misura di *pseudo- R^2* utilizzando la verosimiglianza per il modello di sola intercetta e il modello testato per valutare i miglioramenti rispetto al modello di sola intercetta. Tuttavia uno *pseudo- R^2* calcolato in questo modo può rilasciare valori maggiori di 1. Nagelkerke (1991) ha aggiustato la misura di Cox e Snell per avere un valore massimo di 1, dividendo tale misura per il suo massimo valore. La misura di Nagelkerke varia quindi tra 0 e 1.

Il metodo grafico più appropriato per rappresentare l'adeguatezza del modello nella regressione di Poisson è quello di tracciare un grafico dei residui rispetto ai valori di esito previsti (Cameron & Trivedi, 1998). Tuttavia, per i modelli di tipo GLiM come la regressione di Poisson, i residui grezzi saranno sempre eteroschedastici e asimmetrici. Per questo motivo, devono essere usati tipologie differenti di residui. Pierce e Schafer (1986) suggerirono la devianza dei residui come scelta più appropriata.

I residui di devianza individuali vengono sommati per formare la devianza del modello.

4.2.1.2 Altri modelli di regressione per variabili conteggio

Il modello di regressione di Poisson prevede che vengano soddisfatte le seguenti ipotesi sui dati, affinché il modello sia valido:

- i dati osservati seguano una distribuzione di Poisson. Questo determina che la probabilità di osservare un certo numero di eventi in un determinato intervallo di tempo dipende solo dal tasso medio di occorrenza e non dagli eventi precedenti e futuri;
- la distribuzione di Poisson ha un solo parametro, $\hat{\mu}$, il quale caratterizza sia la media che la varianza della distribuzione dei dati. Questo determina che la media e la varianza dei dati osservati sono uguali (ipotesi di equidispersione).

Esistono, però, situazioni in cui i dati di conteggio osservati non soddisfano tutte le ipotesi della regressione di Poisson standard.

Le situazioni più comuni sono due:

1. **Sovradispersione:** i singoli conteggi potrebbero presentare più variabilità di quella prevista dal modello di Poisson. La situazione in cui la varianza è più grande della media è nota come sovradiersione;
2. **Zeri troncati o eccesso di zeri:** possono esserci meno o più zeri nelle distribuzioni condizionali delle variabili dipendenti rispetto a quanto ci si aspetterebbe in una distribuzione di Poisson con media e varianza specificate.

Per sopperire all'occorrenza di questi problemi, esistono delle alternative alla regressione di Poisson standard.

Quando si presentano problemi di zeri troncati è possibile utilizzare i modelli *Zero Inflated Poisson* o *Zero Inflated negative binomial*. Per le situazioni di eccessi di zeri è possibile utilizzare i modelli di Hurdle.

Quando invece si presentano situazioni di sovradiersione è possibile utilizzare il modello *Overdispersed Poisson Model* (Gardner et al., 1995; Land, McCall & Nagin, 1996, Long, 1997). Questo modello, chiamato anche *Quasi-Poisson Model*, introduce un secondo parametro usato nella correzione della stima della varianza condizionale, ϕ . Il modello stimato con questo parametro assume quindi una distribuzione dell'errore poissoniana con media μ e varianza $\mu\phi$.

Il parametro ϕ sarà maggiore di 1 se è presente sovradiersione nei dati, uguale a 1 nel caso di equidispersione, minore di 1 nel caso di sottodispersione. Il modello

di sovradisersione permette che le varianze condizionali siano maggiori delle corrispondenti medie condizionali.

In questo modello, minore è la devianza, maggiore è l'adattamento del modello.

Un secondo modello comunemente utilizzato nelle situazioni di sovradisersione è il **modello di regressione binomiale negativa** (Gardner et al., 1995; Land, McCall & Nagin, 1996, Long, 1997). Tale modello tiene conto della sovradisersione assumendo che sia presente una variabilità non spiegata tra individui che hanno lo stesso valore predetto. Questa ulteriore variabilità non spiegata porta ad una varianza maggiore (rispetto a quella prevista dalla distribuzione di Poisson standard) nella distribuzione complessiva dei risultati, ma non ha alcun effetto sulla media. Concettualmente, questa variabilità aggiunta è paragonabile all'inclusione di un termine d'errore nella regressione lineare standard.

Il modello di regressione binomiale negativa utilizza un'altra distribuzione di probabilità, la distribuzione *gamma*, per rappresentare la distribuzione delle medie.

In questo modello, la funzione dell'errore è il prodotto di due differenti distribuzioni di probabilità, la distribuzione gamma e quella di Poisson. La varianza condizionale in questo caso è data da $\mu + \alpha\mu_2$. Il parametro α rappresenta la sovradisersione nel modello di binomiale negativa. Se $\alpha = 0$ non è presente sovradisersione e il modello si riduce a un modello di Poisson standard. Se α è maggiore di 0, è presente sovradisersione. Valori maggiori di α denotano maggior grado di sovradisersione.

È possibile effettuare dei test di confronto dell'adattamento per i tre modelli finora illustrati. Si tratta di confronti tra due modelli annidati, utilizzando la massima verosimiglianza, per esempio tra il modello di Poisson standard e il modello di Poisson Sovradisperso, oppure tra il modello di Poisson standard e il modello di binomiale negativa.

Il modello di Poisson Sovradisperso e il modello di binomiale negativa non sono annidati tra di loro, per questo non è possibile confrontare la bontà dell'adattamento tra i due modelli. Esistono quindi misure alternative per valutare la bontà di questi due modelli non annidati. Per esempio, l'indicatore che verrà utilizzato in seguito, l'*AIC* (*Akaike Information Criterion*).

L'AIC è composto da due parti: la prima parte è una funzione del logaritmo della verosimiglianza del modello proposto, valutata in base al valore del parametro stimato, in questo caso $\hat{\mu}$, la quale diventa più piccola all'aumentare del miglior adattamento del modello; la seconda parte è una funzione del numero di parametri (coefficienti di regressione, parametro di dispersione) che vengono stimati. Poiché i modelli con un numero maggiore di parametri si adattano meglio, questa seconda parte penalizza i modelli più complessi che utilizzano un numero maggiore di parametri per ottenere lo stesso adattamento, come indicato dal logaritmo della verosimiglianza.

Una volta calcolato l'AIC per i due modelli, viene scelto il modello con valore AIC più basso.

4.2.2 ANALISI DEI DATI RACCOLTI

Nel lavoro di tesi, si è scelto di testare le seguenti forme funzionali, al fine di individuare il modello che meglio si adattasse a rappresentare i dati raccolti:

- Modello di regressione di Poisson standard;
- Modello di regressione Quasi-Poisson (Poisson con Sovradispersione);
- Modello di regressione binomiale negativa;
- Modello di regressione Zero-inflated (eccesso di zeri).

Il modello scelto poiché risultato essere migliore attraverso la valutazione del parametro AIC e della varianza residua è il modello di **regressione binomiale negativa**.

La forma funzionale utilizzata è la seguente:

$$\ln AE = \beta_0 + \beta_1 \cdot ASSETTO_1 + \beta_2 \cdot ASSETTO_2 + \beta_3 \cdot CONTEGGIO + \beta_4 \cdot VOL_CONFL$$

dove:

- **AE = Absolute Error**: errore assoluto tra conteggi di riferimento e conteggi radar;
- **CONTEGGIO = Volumes**: flusso totale di tutte le categorie veicolari (moto, auto, commerciali leggeri, commerciali pesanti);
- **VOL_CONFL = Conflict volumes**: flusso di conflitto per i radar bidirezionali. È il flusso della corsia non rilevata;
- **ASSETTO = Radar setting**: definisce il modo d'utilizzo del radar. Assume i seguenti valori: 0 = monodirezionale, 1 = bidirezionale corsia più vicina, 2 = bidirezionale corsia più lontana.

Il modello di regressione è stato applicato a un dataset 496 osservazioni, ottenuto eseguendo le seguenti operazioni:

- rimozione degli *outliers* dopo attenta osservazione dei diagrammi di dispersione;
- esclusione dal dataset delle sezioni R03 ed R09 in quanto presentavano comportamenti anomali;
- aggregazioni dei conteggi in volumi totali all'ora.

L'applicazione del modello al dataset così ottenuto ha prodotto la stima dei parametri riportata in *Tabella 4-1*.

Coefficient	Estimate	Standard error	z statistic	p-value
β_0	0,6151	0,1288	4,774	0,001
β_1	0,5639	0,1568	3,595	0,001
β_2	1,0257	0,1548	6,625	0,001
β_3	0,0021	0,0002	7,931	0,001
β_4	0,0016	0,0003	5,069	0,001

Tabella 4-1: Stima dei coefficienti di regressione del modello di regressione binomiale negativa.

Il modello ha mostrato un parametro di sovradisersione $\alpha = 2,458$.

L'AIC è pari a 3302.7, il valore più basso tra i modelli testati.

Vengono di seguito riportati per completezza le forme funzionali e le stime degli altri tre modelli testati.

Modello di regressione di Poisson standard

$$\ln AE = \beta_0 + \beta_1 \cdot ASSETTO_1 + \beta_2 \cdot ASSETTO_2 + \beta_3 \cdot CONTEGGIO + \beta_4 \cdot VOL_CONFL$$

Coefficient	Estimate	Standard error	z statistic	p-value
β_0	0,7272	0,0590	12,315	0,001
β_1	0,6100	0,0655	9,136	0,001
β_2	1,1010	0,0640	17,198	0,001
β_3	0,0018	0,0001	18,379	0,001
β_4	0,0014	0,0001	13,112	0,001

Tabella 4-2: Stima dei coefficienti di regressione del modello di regressione di Poisson standard.

Modello di regressione Quasi-Poisson

$$\ln AE = \beta_0 + \beta_1 \cdot ASSETTO_1 + \beta_2 \cdot ASSETTO_2 + \beta_3 \cdot CONTEGGIO + \beta_4 \cdot VOL_CONFL$$

Coefficient	Estimate	Standard error	t statistic	p-value
β_0	0,7272	0,1516	4,796	0,001
β_1	0,6100	0,1682	3,628	0,001
β_2	1,1010	0,1644	6,697	0,001
β_3	0,0018	0,0003	7,157	0,001
β_4	0,0014	0,0003	5,106	0,001

Tabella 4-3: Stima dei coefficienti di regressione del modello di regressione Quasi-Poisson.

Il modello ha mostrato un parametro di sovradisersione $\phi = 6,5941$.

Modello di regressione Zero-inflated

$$\ln AE = \beta_0 + \beta_1 \cdot ASSETTO_1 + \beta_2 \cdot ASSETTO_2 + \beta_3 \cdot CONTEGGIO + \beta_4 \cdot VOL_CONFL$$

Coefficienti modello conteggio (binomiale negativa):

Coefficient	Estimate	Standard error	z statistic	p-value
β_0	0,6684	0,1334	5,009	0,001
β_1	0,5139	0,1587	3,238	0,01
β_2	0,9764	0,1560	6,258	0,001
β_3	0,0020	0,0003	7,799	0,001
β_4	0,0016	0,0003	5,217	0,001
$\ln \alpha$	0,9487	0,08893	10,667	0,001

Tabella 4-4: Stima dei coefficienti di regressione del modello di regressione Zero-inflated (binomiale negativa).

$$\pi = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot ASSETTO_1 + \beta_2 \cdot ASSETTO_2)}$$

Coefficienti modello Zero-inflated (funzione logit che stima la probabilità π di eccesso di zeri):

Coefficient	Estimate	Standard error	z statistic	p-value
β_0	-3,1218	0,6928	-4,506	0,001
β_1	-9,3723	42,7034	-0,219	1
β_2	-7,7259	38,6602	-0,200	1

Tabella 4-5: Stima dei coefficienti di regressione del modello di regressione Zero-inflated (binomiale con funzione logit).

In Tabella 4-6 i valori AIC calcolati per tutti i modelli testati.

	Poisson	Quasi-Poisson	Binomiale negativa	Zero-inflated
AIC	4791,3	NA	3302,7	3306

Tabella 4-6: Valori del parametro AIC calcolati per i diversi modelli di regressione testati.

4.2.3 ANALISI DEI RESIDUI – DIAGNOSI DELLE ASSUNZIONI

Vengono riportati nelle figure seguenti i grafici relativi all'analisi dei residui e il confronto tra i valori stimati e quelli osservati, al fine di fornire alcune informazioni in merito al processo di stima condotto.

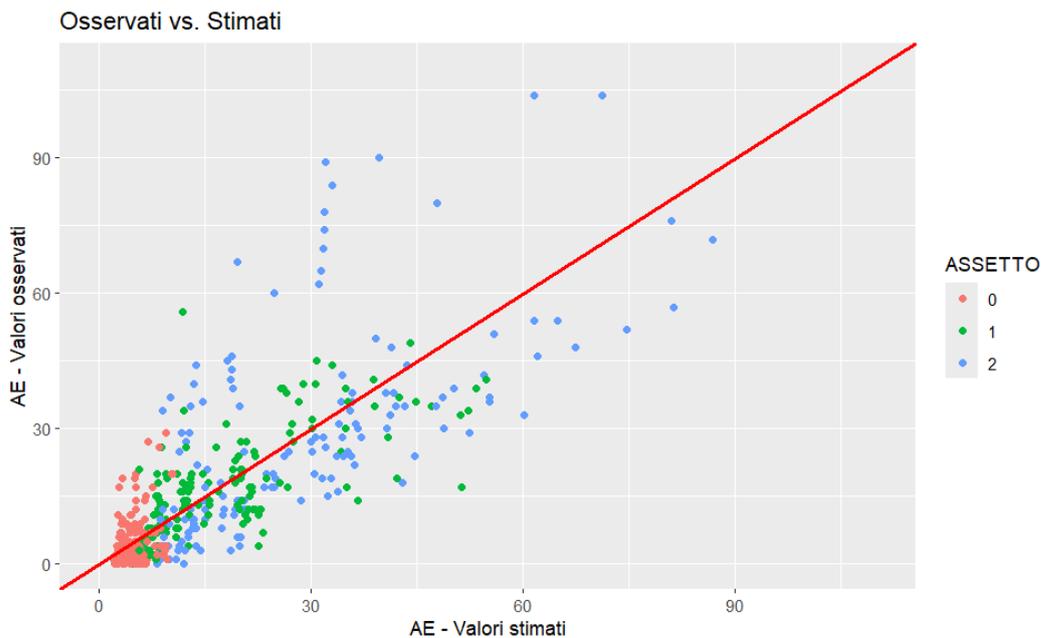


Figura 4-10: Grafico confronto tra valori stimati ed osservati.

Commento

In *Figura 4-10* è possibile osservare il confronto tra valori stimati e valori osservati. È abbastanza evidente la dispersione dei dati, con il modello che in generale tende a sovrastimare gli errori associati ai radar, ad eccezione della variabile ASSETTO = 2, e che presenta delle sottostime per valori elevati dell'errore.

Da questo grafico emerge, inoltre, che i radar in modalità monodirezionale rilevano in modo più accurato rispetto ai radar bidirezionali (ASSETTO = 0), dal momento che i valori degli errori assoluti sono contenuti.

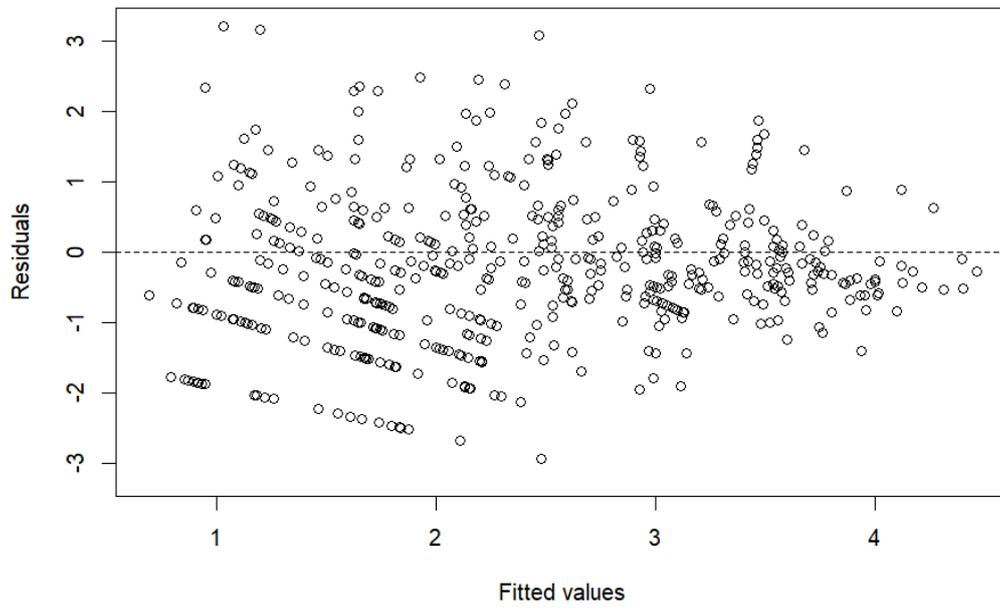


Figura 4-11: Analisi dei residui rispetto i valori predetti.

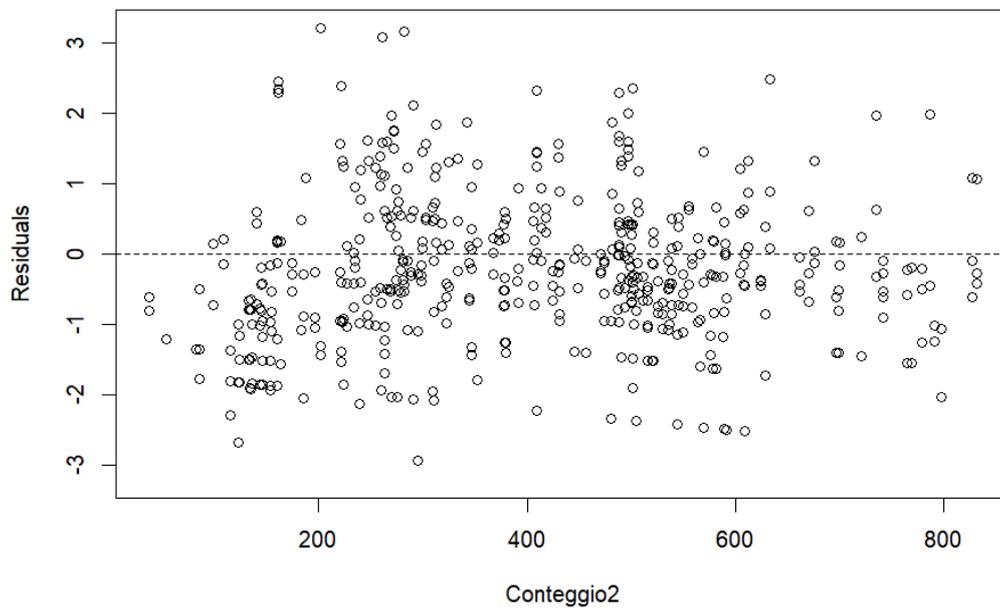


Figura 4-12: Analisi dei residui rispetto la variabile conteggio.

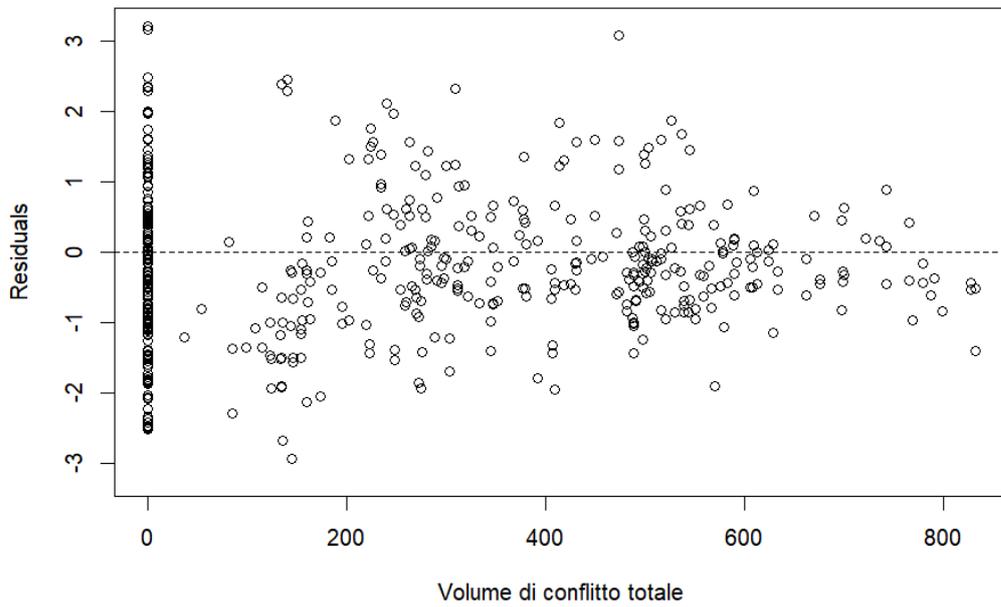


Figura 4-13: Analisi dei residui rispetto la variabile Volume di conflitto totale.

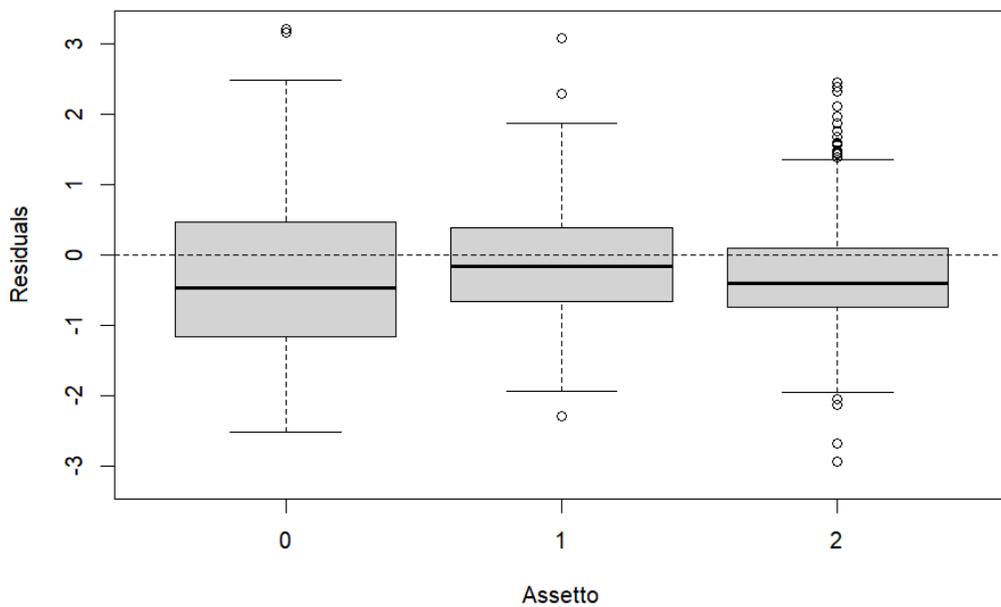


Figura 4-14: Analisi dei residui rispetto la variabile Assetto.

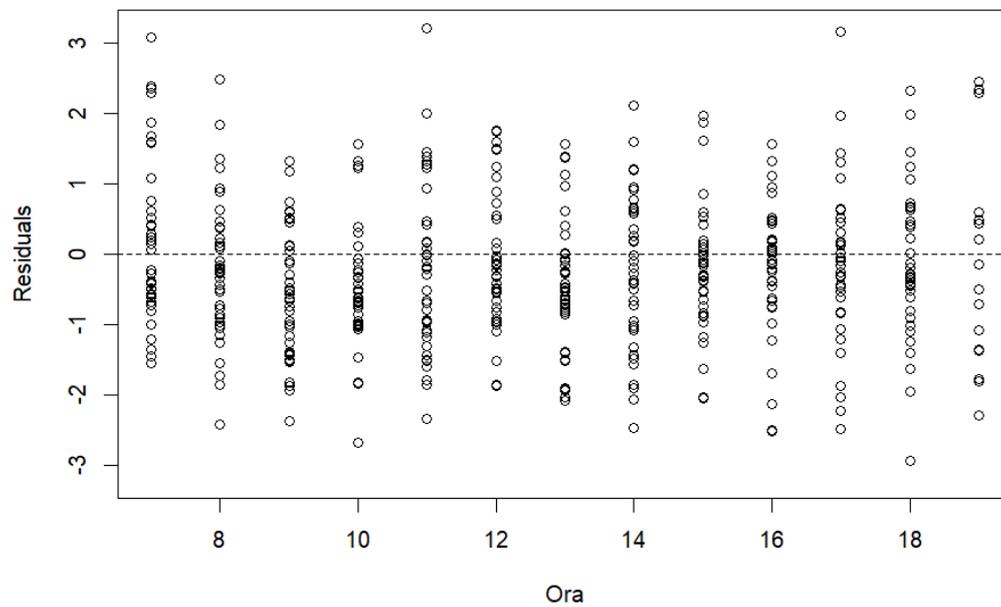


Figura 4-15: Analisi dei residui rispetto la variabile temporale.

Commento

Il modello non presenta anomalie evidenti in rapporto ai residui.

Si può notare una leggera presenza di bande nel grafico in *Figura 4-11*, ma non sono da ritenere comportamenti anomali dei residui rispetto i valori predetti.

I residui rispetto alle variabili CONTEGGIO (*Figura 4-12*) e VOLUME DI CONFLITTO TOTALE (*Figura 4-13*) presentano una buona distribuzione dei punti.

I boxplot relativi ai residui rispetto alla variabile ASSETTO (*Figura 4-14*), mostrano come i residui ben si distribuiscano nell'intorno dello 0 per i tre valori della variabile. La *Figura 4-15* mostra un andamento regolare dei residui nel tempo, con una distribuzione abbastanza simmetrica nell'intervallo compreso tra -3 e 3.

4.2.4 RISULTATI E PREVISIONI DEL MODELLO

Una volta individuato il modello che meglio si adatta ai dati, vengono presentate in questo paragrafo le previsioni ottenute dalla sua applicazione.

In particolare, viene presentato l'andamento dell'**errore assoluto** dello strumento in funzione del volume totale osservato e del volume di conflitto.

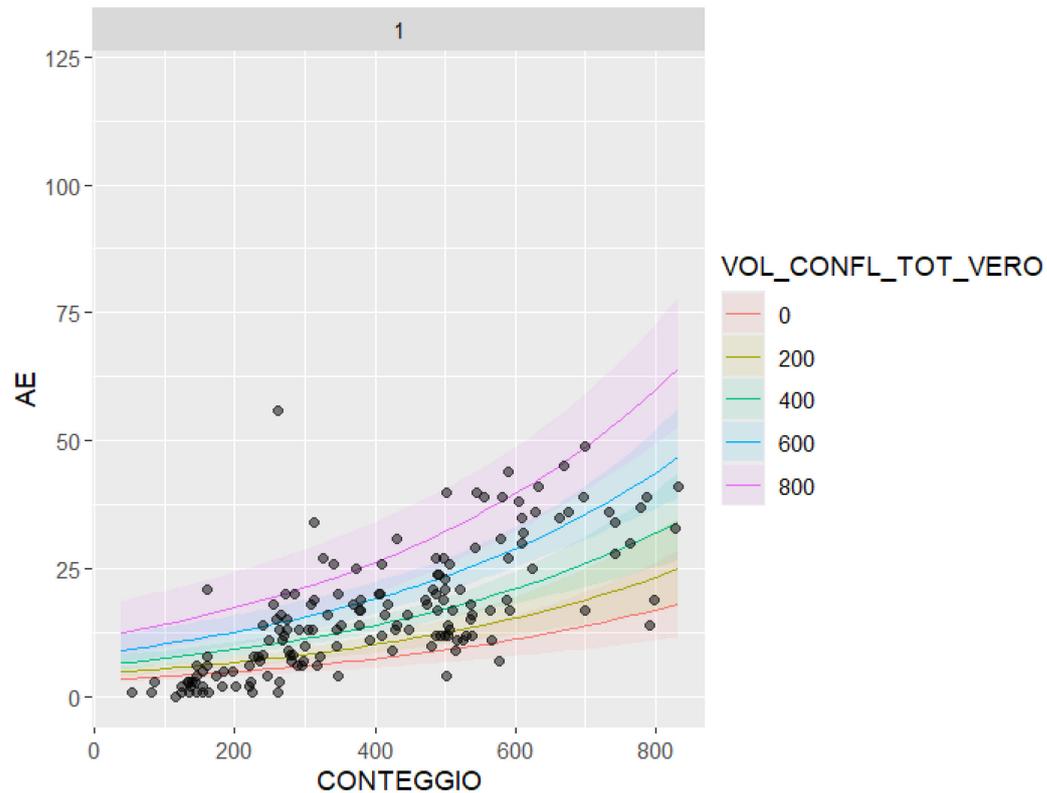


Figura 4-16: Andamento dell'errore assoluto in funzione del volume di conflitto per i radar bidirezionali operanti nella corsia più vicina (ASSETTO 1).

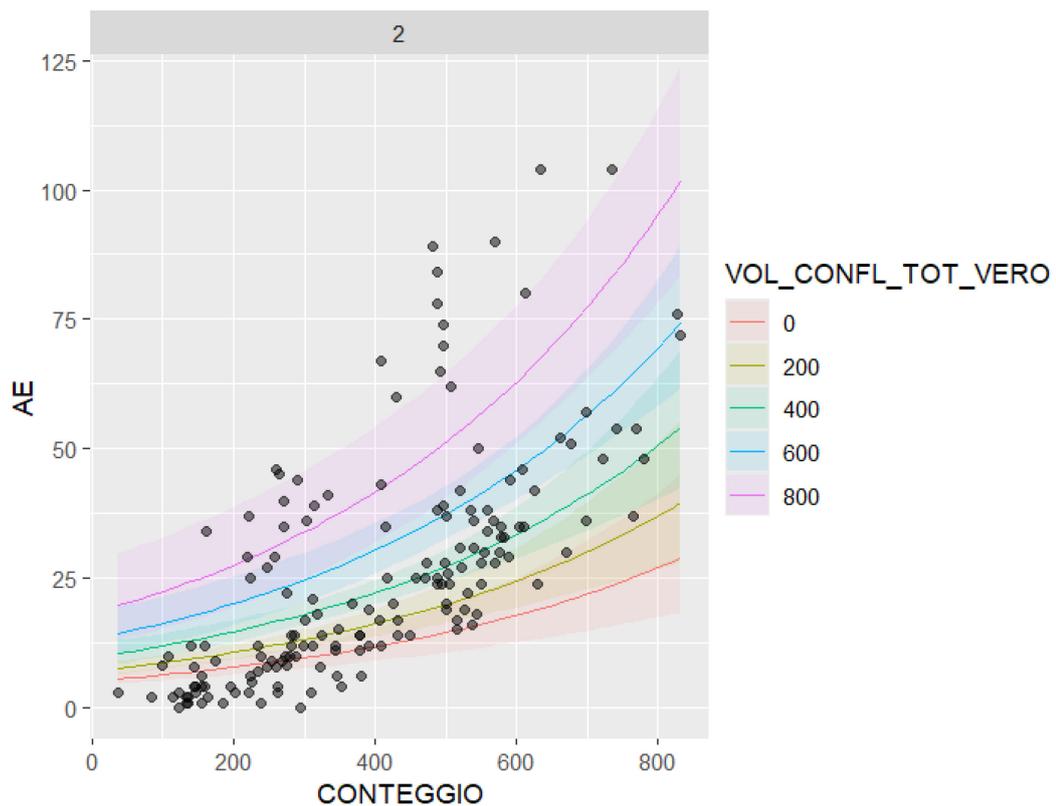


Figura 4-17: Andamento dell'errore assoluto in funzione del volume di conflitto per i radar bidirezionali operanti nella corsia più lontana (ASSETTO 2).

Commento

I grafici sono stati prodotti per valori del volume totale nel range da 0 a 800 *veh/h*, ovvero i valori di flusso ricavati dai dati sperimentali disponibili. Emergono chiaramente alcuni andamenti:

- all'aumentare del volume totale aumenta l'errore assoluto, per entrambe le configurazioni;
- per quanto riguarda la configurazione con ASSETTO = 1 (Figura 4-16), si conferma che il modello spiega bene i dati sperimentali, nonostante una tendenza del modello a sovrastimare l'errore assoluto per volumi bassi di flusso di conflitto. Questo implica che il funzionamento dello strumento in questo assetto possa in molti casi essere migliore di quanto previsto dal modello per flussi poco elevati.
- per quanto riguarda la configurazione con ASSETTO = 2 (Figura 4-17) si conferma che il modello sovrastima in maniera ancora più evidente gli errori

assoluti per valori bassi del flusso di conflitto, mentre sottostima l'errore assoluto per valori elevati del flusso di conflitto. In questo caso l'errore potrebbe invece essere più gravoso di quanto previsto dal modello per flussi elevati.

Da un punto di vista operativo, gli errori assoluti stimati e la loro dipendenza del volume di conflitto sono direttamente dipendenti dal fenomeno di occlusione:

- per quanto riguarda la configurazione con $ASSETTO = 2$ l'errore di sottostima del volume veicolare è dovuto direttamente al fenomeno di occlusione, come ampiamente discusso nel *Capitolo 1*;
- per quanto riguarda la configurazione con $ASSETTO = 1$, il fenomeno è meno intuibile, dal momento che il volume di conflitto è il volume sulla corsia più lontana. Dal punto di vista operativo, i veicoli sulla corsia più lontana possono fungere da “collegamento” tra due veicoli consecutivi sulla corsia vicina, producendo una sottostima dei volumi (e un'erronea classificazione).

Di seguito si ritiene opportuno illustrare anche l'andamento dell'**errore relativo** per i radar installati in modalità bidirezionale, messi a confronto con quanto ottenuto nel caso monodirezionale.

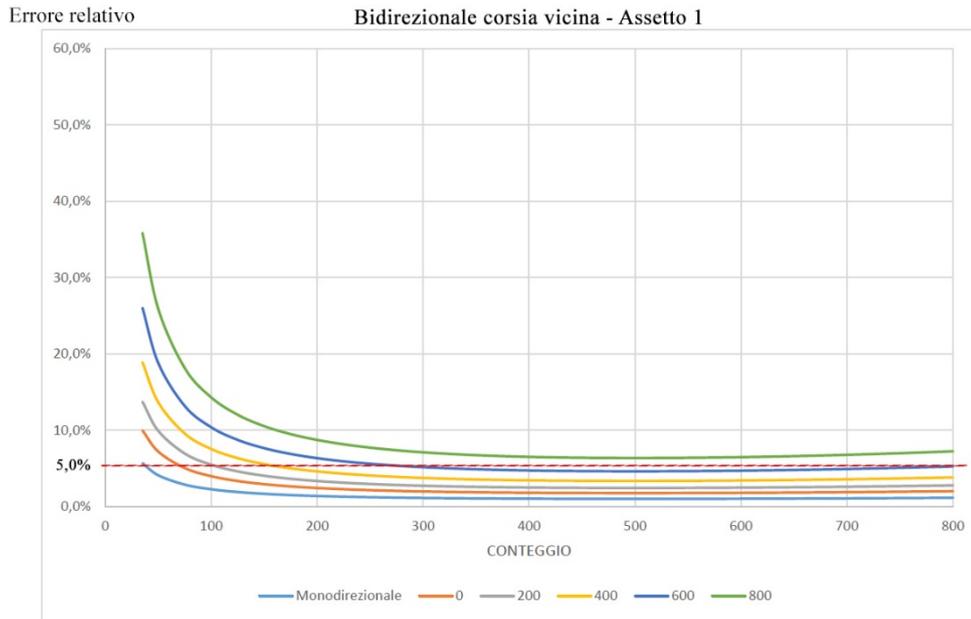


Figura 4-19: Andamento dell'errore relativo in funzione del volume di conflitto per i radar bidirezionali operanti nella corsia più vicina (ASSETTO = 1).

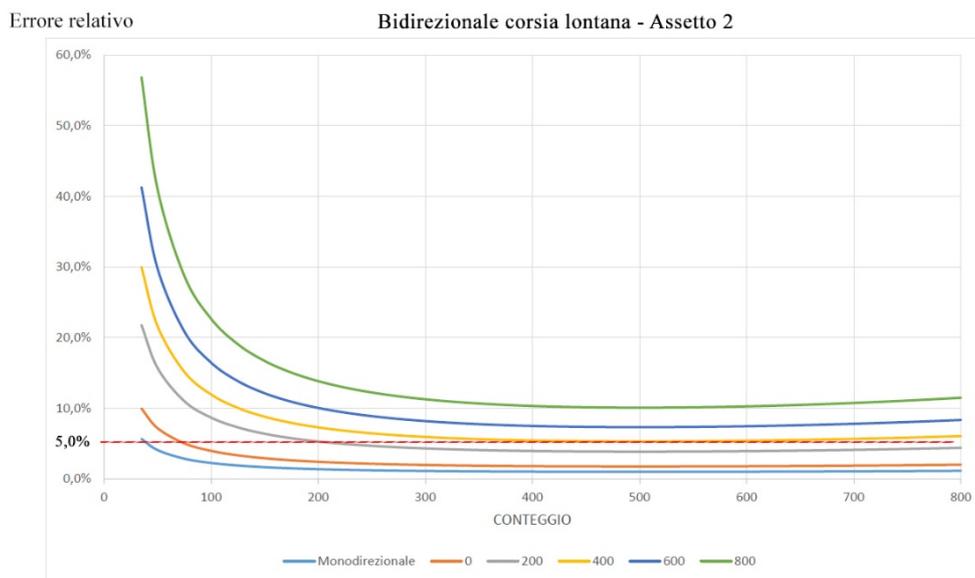


Figura 4-20: Andamento dell'errore assoluto in funzione del volume di conflitto per i radar bidirezionali operanti nella corsia più lontana (ASSETTO = 2).

Nelle *Tabelle 4-7 e 4-8* sono riportati gli errori assoluti e relativi previsti dal modello, per gli assetti considerati, in rapporto ad alcuni valori della variabile conteggio e della variabile volume di conflitto.

CONTEGGIO	Mono	Assetto 1					Assetto 2				
		0	200	400	600	800	0	200	400	600	800
100	2	4	5	8	10	14	4	9	12	16	23
200	3	5	7	9	13	17	5	11	15	20	28
400	4	7	10	14	19	26	7	16	22	30	41
600	6	11	15	20	28	39	11	24	32	45	62
800	9	16	22	31	42	58	16	35	48	67	92

Tabella 4-7: Errori assoluti sul conteggio previsti dal modello al variare del valore di flusso di conflitto.

CONTEGGIO	Mono	Assetto 1					Assetto 2				
		0	200	400	600	800	0	200	400	600	800
100	2,3%	4,0%	5,5%	7,5%	10,4%	14,3%	4,0%	8,7%	12,0%	16,5%	22,7%
200	1,4%	2,4%	3,3%	4,6%	6,3%	8,7%	2,4%	5,3%	7,3%	10,1%	13,8%
400	1,0%	1,8%	2,5%	3,4%	4,7%	6,5%	1,8%	4,0%	5,4%	7,5%	10,3%
600	1,0%	1,8%	2,5%	3,4%	4,7%	6,5%	1,8%	3,9%	5,4%	7,5%	10,3%
800	1,1%	2,0%	2,8%	3,8%	5,3%	7,2%	2,0%	4,4%	6,1%	8,3%	11,5%

Tabella 4-8: Errori relativi sul conteggio previsti dal modello al variare del valore di flusso di conflitto.

Commento

Osservando l'andamento degli errori relativi appare evidente che l'utilizzo bidirezionale dei radar porta a errori maggiori rispetto all'utilizzo in modalità monodirezionale, coerentemente a quanto ottenuto nel caso dell'errore assoluto.

Considerando il 5% come errore relativo accettabile per applicazioni operative (un benchmark *de facto*), si può osservare come il radar monodirezionale sia sempre sotto tale soglia d'errore (curva azzurra nei grafici in *Figure 4-18 e 4-19*). In *Tabella 4-8* è possibile osservare inoltre che, escludendo i valori bassi di flusso (ai quali corrispondono errori assoluti certamente non significativi, vedi *Tabella 4-*

7), il radar monodirezionale attesta il suo errore relativo attorno all'1% per i valori di flusso d'interesse (valori superiori a 400 *veh/h*).

Per quanto riguarda la configurazione bidirezionale, si può osservare che a valori contenuti del flusso veicolare osservato corrisponde un elevato errore relativo. Tuttavia, ancora una volta, in termini assoluti (*Tabella 4-7*), l'errore non è rilevante.

È invece interessante osservare, ai fini applicativi, che l'errore relativo può essere superiore al 5% per flussi di conflitto superiori ai 400 *veh/h* quando il radar rileva la corsia più lontana (ASSETTO = 2), e per flussi di conflitto superiori a 800 *veh/h* quando rileva la corsia più vicina (ASSETTO = 1).

Per flussi di conflitto elevati (attorno agli 800 *veh/h*) il radar bidirezionale che rileva la corsia più lontana mostra errori attorno al 10%, che potrebbero essere ancora maggiori, ricordando che il modello tende a sottostimare gli errori per flussi elevati. Alla luce di quanto si evince da questi risultati, l'utilizzo dei radar in modalità bidirezionale va adottato con cautela, a causa dei problemi che possono verificarsi durante il conteggio di entrambe le corsie.

Conclusioni

Il lavoro di tesi condotto si proponeva di analizzare le prestazioni offerte dai radar di tipo Doppler utilizzati in modalità monodirezionale (rilievo di una corsia) o in modalità bidirezionale (rilievo di due corsie, con diverso senso di marcia).

In particolare, per i dati raccolti in modalità bidirezionale si voleva valutare l'impatto del fenomeno di occlusione dovuto ai veicoli in transito sulla corsia più vicina sulla qualità dei dati di traffico raccolti, sopperendo ad una lacuna informativa sul tema emersa nel corso dell'analisi bibliografica condotta.

L'ampia campagna di indagine condotta sul campo ha permesso di costruire una robusta base dati e confrontare i dati ottenuti dalla codifica dei video con i dati ottenuti dai radar. L'analisi statistica si è basata sulla stima di modelli di regressione per variabili "conteggio" (il volume totale in transito) e, più in dettaglio, sull'utilizzo di un modello di regressione binomiale negativa, opportunamente scelto dopo aver testato diverse forme funzionali alternative.

I risultati ottenuti dall'analisi del modello sono molteplici:

- all'aumentare del volume totale aumenta l'errore associato al conteggio per entrambe le configurazioni considerate, anche se i radar bidirezionali producono errori maggiori rispetto agli equivalenti monodirezionali;
- il fenomeno di occlusione determina un peggioramento delle prestazioni (sottostima dei veicoli in transito) in entrambe le corsie oggetto di rilievo, più evidente per la corsia maggiormente occlusa. Tale peggioramento è correlato positivamente all'entità del volume di conflitto presente e risulta di particolare interesse, poiché meno intuibile a priori, per quanto riguarda la corsia più vicina;
- in termini di errore relativo, le differenze tra rilievo monodirezionale e bidirezionale risultano evidenti. Se nel caso monodirezionale questo si attesta ben al di sotto del 5% (circa pari all'1% per volumi veicolari superiori a 200 *veh/h*), nel caso bidirezionale l'errore relativo può superare il 5% per la corsia lontana laddove i volumi sulla corsia vicina sono dell'ordine dei 400 *veh/h* e complessivamente i flussi bidirezionali sono superiori a 800 *veh/h*.

In conclusione, il lavoro di tesi dimostra che, nonostante il minor costo d'installazione, l'uso dei radar in modalità bidirezionale deve essere adottato con cautela, a causa delle problematiche ad esso connesso, che possono portare a errori significativi nel conteggio veicolare, con un impatto negativo nelle valutazioni da essi derivati

Bibliografia

- Chang, D. K., Saito, M., Schultz, G. G. & Eggett, D. L. (2016). Use of Hi-resolution data for evaluating accuracy of traffic volume counts collected by microwave sensors. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 4(5), 423-435. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtte.2017.06.002>
- Coifman, B. (2004) An Assessment of Loop Detector and RTMS Performance. *UC Berkeley: California Partners for Advanced Transportation Technology*. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/3qt5909m>
- Coxe, S., West, S. G., & Aiken, L. S. (2009). The Analysis of Count Data: A Gentle Introduction to Poisson Regression and Its Alternatives. *Journal of Personality Assessment*. 91(2), 121-136. <https://doi.org/10.1080/00223890802634175>
- Dalla Chiara, B., Bifulco, G. N., Fusco, G., Barabino, B., Corona, G., Rossi, R., e Studer, L. (2013). *ITS nei trasporti stradali. Tecnologie metodi ed applicazioni*. Egaf.
- Federal Highway Administration. (2006). *Traffic Detector Handbook*, Vol.1. (Publication No. FHWA-HRT-06-108). U.S. Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/06108.pdf>
- Federal Highway Administration. (2022). *Traffic Monitoring Guide*. U.S. Department of Transportation. https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/tmguide/2022_TMG_Final_Report.pdf.
- Florida Department of Transportation. (2023). *Traffic Monitoring Handbook*. https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/statistics/docs/tmhandbook.pdf?sfvrsn=e8a9f204_6
- Huang, F. L. & Cornell, D. G. (2012). Pick Your Poisson: A Tutorial on Analyzing Counts of Student Victimization Data. *Journal of School Violence*. 11(3), 187-206. <https://doi.org/10.1080/15388220.2012.682010>
- Kondyli, A., Schrock, S. D. & Chrysikopoulos, G. (2019). *Improving the Accuracy and Applicability of Kansas Traffic Data*. (Report Number: K-TRAN: KU-17-2). Kansas Department of Transportation.

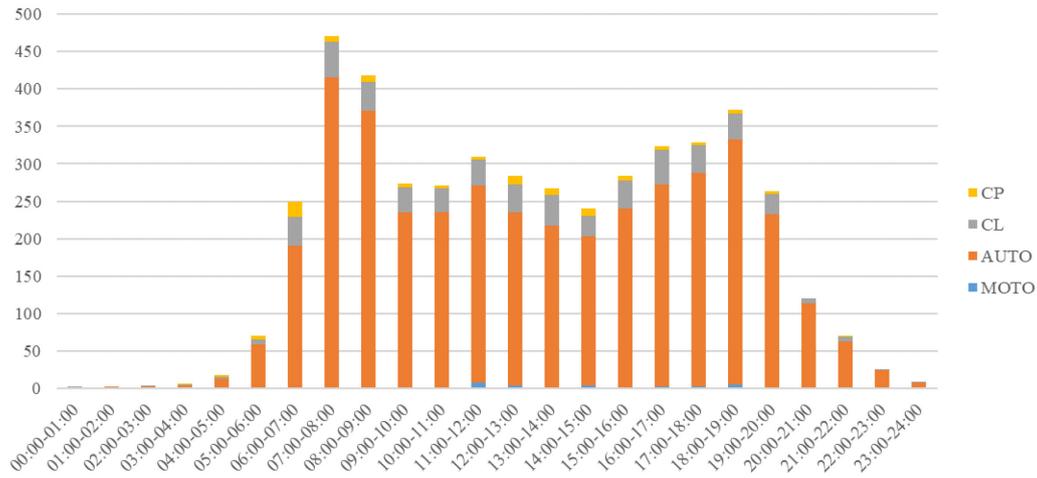
- Middleton, D. & Parker, R. (2002). *Vehicle Detector Evaluation*. (Report No. 2119-1) Texas Transportation Institute, Texas Department of Transportation. Retrieved from: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/2119-1.pdf>
- Minge, E., Kotzenmacher, J. & Peterson, S. (2010). *Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection*. (Report No. MN/RC 2010-36) Minnesota Department of Transportation – Research Services Section. Retrieved from: <https://www.lrrb.org/pdf/201036.pdf>
- Ministero dei Lavori Pubblici. (2001). *Sistemi di Monitoraggio del Traffico – Linee Guida per la Progettazione*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. https://trafficlub.eu/bfd_download/linee-guida-del-monitoraggio-del-traffico/
- Mussone, L. e Marescotti, L. (2007). *Conoscenza e monitoraggio della domanda di mobilità nelle aree metropolitane. Teoria, applicazioni e tecnologia*. Libreria Clup.
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL: <https://www.R-project.org/>.
- TT Tech Traffic Solution, ViaCount II Datasheet, Retrieved January 4, 2024 from: <http://www.tttech.it/prodotti/traffico/viacount/>

ALLEGATO 1

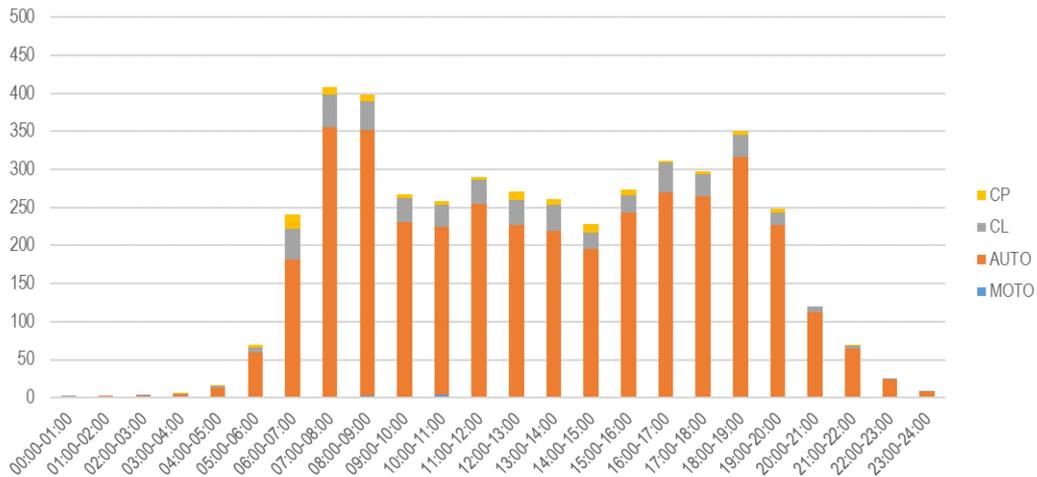
Profili di traffico

R01 – COMUNE DI CAMPONOGARA – 15/04/2021

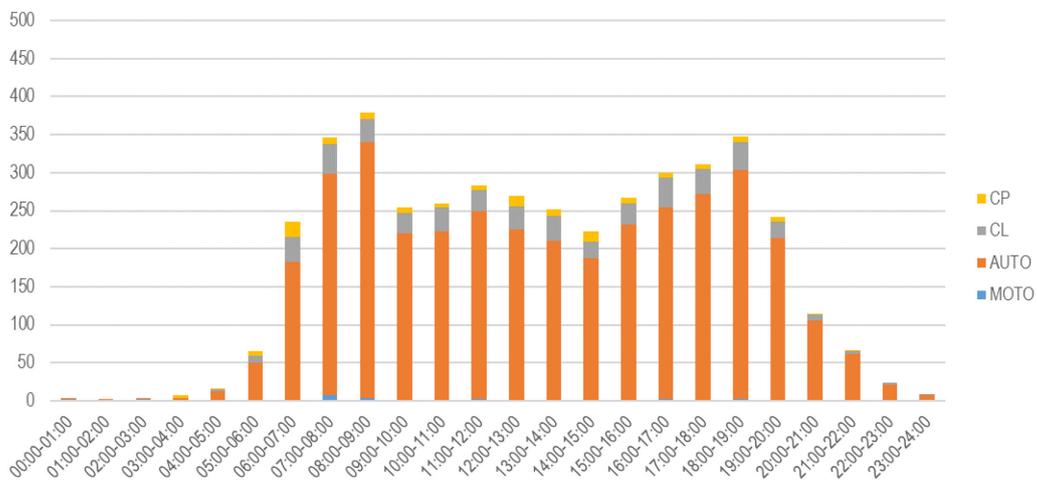
R01 - Direzione Nord. Monodirezionale



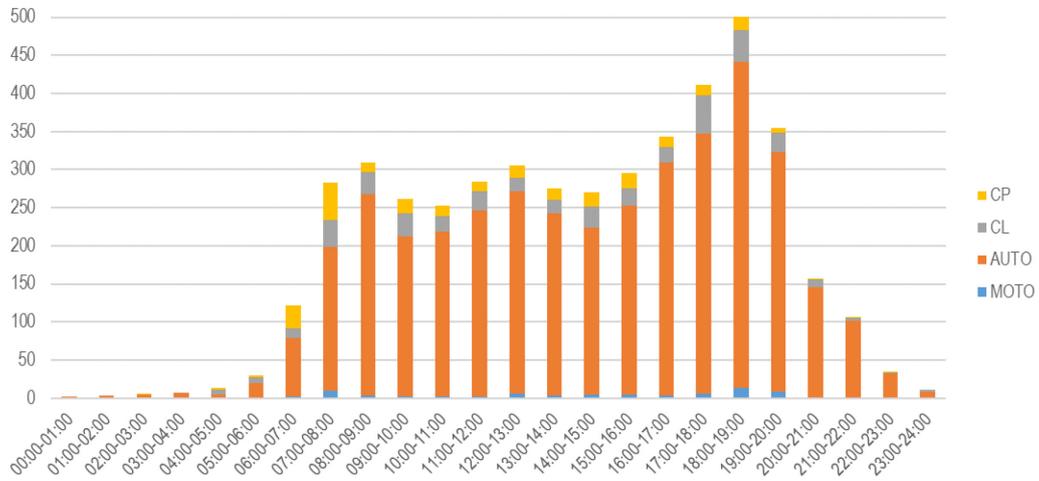
R01 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia vicina



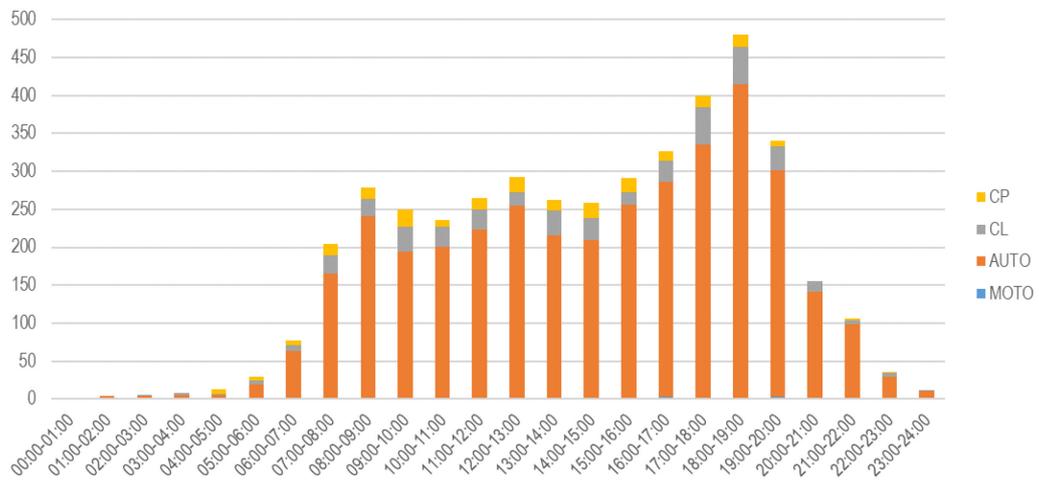
R01 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia lontana



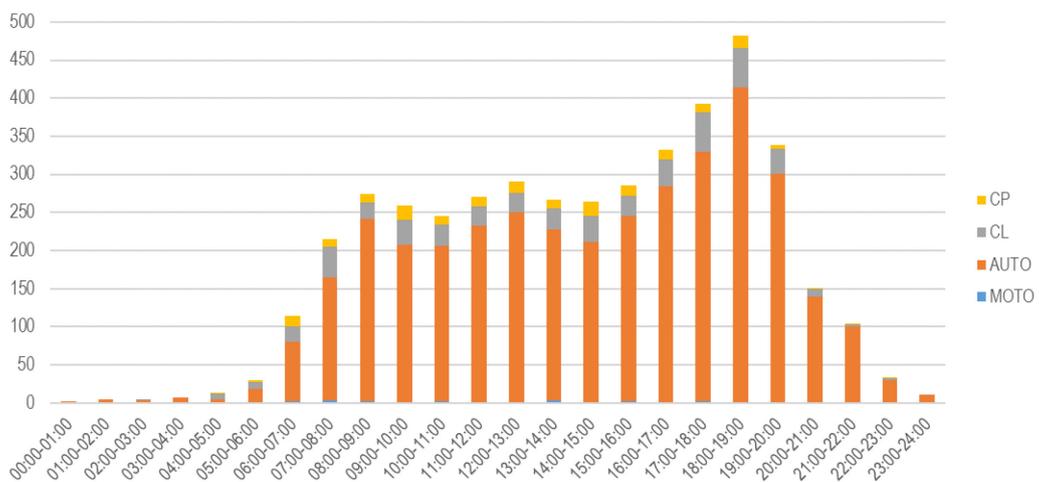
R01 - Direzione Sud. Monodirezionale



R01 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia vicina

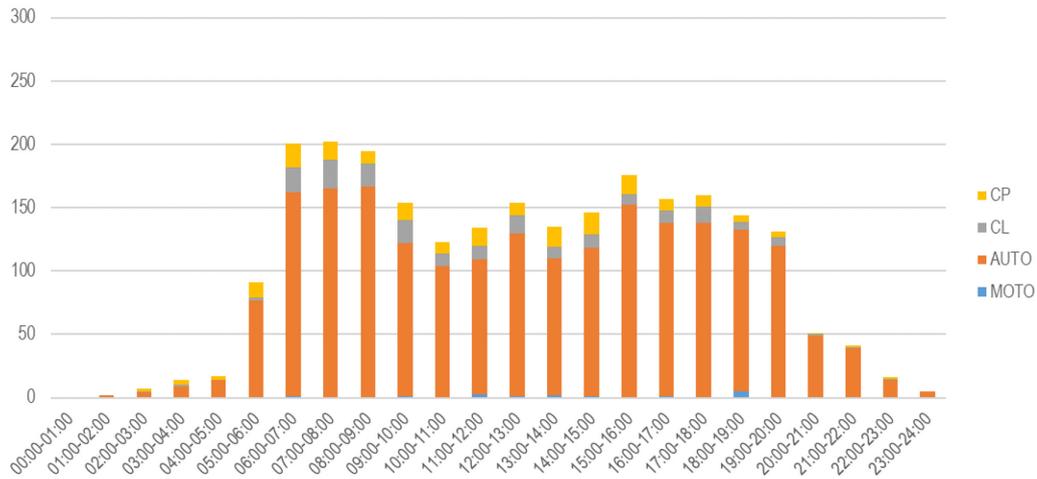


R01 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia lontana

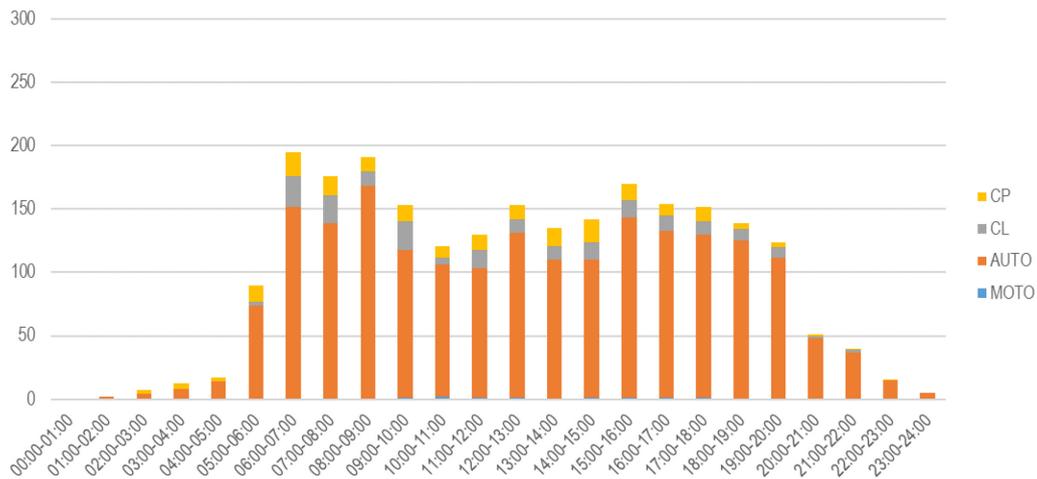


R02 – COMUNE DI CAMPONOGARA – 15/04/2021

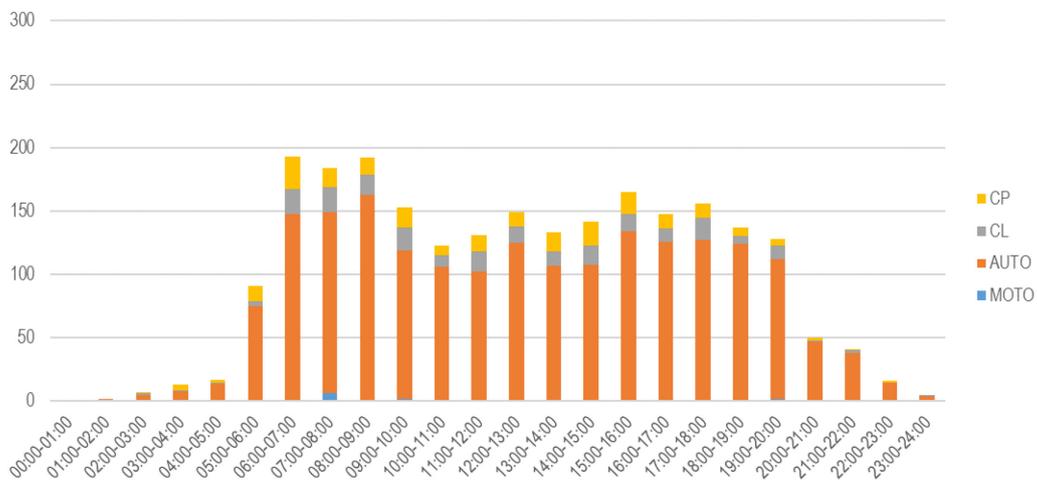
R02 - Direzione Est. Monodirezionale



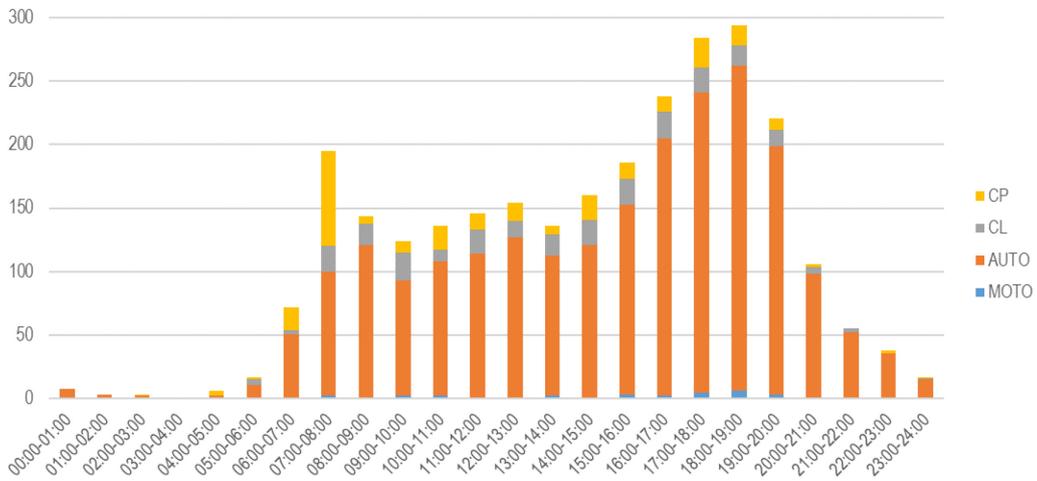
R02 - Direzione Est. Bidirezionale - corsia vicina



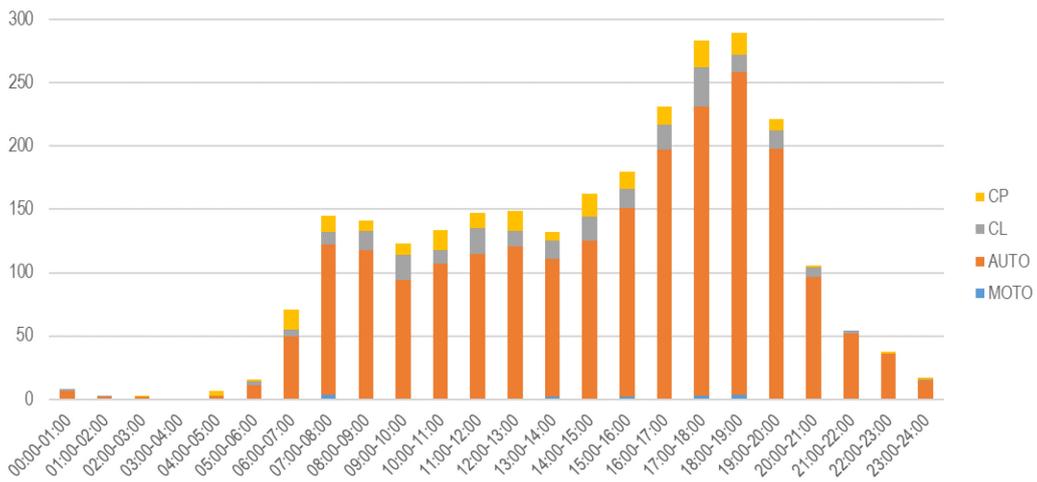
R02 - Direzione Est. Bidirezionale - corsia lontana



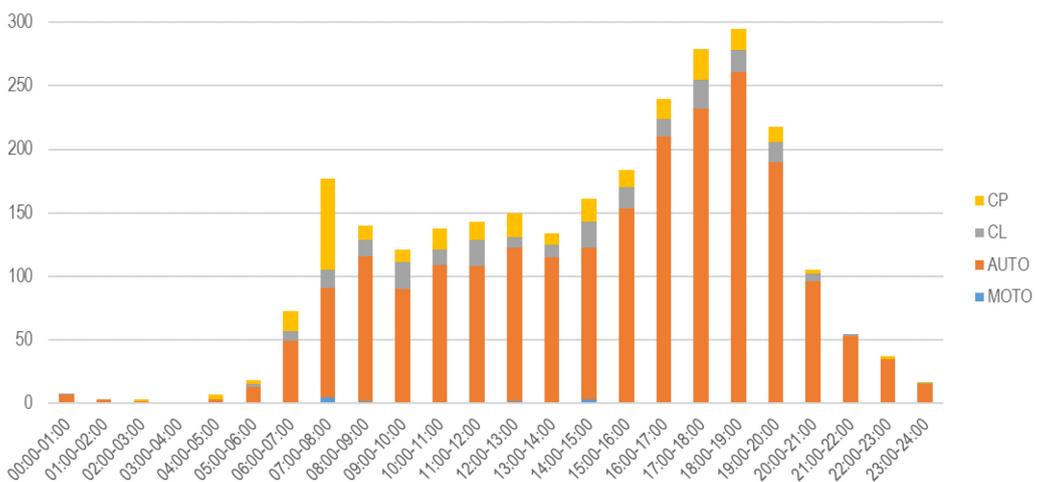
R02 - Direzione Ovest. Monodirezionale



R02 - Direzione Ovest. Bidirezionale - corsia vicina

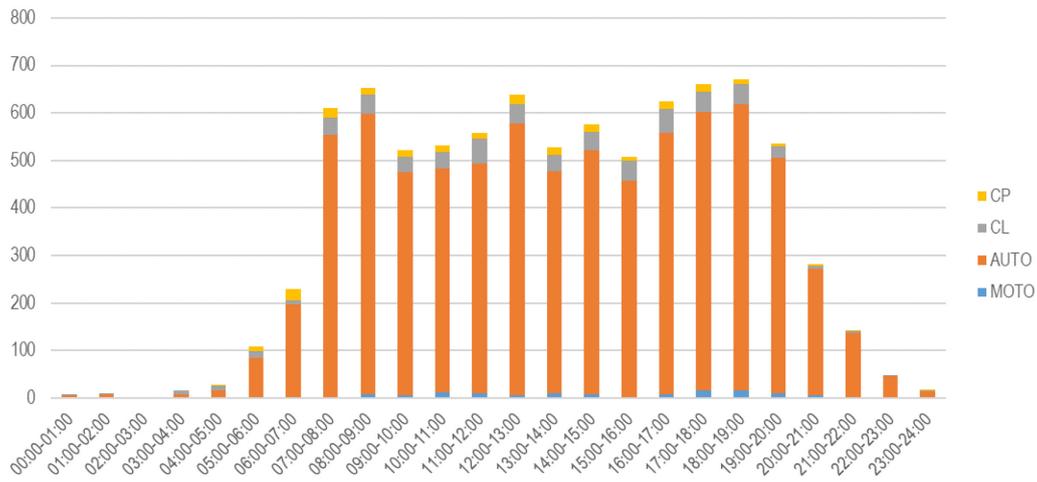


R02 - Direzione Ovest. Bidirezionale - corsia lontana

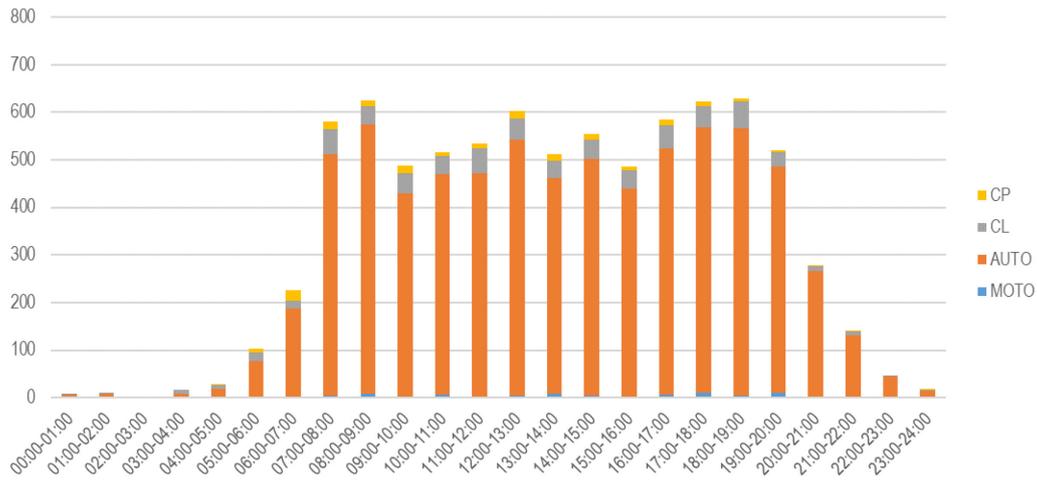


R03 – COMUNE DI FIESSO D'ARTICO – 20/04/2021

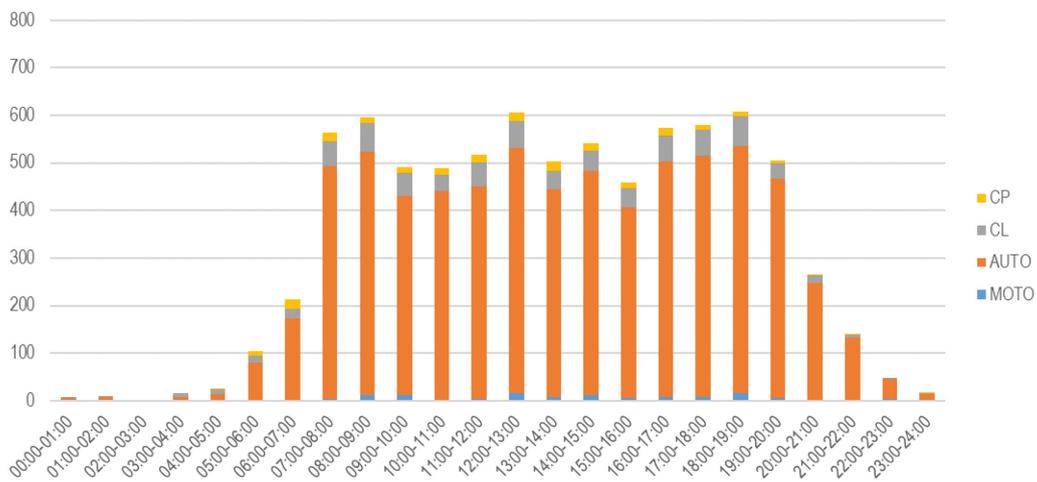
R03 - Direzione Est. Monodirezionale



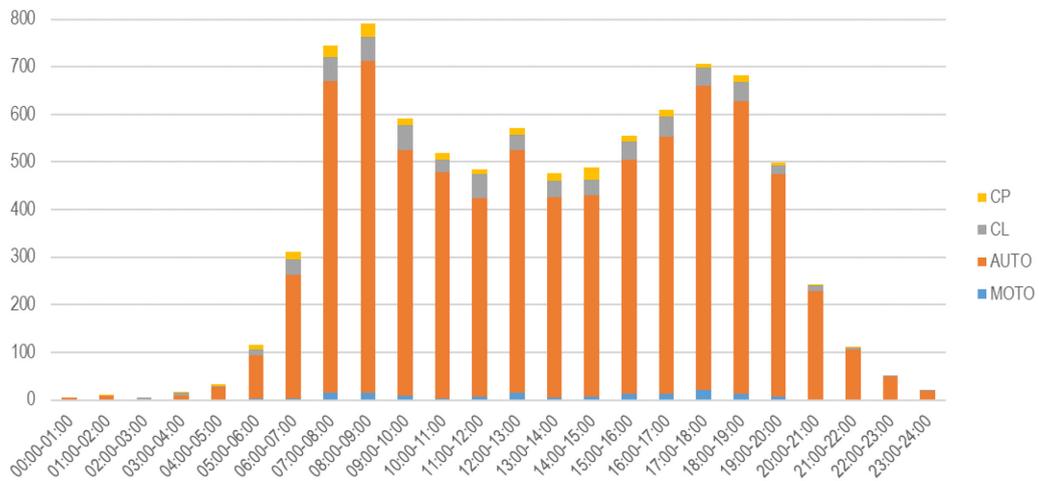
R03 - Direzione Est. Bidirezionale - corsia vicina



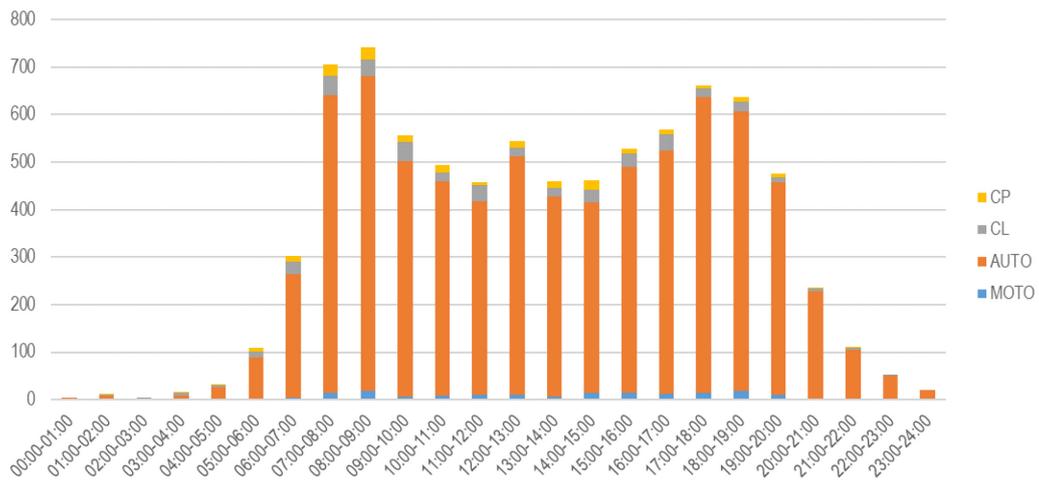
R03 - Direzione Est. Bidirezionale - corsia lontana



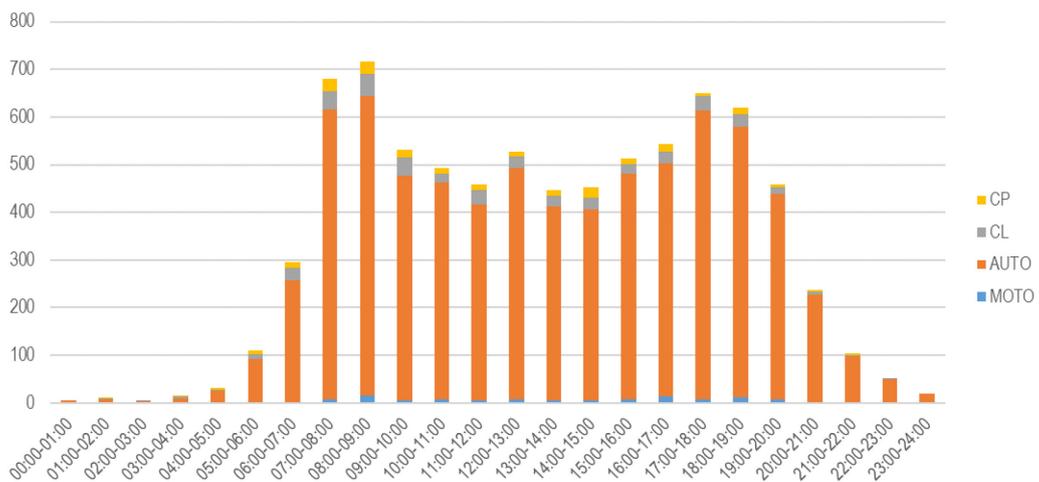
R03 - Direzione Ovest. Monodirezionale



R03 - Direzione Ovest. Bidirezionale - corsia vicina

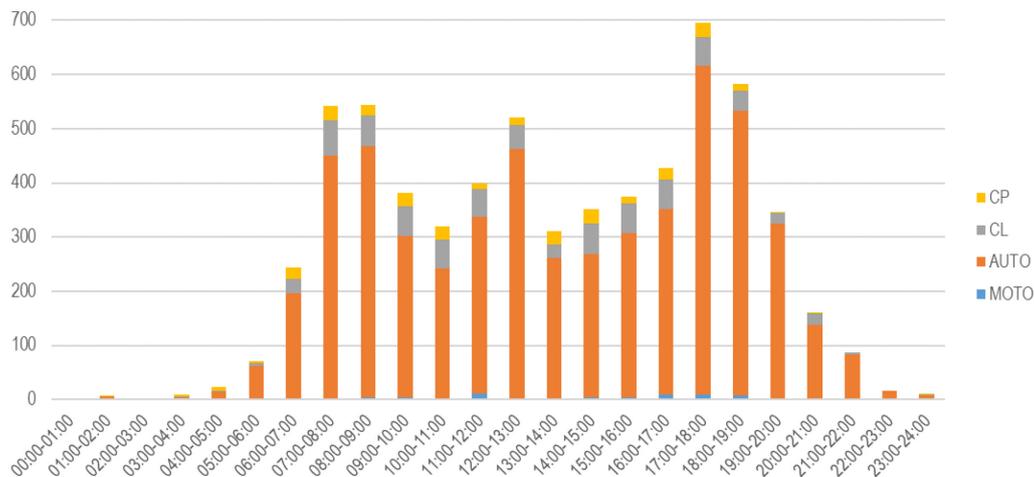


R03 - Direzione Ovest. Bidirezionale - corsia lontana

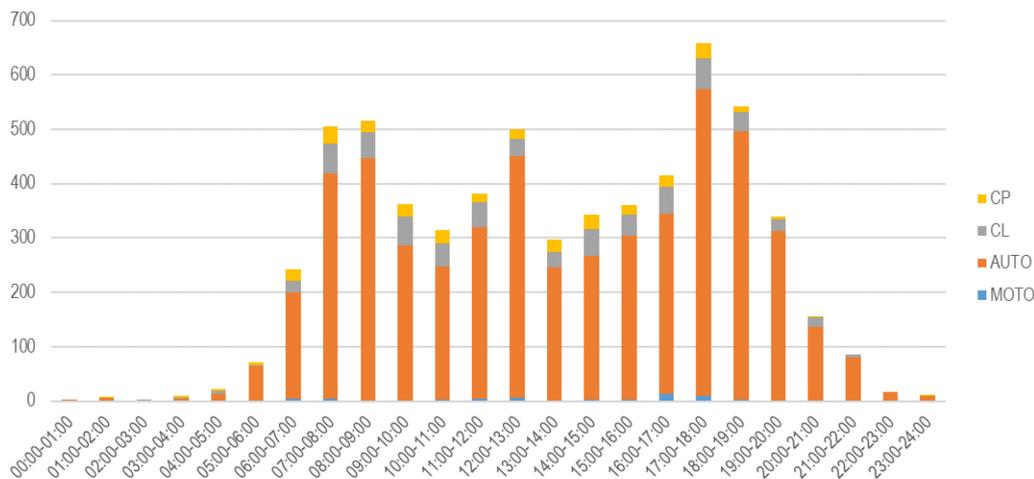


R04 – COMUNE DI FOSSÒ – 20/04/2021

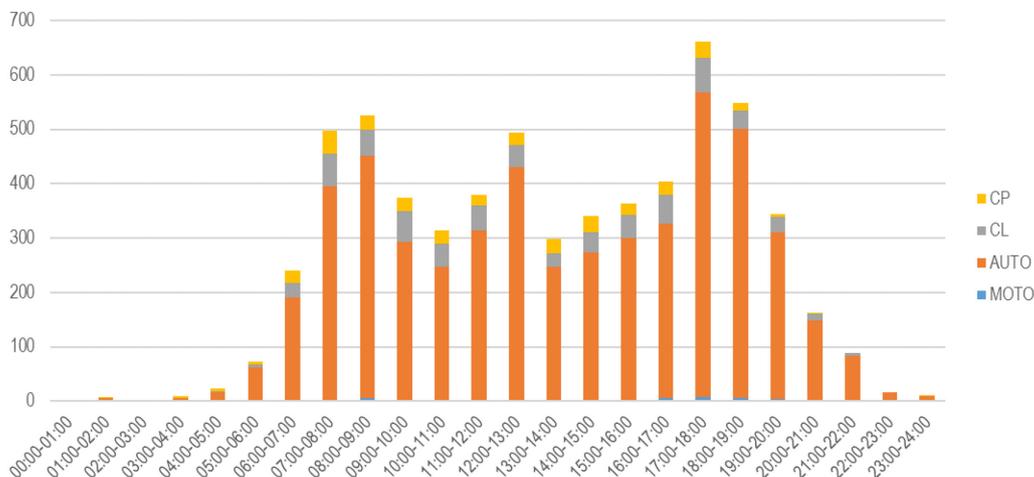
R04 - Direzione Nord. Monodirezionale



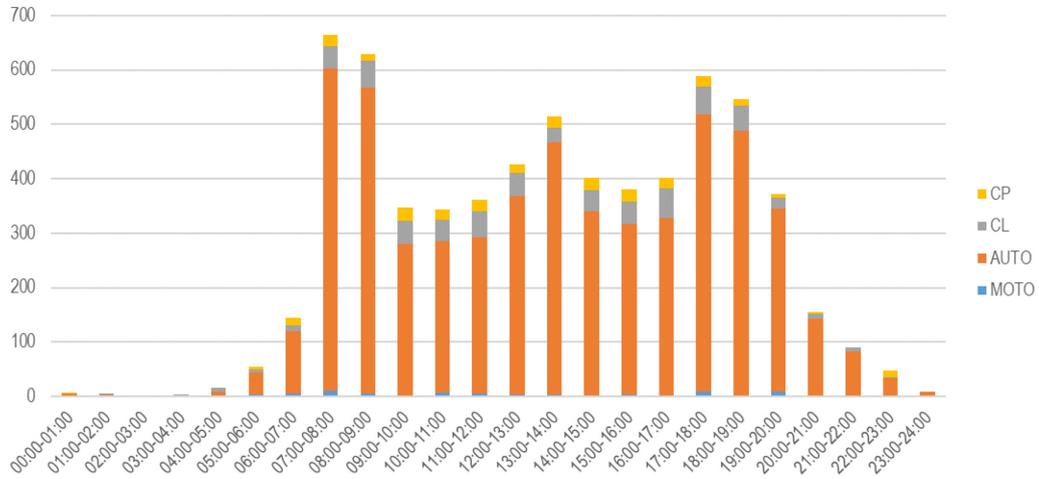
R04 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia vicina



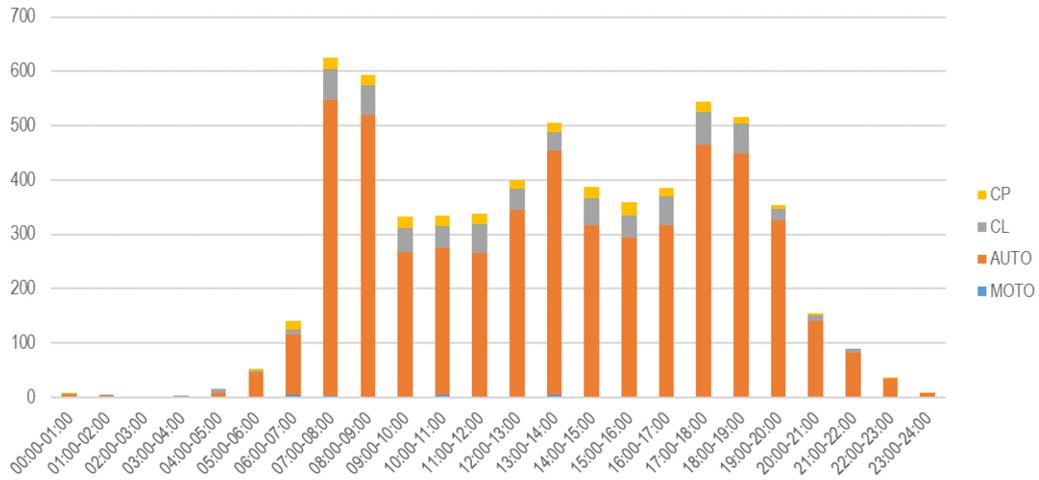
R04 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia lontana



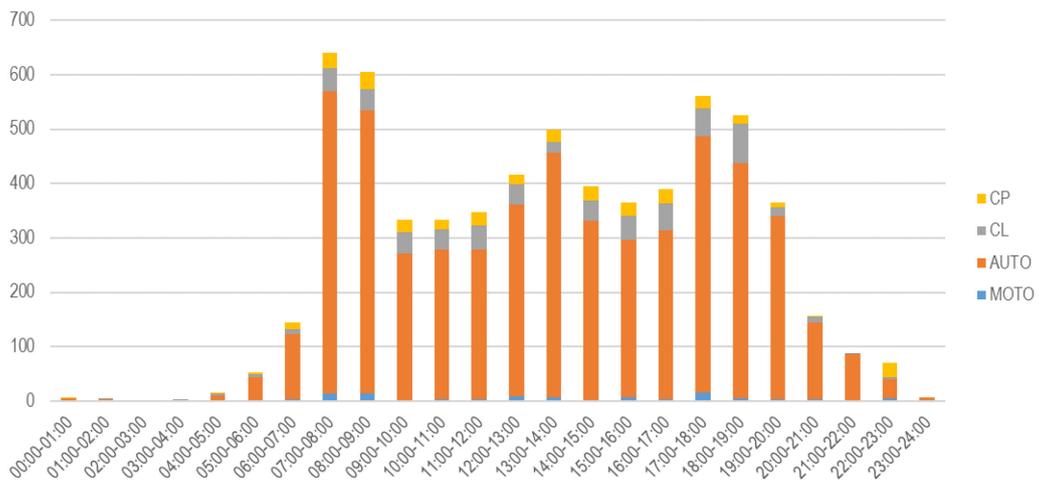
R04 - Direzione Sud. Monodirezionale



R04 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia vicina

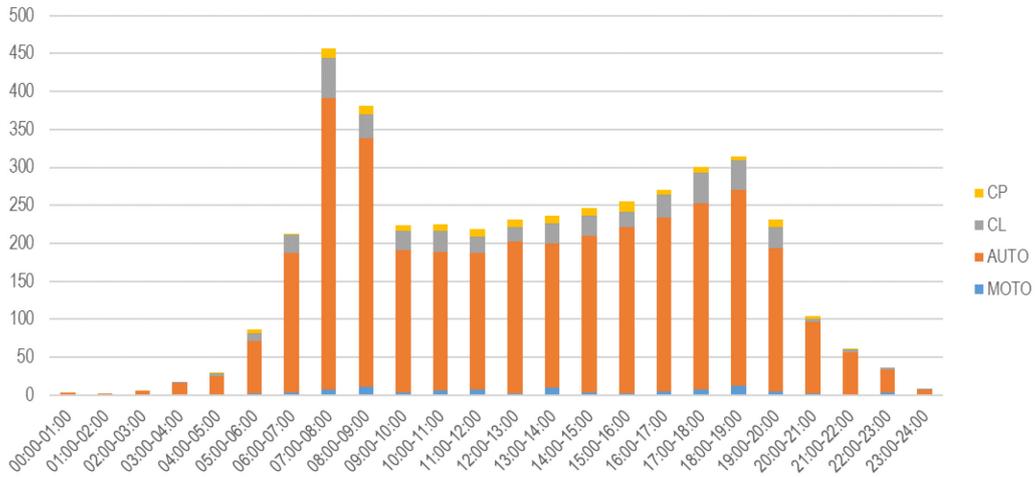


R04 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia lontana

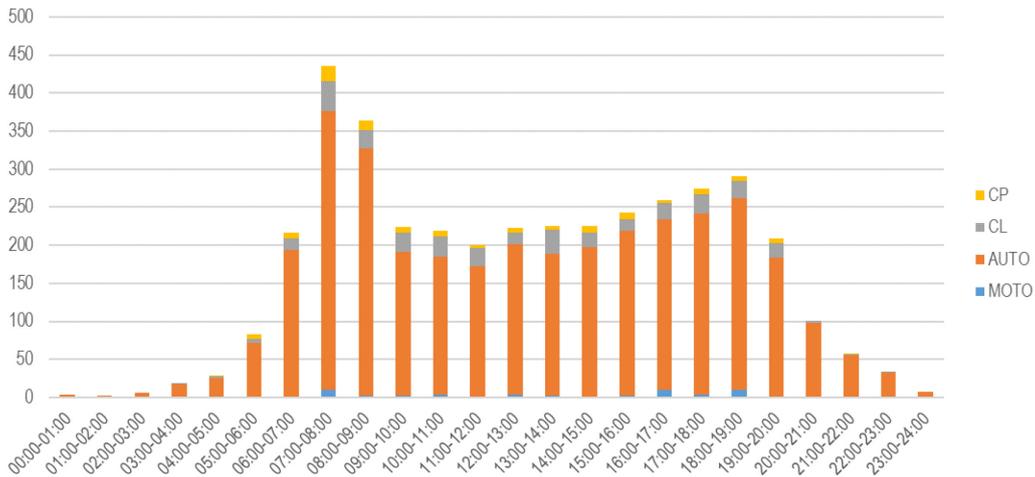


R05 – COMUNE DI MIRA – 22/04/2021

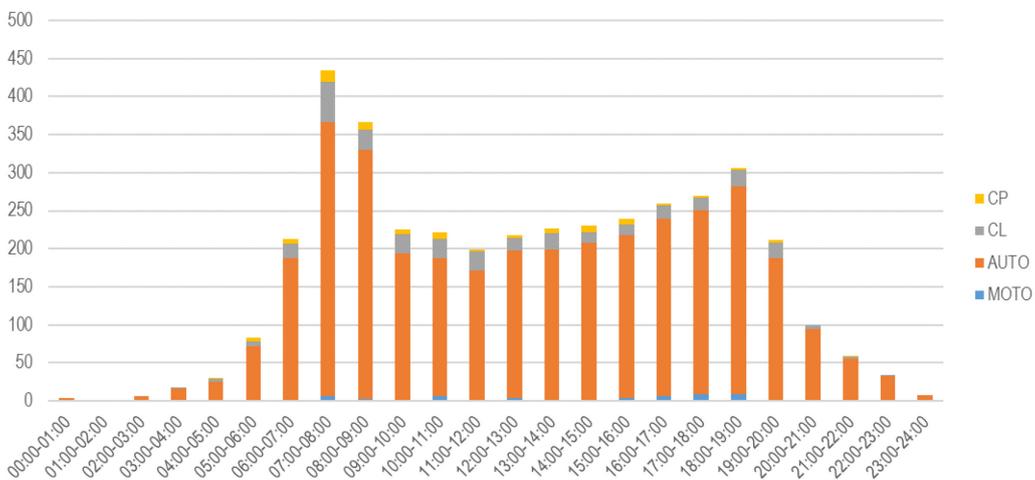
R05 - Direzione Nord. Monodirezionale



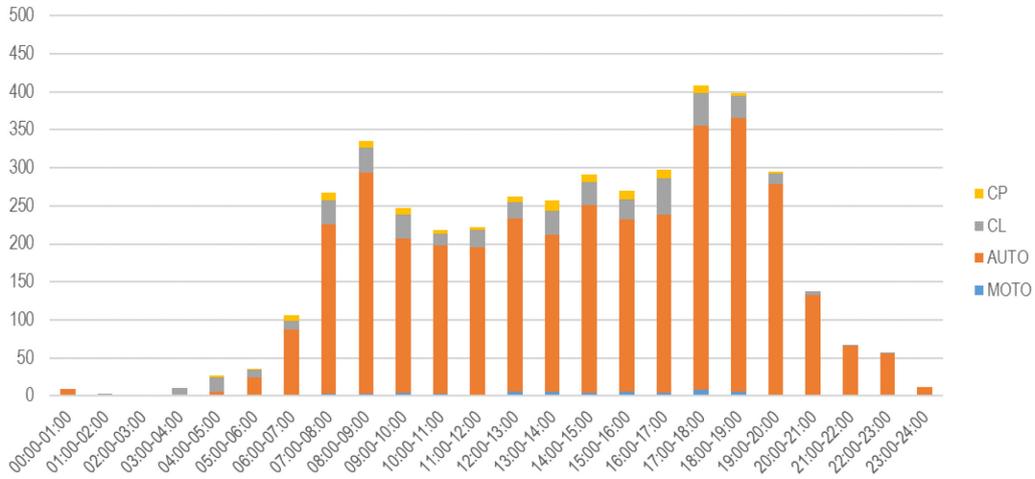
R05 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia vicina



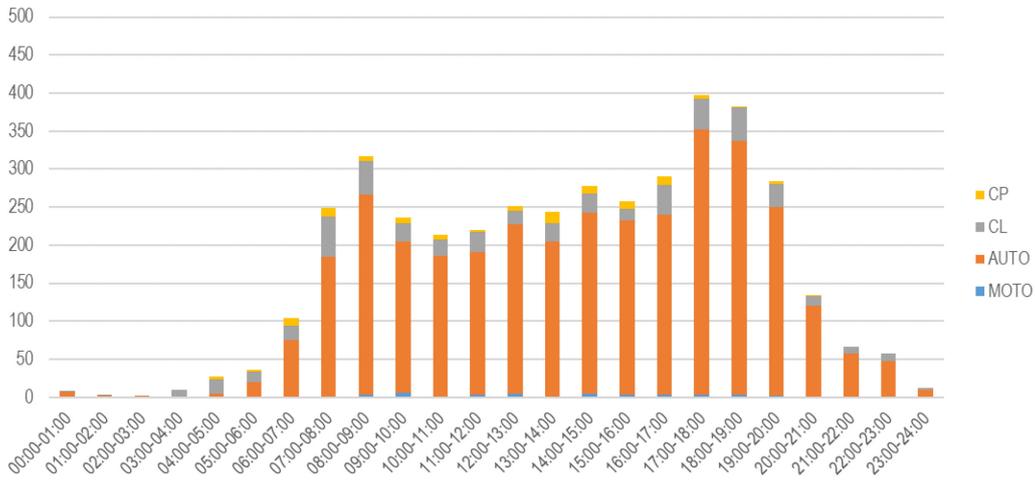
R05 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia lontana



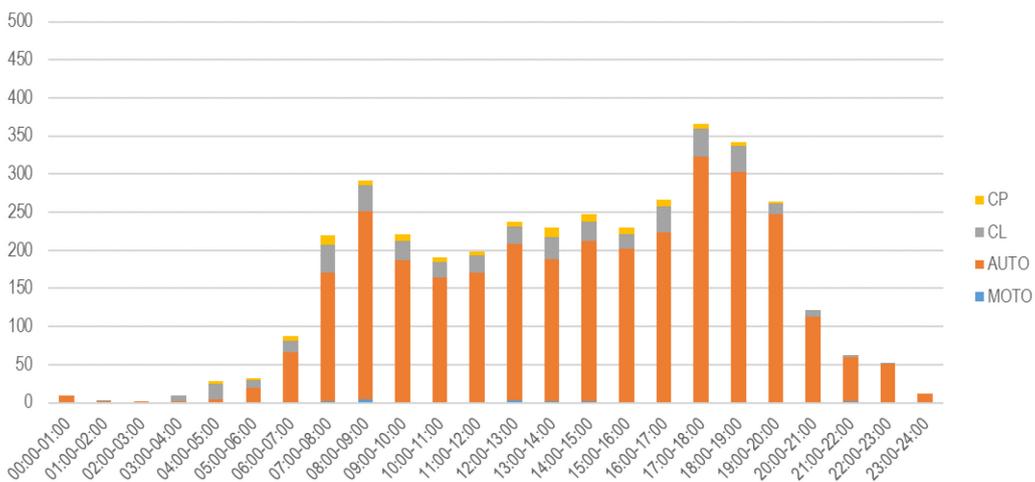
R05 - Direzione Sud. Monodirezionale



R05 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia vicina

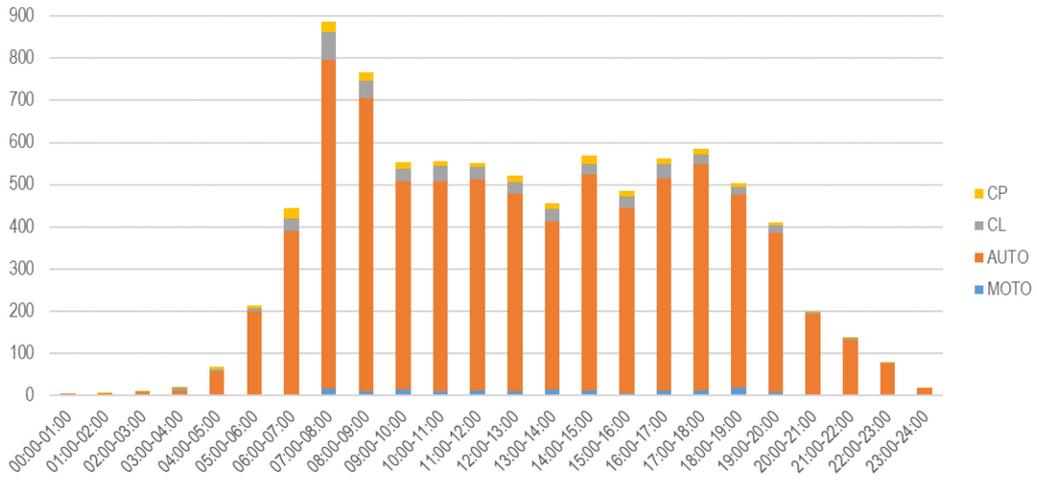


R05 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia lontana

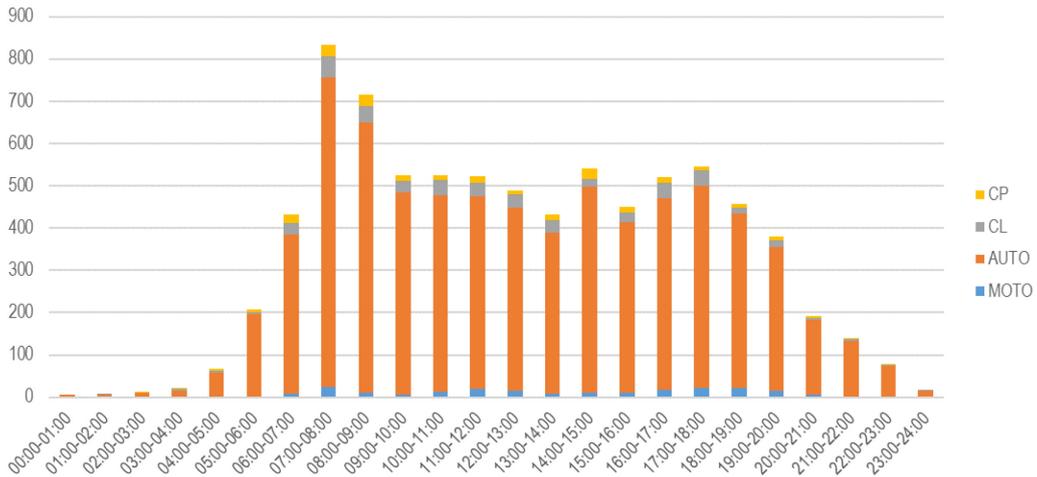


R06 – COMUNE DI MIRA – 22/04/2021

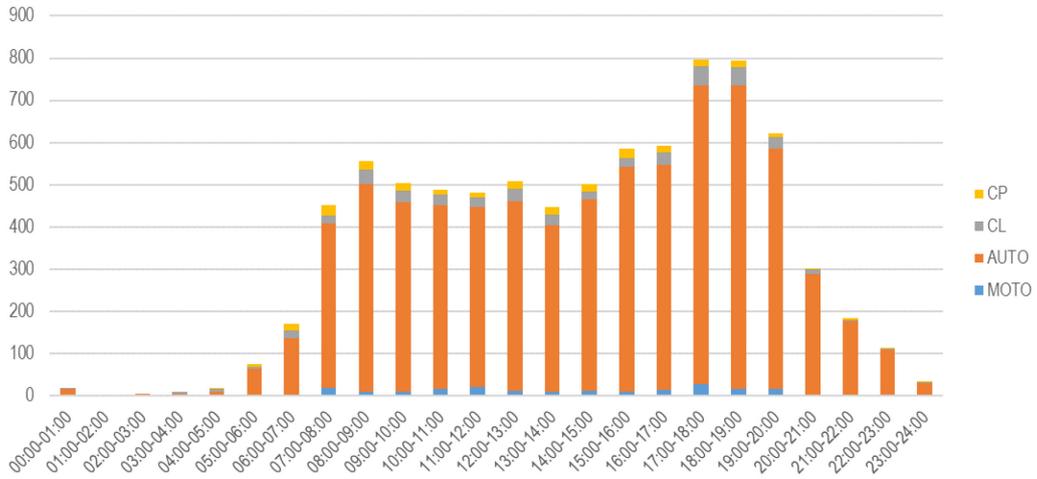
R06 - Direzione Nord. Monodirezionale



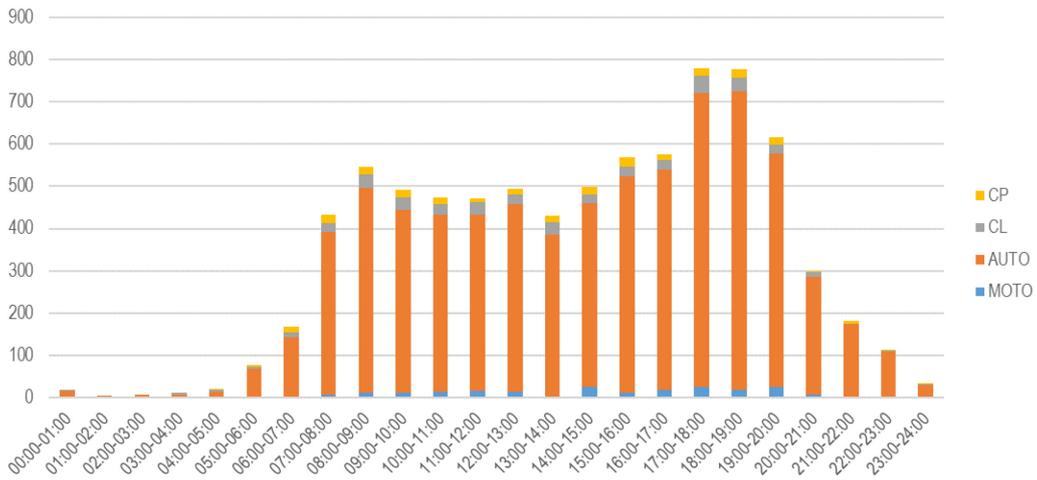
R06 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia lontana



R06 - Direzione Sud. Monodirezionale

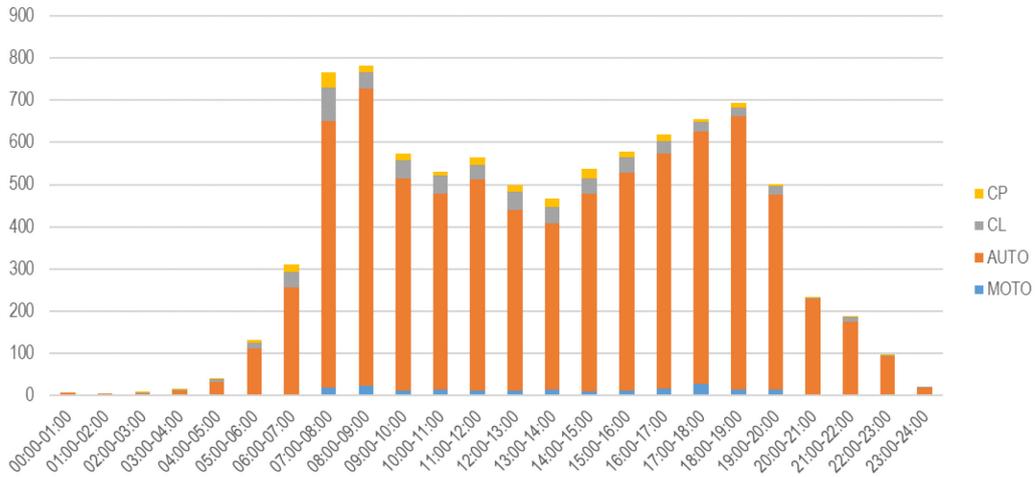


R06 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia vicina

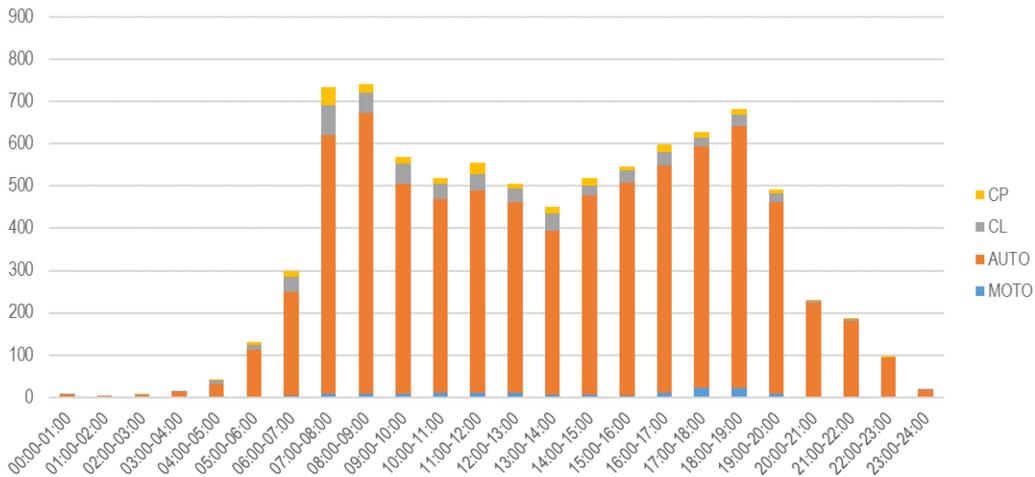


R07 – COMUNE DI MARTELLAGO – 28/04/2021

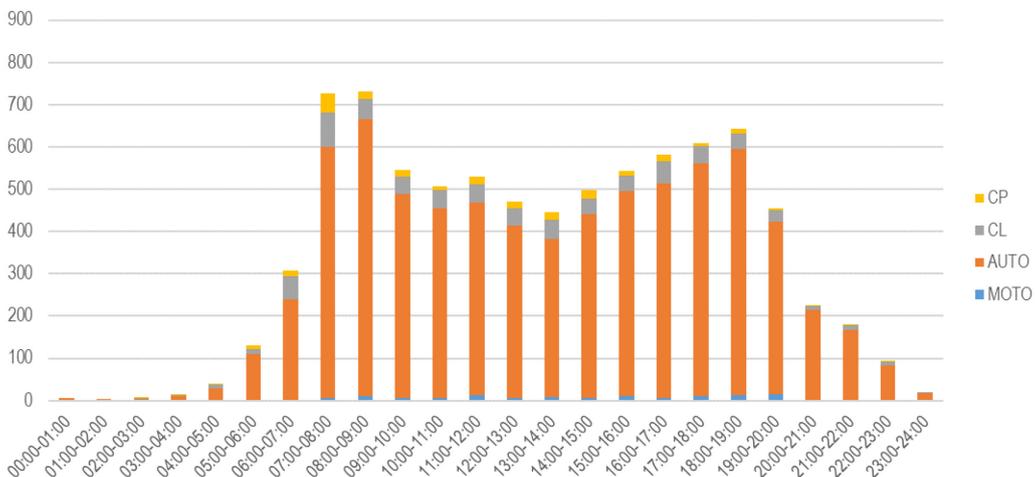
R07 - Direzione Sud-Est. Monodirezionale



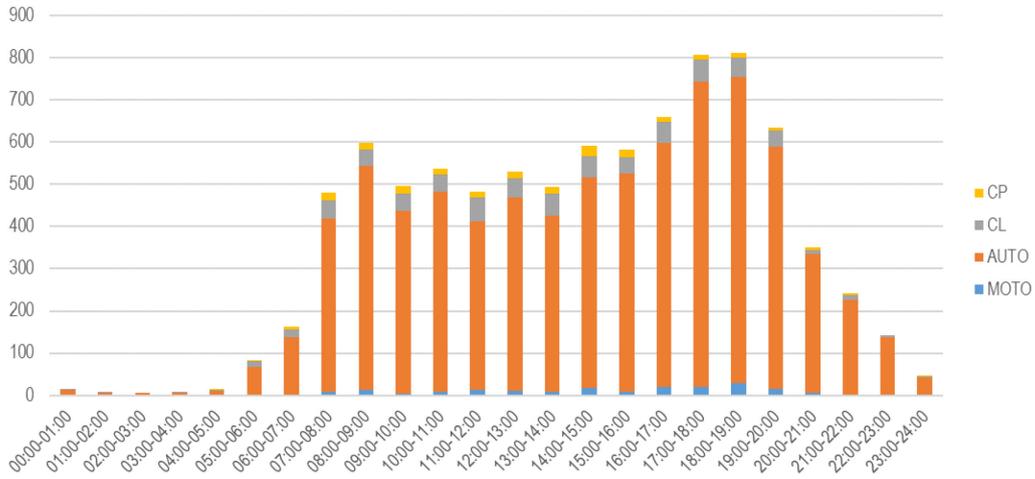
R07 - Direzione Sud-Est. Bidirezionale corsia vicina



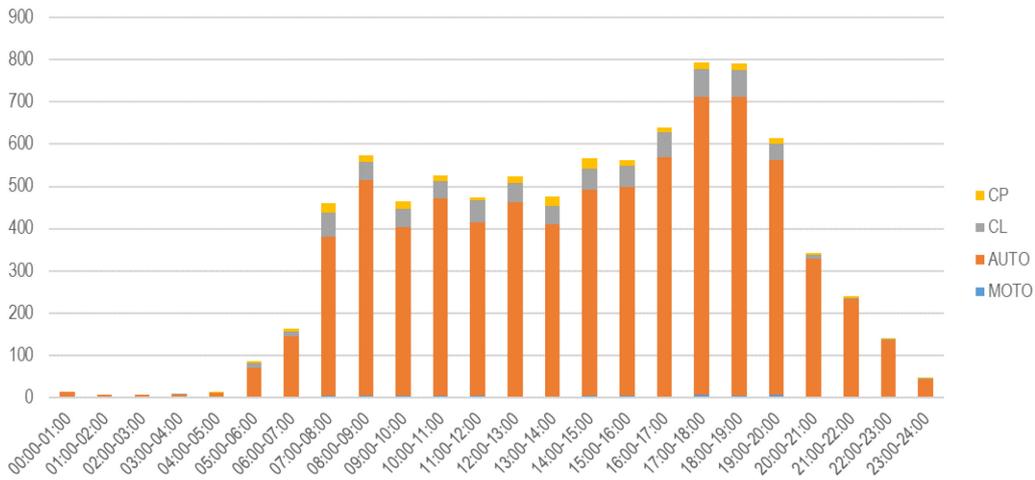
R07 - Direzione Sud-Est. Bidirezionale corsia lontana



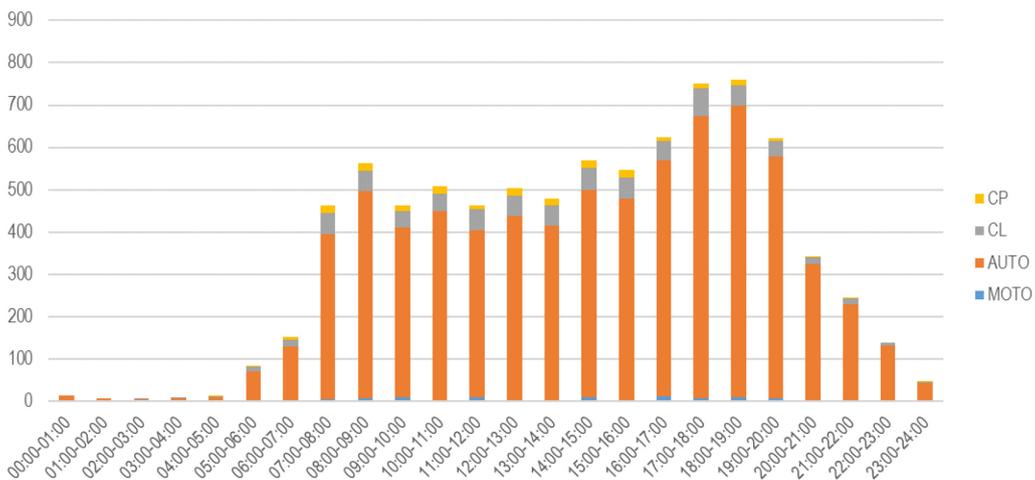
R07 - Direzione Nord-Ovest. Monodirezionale



R07 - Direzione Nord-Ovest. Bidirezionale corsia vicina

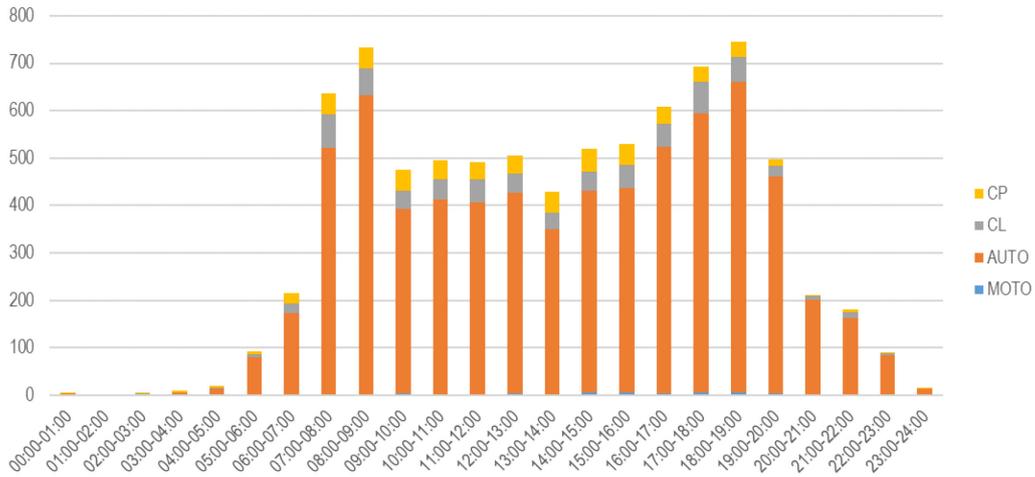


R07 - Direzione Nord-Ovest. Bidirezionale corsia lontana

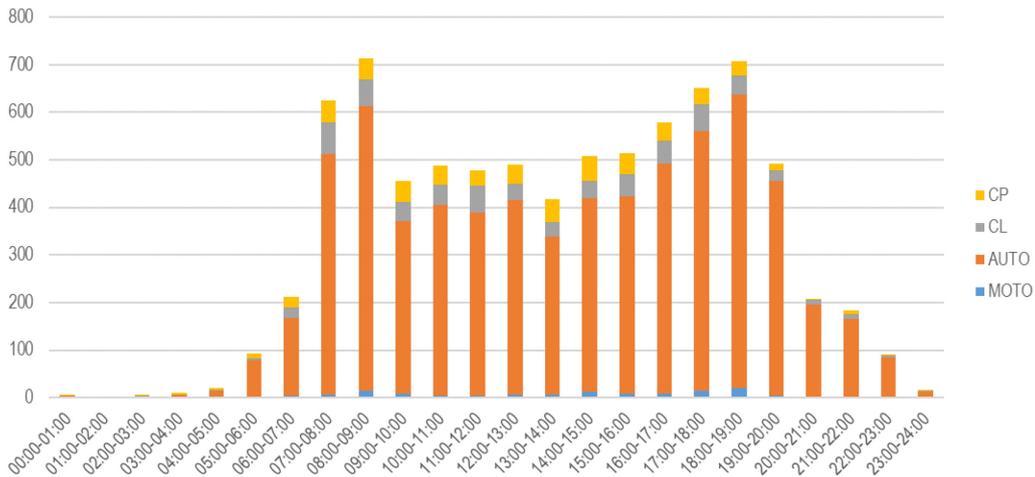


R08 – COMUNE DI MARTELLAGO – 28/04/2021

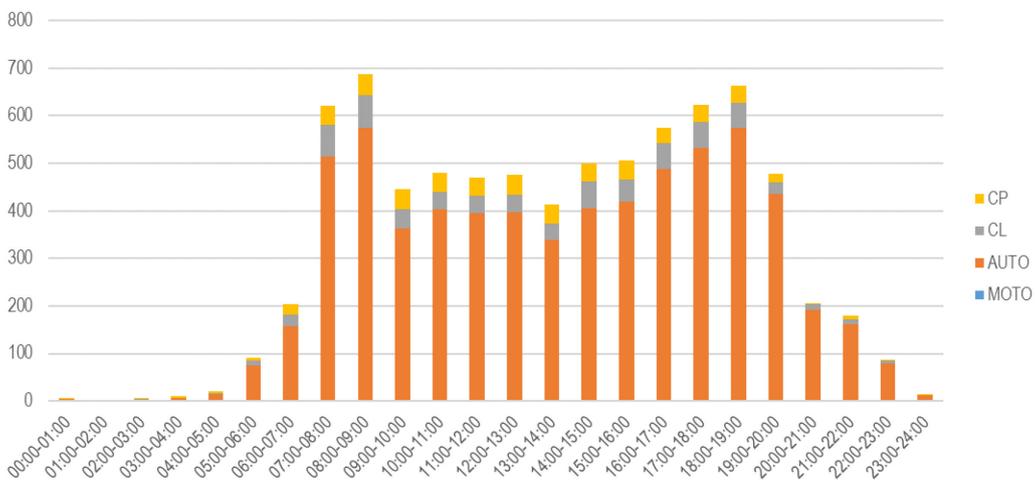
R08 - Direzione Nord. Monodirezionale



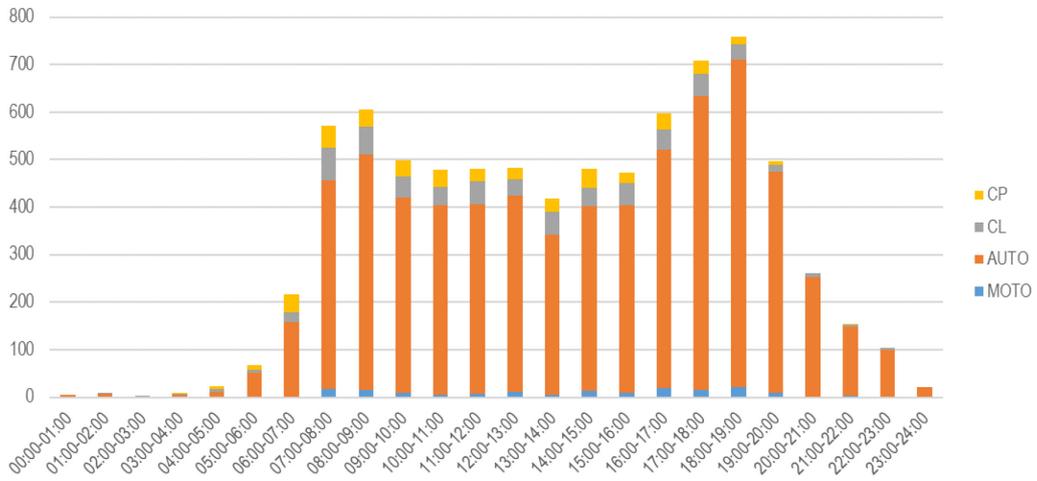
R08 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia vicina



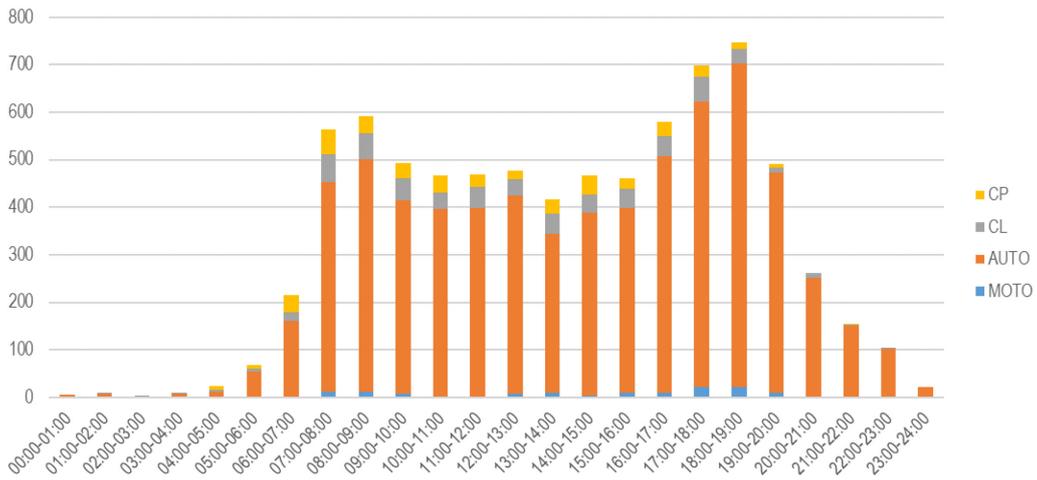
R08 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia lontana



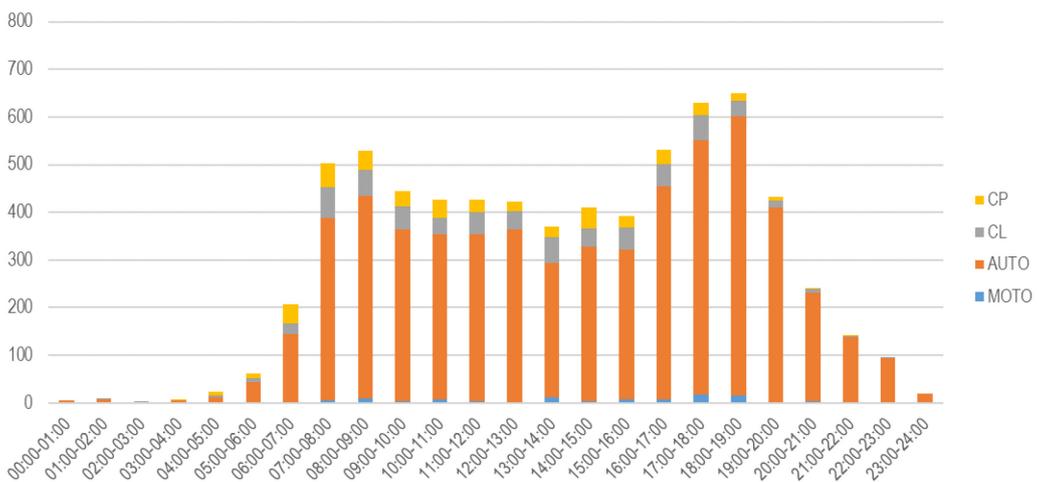
R08 - Direzione Sud. Monodirezionale



R08 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia vicina

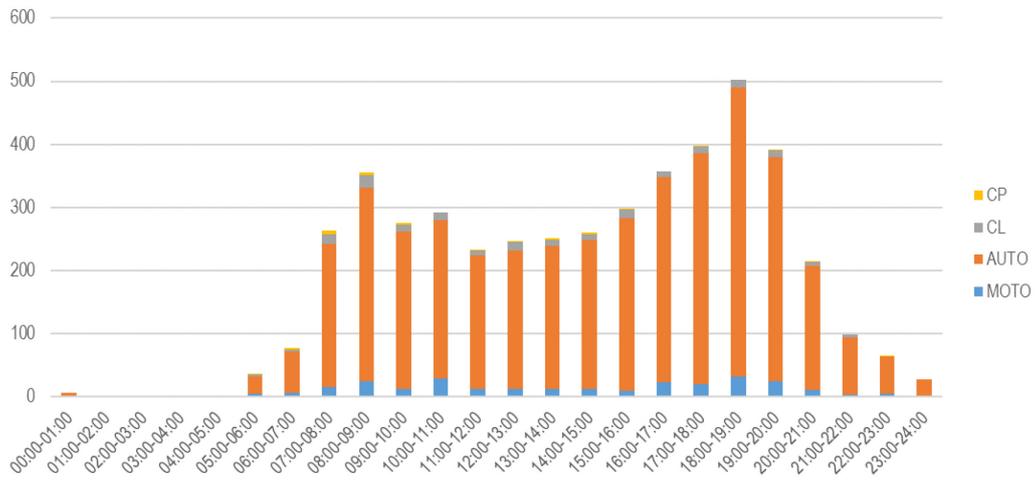


R08 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia lontana

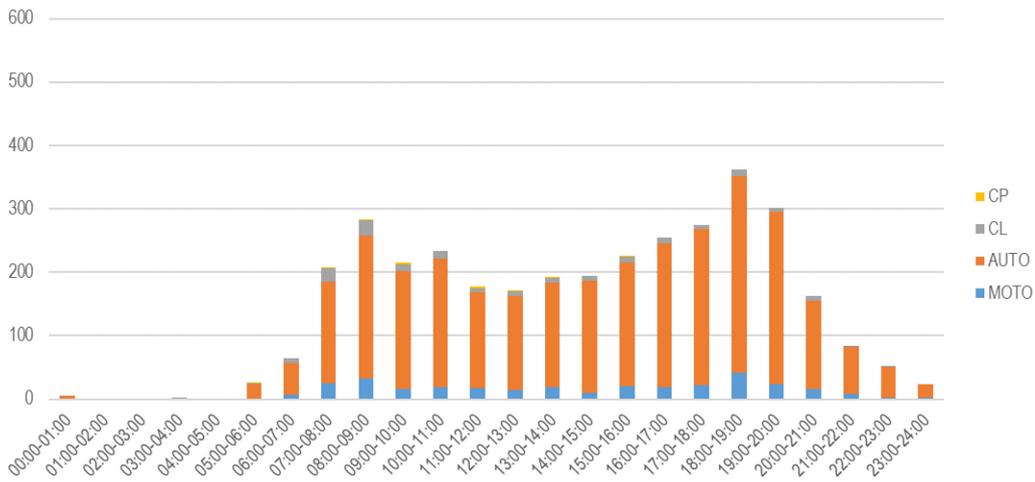


R09 – COMUNE DI PADOVA – 20/05/2021

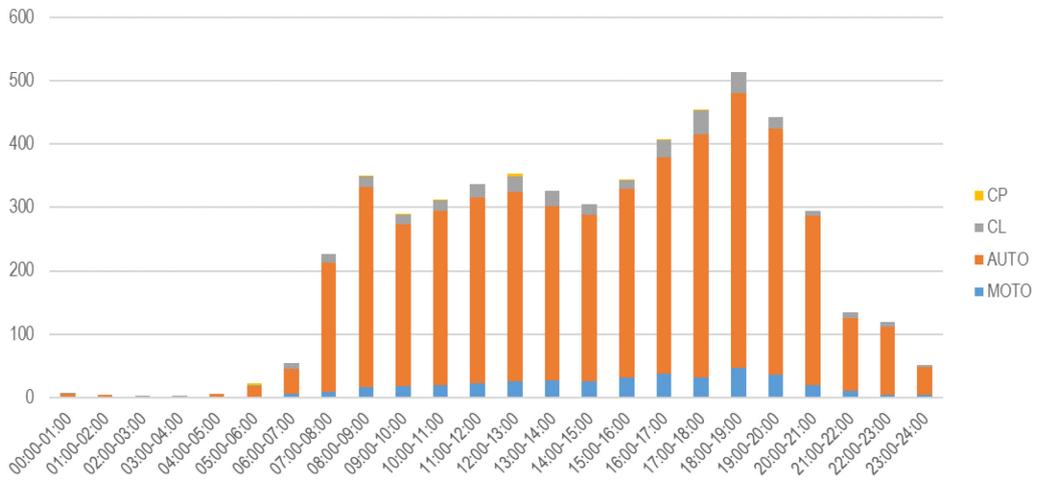
R09 - Direzione Nord. Monodirezionale



R09 - Direzione Nord. Bidirezionale - corsia vicina



R09 - Direzione Sud. Monodirezionale



R09 - Direzione Sud. Bidirezionale - corsia lontana

