



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

SISTEMI DI MONITORAGGIO DEL TRAFFICO

LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE

Documento approvato dalla Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR

ISPettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale



GRUPPO DI LAVORO



Ministero dei Lavori Pubblici
Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale

Coordinatore: Pasquale Cialdini
Corrado Loschiavo
Silverio Antoniazzi

CISUT di Reggio Calabria

Coordinatore: Vincenzo Torrieri

INDICE

INTRODUZIONE	1
1. SISTEMI DI MONITORAGGIO DEL TRAFFICO	3
2. LA PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO DEL TRAFFICO.....	4
2.1. Oggetto di monitoraggio.....	6
2.2. Obiettivi di monitoraggio	8
2.3. Usi e utilizzatori dei dati.....	12
2.4. Ambito del sistema da monitorare.....	13
2.5. Scelta delle tecniche e delle tecnologie di rilevamento	15
2.6. Strumentazione e collocazione sul territorio	20
2.7. Definizione di un calendario per la raccolta dati	20
2.8. Addestramento del personale	21
2.9. Studi pilota.....	22
2.10. Il database relazionale	23
3. ELABORATI DEL PROGETTO.....	24
3.1. Progetto preliminare	24
3.2. Progetto definitivo.....	26
APPENDICE A.....	31
APPENDICE B.....	37
APPENDICE C.....	68
APPENDICE D.....	78
APPENDICE E.....	93

INTRODUZIONE

A fronte di una estrema varietà e complessità dei fenomeni di traffico sulla rete stradale, cresce l'esigenza di monitoraggio e controllo dei flussi. L'oggetto di rilevamento e il modo di procedere in questa attività non rispondono attualmente a norme codificate. Sicché ne risultano spesso risultati disomogenei, parziali, diversi per quantità e qualità. Si è perciò andata affermando anche l'esigenza di definire una metodologia di progetto standardizzata per gli operatori e gli analisti di settore.

Le presenti linee guida si propongono di rispondere a tale esigenza. Esse indicano un percorso progettuale di riferimento, suggeriscono un insieme di strumenti e tecnologie adoperabili per il monitoraggio, propongono alcune procedure operative da considerare in fase di progettazione, individuano gli elaborati utili per dare completezza all'attività progettuale.

Il Nuovo Codice della Strada, d'altra parte, prevede in maniera esplicita la creazione di un sistema di monitoraggio del traffico stradale, nell'ambito di un'attività più generale finalizzata alla istituzione di archivi ed anagrafe nazionali, nell'intento di favorire l'innalzamento dei livelli di sicurezza sull'intera rete nazionale. In particolare all'art. 227 (Titolo VII - Disposizioni finali e transitorie, Capo I) sono dettate, tra l'altro, le seguenti indicazioni:

“1. Nell'ambito dell'intero sistema viario devono essere installati dispositivi di monitoraggio per il rilevamento della circolazione, i cui dati sono destinati alla costituzione e all'aggiornamento dell'archivio nazionale delle strade e per la individuazione dei punti di maggiore congestione del traffico;

2. Gli enti proprietari delle strade sono tenuti ad installare i dispositivi di cui al comma precedente e contestualmente, ove ritenuto necessario, quelli per il rilevamento dell'inquinamento acustico e atmosferico, in conformità, per tali ultimi, alle direttive impartite dal Ministero dell'ambiente, sentito il Ministero dei lavori pubblici.”

La realizzazione di sistemi di monitoraggio del traffico stradale appare opportuna, oltreché per accrescere i livelli di sicurezza della circolazione, anche per rispondere a molteplici altre esigenze. Obiettivi più specifici possono essere definiti in rapporto a precisi interessi. Le funzioni che il sistema di monitoraggio del traffico può essere chiamato ad assolvere sono numerose. Nel seguito se ne richiamano alcune.

- Regolazione del traffico.
- Informazione all'utenza.
- Gestione di pedaggi.
- Controllo della sosta.
- Lotta contro le infrazioni.
- Assistenza alla guida.
- Sorveglianza di passaggi a livello.
- Sicurezza nelle gallerie e protezione di opere d'arte.

- Manutenzione della carreggiata.
- Supporto a studi e ricerche.

Le presenti linee guida sono costituite da un testo articolato in tre capitoli, in cui si definiscono le attività e gli elaborati della progettazione; e da allegati con elementi informativi e indicazioni utili per la progettazione. In particolare i capitoli del testo sono:

- 1. Sistemi di monitoraggio del traffico.**
- 2. La progettazione del sistema di monitoraggio.**
- 3. Elaborati del progetto.**

Gli allegati sono:

- **Appendice A**, con alcuni richiami statistici di tecniche di campionamento.
- **Appendice B**, con una classificazione e una illustrazione dei sistemi e tecnologie per il monitoraggio del traffico stradale.
- **Appendice C**, relativa ad alcune indicazioni in materia di monitoraggio del traffico, applicate in Italia e negli Stati Uniti.
- **Appendice D**, che riporta un glossario di termini tecnici.
- **Appendice E**, con alcune illustrazioni esemplificative di rappresentazioni di sistemi di monitoraggio.

1. SISTEMI DI MONITORAGGIO DEL TRAFFICO

Il monitoraggio del traffico costituisce una catena informativa composta, in generale, dalle seguenti parti:

- sensore: dispositivo che produce un segnale descrittivo di caratteristiche del fenomeno da rilevare;
- rilevatore: dispositivo elettronico capace di codificare il segnale prodotto dal sensore;
- trasmissione: sistema utile al trasferimento delle informazioni codificate, dal sensore al rilevatore, dal rilevatore ad un'unità locale, dall'unità locale ad un'unità centrale;
- trattamento: destinato a fornire dei dati elaborati a partire dai dati provenienti dai rilevatori; esso può essere centralizzato o avvenire, almeno in parte, presso le unità locali (stazioni di misura).

La complessità di un sistema di monitoraggio del traffico varia in rapporto agli obiettivi del monitoraggio stesso, ai metodi o alle tecnologie adoperate, alla catena di misura, trasferimento e trattamento dell'informazione. In generale è possibile, a priori, distinguere 3 macro-componenti:

1. le grandezze da rilevare (variabili di traffico);
2. le tecniche di raccolta dati e i rilevatori;
3. le funzioni interessate dalla raccolta dati.

Una possibile classificazione dei sistemi di monitoraggio può derivare dalla combinazione dei seguenti elementi:

- estensione spaziale dell'ambito oggetto di osservazione (area circoscritta, vasta, urbana, extraurbana, ecc.);
- estensione della rete stradale (semplice intersezione, singolo ramo, gruppo di rami e intersezioni, rete principale, ecc.);
- estensione temporale (periodo di riferimento, durata delle operazioni d'indagine, cadenza temporale delle misure);
- numero e tipo di variabili da rilevare;
- apparato strumentale ed organizzativo.

2. LA PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO DEL TRAFFICO

Costituiscono oggetto della progettazione gli elementi atti a definire compiutamente le caratteristiche strutturali, organizzative ed operative di un sistema di monitoraggio, in rapporto agli obiettivi per i quali il sistema stesso è concepito.

Il progetto dovrà fornire tutti gli elaborati necessari per una completa rappresentazione del sistema di monitoraggio in tutti i suoi componenti tecnici e di costo; del progetto faranno parte:

- *una relazione tecnica*, a carattere descrittivo, esplicativo e giustificativo. A partire dalle caratteristiche dell'area da monitorare, essa deve riportare gli obiettivi e le finalità del progetto, indicazioni sulle caratteristiche geometriche e funzionali delle infrastrutture e dei servizi di trasporto, una descrizione delle caratteristiche strutturali, organizzative, funzionali e di costo del sistema di monitoraggio progettato;
- *elaborati grafici* a varie scale, in grado di evidenziare elementi geometrici, infrastrutturali e di localizzazione del sistema di monitoraggio, nonché altri particolari chiaramente rappresentabili, con lo scopo di dare una chiara visione planimetrica dell'area all'interno della quale ricade il sistema stesso;
- *il diagramma temporale delle attività*, contenente indicazioni circa gli intervalli temporali e la durata delle fasi in cui la realizzazione del progetto sarà suddivisa.

Più in particolare, l'attività progettuale è orientata a fornire, nella maggior misura possibile, i seguenti elementi :

- un quadro delle esigenze che il sistema di monitoraggio è chiamato a soddisfare; in questa fase sono definiti gli obiettivi del monitoraggio e le prestazioni attese; sono inoltre individuati i destinatari dei dati raccolti durante il monitoraggio e le possibili utilizzazioni di tali dati;
- la rappresentazione dell'area e della rete (elementi infrastrutturali) oggetto di monitoraggio, in opportuna scala;
- la definizione dei periodi di tempo di monitoraggio;
- la rappresentazione di elementi utili risultanti da indagini preliminari sul campo;
- la definizione della dimensione del campione di componenti da monitorare ai fini della determinazione delle variabili di traffico, con livelli di affidabilità statisticamente accettabili;
- la scelta delle tecniche e tecnologie per il monitoraggio;
- l'illustrazione delle componenti strutturali, organizzative e funzionali del sistema di monitoraggio;
- le ragioni della scelta della soluzione di progetto in rapporto alla valutazione di eventuali distinte soluzioni possibili;
- la collocazione delle componenti strumentali sul territorio e sulla rete infrastrutturale;
- gli elementi necessari ai fini del rilascio di eventuali autorizzazioni e

- approvazioni;
- un piano per l'installazione delle componenti strumentali e per la sicurezza delle operazioni sul campo;
 - il costo degli interventi (lavori di genio civile, messa a punto del sistema, acquisizione delle componenti strumentali e software, esercizio, manutenzione, ecc.);
 - alcune attività preliminari alle fasi operative: definizione del calendario (scheduling) delle fasi di raccolta dei dati sul campo, addestramento personale, indagini pilota per la calibrazione del sistema, ecc.;
 - un piano per l'esercizio e la manutenzione del sistema di monitoraggio (funzioni da espletare per assicurare efficienza e continuità operativa).

La Figura 1 presenta un quadro sinottico delle fasi principali del processo progettuale.

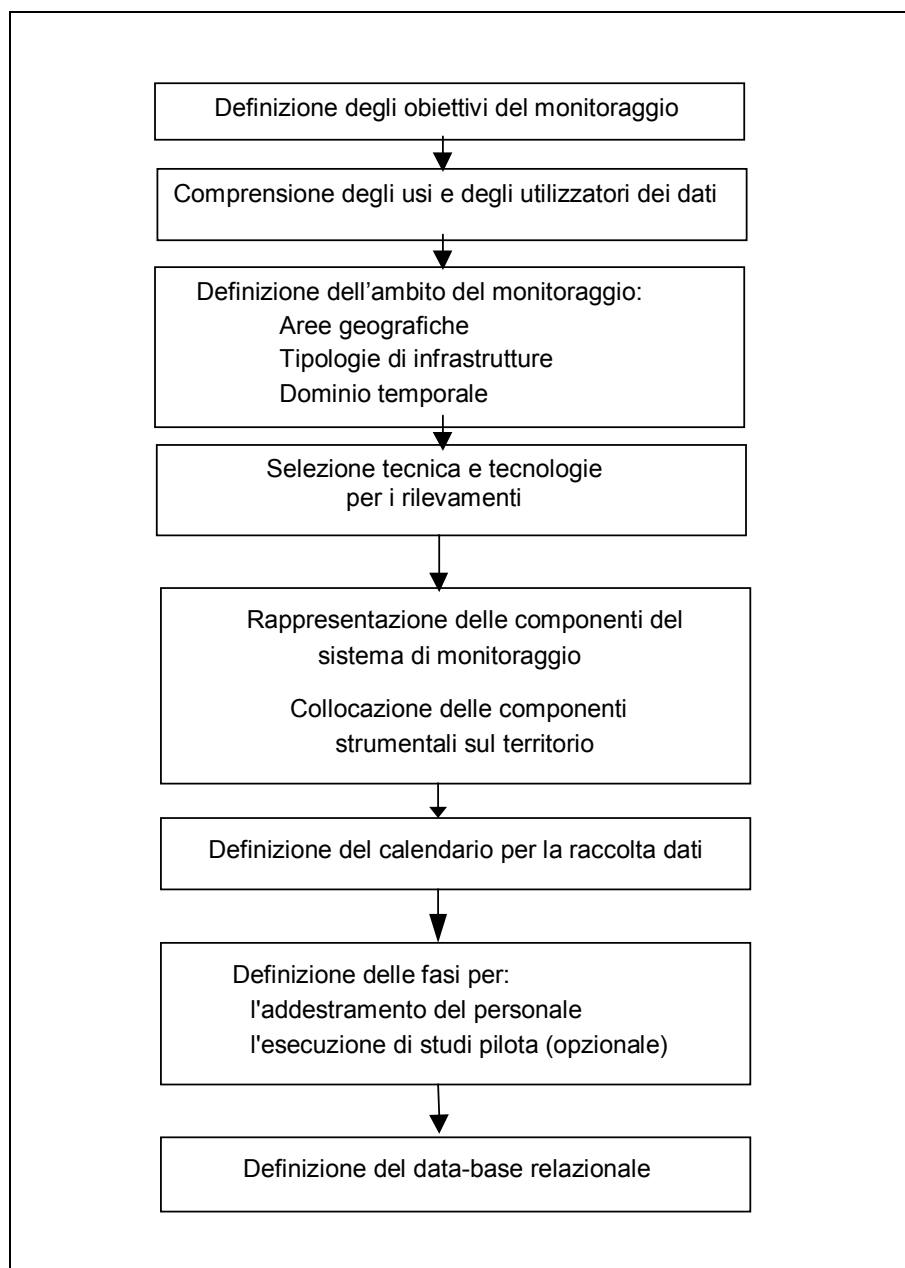


Figura 1. - Attività di progettazione del sistema e di esecuzione del monitoraggio.

2.1. Oggetto di monitoraggio

La condizione del deflusso su un tronco stradale dipende in generale dall'interazione di tre elementi principali: il guidatore, il veicolo e l'ambiente.

Diverse sono le variabili che influenzano le reazioni psicofisiche del *guidatore* e ne caratterizzano quindi il suo comportamento, quali, ad esempio, il carattere, il grado di conoscenza delle caratteristiche della strada, lo scopo del viaggio. Infatti un guidatore che conosca bene il percorso che sta seguendo

sarà portato a procedere più speditamente di uno che lo percorre per la prima volta.

Lo stile di guida è influenzato dalle prestazioni del *veicolo*, le quali dipendono dalle caratteristiche proprie del mezzo e dalle sue condizioni di manutenzione; un veicolo con elevate prestazioni procederà più speditamente rispetto ad uno in cui tali caratteristiche non siano ottimali.

Infine l'*ambiente* comprende le caratteristiche plano-altimetriche e di pavimentazione della strada, oltre alle condizioni meteorologiche, di visibilità, ecc.

Da tali considerazioni risulta evidente come il deflusso di una corrente veicolare sia un fenomeno complesso, in cui entrano in gioco una molteplicità di variabili.

Le variabili di base del deflusso veicolare sono:

- *portata* o *flusso*¹ (q) definita come il numero di veicoli che, nell'unità di tempo, attraversano una sezione dell'infrastruttura. Essa si misura generalmente in veic/h;
- *velocità* (v) definita come lo spazio percorso nel tempo unitario e si misura generalmente in km/h;
- *densità* (k) (o concentrazione) definita come il numero di veicoli che, ad un tempo prefissato t , sono contenuti in un tronco di infrastruttura di lunghezza unitaria, e si misura generalmente in veic/km.

Alle tre variabili di base possono essere affiancate molteplici altre variabili di traffico o correlate al traffico, suscettibili di monitoraggio; in particolare esse possono essere raggruppate nelle seguenti classi:

- grandezze complementari o derivate: presenza/transito dei veicoli, lunghezze di coda, livello di traffico-congestione, tempi di viaggio;
- eventi che possono incidere sul traffico: incidenti, eventi accidentali, colli di bottiglia, manovre di svolta, cambi corsia;
- caratteristiche dei veicoli: peso totale, peso per asse, lunghezza, altezza, classificazione per tipo, identificazione, tasso di occupazione (numero di passeggeri);
- unità di transito: oltre alle autovetture si possono distinguere le diverse tipologie dei veicoli adibiti al trasporto delle merci, i veicoli a due ruote, altri veicoli, i pedoni;
- infrazioni o difetti dei veicoli: eccesso di velocità, inosservanza di arresto al rosso semaforico o allo stop, sosta vietata, marcia controsenso, difetto di illuminazione dei fari, pneumatici sgonfi, ecc.;
- condizioni meteorologiche e parametri ambientali: presenza di nebbia, ghiaccio, vento, pioggia, neve; concentrazioni di sostanze inquinanti, livelli di pressione sonora.

¹ il flusso è talvolta indicato anche come *intensità di traffico*; è invece da evitare l'espressione *volume di traffico*, per l'ovvia confusione con altre grandezze fisiche che ne può derivare.

2.2. Obiettivi di monitoraggio

Gli obiettivi cui è finalizzato il sistema di monitoraggio possono essere specifici o molteplici. In generale i dati risultanti dai rilievi possono essere ritenuti necessari per supportare le seguenti azioni:

Regolazione del traffico. La regolazione del traffico può essere implementata con approcci diversi, alcuni dei quali sono brevemente discussi nel seguito. Approcci specifici relativi alle funzioni di regolazione sono proposti nelle Norme Tecniche “Sistemi di regolazione del Traffico”.

Regolazione adattiva di una intersezione semaforizzata isolata. L’obiettivo è quello di regolare una intersezione isolata, in modo da ottimizzarne la capacità e minimizzare i ritardi dei veicoli. Esistono numerosi approcci per il controllo adattivo, che tengono in genere conto delle capacità di rilevamento disponibili. I più diffusi si basano su misure di portata e di densità ai diversi accessi dell’incrocio, a distanze variabili dall’incrocio stesso. Altri approcci più recenti fanno ricorso a misure derivanti da telecamere, quali lunghezze di coda e manovre di svolta. I dati che possono rivelarsi utili sono dunque fondamentalmente le variabili di base portata e densità (ovvero tasso di occupazione), le lunghezze di coda, le manovre di svolta.

Regolazione di reti di intersezioni urbane semaforizzate a selezione di piano. Obiettivo è definire il migliore piano semaforico, in rapporto a diverse configurazioni di traffico osservate sulla rete, e scegliere in tempo reale il piano più adatto alla situazione, tra un insieme di piani corrispondenti alle condizioni prevalenti di traffico. Questi sistemi fanno ricorso a misure semplici di dati sugli assi principali (in genere portate e densità) che permettono di valutare le condizioni generali del traffico; si adotta, in tal caso, il piano semaforico più adatto alle condizioni osservate, evitando tuttavia di operare permutazioni troppo frequenti, che potrebbe perturbare il traffico. Le misure di portata e di densità possono essere ottenute con rilevatori classici, quali spire magnetiche, ultrasuoni, raggi infrarossi.

Regolazione di reti di intersezioni urbane semaforizzate a elaborazione di piano. Obiettivo è quello di ottimizzare in tempo reale il funzionamento dei semafori di una rete, puntando per esempio a minimizzare parametri quali il tempo di viaggio dei veicoli sulla rete, il tempo di attesa agli incroci, l’estesa della congestione. Sono stati sperimentati molteplici metodi di regolazione in tempo reale. I dati utili sono in genere portata, tasso di occupazione, velocità, lunghezze di coda, correnti di svolta.

Regolazione del deflusso su autostrada. Obiettivo è quello di mantenere un certo livello di servizio, predefinito, in rapporto ad eventi che possono accadere quali incidenti, onde shock, aumento del flusso di traffico. Esso può essere raggiunto attraverso diverse azioni:

- segnalazioni di situazioni incidentali, colli di bottiglia, rallentamenti, inviate agli utenti a distanza, ed eventualmente tempo stimato di viaggio;
- regolazione di velocità attraverso suggerimento di velocità consigliate facendo uso di pannelli a messaggio variabile;
- dirottamento degli utenti verso altri itinerari in caso di forte congestione.

I dati raccolti devono essere capaci di tradurre i livelli di servizio (portata, velocità, densità), a intervalli regolari; saranno utili inoltre rilievi automatici d'incidenti e misure di tempi di viaggio.

Controllo di accessi autostradali. Obiettivo è il mantenimento della fluidità della circolazione in autostrada, regolando l'immissione di portate in corrispondenza delle rampe di accesso, e orientando eventualmente i guidatori su itinerari alternativi. Ciò può ottenersi attraverso il preavviso degli utenti prima del loro ingresso in autostrada attraverso PMV o radio, con informazioni sulle condizioni di traffico in autostrada, gli incidenti eventuali, il tempo stimato di percorso, ecc.; è possibile d'altra parte anche una regolazione dei veicoli in ingresso attraverso semafori. Per il controllo in questione sono necessarie misure di variabili quali portata, velocità e densità, a monte e a valle delle rampe di accesso, eventualmente misure di tempi di percorrenza, rilievi di colli di bottiglia a valle delle rampe controllate, misure della domanda in corrispondenza delle rampe di accesso, misure di lunghezze di code sulle rampe, ovvero ricostruzione di matrici O/D (operazione relativamente più complessa).

Gestione di vie a senso alternato. In ragione di squilibri direzionali dei flussi di traffico nel corso della giornata, è possibile variare la capacità di un percorso stradale, attribuendo, per esempio, una corsia una volta ad un senso di marcia e una volta all'altro, in risposta alla maggiore o minore domanda di mobilità. In genere si provvede all'informazione dell'utente attraverso opportuni segnali fissi; conviene in genere passare per una fase di chiusura della corsia «mobile» nei due sensi, attivando il passaggio da un regime di funzionamento all'altro in sicurezza (assenza di veicoli provenienti in senso opposto). In altri casi (es. autostrada), è necessario porre in opera delle barriere inamovibili per ben proteggere il senso di circolazione autorizzato. Il sistema di monitoraggio migliore in queste condizioni è quello fondato sull'uso di telecamere e il controllo umano; il ricorso alla visione automatica richiederebbe standard di sicurezza che tuttavia ancora oggi non sono assicurati.

Informazione all'utenza. Se l'obiettivo è fornire agli automobilisti delle informazioni generali sulle condizioni di traffico in aree in cui si trovano a circolare o verso cui si vanno dirigendo, è necessario attivare tre funzioni coordinate:

- il rilievo di dati di traffico;
- il trattamento di tali dati;
- l'elaborazione di informazioni da trasmettere all'utenza, la diffusione delle informazioni che può avvenire a mezzo radio, telefono, PMV, ecc.

In questo caso il sistema di monitoraggio si integra nel sistema che fornisce agli utenti della strada informazioni sulla situazione del traffico nella zona in cui circolano e sulle difficoltà di circolazione ed ostacoli eventuali che potrebbero incontrare; in particolare possono essere previste forme di guida dinamica, quali l'orientamento del guidatore sul migliore itinerario da seguire per raggiungere la destinazione; altre forme di informazione all'utenza possono essere contemplate; ad esempio quelle finalizzate a facilitare all'utente la scelta del modo di trasporto più adatto per il viaggio desiderato.

I dati da rilevare possono essere più o meno numerosi: portata, velocità, densità su assi/zone particolarmente soggetti a congestione, incidenti, tempi di viaggio, condizioni meteorologiche. La principale difficoltà nasce dalle dimensioni della rete stradale. Se le parti più trafficate della rete, in genere ricadenti in ambito urbano, possono essere facilmente attrezzate, risulta piuttosto difficile e costoso attrezzare un rete di sensori su una rete estesa.

Gestione di pedaggi. Il pagamento del pedaggio può essere commisurato all'uso di un'infrastruttura stradale (es. pedaggio autostradale) o di un'area urbana delimitata; tra le variabili da monitorare possono citarsi la distanza percorsa, la classe veicolare, il tempo di permanenza nel sistema.

Qualunque sia il sistema di esazione del pedaggio (aperto o chiuso, manuale o automatico, automatico su una o più corsie, ecc.) il monitoraggio può essere attivato per evitare le frodi più diffuse. Nel caso di sistemi di pedaggio automatico le frodi da evitare sono:

- il transito di un veicolo non munito di tessera;
- il transito di un veicolo munito di tessera non corrispondente alla sua categoria, al suo reale spostamento e al tipo di sistema di esazione cui il veicolo è abilitato.

Controllo della sosta. L'obiettivo è di facilitare l'accesso agli spazi di parcheggio e limitare le frodi. Questa funzione copre diversi aspetti:

- guida degli utenti verso i parcheggi urbani, il che significa un monitoraggio del grado di riempimento dei parcheggi;
- monitoraggio della sosta sulla rete viaria;
- aiuto alla percezione dei regimi tariffari della sosta.

Lotta contro le infrazioni. Esistono numerose infrazioni del Codice della Strada che può essere opportuno rilevare in modo automatico, per facilitare la loro repressione e soprattutto dissuadere i guidatori recidivi dall'assumere comportamenti scorretti che possono tradursi in situazioni di pericolo. Un altro obiettivo riconducibile al controllo dei comportamenti del guidatore è quello di determinare stati anomali dei guidatori legati alla fatica, all'assunzione di alcol o droghe, o ad altre cause che potrebbero provocare una guida pericolosa per il guidatore stesso e/o per gli altri.

Le principali tipologie di infrazione suscettibili di rilevazione con strumentazione fissa sono:

- superamento della velocità limite regolamentare;

- violazione dello stop o del rosso semaforico;
- insufficiente distanziamento dal veicolo precedente;
- superamento della linea continua;
- circolazione illecita su una corsia riservata;
- stazionamento illecito;
- superamento del periodo di guida consentito, per i mezzi pesanti;
- difetto nel sistema di illuminazione (fari, frecce, ecc.);
- insufficiente gonfiaggio dei pneumatici.

Sicurezza dei pedoni. Il monitoraggio può essere orientato al rilievo dei rischi di incidenti coinvolgenti i pedoni in ambito urbano o su strada, a fini preventivi.

In alcune aree critiche, quali quelle adiacenti alle scuole, la presenza di pedoni può essere rilevata e indicata agli automobilisti attraverso segnali di allerta. La protezione in corrispondenza di segnali è possibile attraverso fasi di “tutto rosso” per i veicoli, prolungamento dei tempi per il transito pedonale, segnalazione sonora della fase di libertà di movimento per i pedoni, l’attivazione “a domanda” del verde per il pedone. I dati da rilevare sono in primo luogo le portate di veicoli e le portate di pedoni, ma possono essere d’interesse anche altri parametri quali velocità, classificazione dei veicoli, parametri meteorologici.

Assistenza alla guida. L’obiettivo è di evitare la collisione tra veicoli particolarmente nelle aree e circostanze in cui hanno più probabilità di manifestarsi: circolazione in fila, zone con scarsa visibilità, incroci. I principi di realizzazione dipendono dall’applicazione ipotizzata. Nel caso di circolazione di veicoli in plotone, si tratta di indurre i guidatori a rispettare degli intervalli opportuni. Si può ricorrere a sensori in grado di rilevare intervalli interveicolari con diretta comunicazione delle informazioni tramite PMV; un tale sistema sarà forzatamente limitato a zone particolarmente critiche. Una sorveglianza continua degli intertempi può essere operata solo attraverso specifici dispositivi a bordo dei veicoli. La protezione di zone pericolose quali tronchi in curva o in corrispondenza di dossi, può essere richiesta per garantire maggiori margini di sicurezza. Ai fini di evitare le collisioni agli incroci, le migliori forme di protezione sono attualmente i segnali di stop, le rotatorie, i semafori. Alcuni recenti progetti di ricerca hanno analizzato sistemi basati su una comunicazione fra veicoli e dispositivi a terra, ma i risultati non sembrano assicurare maggiori prestazioni rispetto alle soluzioni tradizionali sul piano del costo e dell’efficacia.

Sorveglianza di passaggi a livello. Il fine è di rilevare, o evitare, la presenza di veicoli bloccati o di altri ostacoli sui binari in corrispondenza di un passaggio a livello. Il metodo corrente di protezione è quello di vietare fisicamente il transito tramite barriere mobili. Il segnale semaforico disposto a rosso lampeggiante o il segnale sonoro servono a presegnalare la prossima chiusura delle barre. Ciononostante, talvolta si verificano degli incidenti. Una possibile soluzione per evitare rischi di collisione con i treni consiste nel rilevare

la presenza dell'eventuale ostacolo ed attivare in forma immediata, automatico o manuale, l'arresto del treno.

Sicurezza nelle gallerie. Obiettivo è di evitare situazioni di pericolo per gli automobilisti in galleria; il rischio principale da evitare è l'incendio. L'attenzione è perciò puntata sul rilievo sistematico di fuochi o fumi, nonché alla prevenzione di collisioni o d'incidenti che possono generare incendi. Il monitoraggio sarà orientato al rilievo di immagini e al rilievo dell'eventuale formazione di code.

Protezione opere d'arte. Il traffico veicolare può indurre forme di degrado di opere di attraversamento in galleria o in elevazione, in rapporto alla sagoma o al peso, allorché essi eccedono dei valori limiti prefissati. Il rilievo sarà perciò orientato al riconoscimento di veicoli non rispondenti ai limiti imposti e relativo allertamento dei guidatori mediante messaggistica variabile ottenuta automaticamente.

Manutenzione della carreggiata. Un aspetto importante per la programmazione delle attività di rifacimento del manto stradale è la conoscenza del traffico in transito, in particolare di mezzi pesanti. Opportunità di manutenzione straordinaria possono essere rese necessarie a seguito di situazioni di degrado localizzate e limitate. Altri elementi possibili di considerazione sono eventi meteorologici quali precipitazioni nevose che possono richiedere interventi di spazzaneve o macchine spargisale antighiaccio.

Studi, ricerche, statistiche. Infine, i sistemi di monitoraggio utilizzati ordinariamente nella gestione del traffico, possono essere adoperati anche per finalità di studio e di ricerca (es. elaborazione e calibrazione di modelli, analisi del comportamento dei guidatori, ecc.). Gli obiettivi di studi e ricerche, in tema di gestione del traffico e più in generale di pianificazione dei trasporti, sono numerosi. I dati più frequentemente oggetto di monitoraggio sono in primo luogo le portate veicolari, le classificazioni dei veicoli, le velocità, le densità, oltre a dati specifici per l'argomento oggetto di analisi.

2.3. Usi e utilizzatori dei dati

Una corretta definizione degli usi e degli utilizzatori dei dati da raccogliere è importante quanto quella degli obiettivi. In molti casi, la chiarezza circa l'uso successivo dei dati rilevati favorisce la identificazione e la precisazione dell'azione di monitoraggio; d'altra parte sapere a chi sono destinati i dati è un altro importante elemento da considerare, perché esso può condizionare alcune variabili del processo di raccolta e presentazione dei dati stessi.

La tabella 1 fornisce un quadro sinottico di possibili utilizzazioni ed utilizzatori dei dati rilevati. Gli usi dei dati possono essere classificati in tre grandi categorie: pianificazione e progettazione dei sistemi di trasporto,

esercizio dei sistemi dei trasporti, valutazioni; quanto agli utilizzatori potrebbe trattarsi di tecnici o di altri tipi di utenti.

Tabella 1 Possibili usi e utilizzatori dei dati rilevati

<i>Usi dei dati rilevati</i>	<i>Utilizzatori primari</i>	
	<i>Tecnici</i>	<i>Non-Tecnici</i>
<i>Pianificazione e progettazione dei sistemi di trasporto</i>		
Sviluppo di politiche e programmi legati ai trasporti.		X
Definizione delle priorità di spesa nella scelta degli interventi sul sistema dei trasporti.	X	X
Definizione di strategie di intervento sul sistema dei trasporti	X	
Input e calibrazione per modelli di emissione di inquinanti e consumo di combustibile.	X	
Input e calibrazione per modelli di previsione della domanda di trasporto.	X	
Calcolo del costo degli utenti della strada per analisi di tipo economico.	X	
Previsioni di traffico a breve e medio termine	X	
<i>Esercizio dei sistemi di trasporto</i>		
Previsioni di traffico a breve e medio termine	X	
Sviluppo di serie storiche su parametri di traffico.	X	
Input e calibrazione per modelli di traffico (deflusso, emissione, consumo di carburante)	X	
Controllo del traffico in tempo reale su strade e autostrade	X	
Assistenza alla guida e navigazione	X	X
Informazioni al conducente		X
Rilievo degli incidenti	X	
<i>Valutazione</i>		
Sistemi di gestione del traffico e misura delle prestazioni	X	
Individuazione/monitoraggio dei trend del traffico (estensione, intensità, durata)	X	
Localizzazione di elementi critici e colli di bottiglia	X	
Misure di prestazione del sistema ed effetti derivanti da interventi sul sistema dei trasporti	X	
Trasferimento di informazioni riguardanti problemi e soluzioni circa il sistema dei trasporti		X
Ricerca e sviluppo	X	

2.4. Ambito del sistema da monitorare

Un ben definito ambito dello studio, legato agli obiettivi previsti, concorre ad assicurare la corretta individuazione e raccolta dei dati necessari. L'individuazione dell'ambito dello studio riguarderà tre aspetti importanti:

1. dove bisogna raccogliere i dati? (Ambito geografico)
2. su quali infrastrutture effettuare la raccolta dei dati? (Tipologie di infrastrutture)
3. quando effettuare la raccolta dei dati? (Ambito temporale)

L'ambito dello studio non definisce solo l'estensione dello sforzo di monitoraggio da compiere, ma delinea anche l'applicabilità dei risultati derivanti dall'indagine e dalle analisi.

L'ambito territoriale d'indagine può essere più meno vasto; il monitoraggio può essere diretto, ad esempio, su:

- un'area circoscritta, per esempio una zona in cui è previsto un intervento puntuale di adeguamento del sistema di trasporto;
- un corridoio territoriale fra due siti definiti;

- un'area urbana più o meno ampia;
- un'area comprensoriale, sub-regionale o regionale.

Il passo successivo nel definire l'ambito dello studio consiste nello specificare la tipologia delle infrastrutture di trasporto, ovvero le classi funzionali delle strade su cui effettuare il monitoraggio. Come l'estensione geografica, anche le infrastrutture sono selezionate sulla base degli obiettivi dello studio. Le classificazioni delle infrastrutture segue quanto definito dal nuovo Codice della Strada, dalle norme CNR 1998, sulla classificazione e sulle caratteristiche delle strade, e dalle direttive per la redazione dei PUT per quanto attiene specificamente alla viabilità urbana.

La classificazione funzionale tende a raggruppare strade aventi caratteristiche operative e di traffico simili. Il raggruppamento di strade con caratteristiche operative simili in un singolo strato campionario permette la definizione di un campione stratificato.

Diversi elementi di natura temporale possono essere considerati nello stabilire l'ambito delle attività di monitoraggio; in particolare, possono essere assunti a riferimento le seguenti estensioni temporali.

Mesi dell'anno. Poiché i dati raccolti sono comunemente usati per descrivere condizioni di traffico «tipiche» o «medie», riferite ad un anno, essi saranno raccolti in periodi che presentano caratteristiche di traffico tipiche o medie. Sono da preferirsi periodi primaverili (Marzo, Aprile e Maggio) o autunnali (Settembre, Ottobre e Novembre). Per studi che mirano ad esaminare particolari fenomeni di traffico, non strettamente generati da motivi ordinari (es. lavoro), ci si può concentrare su specifici periodi dell'anno in cui le caratteristiche del traffico differiscono da mesi tipici o medi; ad esempio: mesi estivi o invernali per aree turistiche; la stagione degli acquisti (Dicembre) in aree commerciali; mesi in cui le grandi università o scuole sono chiuse; o periodi corrispondenti a feste locali o eventi speciali.

Giorni della settimana. Tradizionalmente, il monitoraggio per molti operatori del trasporto è effettuato nei giorni intermedi della settimana (martedì, mercoledì e giovedì). Il lunedì e il venerdì sono tipicamente esclusi dalla raccolta dati nel caso in cui sia individuato un numero ridotto di giorni da monitorare (tipicamente inferiore a 20), a causa dell'elevato scostamento di questi giorni dalle condizioni medie che renderebbe necessario un campione più esteso di giorni della settimana. I giorni del fine-settimana (sabato e domenica) saranno considerati se l'interesse include periodi non lavorativi. A meno che non si ritengano strettamente necessari dati relativi, i seguenti periodi saranno evitati quando si individuano i giorni per il monitoraggio:

- feste prestabilite;
- variazioni negli orari delle scuole (es. interruzione estiva);
- eventi speciali (mercati, manifestazioni sportive, festival, ecc.).

Periodi all'interno di un giorno. I periodi temporali brevi definiscono l'estensione temporale nel giorno in cui si esegue il monitoraggio dei dati. Come per gli altri elementi, le fasce orarie d'interesse sono definite sulla base degli obiettivi dello studio. Per analisi finalizzate alla individuazione delle problematiche legate alla congestione del traffico, sono usualmente considerati tre periodi temporali:

- periodo di punta del mattino, fascia oraria tipicamente compresa tra le 6:00 e le 9:00;
- periodo di morbida, che include i periodi a metà del giorno o in tarda serata, tipicamente tra le 10:00 e le 11:00, le 14:00 e le 15:00, o dopo le 19:00; (il periodo intorno mezzogiorno potrebbe costituire una fascia oraria di punta);
- periodo di punta serale, che include il picco di traffico serale, tipicamente compreso tra le ore 16:00 e le 19:00.

Allorché l'ambito del sistema da monitorare risulta ampio, può essere opportuno individuarne delle componenti rappresentative, ovvero un campione, e focalizzare il monitoraggio su di esse. Ciò può valere sia con riferimento alla rete stradale (campione di elementi d'infrastruttura), sia al dominio temporale (campione di intervalli temporali).

In Appendice A sono riportati alcuni richiami di metodologie statistiche per la definizione della dimensione utile di un campione di infrastrutture all'interno di una rete viaria, nonché alcune applicazioni esemplificative, per la stima di alcune variabili di traffico tipiche.

2.5. Scelta delle tecniche e delle tecnologie di rilevamento

Sono ormai disponibili numerose le tecniche sperimentate e le tecnologie offerte dall'industria di settore che possono essere impiegate per la realizzazione di un sistema di monitoraggio. La scelta può talvolta non essere agevole.

Alcune tecniche di rilevazione richiedono la presenza continuativa di un operatore umano (tecniche di rilevamento manuale), altre non la richiedono (tecniche di rilevamento automatico)

I metodi manuali di acquisizione dei dati di traffico si basano sulla rilevazione diretta eseguita da un operatore umano. Questo approccio appare versatile per il conteggio dei veicoli, avendo l'operatore umano non solo la capacità di rilevare il veicolo e riconoscerne il tipo, ma anche quella di valutare le manovre dei veicoli ed il comportamento del guidatore. Tuttavia l'osservatore umano presenta dei limiti naturali che possono non garantire la correttezza e l'esattezza delle informazioni rilevate. Il primo è rappresentato dalla non istantanea velocità di registrazione dei dati; difatti, i tempi di reazione relativamente lunghi (variabili tra 0,5 e 2 secondi) non consentono in questo caso un rilievo accurato di eventi che si verificano simultaneamente. Il secondo limite è da attribuire all'affaticamento, che determina una minore attendibilità all'aumentare del tempo di rilevamento (si ritiene che un addetto al rilevamento sia efficiente per un periodo massimo di circa 3 ore). Per il motivo suddetto, i

metodi manuali di misura dei parametri del traffico sono generalmente utilizzati per rilevamenti di breve durata. I principali metodi di rilevamento manuale sono:

- il metodo dell'osservatore fisso;
- il metodo dell'osservatore mobile;
- l'apparecchio contacolpi.

La necessità di raccogliere con continuità e accuratezza dati di traffico, su lunghi periodi ed a tutte le ore (sia diurne sia notturne), ha indotto la ricerca tecnologica del settore a produrre strumenti e sistemi automatici di rilevamento sempre più raffinati. In linea di principio, un sistema automatico di misura dei parametri del traffico è costituito da quattro componenti base: un *rilevatore* (a volte chiamato *captatore*), un *interprete*, un *registratore* ed un *elaboratore*. Il rilevatore è il componente sensibile alla grandezza che si vuole misurare (passaggio del veicolo, velocità del veicolo, ecc.); per ogni informazione rilevata esso genera un segnale che viene ricevuto e poi decifrato dall'interprete; il segnale codificato viene quindi trasmesso al registratore che, appunto, registra i dati necessari per l'elaborazione; quest'ultima può effettuarsi o in tempo reale o in una fase successiva, a seconda del tipo di sistema utilizzato.

Le più diffuse tecnologie di rilevamento di uso corrente possono essere distinte in rapporto al tipo di rilevatore adoperato che può essere posto sulla pavimentazione (intrusivo), oppure entro o in prossimità della carreggiata (non intrusivo), come di seguito descritto. La rapida evoluzione tecnologica registrata negli ultimi anni nel campo delle misure dei parametri della circolazione ha consentito la recente sperimentazione di metodi di rilevamento automatici innovativi, basati sul trattamento automatico delle immagini filmate con telecamere. Metodi più avanzati sono basati sul rilievo di segnali/immagini attraverso satelliti. I più diffusi metodi di rilevamento automatico sono:

- i tubi pneumatici;
- i cavi triboelettrici;
- i con spire induttive;
- i sensori magnetodinamici;
- i sensori a microonde;
- i sensori a raggi infrarossi;
- i sensori WIM;
- i sensori acustici;
- la fotografia aerea;
- le immagini video;
- tecnologie di tipo satellitare;
- unità attrezzate mobili.

Per una trattazione specifica di tecniche e tecnologie di rilevamento ed una comprensione di limiti e potenzialità di ciascuna di esse si rimanda all'Appendice B.

La scelta delle tecniche e delle tecnologie componenti il sistema di monitoraggio può essere effettuata, sulla scorta di numerosi criteri. Essa sarà

operata in stretto rapporto con le finalità d'interesse, tenendo conto degli usi previsti e degli utilizzatori cui sono destinati i dati rilevati, nonché dell'ambito oggetto di rilievo (ambito territoriale, ambito di rete, estensione temporale), compatibilmente con eventuali vincoli di risorse.

Una tecnica specifica, o una combinazione di più tecniche, sarà selezionata solamente dopo aver considerato le finalità del monitoraggio e la tipologia di dati richiesti, nonché i vantaggi e gli svantaggi connessi.

Le ragioni della scelta della soluzione adottata in rapporto alla valutazione di eventuali soluzioni alternative possibili saranno illustrate nella relazione di progetto.

Il primo passo nel selezionare una tecnica di raccolta dati sarà quello di investigare se esiste una qualsiasi fonte di acquisizione di dati già rilevati. Per esempio, dati possono essere resi disponibili da altri operatori che hanno svolto indagini in precedenza. La presenza di Sistemi di Trasporto Intelligenti (ITS) in alcune aree urbane costituisce una potenziale fonte di dati per l'esecuzione di studi di pianificazione e di progettazione. Una volta esplorate tutte le possibili fonti di dati esistenti, il secondo passo consiste nel considerare tutte le necessità e gli usi futuri dei dati da raccogliere. Alcuni studi o analisi possono richiedere dati molto disaggregati e relativi a elementi specifici.

La considerazione finale riguarda il budget disponibile e la strumentazione destinata alla raccolta dei dati o disponibile per gli operatori che devono effettuare il monitoraggio. La tipologia di strumentazione disponibile (es. strumenti di misura automatici, video camere) o vincoli di budget possono restringere a poche o ad una sola le tecniche per la raccolta dei dati utilizzabili.

La tecnica di raccolta dati tenderà ad essere coerente con le capacità e la qualificazione del personale e con l'esperienza maturata nell'utilizzo di tale tecnica. Alcune tecniche fanno uso intensivo di tecnologia e richiedono personale con specifica esperienza, nonché la disponibilità di risorse temporali e monetarie.

Le tabelle 2a-c riassumono alcuni dei criteri che possono essere adottati per confrontare tecniche e tecnologie per il monitoraggio del traffico. La prima tabella caratterizza le tecniche attraverso tre classi di merito (bassa, media, elevata) in rapporto a tre criteri di base (costi iniziali, costi di esercizio, qualificazione richiesta per la loro applicazione). La Tabella 2b propone un quadro comparativo delle tecniche in relazione alla loro capacità di fornire dati in formato sintetico, con accuratezza e flessibilità d'impiego. In Tabella 2c le tecniche sono invece confrontate in rapporto al tasso di campionamento che esse sono in grado di assicurare, in particolare in termini spazio-temporale e in termini di volumi di traffico.

Le potenzialità delle diverse tecnologie strumentali sono sintetizzate nella Tabella 3; sono indicate, in effetti, le misure rese dagli strumenti di uso più frequente: flusso veicolare, velocità dei veicoli, tasso di occupazione, classificazione, densità, distanziamento, tempo di arresto, incidenti, numero di corsie su cui agisce il rivelatore.

Infine la tabella 4 propone un confronto in termini di vantaggi/svantaggi rispetto ad alcune caratteristiche connesse con l'installazione (posizione

rispetto al piano stradale e alla direzione di marcia dei veicoli, facilità di montaggio e di calibrazione) e con l'esercizio (manutenzione e affidabilità dell'azione di monitoraggio).

Tabella 2a. Elementi di comparazione di differenti tecniche di monitoraggio

Tecnica di raccolta dati	<i>Costi Iniziali</i>	<i>Costi operativi</i>	<i>Qualifica richiesta</i>
Manuale	Bassi	Medi	Bassa
Rilevatori di distanze	Medi	Medi	Media
Misuratori di portata e classificatori	Medi	Medi	Media
Misuratori di velocità	Medi	Medi	Media
Videocamere con identificazione manuale	Bassi	Elevati	Media
Videocamere con identificazione automatica	Medi	Medi	Bassa
Strumenti AVI (Automatic Vehicle Identification)	Elevati	Bassi	Elevata
Strumenti GPS (Global Positioning Systems)	Medi	Bassi	Elevata

Tabella 2b. Elementi di comparazione di differenti tecniche di monitoraggio

Tecnica di raccolta dati	<i>Sintesi dei dati</i>	<i>Flessibilità di utilizzo</i>	<i>Accuratezza</i>
Manuale	Povera	Eccellente	Accettabile
Rilevatori di distanze	Buona	Eccellente	Buona
Misuratori di portata e classificatori	Buona	Eccellente	Buona
Misuratori di velocità	Buona	Eccellente	Buona
Videocamere con identificazione manuale	Accettabile	Accettabile	Eccellente
Videocamere con identificazione automatica	Buona	Accettabile	Eccellente
Strumenti AVI (Automatic Vehicle Identification)	Buona	Povera	Eccellente
Strumenti GPS (Global Positioning Systems)	Accettabile	Buona	Buona

Tabella 2c. Elementi di comparazione di differenti tecniche di monitoraggio

Tecnica di raccolta dati	<i>Tasso di campion. temporale</i>	<i>Tasso di campion. spaziale</i>	<i>Tasso di campion. veicolare</i>
Manuale	Basso	Medio	Basso
Rilevatori di distanze	Basso	Elevato	Basso
Misuratori di portata e classificatori	Basso	Elevato	Basso
Misuratori di velocità	Basso	Elevato	Basso
Videocamere con identificazione manuale	Elevato	Basso	Elevato
Videocamere con identificazione automatica	Elevato	Basso	Elevato
Strumenti AVI (Automatic Vehicle Identification)	Elevato	Basso	Medio
Strumenti GPS (Global Positioning Systems)	Medio	Elevato	Medio

Tabella 3. Potenzialità delle varie tecnologie nel rilievo di parametri di traffico.

Tecnologia	Flusso	Velocità	Occupazione	Classificazione	Densità	Distanziamento	Tempo di arresto	Detezione Incidenti	Numero corsie
Spire Induttive	X	X	X						1
Magnetici	X	X	X						1
Infrarossi Passivi	X								1
Infrarossi Attivi	X	X		X					1
Doppler/ Microonde	X	X							1*
Ultrasuoni	X	X	X	X					1
Acustici	X	X	X						1
Video	X	X	X	X	X	X	X	X	>1

*Non sempre è possibile distinguere fra le singole corsie.

Tabella 4. Caratteristiche legate all'installazione e alla manutenzione.

Tecnologia	Posizionamento	Montaggio	Calibrazione	Manutenzione	Affidabilità
Spire Induttive	B	-	+	+	+
Magnetici	B	-		+/-	-
Infrarossi Passivi	A+B	+	+	+	+/-
Infrarossi Attivi	A+B	+	+/-	+	+/-
Doppler/ Microonde	A	+	+	+	+/-
Ultrasuoni	A+B	+	+	+	+
Acustici	B	+	+	+	+
Video	A+B	-	-	-	+/-

A = Alto; B = Basso

+ Vantaggioso rispetto alle caratteristiche indicate

- Non vantaggioso rispetto alle caratteristiche indicate.

2.6. Strumentazione e collocazione sul territorio

Il sistema di monitoraggio del traffico progettato potrà essere relativo ad una stazione puntuale (sezione autostradale, sezione viaria urbana, incrocio), ad un tronco stradale (più sezioni puntuali disposte in serie) o ad una rete stradale (insieme di stazioni puntuali e tronchi stradali).

Nel progetto si procederà alla individuazione delle posizioni delle componenti strumentali sul territorio e sulla rete infrastrutturale. Sarà quindi curata l'illustrazione delle componenti strutturali del sistema di monitoraggio (v. esempi Allegato 1).

Saranno inoltre analizzati gli aspetti organizzativi e funzionali, in modo da rendere agevole la predisposizione degli strumenti, l'attuazione dei rilevamenti, la gestione del sistema in fase di funzionamento. A questa fase progettuale possono ascrivere anche alcune attività strettamente connesse:

- esplicitazione di elementi necessari ai fini del rilascio di eventuali autorizzazioni e approvazioni;
- la pianificazione delle operazioni per l'installazione delle componenti strumentali e per la sicurezza delle operazioni sul campo;
- la stima del costo degli interventi (lavori di genio civile, messa a punto del sistema, acquisizione delle componenti strumentali e software, esercizio, manutenzione, ecc.);
- la pianificazione dell'esercizio e della manutenzione del sistema di monitoraggio (funzioni da espletare per assicurare efficienza e continuità operativa).

2.7. Definizione di un calendario per la raccolta dati

Il programma temporale o calendario (scheduling) delle attività di rilevamento va definito, in fase progettuale, una volta determinati l'ambito dello studio, la tecnica di raccolta dati e gli altri parametri di interesse. La definizione di un programma temporale è particolarmente utile nell'implementazione delle fasi di raccolta dati e nell'addestramento del personale preposto alle operazioni circa le loro specifiche attività. Il contenuto dello programma temporale riguarda i giorni specifici, il periodo all'interno del quale i dati saranno raccolti, ecc. Se possibile, esso conterrà anche i nomi delle persone assegnate a specifiche attività per ciascun periodo di monitoraggio.

E' conveniente redigere un inventario degli strumenti da utilizzare per garantire lo svolgimento delle operazioni di monitoraggio con continuità. Questi inventari si rendono particolarmente necessari per quei metodi che richiedono un uso intensivo della strumentazione. Tipicamente gli inventari sono strutturati in forma tabulare e registrano in ogni colonna le informazioni seguenti:

- periodo, data e ubicazione degli strumenti in uso;

- funzione, modello o numero seriale di identificazione della strumentazione usata;
- nomi o codici di identificazione delle persone che usano la strumentazione (con controlli in ingresso e in uscita);
- istruzioni per eseguire qualsiasi calibrazione necessaria sul campo.

2.8. Addestramento del personale

Il progetto indicherà le funzioni e le modalità di addestramento del personale cui si farà ricorso per l'esercizio nell'ambito del sistema di monitoraggio.

L'attitudine e la competenza del personale preposto alla raccolta dati giocano un ruolo rilevante ai fini della qualità dei risultati. Il personale sarà preventivamente addestrato sulla tecnica da utilizzare per assicurare un adeguato livello di qualificazione. L'addestramento può essere eseguito più efficacemente attraverso un lavoro con piccoli gruppi in cui ciascuna persona ha la possibilità di porre domande e di fare pratica usando la strumentazione. Una sessione tipica di addestramento includerà i seguenti punti chiave:

- scopo(i) della raccolta dati, che riguardano gli obiettivi dell'analisi e gli usi finali dei dati;
- dettagli operativi sulla tecnica di raccolta di dati e sulla strumentazione;
- tecniche di risoluzione dei problemi che possono insorgere nelle operazioni condotte sul campo;
- procedure specifiche o indicazioni per l'annullamento della raccolta dati a causa delle condizioni meteorologiche, di incidenti, di problemi alla strumentazione.

Un adeguato addestramento è necessario per mantenere costante il livello di qualità, pertanto è necessario destinare un'aliquota del budget a tali operazioni. Le sessioni di addestramento sono orientate ad impartire al personale le seguenti attitudini:

- *Questo lavoro è importante.* Sottolineare l'importanza della attività da svolgere;
- *Bisogna seguire le istruzioni.* Insegnare l'importanza delle istruzioni fornite, la necessità di eseguire procedure corrette sul campo, l'importanza della accuratezza e della consistenza;
- *Sono un professionista.* Ciascuna persona preposta alla raccolta dati dovrà agire secondo il seguente principio: «Ho un preciso compito da assolvere; sono un professionista pagato per svolgere una prestazione al meglio»;
- *La ricerca è importante.* Comunicare il valore della ricerca, come la ricerca di informazioni possa migliorare la capacità nel prendere decisioni, risolvere problemi e risparmiare denaro e risorse;
- *L'accuratezza e l'affidabilità dei dati sono sotto la mia responsabilità.* Sottolineare che ciascuna persona è responsabile affinché la raccolta dei dati sia accurata, affidabile e che sia eseguita secondo le istruzioni fornite.

E' necessario definire un chiaro protocollo, da far conoscere agli addetti, per le circostanze insolite, prima di avviare il monitoraggio dei dati. Durante le fasi del monitoraggio, da parte del personale su strada, potrebbero essere acquisite molteplici informazioni di tipo qualitativo, che potrebbero rivelarsi utili nelle fasi successive di analisi e di sintesi dei dati. Le informazioni qualitative utili riguardano:

- condizioni meteorologiche (sole, pioggia, nebbia);
- condizioni della pavimentazione (asciutta, bagnata, ghiacciata);
- condizioni del traffico o presenza di incidenti;
- informazioni riguardanti chiusure al traffico di alcune strade, incidenti, o eventi speciali che possono alterare le usuali condizioni di traffico.

L'uso di telefoni cellulari da parte del personale sul campo può permettere un risparmio di tempo e fondi.

In rapporto alle finalità dello studio, il monitoraggio si può estendere per periodi prolungati (anche mesi). Può essere opportuno prevedere un coordinatore delle attività in modo da controllare il processo di raccolta dati, risolvere problemi che potrebbero insorgere alla strumentazione e al personale, sovrintendere alle fasi di sintesi ed effettuare i controlli sulla qualità.

Al coordinatore compete l'eventuale sospensione dell'indagine sul campo, a causa di condizioni estreme o inusuali. Le condizioni che potrebbero portare ad un annullamento delle operazioni di rilievo dati possono essere:

- condizioni climatiche proibitive (temporali, ecc.);
- condizioni di traffico insolite (gravi incidenti, ecc.);
- malfunzionamento della strumentazione (batterie esaurite, strumenti non funzionanti).

Al coordinatore può essere attribuito il compito di acquisire i primi risultati ottenuti dal monitoraggio e trasmetterli al centro di elaborazione; essi saranno analizzati e sintetizzati (o aggregati) subito dopo la loro acquisizione, in modo da verificare che le attività di monitoraggio in atto siano corrette e i dati di qualità. Questa prima analisi dei dati e il controllo di qualità possono consentire di identificare potenziali problemi alla strumentazione o cause alla base di discrepanze sospette nei dati; tale rischio è particolarmente elevato nei sistemi automatici di raccolta dati. Un archivio in cui si annotano le analisi e i controlli di qualità eseguiti può aiutare nel registrare gli avanzamenti compiuti.

2.9. Studi pilota

Studi pilota o test si rendono necessari prima di avviare la fase vera e propria del monitoraggio. Essi potranno essere oggetto di specifica progettazione.

Se il personale preposto ha già esperienza, gli studi pilota possono non essere necessari. Essi potranno essere eseguiti su un campione

(approssimativamente il 5-10%) di infrastrutture incluse nel programma di monitoraggio. Gli scopi degli studi pilota sono i seguenti:

- acquisire praticità d'uso con gli strumenti di misura e il processo di raccolta dati;
- conoscere le caratteristiche dei siti in cui si svolge il monitoraggio;
- rilevare in sito parametri e informazioni complementari di interesse;
- identificare il possibile insorgere di problemi.

Inoltre, le variabilità dei dati ottenuti durante gli studi pilota possono essere usate per controllare e/o correggere le dimensioni del campione da determinare. Dopo aver completato lo studio pilota, il personale riferirà sulla facilità e funzionalità del processo di raccolta dati. Tale feedback può essere usato per ritrarre le procedure in modo da assicurare la migliore qualità dei dati.

2.10. Il database relazionale

Al fine di ordinare e gestire l'insieme di dati provenienti dal rilievo, è necessario in fase di progetto del sistema di monitoraggio, definire uno schema di database relazionale, i cui elementi principali sono rappresentati da:

- i riferimenti spaziali sul territorio (gli elementi monitorati del sistema stradale: sezione, tronco, corridoio, ecc.);
- i riferimenti temporali elementari (mesi, giorni, fasce orarie all'interno di un giorno);
- i riferimenti temporali aggregati, che costituiscono l'orizzonte temporale all'interno del quale viene eseguita l'attività di monitoraggio;
- l'insieme dei parametri di traffico da rilevare, che possono essere soggetti ad ulteriori elaborazioni.

I parametri di traffico, in assenza di specifici riferimenti normativi (leggi, norme tecniche, circolari), sono rappresentati almeno da: numero di veicoli circolanti, per corsia e per direzione, data e ora dei passaggi, velocità, classificazione.

3. ELABORATI DEL PROGETTO

L'obiettivo fondamentale della progettazione è la realizzazione di un intervento di qualità e tecnicamente valido, cercando di raggiungere il migliore rapporto tra i benefici e i costi, e di soddisfare i requisiti essenziali e le finalità.

Il progetto delle attività di monitoraggio va articolato in due livelli di progettazione: progetto preliminare e progetto definitivo. La progettazione esecutiva può essere inquadrata nelle attività di monitoraggio stesse e pertanto non viene inclusa in queste linee guida che si riferiscono specificamente alla fase di progettazione. La progettazione di opere e/o impianti eventualmente occorrenti per la realizzazione del monitoraggio segue le norme tecniche e di progettazione specifiche in essere.

Il *progetto preliminare* dà la definizione di quelle che sono le caratteristiche fondamentali e le esigenze da soddisfare; esso consiste in una relazione che illustra i motivi della scelta della soluzione adottata, in base alla valutazione delle eventuali alternative, e in una serie di elaborati che individuano le caratteristiche dimensionali, tipologiche, funzionali e tecnologiche degli interventi da realizzare.

Il *progetto definitivo* individua compiutamente gli interventi da realizzare, in base anche alle indicazioni fornite nel progetto preliminare; inoltre contiene gli elementi utili ai fini del rilascio delle necessarie autorizzazioni. Esso comprende una relazione descrittiva delle scelte progettuali, nonché dell'inserimento delle opere sul territorio ed è corredato da elaborati quali disegni, in opportuna scala, che illustrano le caratteristiche principali del progetto e lo integrano in misura adeguata, e un computo metrico estimativo.

3.1. Progetto preliminare

Il progetto preliminare stabilisce le caratteristiche più significative del progetto definitivo, e conterrà, ad eccezione di casi particolari, gli elaborati di seguito illustrati.

Relazione illustrativa

La relazione illustrativa dovrà innanzitutto chiarire gli obiettivi e le finalità del progetto del sistema di monitoraggio del traffico. Importante quanto quella degli obiettivi è la corretta definizione degli usi e degli utilizzatori dei dati da raccogliere.

L'obiettivo primario è in genere quello di costituire una raccolta di dati sulle condizioni operative di un sistema di trasporto più o meno complesso; accanto a questo possono essere individuati obiettivi più specifici, secondo interessi particolari: la regolazione del traffico, la gestione di servizi, il controllo degli accessi, la repressione delle infrazioni, la sicurezza, ecc.. Nel caso di obiettivi multipli e concomitanti, è necessario definire una scala di priorità.

Importante quanto quella degli obiettivi è la corretta definizione degli usi e dei benefici dei dati da raccogliere: la chiarezza circa le successive utilizzazioni dei dati rilevati, favorisce la identificazione e la precisazione dell'azione di monitoraggio; inoltre sapere a chi sono destinati i dati è un altro importante elemento da considerare, perché esso può condizionare alcune variabili del processo di raccolta e presentazione dei dati stessi.

Gli usi possono essere classificati in tre grandi categorie: pianificazione e progettazione, operazioni da compiere sul sistema dei trasporti, valutazioni; quanto agli utilizzatori potrebbe trattarsi di tecnici o di altri tipi di utenti.

La relazione dovrà altresì dare indicazione dell'ambito oggetto di rilievo, ovvero individuare l'area all'interno della quale ricadono i siti oggetto del monitoraggio; a tal proposito, può essere individuata un'area circoscritta (sezione puntuale, come ad esempio una sezione autostradale o un'intersezione cittadina), un corridoio territoriale tra due siti definiti (più sezioni puntuali di un tronco stradale), un'area comprensoriale o regionale (più tronchi stradali di una rete). Per l'area prescelta si illustreranno le principali caratteristiche geometriche e funzionali delle infrastrutture e dei servizi di trasporto.

Saranno inoltre date indicazioni circa l'estensione temporale dell'indagine, cioè il periodo temporale di riferimento del sistema di monitoraggio. In particolare l'estensione temporale può essere riferita ai mesi dell'anno, ai giorni della settimana, o a periodi temporali brevi, come una o più fasce orarie giornaliere.

Nella relazione saranno riportate precise indicazioni sulle tecniche e tecnologie prescelte per la raccolta dei dati, nonché sulle ragioni delle scelte (finalità del monitoraggio, tipologia dei dati richiesti, vantaggi e svantaggi, budget disponibile, ecc.).

Saranno inoltre descritte le modalità del rilevamento.

La relazione dovrà altresì indicare:

1. le problematiche legate alla fattibilità ambientale;
2. la fattibilità dell'intervento, attraverso apposita documentazione;
3. la disponibilità di aree o di immobili da utilizzare;
4. le direttive per il progetto definitivo;
5. la successione temporale delle fasi attuative;
6. le indicazioni necessarie per garantire l'accessibilità, l'utilizzo e la manutenzione delle opere, degli impianti e dei servizi esistenti.

La relazione darà anche chiare e precise indicazioni che non risultano dai disegni e che possono influenzare le scelte e la riuscita del progetto. Infine riporterà una descrizione sommaria delle forme di finanziamento per la copertura delle spese.

Relazione tecnica

La relazione tecnica conterrà gli studi tecnici preliminari atti a definire la tipologia del monitoraggio con le indicazioni di massima dei requisiti richiesti.

Elaborati grafici/ Tabelle

Gli elaborati grafici, o disegni, devono essere redatti nella scala più opportuna, e essere differenziati in base alla dimensione e alla tipologia del sistema; sono costituiti da:

- a) corografia generale, con riferimento all'orografia dell'area, al sistema di trasporti e degli altri servizi esistenti, in scala non inferiore a 1:25000;
- b) planimetrie in scala non inferiore a 1:5000, sulle quali sono individuati i siti di rilievo;
- c) indicazioni di massima, in scala adeguata, di eventuali manufatti speciali che l'intervento richiede;
- d) tabelle contenenti le quantità caratteristiche delle attività da effettuare e delle risorse impegnate di manodopera e attrezzature.

Inoltre, il progetto preliminare deve specificare gli elaborati e le relative scale da adottare in sede di progetto definitivo.

Calcolo di massima dei costi

Il calcolo di massima dei costi è effettuato applicando alle quantità caratteristiche e alle risorse da impegnare, stime di costi parametrici deducibili da applicazioni similari già realizzate, o in mancanza prezzi unitari elaborati con specifiche analisi .

3.2. Progetto definitivo

Il progetto definitivo viene redatto sulla base delle indicazioni del progetto preliminare, e contiene gli elaborati descritti nel seguito. Se il progetto definitivo è posto a base di gara, è corredato dallo schema di contratto e dal capitolato speciale d'appalto.

Relazione descrittiva

La relazione descrittiva fornisce i chiarimenti necessari per dimostrare la rispondenza del progetti alle finalità dell'intervento, il rispetto del prescritto livello qualitativo, dei conseguenti costi e dei benefici attesi. In particolare:

- a) descrive, con riferimento ai singoli punti della relazione illustrativa del progetto preliminare, i criteri utilizzati per le scelte progettuali, gli aspetti dell'inserimento dell'intervento sul territorio, le caratteristiche prestazionali e descrittive della strumentazione prescelta, e i criteri di progettazione, in particolare per quanto riguarda la sicurezza, la funzionalità e l'economia di gestione;
- b) riferisce in merito a tutti gli aspetti riguardanti la topografia, la geologia, l'idrologia, il paesaggio e l'ambiente che sono stati esaminati e risolti in sede di progettazione con lo studio fattibilità ambientale;
- c) contiene le motivazioni che hanno indotto il progettista ad apportare variazioni alle indicazioni contenute nel progetto preliminare.

La relazione deve altresì dare indicazione dell'ambito oggetto di rilievo, deve cioè individuare l'area all'interno della quale ricadono i siti oggetto del monitoraggio; a tal proposito, può essere individuata un'area circoscritta (sezione puntuale, come ad esempio una sezione autostradale o un'intersezione cittadina), un corridoio territoriale tra due siti definiti (più sezioni puntuali di un tronco stradale), un'area comprensoriale o regionale (più tronchi stradali di una rete). Per l'area prescelta occorre illustrare le principali caratteristiche geometriche e funzionali delle infrastrutture. In particolare per una infrastruttura stradale dovrà indicare:

a) Caratteristiche geometriche

- lunghezza dell'arco
- morfologia e dimensioni della sezione trasversale (o, nel caso di un'intersezione urbana, delle sezioni trasversali dei rami incidenti): larghezza della carreggiata, sensi di marcia e numero di corsie relative, caratteristiche dello spartitraffico se presente, larghezza delle banchine, numero e caratteristiche di eventuali corsie riservate, larghezza dei marciapiedi (per strade cittadine), aree riservate alla sosta;
- pendenza, tortuosità, percentuale dei tratti con visibilità per il sorpasso;
- numero di intersezioni lungo il tratto di interesse;
- numero di canali, in presenza di un casello autostradale.

b) Caratteristiche funzionali/ gestionali

- categoria della strada ed ente proprietario;
- velocità media di base e tempo di percorrenza a flusso nullo;
- tipologia delle intersezioni nei nodi iniziale e finale; nel caso della presenza di un semaforo, i dati sul ciclo semaforico;
- le attività presenti lungo il percorso e il loro grado di disturbo al deflusso;
- eventuali limiti alla circolazione;
- l'importo dell'eventuale pedaggio;
- regolamentazione e tariffazione della sosta;
- regolamentazione delle operazioni di carico e scarico delle merci (sole per le aree urbane);
- attraversamenti pedonali;
- la pavimentazione e le sue condizioni di manutenzione;
- la presenza di eventuale illuminazione;
- presenza di insediamenti significativi.

Nella relazione sarà indicata l'estensione temporale dell'indagine, cioè il periodo temporale durante il quale sarà operativo il sistema di monitoraggio. In particolare l'estensione temporale può essere riferita ai mesi dell'anno, ai giorni della settimana, o a periodi temporali brevi, come una o più fasce orarie giornaliere.

La relazione deve dare precise indicazioni sulle tecniche e tecnologie prescelte per la raccolta dei dati.

Nel caso di indagini manuali, occorre suggerire una scheda tipo per la restituzione dei dati rilevati, in cui sarà indicato il nome e il codice del rilevatore, la data e l'ora del rilevamento, il numero di sezione e la via in cui essa è ubicata, la direzione di marcia, altri elementi eventuali; può essere utile, ai fini di una migliore comprensione dei dati raccolti, riportare le condizioni atmosferiche durante il rilevamento, e il verificarsi di eventi eccezionali.

La relazione deve altresì indicare:

1. le ragioni delle soluzioni prescelte;
2. le problematiche legate alla fattibilità ambientale;
3. la fattibilità dell'intervento, attraverso apposita documentazione;
4. la disponibilità di aree o di immobili da utilizzare;
5. le direttive per il progetto esecutivo;
6. la successione temporale delle fasi attuative;
7. le indicazioni necessarie per garantire l'accessibilità, l'utilizzo e la manutenzione delle opere, degli impianti e dei servizi esistenti.

La relazione darà anche chiare e precise indicazioni che non risultano dai disegni e che possono influenzare le scelte e la riuscita del progetto.

Infine riporterà una descrizione sommaria delle forme di finanziamento per la copertura delle spese.

Relazioni tecniche specialistiche

Nel caso la progettazione implichi la soluzione di questioni specialistiche, queste saranno oggetto di apposite relazioni che definiranno le problematiche e indicheranno le soluzioni da adottare. In particolare sarà elaborata una relazione tecnica che definisce i criteri di campionamento spazio temporale del rilievo e giustifichi le scelte eseguite in proposito.

Elaborati grafici

Gli elaborati grafici sono costituiti, oltre che da quelli già predisposti con il progetto preliminare anche da:

- a) stralcio dello strumento urbanistico generale o attuativo con l'esatta indicazione dei luoghi dell'intervento;
- b) planimetria in scala non inferiore a 1:2000 con la descrizione delle aree interessate dall'intervento;
- c) piante, sezioni e prospetti in scala non inferiore a 1:100 di tutte le opere riconducibili ad opere puntuali.

Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici

Questo elaborato precisa, sulla base delle specifiche tecniche, tutti i contenuti prestazionali tecnici degli elementi previsti nel progetto

Computo metrico estimativo

Viene redatto applicando alle quantità relative alle singole attività di rilievo i prezzi unitari, disponibili presso l'ente di gestione della strada, o in mancanza elaborati dal progettista con apposite analisi di prezzo documentate da offerte di mercato sull'uso di apparecchiature e dai costi correnti del personale, con l'aggiunta di spese generali nella misura massima del 15 % e dell'utile dell'impresa.

Capitolato speciale prestazionale

Il capitolato speciale prestazionale contiene:

- a) l'indicazione delle necessità funzionali, dei requisiti e delle specifiche prestazioni che dovranno essere presenti nell'intervento, in modo che questo risponda alle esigenze della stazione appaltante e degli utilizzatori, nel rispetto delle rispettive risorse finanziarie;
- b) la specificazione delle opere generali e delle eventuali opere specializzate comprese nell'intervento con i relativi importi;
- c) una tabella degli elementi e sub-elementi in cui l'intervento è suddiviso.

Al fine di facilitare la formulazione di un'offerta completa per la realizzazione del sistema di monitoraggio da parte di ditte specializzate, il progetto potrà includere un opportuno modello di offerta.

L'offerta tipo dovrà contenere almeno le seguenti indicazioni:

- *luogo dell'installazione*, con la numerazione e/o la denominazione della strada, la posizione chilometrica della postazione, il numero di corsie di traffico che si vogliono monitorare;
- *parametri da misurare e modalità di memorizzazione e restituzione dei dati acquisiti*, con i riferimenti normativi (leggi, norme tecniche, circolari) se esistenti; in assenza di tali riferimenti è almeno necessario richiedere che il sistema fornisca:
 - numero di veicoli circolanti, per corsia e per direzione;
 - data e ora dei passaggi;
 - velocità;
 - classificazione.
- Inoltre, in assenza di riferimenti normativi, ma non solo, il proprietario della strada dovrà indicare un proprio sistema preferenziale di raccolta e presentazione dei dati.
- *prestazione richiesta dalle apparecchiature*, in termini di precisione dell'errore di conteggio, della accuratezza di classificazione veicolare e di eventuali altri parametri previsti dalle normative vigenti; in assenza di precisi riferimenti normativi o legislativi l'offerente dichiarerà i valori prestazionali delle proprie apparecchiature;
- *metodologia di collaudo dell'intero sistema offerto*;
- *sistema di monitoraggio preferito*;
- *informazioni logistiche*:
 - presenza o meno di energia elettrica;
 - disponibilità di un ricovero per le apparecchiature e sua descrizione;

- disponibilità di personale dell'ente proprietario della strada, nelle fasi di installazione; qualifica e descrizione dell'assistenza disponibile;
- tempi previsti per la successiva manutenzione dell'asfalto nel luogo della postazione.
- *eventuali opere civili* necessarie all'attrezzaggio della postazione.

Appendice A

Il campionamento delle infrastrutture da monitorare

La fase del campionamento delle infrastrutture da monitorare si rende necessaria quando, a causa della elevata estensione del sistema di trasporto sotto analisi (rete di trasporto stradale urbana, regionale,...), il budget disponibile per la raccolta di dati non è sufficiente, oppure quando si desidera concentrare le risorse nella raccolta di dati sugli elementi più critici del sistema. L'organizzazione del campione dipende dall'utilizzo successivo dei dati. Per esempio, in un sistema di monitoraggio organizzato a livello regionale è sufficiente l'acquisizione di dati su un campione costituito dalle arterie principali dell'area. Uno studio "before-and-after", invece, richiede informazioni molto più dettagliate e necessita di una raccolta dati su tutte le infrastrutture che si ritrovano nell'area di studio.

Il campionamento stratificato dei dati è considerato tipicamente quando i fondi disponibili non sono sufficienti per il completo monitoraggio della rete stradale. In questa operazione è necessaria una conoscenza delle tecniche statistiche di campionamento.

I passi per effettuare un campionamento stratificato sono i seguenti:

Definizione di differenti classi di infrastrutture sulla base di un criterio funzionale;

Individuazione degli elementi infrastrutturali in rapporto all'ambito geografico e alla classificazione funzionale; questo passo consiste semplicemente nell'individuare gli elementi da monitorare interni all'area di studio.

Suddivisione degli elementi infrastrutturali individuati al passo precedente in unità più piccole; per esempio, nel caso di percorsi individuati, essi possono essere suddivisi in tronchi aventi caratteristiche geometriche e funzionali simili. Interruzioni o nodi possono essere localizzati in corrispondenza di aree di interscambio, intersezioni semaforizzate, confini giurisdizionali, punti in cui la caratteristiche dell'infrastruttura subiscono variazioni geometriche o funzionali. Nel caso di autostrade e superstrade, tali punti possono essere ubicati in corrispondenza di rampe di ingresso/uscita o di variazione del numero di corsie. Per strade extraurbane o grandi arterie urbane tali punti possono essere localizzati in corrispondenza delle maggiori intersezioni o laddove si rilevino evidenti modifiche delle attività socio-economiche presenti a margine della strada. La definizione dell'estensione dei tronchi stradali è affidata a giudizi personali degli analisti e alla conoscenza delle condizioni locali del traffico.

Dimensionamento del campione, al fine di determinare il numero di tronchi stradali da campionare per ciascun gruppo funzionale definito. La definizione dell'estensione del campione per la stima di una variabile di traffico (v.Tab.A.1) si basa sulla valutazione di tre parametri statistici:

- coefficiente di variazione (c.v.): misura relativa di variabilità, definita come il rapporto fra la deviazione standard e la media. Il c.v. può essere calcolato a

partire da dati esistenti, oppure si può fare ricorso a valori di default presenti in letteratura (Tab.A.1).

- statistica-Z (o t-statistica per campioni inferiori a 30 elementi): funzione del livello di confidenza desiderato (es. livello di confidenza del 95%) per la media campionaria. I livelli di confidenza comunemente usati oscillano tra l'80% e il 95%, ma essi possono dipendere da vincoli di budget;
- errore relativo ammesso (e): espresso in percentuale, pari a $\frac{1}{2}$ dell'intervallo di confidenza desiderato per la media campionaria (es. $\pm 5\%$). I livelli dei errore generalmente usati variano tra il 5 e il 10 %.

Selezione dei tronchi stradali da campionare all'interno di ciascun gruppo funzionale individuato (stratificazione). Le tecniche di campionamento stratificato casuale vengono usate per selezionare la dimensione necessaria del campione di tronchi stradali da monitorare. Un campionamento gerarchizzato, invece, fa sì che il 10-20 % del campione sia costituito dal totale dei tronchi critici o più congestionati, mentre il rimanente 80-90% sia rappresentato da tronchi campionati casualmente. Sebbene il campionamento gerarchizzato non sia conforme ai metodi statistici di campionamento casuale stratificato, esso permette di concentrare gli sforzi di raccolta dati sugli elementi critici o più congestionati. Uno o più fattori seguenti possono essere usati per gerarchizzare la raccolta dei dati:

- presenza di colli di bottiglia o aree congestionate;
- cambiamenti percentuali nei livelli di congestione (se noti);
- flusso di traffico giornaliero medio per corsia;
- flusso di traffico giornaliero medio.

Questi fattori permettono di classificare i tronchi stradali che presentano la congestione più elevata come «altamente prioritari», mentre i tronchi stradali rimanenti vengono scelti casualmente per raggiungere la dimensione del campione per ciascun gruppo delineato (strato). Con questa tecnica, viene eseguito il monitoraggio su tutti i tronchi a «priorità elevata», e su alcuni tronchi selezionati casualmente.

Nel seguito vengono proposti due esempi riguardanti la stima della dimensione del campione. Nel primo caso (Esempio 1) il campione è composto da un certo numero di sezioni da monitorare per raggiungere i livelli di precisione richiesti per la determinazione del Traffico Medio Giornaliero Annuo. Nel secondo caso (Esempio 2) la dimensione del campione è rappresentata dal numero di corse necessarie per effettuare un rilievo dei tempi di viaggio, con un veicolo test lungo un tronco stradale o un itinerario.

Tabella A.1. Formule per la stima della dimensione del campione

Coefficiente di Variazione	
$c.v. = \sigma/\mu \approx s/x$	σ , deviazione standard della popolazione μ , media della popolazione s , deviazione standard del campione x , media del campione
Dimensione iniziale del campione	
$n' = [(c.v. \cdot z)/e]^2$	z , statistica-Z basata sul livello di confidenza e , livello di errore relativo ammesso (%)
Dimensione del campione corretta per popolazione finita	
$n = n' / (1 + n'/N)$	n' , dimensione campione non corretto N , dimensione della popolazione
Il Coefficiente di variazione può essere stimato da dati esistenti oppure possono essere utilizzati i seguenti valori consigliati:	
Autostrade/Strade a scorrimento veloce: c.v. variabile tra il 15% e il 25% (a seconda del flusso di traffico)	
Altre strade: (a seconda del flusso di traffico)	c.v. variabile tra il 20% e il 25%
La statistica-Z è basata sull'intervallo di confidenza desiderato. Alcuni valori sono forniti nel seguito per livelli di confidenza usuali:	
Livello di confidenza desiderato	Statistica-Z
99 %	2.575
95 %	1.960
90 %	1.845
85 %	1.440
80 %	1.282
L' errore relativo ammesso (e) è espresso come una percentuale della media campionaria, e dipende dell'uso che si fa dei dati. I livelli di errore comuni accettati sono:	
± 5 % per analisi di tipo progettuale ed operativo;	
± 10 % per attività di pianificazione e programmazione.	

Esempio 1

La dimensione del campione di sezioni da monitorare al fine di ottenere un valore del Traffico Medio Giornaliero Annuo, ipotizzando un universo di sezioni finito, viene derivata dalla seguente formula:

$$n = \frac{n'}{(1 + n'/N)} = \frac{(c.v.^2 \times z^2 / e^2)}{(1 + (c.v.^2 \times z^2 / e^2) \times (1/N))}$$

Se:

- il tasso di precisione desiderato è del 5%,
 - il livello di confidenza è del 90%,
 - il coefficiente di variazione del TGM è pari a 0.40,
 - l'universo delle sezioni campionabili è pari a 300,
- il numero di sezioni da campionare sarà pari a:

$$n = \frac{(0.40^2 \times 1.845^2 / 0.05^2)}{(1 + (0.40^2 \times 1.845^2 / 0.05^2) \times (1/300))} = 126$$

Esempio 2

Nel caso del rilievo del “tempo di viaggio” facendo ricorso a tecniche che utilizzano veicoli test, la dimensione del campione è rappresentata dal numero di “corse” che devono essere eseguite lungo il tronco o l’itinerario da monitorare nel periodo temporale di interesse. Il ricorso ad una dimensione minima del campione assicura che il tempo di viaggio medio ottenuto dal rilievo sia contenuto all’interno del range di errore richiesto. L’equazione standard per il calcolo della dimensione del campione è la seguente:

$$n = \left(\frac{t \times s}{\varepsilon} \right)^2$$

con t variabile di Student. Usando le relazioni seguenti:

$$c.v. = \left(\frac{s}{\bar{x}} \right) \quad e = \left(\frac{\varepsilon}{\bar{x}} \right)$$

con \bar{x} , valore medio del tempo di viaggio, si deriva il valore di n:

$$n = \left(\frac{t \times s}{\varepsilon} \right)^2 = \left(\frac{t \times (c.v. \times \bar{x})}{(e \times \bar{x})} \right)^2 = \left(\frac{t \times c.v.}{e} \right)^2$$

Se la dimensione del campione raggiunge o supera le 30 unità, può essere usata la distribuzione normale in luogo della distribuzione t-Student, per cui si può utilizzare l’espressione:

$$n = \left(\frac{z \times c.v.}{e} \right)^2$$

In Tab.A.2 sono riportati, a titolo esemplificativo, alcuni valori dei coefficienti di variazione comunemente accettati per rilievi condotti con veicoli test lungo autostrade e strade di grande comunicazione.

Tab.A.2 Coefficienti di variazione per rilievi condotti con veicoli test lungo "Autostrade" e "Strade di grande comunicazione".

Autostrade		Strade di grande comunicazione	
Portata di Traffico Media Giornaliera per corsia	Coeff. Var. Medio (%)	Densità di segnali di traffico	Coeff. Var. Medio (%)
< 15.000	9	< 3	9
Da 15.000 a 20.000	11	Da 3 a 6	12
> 20.000	17	> 6	15

I valori dei coefficienti di variazione per i tempi di viaggio sono variabili in ragione delle caratteristiche fisiche e di controllo del traffico della strada (es. numero di segnali di traffico) e delle condizioni di traffico (es. deflusso libero o condizioni di congestione).

A partire dai valori del c.v. espressi in Tab.A.2, può essere calcolata la dimensione minima del campione (n). L'errore relativo ammesso viene determinato in rapporto agli usi predeterminati dei dati relativi al tempo di viaggio. Le Tabb.A.3 e A.4 mostrano le dimensioni minime del campione calcolate facendo ricorso alle equazioni sopra presentate per varie combinazioni del livello di confidenza (L.d.c.) e dell'errore relativo ammesso (e).

Tab.A.3 Dimensioni del campione per rilievi del tempo di viaggio su autostrada.

Portata di Traffico Media Giornaliera per corsia	Coeff. Var. Medio (%)	Dimensione del campione*		
		L.d.C.= 90% e = ± 10%	L.d.C.=95% e=± 10%	L.d.C.=95% e = ± 5%
< 15.000	9	5	6	15
Da 15.000 a 20.000	11	6	8	21
> 20.000	17	10	14	47

*Gli elementi del campione rappresentano il numero di corse da effettuare con veicoli test.

Tab.A.4 Dimensioni del campione per rilievi del tempo di viaggio su strade di grande comunicazione.

Densità dei segnali (segnali per miglio)	Coeff. di Var. Medio (%)	Dimensione del campione*		
		L.d.C.= 90% e = ± 10%	L.d.C.=95% e=± 10%	L.d.C.=95% e = ± 5%
< 3	9	5	6	15
Da 3 a 6	12	6	8	25
> 6	15	9	12	37

*Gli elementi del campione rappresentano il numero di corse da effettuare con veicoli test.

Appendice B

Sistemi e tecnologie per il monitoraggio del traffico stradale

La complessità di un sistema di monitoraggio dipende essenzialmente dall'ampiezza dell'ambito di interesse, dal numero delle variabili ricercate, dal livello di sofisticazione dell'architettura del sistema.

In generale, un sistema di monitoraggio si caratterizza attraverso la combinazione dei seguenti elementi:

- estensione spaziale dell'ambito oggetto di osservazione (area circoscritta, vasta, urbana, extraurbana, ecc.);
- estensione della rete stradale (semplice intersezione, singolo ramo, gruppo di rami e intersezioni, rete principale, ecc.);
- estensione temporale (periodo di riferimento, durata delle operazioni d'indagine, cadenza temporale delle misure);
- numero e tipo di variabili;
- tecniche e tecnologie (apparato strumentale ed organizzativo) per i rilievi.
-

Le tecniche e tecnologie di rilevamento costituiscono il cuore della catena informativa realizzata dal sistema di monitoraggio. Nel seguito se ne illustrano alcune, distinguendo quelle che richiedono la presenza continuativa di un operatore umano (tecniche di rilevamento manuale) da quelle che non la richiedono (tecniche di rilevamento automatico). Sono inoltre proposti alcuni suggerimenti sintetici in merito all'impiego delle diverse tecnologie in rapporto ad obiettivi di monitoraggio specifici.

B.1. Tecniche di rilevamento manuale

I metodi manuali di acquisizione dei dati di traffico si basano sulla rilevazione diretta eseguita da un operatore umano. Questo approccio è preferito per il conteggio dei veicoli su brevi periodi di tempo, perché l'operatore umano possiede non solo la capacità di rilevare i veicoli e riconoscerne il tipo, ma anche quella di valutare le manovre dei veicoli ed il comportamento del guidatore. Tuttavia l'osservatore umano presenta dei limiti naturali che possono non garantire la correttezza e l'esattezza delle informazioni rilevate. Il primo è rappresentato dalla non istantanea velocità di registrazione dei dati; difatti, i tempi di reazione relativamente lunghi (variabili tra 0,5 e 2 secondi) non consentono in questo caso un rilievo accurato di eventi che si verificano simultaneamente. Il secondo limite è da attribuire all'affaticamento, che determina una minore attendibilità all'aumentare del tempo di rilevamento (si ritiene che un addetto al rilevamento sia efficiente per un periodo massimo di circa 3 ore). Per il motivo suddetto, i metodi manuali di misura dei parametri del traffico sono generalmente utilizzati per rilevamenti di breve durata. Alcuni di essi sono descritti nel seguito.

B.1.1. Il rilevamento con il metodo dell'osservatore fisso

Il metodo manuale dell'osservatore fisso rappresenta la più semplice e antica tecnica di valutazione dei parametri caratteristici principali di un flusso veicolare in un tronco stradale (portata, densità, velocità media).

Un unico osservatore, posizionato per un tempo T in corrispondenza di una sezione stradale, può soltanto effettuare il conteggio dei veicoli in transito per la sezione; in tal caso, il solo parametro del deflusso a cui si può risalire è la portata q , valutabile semplicemente come:

$$q = \frac{n}{T}$$

essendo n il numero di veicoli rilevati nel periodo di osservazione T .

Se invece il rilevamento è eseguito per un tempo T da più osservatori fissi posizionati in corrispondenza della sezione di ingresso e di uscita di un tronco stradale lungo L (assumendo che si verifichino condizioni stazionarie di deflusso), oltre alla portata stradale è possibile risalire anche alla densità ed alla velocità media del flusso in esame. In tal caso, gli osservatori, muniti di cronometri perfettamente sincronizzati, possono rilevare per ciascuno dei veicoli in transito sia il tipo sia l'istante in cui avviene l'attraversamento. Il rilievo richiede particolare attenzione ed un lavoro di analisi dei dati rilevati a valle (identificazione dei veicoli sulle due sezioni); esso non risulta agevole ed i rilievi tendono a perdere di affidabilità per flussi di traffico elevati.

In tali condizioni risulta facile ricavare il numero totale n di veicoli transitanti nel tempo di osservazione T nel tronco stradale, nonché il tempo t_i che ciascun veicolo osservato impiega per percorrere il tronco stesso, cioè:

$$t_i = t_{2i} - t_{1i}$$

dove t_{1i} e t_{2i} rappresentano rispettivamente gli istanti di attraversamento della sezione iniziale e finale del tronco di strada in esame.

La portata q del deflusso veicolare è data ovviamente dalla relazione:

$$q = \frac{n}{T}$$

mentre la densità k può essere valutata come:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T \cdot L}$$

Ricordando la relazione fondamentale del deflusso $q = k v_s$, nella quale v_s è la velocità media del flusso veicolare nel tronco stradale (intesa come media spaziale delle velocità dei veicoli presenti in un istante sul tratto di infrastruttura), si ricava che :

$$v_s = \frac{q}{k} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i / L} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n L / v_{si}}$$

dove $v_{si} = L / t_i$ è la velocità media di un generico veicolo sul tronco stradale L . Pertanto, la velocità media v_s del flusso degli n veicoli nel tratto di infrastruttura può essere calcolata come la media armonica delle velocità medie v_{si} dei singoli veicoli.

B.1.2. Il rilevamento con il metodo dell'osservatore mobile

La tecnica dell'osservatore mobile (elaborata da Wardrop nel 1954, ma tuttora in uso) consente la valutazione dei principali parametri del flusso veicolare che interessa ciascuno dei due sensi di marcia di un tronco stradale (portata, densità, velocità media, tempo di percorrenza medio). Tale metodo si basa su una serie di rilevamenti effettuati a bordo di un veicolo di osservazione mobile, al quale si fa percorrere il tratto stradale di interesse (lungo L) in ciascuno dei due sensi di marcia.

Quando il veicolo di osservazione mobile percorre il tronco stradale L nello stesso verso del flusso veicolare che si vuole esaminare, gli operatori (due o tre) presenti a bordo del veicolo rilevano il numero n_1 di veicoli sorpassati, il numero n_2 di veicoli che sorpassano ed il tempo T_A di percorrenza del tratto stradale. Se il veicolo si muove con una velocità media $v_A = L / T_A$, per il flusso veicolare in esame si definisce la seguente relazione:

$$\frac{n_2 - n_1}{T_A} = q - k \cdot v_A$$

ovvero:

$$\frac{n_A}{T_A} = q - k \cdot v_A \quad (1)$$

dove q e k sono rispettivamente la portata e la densità del flusso veicolare, mentre $n_A = n_2 - n_1$ rappresenta la differenza (col segno che compete) tra i veicoli che hanno sorpassato il veicolo test e quelli che sono stati sorpassati. A conferma della relazione vista, è sufficiente considerare i due seguenti casi particolari. Se il veicolo di osservazione è fermo ($v_A = 0$, $n_1 = 0$) la relazione (1) fornisce una portata $q = n_2 / T_A$, la quale risulta verosimile poiché, nel caso considerato, n_2 viene a rappresentare il numero di veicoli che attraversano una sezione del tronco nel tempo di osservazione T_A . Nel caso, invece, in cui tutti i veicoli sul tronco sono fermi ($n_2 = 0$), il veicolo test, viaggiando con velocità $v_A = L / T_A$, sorpassa n_1 veicoli; in tal caso la densità vale $k = n_1 / L = n_1 / (v_A T_A)$ e la relazione (1) fornisce una portata $q = 0$, la quale risulta perfettamente rispondente al caso reale preso in considerazione.

Una volta percorso il tronco stradale nello stesso verso del flusso veicolare che si vuole esaminare, il veicolo di osservazione mobile percorre il tronco nel senso di marcia opposto; in questo secondo spostamento vengono rilevati il numero n_R di veicoli viaggianti controcorrente rispetto al veicolo test (ovvero il numero di veicoli in movimento nel senso del flusso veicolare in esame) ed il tempo T_R di percorrenza del tratto stradale da parte del veicolo di osservazione mobile. Se quest'ultimo si muove con una velocità media $v_R = L / T_R$, per il flusso veicolare in esame vale in questo caso la seguente relazione:

$$\frac{n_R}{T_R} = q + k \cdot v_R \quad (2)$$

dove q e k sono sempre la portata e la densità del flusso. La relazione vista conferma che, nel caso particolare di veicolo test fermo, la portata veicolare risulta $q = n_R / T_R$, mentre invece risulta pari al valore nullo nel caso particolare in cui tutti i veicoli del tronco sono fermi.

L'importanza delle relazioni (1) e (2) risiede nella possibilità di esprimere la portata q del flusso veicolare in esame come:

$$q = \frac{n_A + n_R}{T_A + T_R} \quad (3)$$

Infatti dalla (1) e dalla (2) si ha che:

$$n_A = q \cdot T_A - k \cdot v_A \cdot T_A = q \cdot T_A - k \cdot L \quad (4a)$$

$$n_R = q \cdot T_R + k \cdot v_R \cdot T_R = q \cdot T_R + k \cdot L \quad (4b)$$

Ne consegue che:

$$n_A + n_R = q \cdot T_A + q \cdot T_R$$

da cui si ottiene proprio la (3).

Pertanto, per conoscere il flusso di traffico in una certa direzione, su un tronco di strada a doppio senso di marcia, basterà che il veicolo di osservazione mobile percorra il tratto due volte, una in andata ed una in ritorno, rilevando il suo tempo di percorrenza ed il flusso veicolare sia nelle condizioni di andata (T_A, n_A) che in quelle di ritorno (T_R, n_R). Valutato il flusso veicolare q in un verso di marcia del tronco stradale L , è possibile risalire al tempo T di percorrenza medio del tronco stesso come :

$$T = T_A - \frac{n_A}{q} \quad (5)$$

Infatti, dall'equazione di stato del deflusso:

$$q = k \cdot v = k \frac{L}{T}$$

si ricava che:

$$T = \frac{k \cdot L}{q}$$

per cui, sfruttando la relazione (4a) si ottiene la (5):

$$T = \frac{q \cdot T_A - n_A}{q} = T_A - \frac{n_A}{q}$$

Noti la portata q ed il tempo T di percorrenza medio, è possibile calcolare la velocità media v e la densità k del flusso veicolare preso in esame come:

$$v = \frac{L}{T} \quad (6)$$

$$k = \frac{q}{v} \quad (7)$$

B.1.3. Il rilevamento mediante schede o con apparecchio contacolpi

Nell'ambito dei metodi manuali di rilevamento dei parametri del traffico, la registrazione dei dati può essere effettuata adoperando moduli cartacei preparati in anticipo.

Nel caso di conteggi di traffico, ad esempio, si dovranno riportare su schede, per ogni categoria di veicolo individuata e per ogni intervallo temporale, il numero dei veicoli transitati, il totale di veicoli relativo all'intera durata del rilevamento, il totale relativo ad intervalli di durata inferiore ma significativi, nonché alcune statistiche utili per una migliore interpretazione dei flussi.

Sarà opportuno, in fase di progettazione della campagna d'indagine, indicare il numero dei rilevatori e i turni necessari ai fini dello svolgimento delle operazioni di conteggio, nonché la loro collocazione fisica nei pressi della sede viaria, che deve rispondere da un lato ad esigenza di incolumità e sicurezza, dall'altro alla possibilità di poter svolgere il conteggio nel modo più efficiente possibile e riducendo al minimo la probabilità di errore.

Le attività di conteggio di traffico operate dall'uomo possono essere facilitate, ricorrendo a strumenti meccanici azionati a mano. Un esempio di tali strumentazioni è rappresentato dall'apparecchio contacolpi, il quale costituisce per il rilevatore umano un supporto di valido aiuto ai fini della classificazione dei veicoli in categorie (moto, autovetture, furgoni, autocarri, autotreni, autoarticolati, autobus, ecc.).

L'apparecchio nelle versioni più moderne è alimentato da una batteria interna ricaricabile e risulta provvisto di uno schermo a cristalli liquidi (per la lettura dei dati) e di una tastiera, nella quale alcuni dei tasti possono riportare sagoma del veicolo tipo di ciascuna categoria, mentre altri riguardano le operazioni di registrazione, lettura e visualizzazione.

Ogni volta che transita un veicolo, il rilevatore preme il tasto rappresentativo della categoria cui il veicolo appartiene; il conteggio dei veicoli per categoria è allora effettuato dal microprocessore che gestisce le funzioni dell'apparecchio. Ad intervalli regolari di tempo (in genere allo scadere di ogni ora), i dati sono immagazzinati nella memoria interna dello strumento, la cui capacità è sufficiente a garantire una classificazione dei veicoli per diverse ore (normalmente fino a 24 ore consecutive). I dati rimangono in memoria fino allo spegnimento dell'apparecchio, e possono essere letti sullo schermo a cristalli liquidi anche durante la fase di classificazione.

Ultimato il lavoro di rilevamento, il prelevamento dei dati dall'apparecchio può essere effettuato o manualmente (leggendo i dati attraverso il display e compilando un'apposita scheda di censimento), oppure automaticamente (connettendo l'apparecchio per il tramite di un apposito dispositivo di interfaccia ad un personal computer, il quale, utilizzando specifici programmi in dotazione, è in grado di fornire tabelle e statistiche specifiche).

La tecnica di rilevamento con l'apparecchio contacolpi è oggi utilizzata dall'Ente Nazionale per le Strade nell'ambito delle proprie campagne di censimento del traffico condotte periodicamente sulle autostrade italiane.

B.2. Tecniche di rilevamento automatico

La necessità di raccogliere con continuità e accuratezza dati di traffico, su lunghi periodi ed a tutte le ore (sia diurne sia notturne), ha indotto la ricerca tecnologica del settore a produrre strumenti e sistemi automatici di rilevamento sempre più raffinati. In linea di principio, un sistema automatico di misura dei parametri del traffico è costituito da quattro componenti base: un *rilevatore* (a volte chiamato *captatore*), un *interprete*, un *registratore* ed un *elaboratore*. Il rilevatore è il componente sensibile alla grandezza che si vuole misurare (passaggio del veicolo, velocità del veicolo, ecc.); per ogni informazione rilevata esso genera un segnale che viene ricevuto e poi decifrato dall'interprete; il segnale codificato viene quindi trasmesso al registratore che, appunto, registra i dati necessari per l'elaborazione; quest'ultima può effettuarsi o in tempo reale o in una fase successiva, a seconda del tipo di sistema utilizzato.

Le più diffuse tecnologie di rilevamento di uso corrente possono essere distinte in rapporto al tipo di rilevatore adoperato che può essere posto sulla pavimentazione (intrusivo), oppure entro o in prossimità della carreggiata (non intrusivo), come di seguito descritto. La rapida evoluzione tecnologica registrata negli ultimi anni nel campo delle misure dei parametri della circolazione ha consentito la recente sperimentazione di metodi di rilevamento automatici innovativi, basati sul trattamento automatico delle immagini filmate con

telecamere. Metodi più avanzati sono basati sul rilievo di segnali/immagini attraverso satelliti.

B.2.1. Il rilevamento con tubi pneumatici

La tecnica di rilevamento con tubi pneumatici rappresenta il più antico sistema automatico di misura delle portate stradali. Essa fa ricorso ad un sensore costituito da un tubo pneumatico posizionato sulla carreggiata e collegato ad un apparecchio contatore disposto al margine della strada. Il tubo pneumatico è costituito da un tubo di gomma pieno d'aria, disponibile, a seconda delle applicazioni, in varie lunghezze e con diametri interni da $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (considerato lo spessore, il suo diametro esterno è dell'ordine dei 12 mm); esso è steso sulla pavimentazione stradale in modo ortogonale alla direzione dei flussi di traffico ed è tenuto in posizione da appositi ganci fissati sulla superficie bituminosa.

Quando le ruote di un veicolo schiacciano il tubo pneumatico, al suo interno si genera un'onda di pressione che si propaga verso le estremità e, giunta in corrispondenza dell'apparecchio di misura, aziona un interruttore a membrana ("air switch") inserito in un circuito elettrico alimentato a batteria, generando un impulso nel contatore. L'apparecchio rilevatore effettua il conteggio dei veicoli facendo corrispondere ad ogni coppia di azionamenti dell'interruttore a membrana (ovvero al passaggio consecutivo di due assi sul tubo) un'unità di vettura equivalente; i conteggi sono pertanto espressi in unità di vetture equivalenti (u.v.e.)

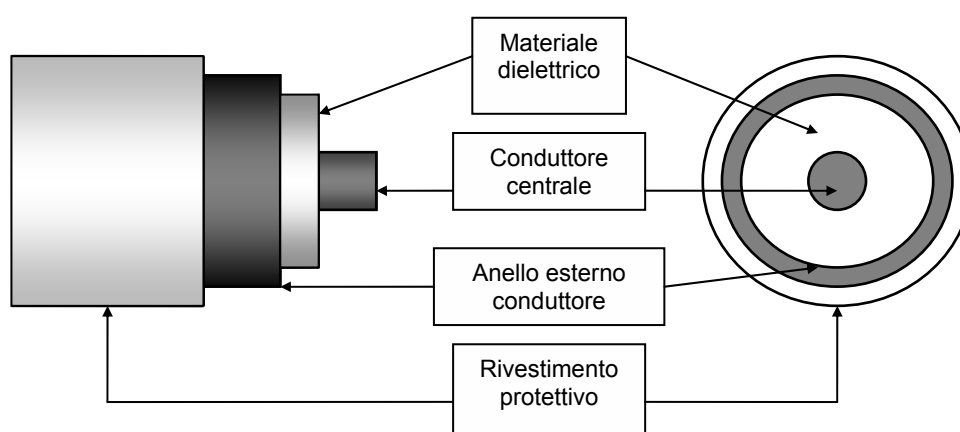
I vantaggi del rilevamento con tubi pneumatici risiedono nella facilità di installazione e rimozione dei sensori, nel costo contenuto e nella possibilità di garantire un funzionamento con batterie di autonomia di alcuni giorni. Gli svantaggi di tale tecnica sono però diversi:

- l'imprecisione di conteggio nel caso di flussi elevati (errori superiori al 20 %);
- l'impossibilità di ricavare i dati del transito dei veicoli multiassiali (infatti un camion con sei assi viene rilevato come tre u.v.e.);
- l'incapacità, quando il tubo è fissato su una strada a più corsie, di selezionare gli impulsi d'aria e ripartirli per corsia di appartenenza (tale problema potrebbe comunque essere superato con l'utilizzo di una logica elettronica in grado di effettuare la discriminazione);
- il rischio di rottura meccanica del tubo ad opera soprattutto dei mezzi pesanti;
- il pericolo di stacco del tubo dalla pavimentazione stradale, il che potrebbe trasformare il tubo stesso in una specie di frusta con conseguenti rischi per pedoni e motociclisti.

B.2.2. Il rilevamento con cavi triboelettrici

La tecnica di rilevamento con cavi triboelettrici è molto simile a quella che fa ricorso a tubi pneumatici. Tale sistema presuppone l'impiego di un cavo triboelettrico disposto nella pavimentazione stradale (in direzione ortogonale ai flussi di traffico) e collegato ad un rilevatore posizionato al margine della strada. Il cavo triboelettrico è costituito da un conduttore centrale (in fili di acciaio) circondato da materiale dielettrico, da un anello esterno di fili di acciaio intrecciati liberamente attorno al dielettrico e da un robusto rivestimento di plastica esterno. Il cavo ha un diametro dell'ordine di 4 mm e quindi inferiore rispetto a quello del tubo pneumatico.

I sensori triboelettrici possono essere utilizzati per rilevamenti sia temporanei che fissi. Nel primo caso, il cavo viene fissato alla superficie stradale usando un appropriato adesivo ovvero dei ganci, per cui l'installazione risulta rapida ed economica. Nel secondo caso, al fine di assicurare al cavo una maggiore protezione, è conveniente effettuare un taglio nella pavimentazione bituminosa e adagiarvi il sensore in modo leggermente sporgente rispetto alla superficie stradale.



Il principio di funzionamento dei sensori triboelettrici si basa sull'effetto triboelettrico, ovvero l'elettrizzazione per strofinio di un materiale dielettrico. In pratica, quando le ruote di un veicolo passano sul cavo, i fili di acciaio dell'anello esterno del cavo sfregano la superficie del materiale dielettrico, elettrizzandolo, e provocando così un accumulo di carica elettrica; ciò comporta l'invio di un segnale elettrico e quindi la registrazione del passaggio dell'asse del veicolo.

Pertanto, similmente ai tubi pneumatici, i cavi triboelettrici effettuano il conteggio dei veicoli in transito a partire dal rilevamento degli assi dei veicoli stessi. Rispetto però ai tubi pneumatici, i sensori triboelettrici sono da preferire poiché risultano più robusti e resistenti, meno visibili e comunque non molto più costosi.

B.2.3. Il rilevamento con spire induttive

Il sistema di rilevamento dei dati del traffico con spire ad induzione magnetica è, oggigiorno, la tecnica di misura più ampiamente utilizzata. Tale sistema risulta costituito da una o più spire induttive posizionate in corrispondenza della carreggiata e collegate ad un apparecchio rilevatore posizionato ai margini della carreggiata.

Una spira induttiva è un avvolgimento di filo elettrico costituita normalmente da uno o due giri di filo disposti secondo una forma quadrata o rettangolare (con lati di 2-3 m); il filo utilizzato è quello usuale degli impianti elettrici, con sezione di almeno 2,5 mm² per ragioni di resistenza meccanica. Le spire possono essere installate sopra la pavimentazione stradale per rilevamenti temporanei, oppure annegate nel manto stradale, con la funzione di rilevatori permanenti. Nel primo caso, il filo è fissato alla pavimentazione stradale con appositi ganci e coperto con strisce di tela catramata al fine di impedirne il tranciamento al passaggio dei veicoli. Nel secondo caso, il filo è alloggiato all'interno di solchi (con profondità massima di 20 cm) praticati nella pavimentazione bituminosa per mezzo di una fresa. Le spire interrate sono sicuramente più protette rispetto a quelle appoggiate sulla superficie stradale, ma ciò non esclude che siano soggette a tensioni e torsioni, dal momento che il letto stradale tende a muoversi al passaggio dei veicoli pesanti e ai cambiamenti di temperatura. In ogni caso, una corretta installazione garantisce alle spire annegate una elevata durata.

Una singola spira installata su una corsia stradale consente la misura della portata veicolare sulla base del seguente principio di funzionamento. La corrente elettrica fornita da un generatore a batteria (di cui è dotato l'apparecchio di misura) attraversa il filo costituente la spira, generando un campo magnetico. Quando la massa metallica di un autoveicolo transita sulla spira si verifica una variazione di questo campo magnetico riducendo l'intensità della corrente circolante nella spira. Questa variazione produce un segnale elettrico (che dura per tutto il tempo di permanenza del veicolo nella zona di rilevazione) consentendo così la segnalazione della presenza del veicolo e quindi il conteggio. L'apparecchio registratore è dotato di un timer interno per cui il conteggio può essere tradotto in portate veicolari su prefissati intervalli di tempo. È opportuno precisare che il tempo di occupazione da parte di un veicolo della zona di rilevazione dipende dalla lunghezza del veicolo stesso, nonché dal suo tempo di passaggio.

Se il veicolo di lunghezza l_{vi} transita a velocità v_i su una spira di lunghezza l_s , il tempo di permanenza t_{oi} del veicolo stesso sulla spira può essere valutato come:

$$t_{oi} = \frac{l_{vi} + l_s}{v_i}$$

Disponendo una spira su una corsia stradale è possibile dunque non solo misurare la portata veicolare ma anche risalire al tasso di occupazione τ della corsia in un tempo di osservazione T ; infatti, conoscendo il numero n di veicoli

rilevati nel tempo T ed il tempo t_{oi} di occupazione della spira da parte del generico veicolo, si può facilmente valutare τ come:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{T}$$

Il parametro adimensionale τ è di grande utilità in quanto permette di stimare la densità k della corsia stradale in cui è installata la spira. A tal proposito si consideri che la velocità media di un flusso di n veicoli, che transitano sulla spira durante il periodo di osservazione T , è data dal rapporto:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n (l_{vi} + l_s)}{\sum_{i=1}^n t_{oi}} = \frac{n(l_v + l_s)}{\sum_{i=1}^n t_{oi}}$$

assumendo quale lunghezza media degli n veicoli il valore:

$$l_v = \frac{\sum_{i=1}^n l_{vi}}{n}$$

Nell'ipotesi di flusso stazionario, con $k = q / v$, dove $q = n / T$ è la portata, si ricava che:

$$k = \frac{n}{T \cdot v} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{T(l_v + l_s)}$$

cioè:

$$k = \frac{\tau}{l_v + l_s}$$

Si è così ottenuta una relazione che consente di ricavare la densità k in funzione del tasso di occupazione τ ; è comunque opportuno sottolineare che le stime di densità così ottenute debbono essere successivamente filtrate per ridurre l'influenza delle approssimazioni di calcolo e di eventuali errori di misura.

Se con una sola spira si misurano la portata veicolare, il tasso di occupazione e la densità, con due spire induttive disposte su una stessa corsia è possibile risalire alla velocità istantanea dei veicoli in transito. Collegando ad un unico apparecchio rilevatore due spire di dimensioni note (con lato l_s) e poste ad una distanza mutua prefissata d (circa 1m) la velocità istantanea del generico veicolo può essere valutata come

$$v_i = \frac{l_s + d}{t_{2i} - t_{1i}}$$

dove t_{1i} e t_{2i} sono gli istanti d'ingresso sulla prima e sulla seconda spira.

I vantaggi della tecnica di rilevamento con spire induttive risiedono nella facilità di installazione dei sensori e nel costo contenuto, imputabile in massima parte ai lavori di installazione. Questa tecnica di misura può comportare, tuttavia, una certa distorsione dei dati; infatti le spire conteggiano accuratamente i veicoli viaggianti ad alta velocità, ma generano errori considerevoli nei casi di basse velocità o di veicoli in fase di arresto.

B.2.4. Il rilevamento con sensori magnetodinamici

I sensori magneto-dinamici o sensori VMI (“vehicle magnetic imaging”) sono più moderni sensori di tipo intrusivo capaci di rilevare una vasta gamma di dati di traffico (passaggio dei veicoli, velocità di transito, lunghezza veicolare, tempo di occupazione della sezione stradale, distanziamento temporale). Un sensore magneto-dinamico ha l'aspetto di una piastra rettangolare di piccole dimensioni, ed è costituito essenzialmente da un microprocessore alimentato da batterie ricaricabili.

Se impiegato come rilevatore semi-permanente (ovvero per rilevamenti prolungati su una stessa sezione stradale), il sensore VMI deve essere alloggiato all'interno di una fessura verticale praticata nella pavimentazione stradale, in maniera tale che esso risulti protetto non solo nei confronti delle sollecitazioni derivanti dal transito dei veicoli ma anche nei riguardi di eventuali atti vandalici. Se utilizzato invece come rilevatore portatile (ossia per rilevamenti di breve durata da svolgersi in diverse sezioni stradali) il sensore magneto-dinamico può essere installato sulla superficie del piano viabile, purché inserito all'interno di un idoneo alloggiamento metallico da fissare con appositi chiodi alla pavimentazione bituminosa; l'alloggiamento deve essere progettato per resistere alle sollecitazioni e va installato sovrapponendo ad esso un'adeguata copertura protettiva. In entrambi i casi, il sensore VMI deve essere posizionato in corrispondenza della mezzeria della corsia stradale oggetto di rilevamento.

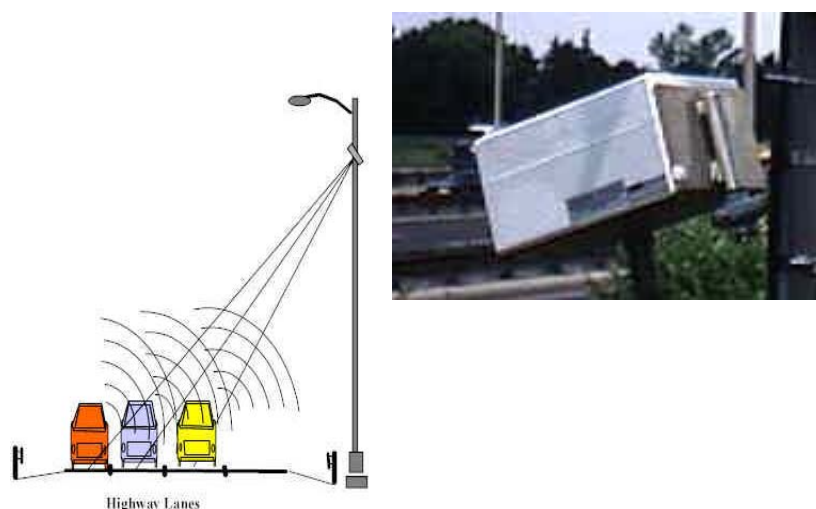
I sensori magneto-dinamici rilevano il passaggio dei veicoli stradali basandosi sull'analisi della variazione del campo magnetico terrestre, indotte dalla interferenza delle componenti metalliche del veicolo. In corrispondenza di ogni cambiamento del campo magnetico terrestre indotti dall'influenza magnetica del veicolo transitante, i circuiti GMR (“Giant Magneto Ratio”) presenti all'interno del rilevatore producono un segnale elettrico, il quale risulta direttamente proporzionale alla massa magnetica veicolare che lo ha provocato. Tali segnali elettrici sono analizzati dal microprocessore del sensore e quindi immagazzinati nella sua memoria interna. Ultimata la registrazione in sito, i dati memorizzati possono essere trasferiti ad un computer che, utilizzando un appropriato software di analisi, organizza e restituisce un'ampia gamma di informazioni sul flusso di traffico rilevato; in particolare si possono ottenere conteggi veicolari, misure di velocità, tempi di occupazione, lunghezze veicolari, distanziamenti temporali.

I vantaggi della tecnica di rilevamento con sensori VMI risiedono nella facilità di installazione e rimozione dei rilevatori (dovuta alle loro dimensioni contenute), nella possibilità di garantire lunghi periodi di conteggio grazie al funzionamento con batterie di autonomia elevata (circa 90 giorni), nella precisione di conteggio, nella possibilità di rilevare veicoli viaggianti sia ad alta che a bassa velocità, nonché nella possibilità di acquisizione di ulteriori dati di traffico di interesse.

B.2.5. Il rilevamento con sensori a microonde

In alternativa ai tradizionali sensori installati sulla pavimentazione bituminosa, il rilevamento del passaggio e della velocità dei veicoli attraversanti una sezione stradale può essere effettuato mediante l'impiego di moderne tecnologie fuori terra, come i sensori a microonde o "microwave radar". Tali sensori possono essere di due tipi.

La *prima tipologia* è rappresentata dal "Doppler microwave radar", ovvero dal radar ad effetto Doppler. Il dispositivo, chiamato anche "cinemometro", è costituito essenzialmente da un'antenna direzionale che emette, in un fascio assai ristretto, onde elettromagnetiche con frequenza costante dell'ordine dei 10 GHz (microonde); l'antenna ha anche una funzione ricevente e viene installata fuori dalla sede viaria, fissandola o ad un palo posto a bordo strada o ad un portale già esistente oppure al di sotto di un cavalcavia sovrastante la strada stessa.



Esempio di radar ad effetto Doppler e sua installazione

Il principio di funzionamento del sensore si basa sull'effetto Doppler-Fizeau, consistente nella modificazione della frequenza di un'onda elettromagnetica in presenza di moto relativo tra sorgente e ricettore. In dettaglio, quando l'onda (di frequenza f) emessa dall'antenna (sorgente fissa) incontra un veicolo in transito, quest'ultimo, a causa dell'effetto Doppler, riceve un'onda di frequenza variata (f'); una frazione di quest'onda viene riflessa dal ricettore e, sempre per

il principio Doppler, viene rilevata dall'antenna con frequenza nuovamente variata (f''): in tal caso, infatti, il veicolo si comporta da sorgente mobile di onde di frequenza f' mentre l'antenna funge da ricettore fisso. In definitiva, la frequenza f'' dell'onda riflessa ricevuta dall'antenna risulta differente da quella dell'onda emessa (f) e il rilevamento da parte del sensore di tale variazione di frequenza denota il passaggio del veicolo. La differenza tra la frequenza emessa e la frequenza riflessa viene chiamata "frequenza Doppler-Fizeau" (F_d); essa risulta proporzionale alla velocità istantanea v del veicolo rilevato, inversamente proporzionale alla lunghezza dell'onda emessa λ e dipende inoltre dall'angolo ϕ che il fascio d'onde emesso forma con il vettore velocità del veicolo; in altri termini:

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

dove F_d è espressa in Hz, v in m/s, λ in m e ϕ è, in genere, assunto pari a 25° .

In virtù della proporzionalità tra la "frequenza Doppler-Fizeau" e la velocità del veicolo, il sensore a microonde è in grado di effettuare non soltanto il conteggio dei veicoli che attraversano il suo campo di rilevamento, ma anche la misura diretta della loro velocità istantanea. La precisione di rilevazione delle velocità da parte di tale sensore è di circa 2 Km/h fino a 100 Km/h; tuttavia una tolleranza di 10 Km/h è accettata. Va inoltre sottolineato che i "Doppler microwave radar" non possono rilevare i veicoli fermi o viaggianti a velocità molto basse (approssimativamente inferiore a 3 Km/h).

La *seconda tipologia* di sensori a microonde è rappresentata dal "true-presence microwave radar". La differenza sostanziale rispetto al primo tipo di radar a microonde risiede essenzialmente nella frequenza dell'onda elettromagnetica emessa; mentre il "Doppler microwave radar" emette un'onda con frequenza costante, il "true-presence microwave radar" emette invece un'onda continua a frequenza modulata, la cui frequenza cioè varia continuamente nel tempo. Oltre al conteggio dei veicoli attraversanti il suo campo di azione ed alla misura diretta delle loro velocità, tale tipo di sensore consente di rilevare anche i veicoli fermi, per cui se collegato ad una centrale di controllo remota permette di segnalare in tempo reale eventuali incidenti.

Entrambe le tipologie di radar a microonde presentano il vantaggio di non essere influenzate dalle condizioni atmosferiche, evitando problemi di degrado delle prestazioni a causa del maltempo o della nebbia. Tuttavia tali sensori risultano più costosi rispetto ai tradizionali rilevatori installati sulla superficie stradale, anche se nel lungo termine possono dimostrarsi più economici grazie al modesto onere di manutenzione.

B.2.6. Il rilevamento con sensori a raggi infrarossi

Analogamente ai "microwave radars", i sensori a raggi infrarossi ("infrared detectors") costituiscono delle possibili alternative ai tradizionali rilevatori "intrusivi" (installati sulla superficie stradale). Tali sensori possono essere distinti in passivi ed attivi.

I dispositivi passivi consentono esclusivamente il rilevamento del passaggio dei veicoli. Essi si compongono essenzialmente di un apparecchio ricevitore in grado di rilevare l'energia delle radiazioni infrarosse emesse dalla pavimentazione stradale o dalla superficie dei veicoli attraversanti la sua zona di influenza. Per poter effettuare la misura delle portate stradali, il sensore è installato al di sopra della mezzera di ogni corsia, su opere d'arte che sovrastano la carreggiata. Al passaggio di un veicolo, il dispositivo rileva un'energia radiante nel campo dell'infrarosso diversa da quella emessa dalla superficie stradale in assenza del veicolo; il rilevamento di tale variazione di energia denota allora il passaggio del veicolo. Si fa presente che la differenza di energia rilevata dal sensore per effetto del transito di un veicolo risulta direttamente proporzionale alla temperatura assoluta del veicolo ed alla emissività della superficie metallica del veicolo stesso (l'emissività è pari al rapporto tra l'energia effettivamente emessa da un materiale e l'energia emessa da una sorgente perfetta alla stessa temperatura).

A differenza dei dispositivi passivi, quelli di tipo attivo permettono non soltanto il rilevamento della presenza o del passaggio dei veicoli, ma anche la misura diretta delle loro velocità. Il sensore viene installato similmente al tipo passivo e risulta costituito da una sorgente e da un ricevitore di raggi infrarossi (i tipi più comuni utilizzano come sorgente un diodo laser capace di emettere radiazioni con lunghezza d'onda di circa 0,9 micron). Il rilevamento diretto della velocità di un veicolo risulta possibile disponendo i sensori a coppia su di un unico supporto, a breve distanza fra loro (per esempio 1 m). In tal caso, l'interruzione del primo fascio di raggi infrarossi per effetto del passaggio di un veicolo provoca l'azionamento di un cronometro, il quale viene bloccato quando lo stesso veicolo attraversa il secondo fascio. Noti allora il tempo impiegato dal veicolo per attraversare i due raggi infrarossi e la distanza fra tali raggi, il sensore è in grado di valutare la velocità veicolare.

Le due tipologie di sensori a raggi infrarossi presentano il vantaggio di non causare disturbo alla circolazione stradale durante la loro installazione e di non creare problemi di degradamento delle prestazioni in presenza di nebbia, problemi che invece risultano significativi in condizioni di pioggia o neve.

B.2.7. Il rilevamento con sensori WIM

I sensori WIM ("weight in motion") rappresentano quella classe di detectors a pressione capaci di effettuare la pesatura dinamica dei veicoli in transito.

Intraprese a partire dagli anni 70 per rispondere alle esigenze di classificazione dei veicoli e di repressione delle infrazioni sui carichi d'asse, le ricerche tecnologiche hanno portato negli ultimi anni allo sviluppo di una vasta serie di rilevatori WIM, tra i quali si segnalano i cavi piezoelettrici, le piastre capacitive ed i sensori a celle di carico.

I cavi piezoelettrici. La tecnica di rilevamento con sensori assiali piezoelettrici prevede l'utilizzo di un cavo piezoelettrico disposto sopra la pavimentazione stradale (perpendicolarmente alla direzione di transito dei veicoli) e di un registratore elettronico posizionato al margine della carreggiata.

Il cavo piezoelettrico è costituito da un conduttore in rame circondato da materiale piezoelettrico (generalmente ceramica) e racchiuso da una guaina esterna di rame.

I sensori piezoelettrici possono essere utilizzati per rilevamenti sia temporanei che permanenti. Nel primo caso, il cavo viene fissato alla superficie stradale; nel secondo caso, esso viene installato all'interno della pavimentazione bituminosa, previa incapsulazione in una barra di resina che gli assicura una buona resistenza meccanica.

Il principio su cui si basa questo tipo di sensore è quello proprio di un materiale piezoelettrico che, se sottoposto a deformazione elastica per una azione meccanica si polarizza, cioè dà luogo ad una separazione di cariche di segno contrario. In pratica, quando le ruote dell'asse di un veicolo sollecitano il sensore, il materiale piezoelettrico risulta soggetto a una compressione, polarizzandosi; la polarizzazione genera una differenza di potenziale tra le due armature di rame costituenti il sensore, circostanza che determina l'invio di un impulso. Gli impulsi variano in ampiezza e tempo a seconda del peso e della velocità del veicolo che transita.

Un sensore piezoelettrico installato in una corsia stradale permette l'immediata registrazione sia del passaggio degli assi di un veicolo sia del carico di ciascun asse; pertanto, se propriamente installati e calibrati, questi sensori e le logiche elettroniche ad essi associate consentono di effettuare non soltanto il conteggio dei veicoli in transito, ma anche la loro pesatura dinamica.

Disponendo una coppia di sensori piezoelettrici per corsia e collegando contemporaneamente i due sensori ad una stazione mobile risulta possibile ottenere l'acquisizione, dal primo sensore, del carico dell'asse, mentre il secondo, distanziato dal primo, serve a calcolare geometrie degli assi e velocità. In dettaglio, una coppia di sensori piezoelettrici installati su una corsia stradale è in grado di fornire, per ogni veicolo in transito, i seguenti dati: numero di assi; peso di ciascun asse e peso totale del veicolo; distanze reciproche tra gli assi e lunghezza complessiva; velocità.

I vantaggi del rilevamento con sensori piezoelettrici risiedono nella facilità di installazione dei cavi e nella possibilità di acquisizione di un ventaglio di informazioni. Gli svantaggi sono legati al costo più elevato rispetto agli altri sensori a pressione, alla non elevata affidabilità, al rischio di rottura meccanica dei cavi ed alla loro non determinata durata di funzionamento.

Le piastre capacitive. Una piastra capacitiva (comunemente indicata come “sensore a piastra”) risulta costituito da due lunghe e sottili lamine conduttrici in acciaio inox fra le quali è interposto un materiale isolante. Il sensore, che realizza un largo condensatore, viene fissato alla pavimentazione di ogni corsia stradale (trasversalmente alla direzione di transito dei veicoli) e risulta associato ad un modulo elettronico posizionato a bordo strada.

Quando le ruote dell’asse di un veicolo transitano sopra il sensore, la pressione esercitata sulle armature metalliche provoca un incremento della capacità del condensatore stesso; ciò comporta l’invio di un segnale al modulo elettronico, il quale lo converte in misure di peso. In sostanza, un rilevatore a piastra installato in una corsia stradale consente l’immediata registrazione sia del passaggio del veicolo, sia del carico di ogni suo asse, sia del peso veicolare complessivo, il che rende anche possibile una classificazione per tipologia di tutti i veicoli in transito.

I sensori capacitivi sono insensibili alle variazioni di temperatura; la loro precisione dipende essenzialmente dalla corretta installazione dei rilevatori e dalle condizioni della strada. Tali sensori, molto impiegati in Gran Bretagna, comportano dei costi superiori rispetto ai rilevatori piezoelettrici.

I sensori a celle di carico. Un sensore a celle di carico è una bilancia di pesatura dinamica incassata nella corsia stradale oggetto di rilevamento e collegata ad un’unità di elaborazione posta all’interno di un armadio ai margini della strada.

La bilancia risulta costituita da due bilichi di pesatura posti uno di seguito all’altro in direzione trasversale alla via di corsa. Ciascun bilico ha una lunghezza di circa 75 cm ed una larghezza pari approssimativamente a 170 cm; tenuto conto della spaziatura intermedia tra i due bilichi (30 cm circa) la larghezza complessiva della bilancia di pesatura risulta essere di circa 370 cm. I bilichi sono appoggiati su un telaio in acciaio incassato nel calcestruzzo ed a fronte di ciò la profondità totale della bilancia può raggiungere i 35 cm. Ciascun bilico costituente la bilancia utilizza quattro celle elettroniche di carico di tipo a compressione, con corpo in acciaio inossidabile, ognuna delle quali deve avere una capacità minima pari a circa 23 tonnellate. Tali celle misurano le forze dinamiche trasmesse dai pneumatici al passaggio dei veicoli sulla bilancia ed inviano i dati ricevuti all’unità di elaborazione automatica.

I sistemi di pesatura dinamica con sensori a celle di carico consentono di rilevare automaticamente e con precisione la presenza dei veicoli in movimento, il peso di ogni asse di un veicolo a più assi ed il peso lordo complessivo del veicolo stesso (sommando i pesi dei singoli assi); essi si prestano inoltre alla valutazione del numero e della distanza degli assi dei veicoli, nonché alla classificazione (secondo la disposizione degli assi) di ogni veicolo che viene pesato. È opportuno sottolineare che tali sensori presentano il vantaggio di poter essere utilizzati anche per una serie di applicazioni che non riguardano specificatamente il rilevamento di parametri del traffico (controllo dei pesi nelle sezioni di accesso a strade con capacità di carico limitate, costrizione al rispetto della segnaletica vigente, scelta del manto stradale), ma, analogamente alle

piastre capacitive, comportano dei costi superiori a quelli dei rilevatori piezoelettrici.

B.2.8. Il rilevamento con sensori acustici

Analogamente ai sensori a raggi infrarossi, i rilevatori acustici possono essere distinti in due differenti tipologie: ad ultrasuoni (o acustici attivi) e acustici passivi..

I sensori ad ultrasuoni sono i rilevatori acustici più utilizzati (soprattutto in Giappone) e consentono il rilevamento degli stessi parametri del traffico valutabili con le spire magnetiche: portata veicolare, tasso di occupazione, velocità di transito. Un sensore ad ultrasuoni è uno strumento di dimensioni contenute costituito essenzialmente da un generatore e da un ricevitore di onde sonore (ultrasuoni) di frequenza compresa tra 25 kHz e 60 kHz. Tale strumento non richiede interventi sul manto stradale ed è installato normalmente su un portale oppure su un cavalcavia sovrastante la via di corsa. Il principio di funzionamento del sensore si basa sul fenomeno della riflessione delle onde sonore, secondo cui il tempo impiegato da un'onda per lasciare la sorgente, rimbalzare su una superficie riflettente (posta ortogonalmente alla direzione di propagazione) e ritornare alla sorgente stessa è direttamente proporzionale alla distanza tra la sorgente e la superficie di riflessione. Sfruttando tale fenomeno il sensore misura la sua distanza dalla superficie riflettente (che può essere la strada o la parte superiore di un veicolo) e sulla base di tale distanza riconosce il passaggio dei veicoli. In dettaglio, il generatore emette fasci ristretti di onde ultrasonore dirigendole verso il basso, in direzione perpendicolare alla superficie stradale. In assenza di veicoli, l'impulso ultrasonoro viene riflesso dalla pavimentazione e ritorna al ricevitore con un certo ritardo Δt rispetto all'emissione; tale ritardo consente di valutare la distanza d del sensore dalla strada come:

$$d = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$$

essendo v la velocità di propagazione delle onde ultrasonore. Al passaggio di un veicolo, l'impulso ultrasonoro incontra invece come parete riflettente la parte superiore del veicolo; in tal caso, sulla base del tempo trascorso tra l'emissione dell'onda ed il ritorno al ricevitore dell'onda riflessa, il sensore misura la sua distanza dalla superficie riflettente del veicolo, distanza che ovviamente risulta inferiore rispetto a quella sensore - strada. In sintesi, il transito di un veicolo induce il sensore a rilevare una distanza diversa da quella tra il sensore stesso e la superficie stradale; ciò comporta la produzione di un segnale e quindi il rilevamento del passaggio del veicolo. In definitiva, questo sensore, di tipo "non intrusivo" e "puntuale", rileva il passaggio dei veicoli (e quindi la portata veicolare in virtù della misura di distanze (in condizioni di funzionamento ottimali, la precisione di misura delle distanze è di $\pm 0,5$ m, e ciò a causa della dipendenza della velocità di propagazione delle onde dall'umidità dell'aria e dalla temperatura). È importante sottolineare che questa tipologia di sensore,

rilevando la sua distanza dalla parte superiore dei veicoli in transito, permette anche una distinzione dei veicoli per categorie (autovetture, furgoni, camion, ecc.) in funzione della sagoma del veicolo stesso; inoltre, potendo registrare l'intervallo di tempo in cui l'onda riflessa da un veicolo viene captata dal ricevitore, consente di risalire al tasso di occupazione per la corsia oggetto di rilevamento. Si segnala, infine, che l'associazione di due sensori ad ultrasuoni (disposti su di un unico supporto a breve distanza tra loro) permette l'accertamento in via diretta della velocità dei veicoli transitanti.

I vantaggi del rilevamento con tale tipo di sensori risiedono nella facilità di installazione dei sensori, nella modesta manutenzione, nell'affidabile valutazione della portata stradale (nelle migliori condizioni si può arrivare ad un tasso di errore di circa l'1%) e nella possibilità di distinzione delle diverse categorie di veicoli. Tuttavia tali sensori possono non garantire un grado di accuratezza elevato nella misura di altre variabili del traffico, dal momento che risultano sensibili alla temperatura ed alle turbolenze d'aria; inoltre i loro costi risultano più elevati rispetto a quelli dei tradizionali sensori installati sulla superficie stradale, soprattutto se non si dispone di supporti già esistenti (cavalcavia, portali per altri usi).

I sensori acustici passivi rappresentano dei rilevatori non intrusivi di riconoscimento dei veicoli, basati sulla misura del rumore prodotto da ogni singolo veicolo per effetto dell'azionamento delle sue parti meccaniche e dell'interazione dei pneumatici con la superficie stradale. In linea generale, il rilevamento del passaggio dei veicoli prevede l'utilizzo di una serie di sensori acustici posti a intervalli regolari ai margini della strada e collegati ad un sistema di elaborazione dei segnali. Quando un veicolo stradale attraversa la zona di rilevazione, si rileva un aumento di energia sonora, cui corrisponde un segnale di presenza del veicolo. Il segnale dura per tutto il tempo di permanenza del veicolo nell'area di rilievo; quando il veicolo supera tale zona, l'energia sonora decresce portandosi al di sotto della soglia di rilevazione ed il segnale scompare. Tali sensori, adatti solo a riconoscere la presenza dei veicoli su un certo tratto di strada, sono poco impiegati nel rilevamento del traffico veicolare.

B.2.9. Il rilevamento con fotografia aerea

Nella seconda metà del Novecento si è andato diffondendo l'uso della fotografia aerea come strumento di conoscenza di massima delle caratteristiche e dei problemi del territorio. Nell'ambito dell'ingegneria del traffico, la fotografia aerea può essere considerata una particolare tecnica di osservazione ed analisi dei flussi di traffico di una porzione territoriale anche molto ampia; essa consente di risalire ai parametri principali (densità, velocità media e portata) del flusso veicolare di ciascun tronco dell'area di studio, nonché di valutare, con opportune metodologie, ulteriori parametri di interesse (ritardo agli incroci, durata del tempo di attesa in coda, percentuali delle manovre di svolta, ecc.).

Le fotografie aeree (fotogrammi) sono scattate da un aereo in volo orizzontale con speciali attrezzature fotografiche a fuoco fisso e scatto automatico. La macchina da presa è montata in corrispondenza di un foro

ricavato sul pavimento dell'aereo ed è sostenuta da un apposito supporto in grado di ammortizzare le vibrazioni del velivolo; essa è costituita generalmente da una camera fotogrammetrica grandangolare ad alta definizione, disposta in modo che il suo asse sia perpendicolare alla superficie terrestre. I fotogrammi sono scattati automaticamente con frequenza elevata ed in successione regolare, in modo tale che essi si sovrappongano longitudinalmente di circa il 60 %, cioè in maniera tale che nella direzione del volo ogni fotogramma ricopra di circa il 60 % quello precedente. La successione dei fotogrammi scattati lungo la direzione del volo costituisce una "strisciata". Al fine di assicurare la copertura fotogrammetrica dell'area oggetto di studio, la rotta di volo è stabilita in maniera tale da poter eseguire strisciate parallele ed adiacenti che si ricoprano lateralmente di circa il 60 %. In definitiva, tutti i fotogrammi che compongono l'immagine della zona territoriale in esame presentano una sovrapposizione non solo longitudinale ma anche trasversale. Le scale dei fotogrammi possono essere molteplici; esse dipendono dall'altezza di ripresa e dalla focale usata e vengono scelte a seconda dell'uso.

Dall'osservazione e analisi delle immagini fotografiche scattate lungo un tronco stradale (foto-interpretazione), è possibile risalire in primo luogo alla valutazione della densità veicolare k . La media spaziale della velocità v del flusso è ricavabile a partire dalla valutazione delle velocità medie dei singoli veicoli transitanti nel tronco stesso; queste ultime sono calcolate osservando la posizione assunta nelle diverse prese da veicoli di facile individuazione e determinando gli spazi percorsi nel tempo noto trascorso tra gli scatti. La conoscenza della densità e della media spaziale della velocità in un tronco stradale consente di risalire alla portata veicolare q , attraverso la relazione fondamentale del deflusso $q = kv$ (assumendo condizioni stazionarie).

Le difficoltà legate alla tecnica della fotografia aerea sono rappresentate essenzialmente dai costi elevati, dall'influenza delle condizioni meteorologiche, dalla durata limitata della ricognizione aerea (ordine di mezz'ora), dalla possibile copertura nei fotogrammi di alcuni tronchi stradali (a causa della non sempre possibile ortogonalità tra l'asse della camera da presa e la superficie terrestre), nonché dal non facile lavoro di foto-interpretazione.

B.2.10. Il rilevamento con immagini video

Le tradizionali tecnologie di rilevamento automatico del traffico veicolare sinora analizzate offrono l'indubbio vantaggio di consentire misure prolungate nel tempo e con un buon livello di affidabilità, ma presentano gli inconvenienti di essere adatte al rilievo di pochi specifici parametri del deflusso (per lo più portata e velocità) e di avere un dominio spaziale di analisi piuttosto ridotto (rappresentato dalle sole sezioni stradali in cui sono posizionati i sensori di rilevamento).

Le esigenze di superare i limiti suddetti hanno indirizzato, ormai da diversi anni, la ricerca scientifica verso lo studio e la sperimentazione di sistemi innovativi di rilevamento, basati su strumenti e tecnologie avanzate in grado, altresì, di accrescere i livelli di precisione ed affidabilità. Attualmente, gli sforzi più importanti della sperimentazione nel campo dei rilevatori di traffico sono

rivolti all'affinamento dei sistemi di monitoraggio video utilizzando come sensori le telecamere. Intraprese negli Stati Uniti negli anni 70 e intensificate a livello internazionale a partire dagli anni 80, le ricerche su tali sistemi hanno raggiunto in quest'ultimo decennio risultati significativi che lasciano ancora intravedere nuove possibilità di sviluppo.

Il crescente interesse verso la tecnica di video-sorveglianza del traffico stradale è strettamente legato agli enormi vantaggi che essa può offrire rispetto ai sistemi di rilevamento tradizionali; tale tecnica, infatti, consente:

- di fornire una grande quantità di informazioni, rendendo possibile il rilevamento non soltanto dei classici parametri del deflusso veicolare (quali portata, velocità e densità) ma anche di dati di traffico impossibili o difficoltosi da acquisire con i metodi tradizionali (quali tipologia dei veicoli in transito, tasso di occupazione di un tronco stradale, presenza e lunghezza di coda, manovre di svolta, cambi di corsia, arresto dei veicoli, ecc.);
- di avere un esteso dominio spaziale di analisi, il che rende possibile non soltanto rilevamenti puntuali su sezioni di infrastruttura, ma anche il monitoraggio di un ampio tratto del ramo stradale di interesse;
- di migliorare la qualità delle informazioni, potendo garantire, in condizioni ordinarie, percentuali di errore molto contenute;
- di effettuare applicazioni multiple, che vanno dal monitoraggio dei flussi di traffico alla sorveglianza dello stato e delle condizioni dell'infrastruttura viaria osservata.

In linea generale, un sistema di monitoraggio video si basa sull'impiego di telecamere, le quali consentono di rilevare con continuità le scene di traffico che si svolgono su un tronco stradale. Le telecamere offrono dunque una rappresentazione spazio-temporale del deflusso veicolare che non ha eguali in termini di informazione potenziale. Tuttavia, la determinazione dei parametri del traffico a partire dalle immagini filmate risulta tutt'altro che semplice e immediata. Per ottenere le informazioni di interesse occorre infatti un'attenta analisi ed elaborazione delle immagini provenienti dalle telecamere; in altre parole, è necessario un "trattamento" del filmato attraverso delle metodologie rigorose che consentano sia di interpretare il contenuto di ciascuna immagine (analisi spaziale) sia di correlare sequenzialmente i contenuti delle immagini stesse (analisi temporale).

Il trattamento delle immagini da operatore umano

Il trattamento delle scene di traffico riprese può essere svolto manualmente con notevole dispendio di energia e tempo da parte dell'operatore. Un sistema di monitoraggio dei flussi veicolari basato esclusivamente sul trattamento manuale delle immagini filmate risulta costituito essenzialmente da:

- una telecamera che capta le scene di traffico;
- un videoregistratore che ne consente la registrazione su cassette;
- un monitor di visualizzazione delle immagini registrate, la cui analisi manuale consentirà il rilevamento di diversi parametri del deflusso.

Nel trattamento manuale, l'analisi e l'elaborazione delle scene di traffico sono effettuate a posteriori da uno o più operatori. In tal caso, le (acquisite in precedenza tramite telecamera e registrate su videocassette) sono visualizzate su uno schermo video, grazie all'utilizzo di un videoregistratore e di un monitor. Tali immagini video permettono di rilevare numerose informazioni ed è compito dell'operatore vagliare e rilevare quelle di interesse. Ciò richiede una costante presenza dell'operatore di fronte al monitor, una attenta osservazione dello schermo, nonché un idoneo uso delle performance del videoregistratore (fermo-immagine, rallentamento della scena, feed-back, scorrimento veloce del nastro). Il trattamento manuale delle immagini filmate costituisce una metodologia di rilevamento dettagliata ed affidabile, nella quale tuttavia il grado di precisione è ottenuto al prezzo di eccessivi tempi operativi e notevole affaticamento visivo degli operatori.

Il trattamento automatico delle immagini

Il trattamento delle scene di traffico riprese può essere, altresì, svolto automaticamente, attraverso l'impiego di hardware e software specializzati capaci di svolgere con rapidità un gran numero di operazioni e di gestire una gran mole di dati. Il processo automatizzato di trattamento delle immagini filmate è indicato in letteratura con la sigla T.A.I. (Trattamento Automatico di Immagini) e costituisce tutt'oggi l'oggetto di ricerche del settore. Un sistema di rilevamento video basato sul trattamento automatico delle immagini di traffico risulta strutturato in maniera più complessa, avvalendosi di una serie di strumenti operativi, quali:

- una o più telecamere che ricevono le immagini di traffico, convertendole in segnale elettrico;
- un videoregistratore (da impiegare solo nel caso di trattamento automatico a posteriori) che registra su cassette le scene di traffico filmate;
- un convertitore analogico-digitale che trasforma il segnale elettrico uscente dalla telecamera (o dal videoregistratore) in forma digitale;
- un elaboratore, munito di software specializzato, che provvede alla manipolazione delle immagini digitali fornite dal convertitore ed alla conseguente valutazione delle variabili di traffico di interesse.

L'idea di trattare automaticamente le immagini filmate del traffico stradale è stata lanciata fin dalla fine degli anni 70 con l'intento di rispondere a diversi obiettivi:

- estrarre in maniera simultanea e continua la maggior quantità possibile di informazioni;
- operare in modo non intrusivo;
- ottenere misure di elevata precisione, adatte alle ricerche scientifiche del settore;
- fornire in tempo reale un supporto di valido aiuto alle strategie di controllo e regolazione della circolazione veicolare (gestione dei fenomeni di congestione, rilievo di eventuali incidenti, ecc.).

Il trattamento automatico delle immagini prevede l'uso di un (personal) computer che, dotato di un complesso software risolutivo, interviene sulle immagini digitalizzate (provenienti dalla telecamera o dal videoregistratore) conducendo un insieme di operazioni specifiche (matematiche, morfologico-matematiche, statistiche e di altro genere) volte all'ottenimento dei parametri significativi del traffico veicolare.

Gli sviluppi dei sistemi di TAI sono stati lenti in ragione delle enormi difficoltà incontrate nel corso degli anni dalla ricerca scientifica del settore: limiti di potenza di calcolo degli elaboratori, costi eccessivi, entrambi indotti dall'elevata quantità dei dati in input. I primi sistemi che sono stati concepiti hanno aggirato le difficoltà computazionali ed economiche riducendo il volume delle informazioni da trattare; ciò è stato perseguito sia processando un numero ridotto di immagini (per esempio un'immagine su 4, su 8, o addirittura su 24) sia limitando l'ampiezza del dominio spaziale di analisi (cioè processando non l'immagine intera ma una sua piccola finestra, del tutto assimilabile ad un rilevatore puntuale posto sull'immagine del tronco stradale monitorato).

Successivamente, i continui progressi tecnologici compiuti nel campo dell'elettronica hanno reso possibile il ricorso a (personal) computer capaci di maggiori prestazioni, con la conseguente estensione delle procedure di trattamento a domini spazio-temporali più ampi. Attualmente, sono presenti sul mercato internazionale numerosi sistemi di trattamento automatico delle immagini di traffico (CAMDAS, CCATS, INRETS, AUTOSCOPE, VIP, VTIP) anche se studi sono ancora in corso presso molti centri di ricerca del settore.

In rapporto all'estensione del dominio spaziale di riferimento, è possibile classificare i sistemi di TAI esistenti in commercio in due grandi categorie:

- sistemi di trattamento di zone limitate dell'immagine;
- sistemi di trattamento dell'intera immagine utile.

I sistemi della prima categoria (detti anche "tripwire systems" o "tripline systems") trattano una o più piccole porzioni dell'immagine di traffico visualizzata, processando così un numero limitato di pixel. Le aree trattate sono costituite o da un insieme di linee (per esempio le linee dell'immagine che sono parallele all'asse di ciascuna corsia stradale inquadrata) oppure da finestre rettangolari definite, le quali possono essere considerate delle spire induttive virtuali disposte non sulla pavimentazione stradale ma sulla sua immagine visualizzata. Tali sistemi utilizzano algoritmi capaci sostanzialmente di rilevare le variazioni di luminosità che i pixel costituenti l'area trattata subiscono al passaggio di un veicolo. I sistemi in esame, i primi ad apparire sul mercato, sono meno costosi rispetto a quelli che trattano la totalità dell'immagine, ma forniscono essenzialmente gli stessi parametri di traffico (portata, velocità, tasso di occupazione) che possono essere rilevati con l'impiego di spire induttive singole o accoppiate. Il vantaggio di tali sistemi risiede comunque nel fatto che con l'uso di una singola telecamera è possibile riprodurre il funzionamento di più spire magnetiche, garantendo nel contempo una visione continua dello scenario di traffico. Tuttavia è opportuno sottolineare che, rispetto alle spire induttive, tali sistemi presentano l'inconveniente di essere condizionati da

eventuali fattori di disturbo (cattive condizioni climatiche, variabilità della luminosità, effetti di mascheramento, ecc.) i quali possono provocare errori non trascurabili sul rilevamento dei veicoli.

I sistemi della seconda categoria (detti anche “tracking systems”) trattano la totalità dell’immagine o, quantomeno, la parte dell’immagine relativa al solo tronco stradale visualizzato. Questi sistemi sono in grado di rilevare tutti i veicoli che si trovano su un’immagine e di seguirli nelle immagini successive, riuscendo così a garantire una quantità di informazioni superiore a quella fornita dai classici sensori puntuali. In sostanza, gli algoritmi utilizzati sono capaci di isolare in ogni fotogramma (mediante delle operazioni di morfologia matematica) l’area che definisce il singolo veicolo e di seguirne il movimento procedendo per differenza e confronto (pixel per pixel) tra le varie immagini successive. Tali sistemi possono fornire non soltanto i parametri fondamentali del traffico (portata, velocità, tasso di occupazione, densità) ma anche delle ulteriori informazioni; essi, infatti, consentono di seguire la traiettoria dei veicoli, di rilevare una situazione anomala del deflusso veicolare (veicoli fermi, incidenti, ingorghi ecc.), di osservare i movimenti di svolta agli incroci, di classificare i veicoli secondo le loro dimensioni, ecc.

Accanto alle due categorie dei sistemi di TAI finora analizzate, occorre far menzione di un’ulteriore tipologia che però si discosta dalle prime per il fatto di non essere adatta al rilevamento del traffico su strada o autostrada, bensì al monitoraggio di zone limitate specifiche, quali caselli per il pagamento dei pedaggi o accessi alle aree di parcheggio. Tali sistemi prevedono il disegno sulla carreggiata di zebrastrade o riquadri a scacchiera, in maniera tale da far risaltare maggiormente i veicoli che li attraversano; in tali condizioni il processo di trattamento delle immagini ne risulta semplificato.

Le performance dei sistemi di TAI attualmente presenti sul mercato sono variabili e dipendono da numerosi fattori (condizioni di installazione delle telecamere, condizioni meteorologiche e di luminosità, tipologia di trattamento adoperata). In linea generale si può comunque affermare che tali sistemi garantiscono delle misure di elevata precisione ed affidabilità, tendenti a confermare le indicazioni fornite dai diversi produttori:

- precisione di conteggio variabile tra il 90% ed il 100%;
- tasso di errore sulla misura della velocità compreso fra il 3% ed il 10%;
- tasso di errore sulla misura del tasso di occupazione di circa il 10%;
- tasso di errore dell’ordine del 10% sul rilevamento della lunghezza di coda agli incroci o ai caselli di pagamento del pedaggio;
- precisione di circa il 97% nella classificazione dei veicoli sulla base delle loro caratteristiche geometriche visibili (lunghezza e larghezza).

E’ opportuno segnalare che l’applicazione di detti sistemi è notevolmente onerosa e non esclude eventuali difficoltà operative, legate essenzialmente:

- alle condizioni meteorologiche (pioggia, neve, vento, nebbia), le quali possono alterare la leggibilità delle immagini;
- alle condizioni ambientali (variabilità della luminosità nell’arco della giornata, presenza di ombre, effetti di abbagliamento dovuti al sole sotto certe

- inclinazioni);
- agli effetti di mascheramento dovuti alla vegetazione, ai veicoli di grande sagoma, ecc.;
- agli effetti distorcenti derivanti dalla visione prospettica delle immagini.

In generale, quindi, la base delle informazioni necessarie per la valutazione dei dati di traffico di interesse è rappresentata dal segnale elettrico che viene emesso dalla telecamera o dal videoregistratore, a seconda che l'elaborazione sia di tipo on line o off line. È opportuno precisare che tale segnale, avendo la forma di un'onda elettrica ad andamento continuamente variabile, costituisce un segnale di tipo analogico e come tale non idoneo alla diretta elaborazione da parte di un computer, il quale richiede invece segnali digitali. Per poter effettuare il trattamento automatico delle immagini filmate è quindi necessario che il segnale elettrico uscente dalla telecamera o dal videoregistratore sia reso compatibile con le caratteristiche dell'elaboratore, cioè occorre che tale segnale sia convertito da analogico a digitale. La conversione del segnale elettrico dalla forma analogica a quella binaria (digitalizzazione) può essere ottenuta mediante un convertitore analogico-digitale. Quest'ultimo è rappresentato normalmente da un processore specializzato, da interfacciare con telecamera (o videoregistratore) e calcolatore, oppure da una scheda analogico-numerica da incorporare nell'unità centrale del personal computer.

Sono ormai disponibili sul mercato delle telecamere che danno direttamente in uscita un segnale video di tipo digitale, rendendo pertanto non strettamente necessario il ricorso ad una scheda di conversione; tali telecamere sono normalmente denominate "digitali".

B.2.11. Il rilevamento mediante tecnologie di tipo satellitare

Da qualche anno, lo sviluppo della telematica applicata al trasporto stradale consente l'installazione sui veicoli di terminali di bordo dotati di sistemi di localizzazione satellitare e collegati via etere a centrali operative remote. Lo scopo della telematica di bordo è quello di garantire agli utenti della strada sia servizi di assistenza e protezione, sia servizi di informazione (infomobilità). I primi rispondono alle esigenze degli automobilisti di poter essere soccorsi in caso furti, aggressioni, incidenti stradali, malori e avarie meccaniche; i secondi permettono agli utenti della strada di ricevere in tempo reale notizie e informazioni utili sul percorso da seguire o sul comportamento da mantenere.

I nuclei telematici installabili a bordo dei veicoli si basano generalmente sull'abbinamento di un sistema di telecomunicazioni (tipo GSM) e di un sistema di identificazione o localizzazione satellitare (tipo GPS); si ricorda che:

- il GSM ("Global System for Mobile communications") è la rete cellulare digitale comune a tutti i paesi europei (tale caratteristica consente agli utenti di potersi spostare in tutto il territorio europeo utilizzando lo stesso terminale, lo stesso abbonamento e lo stesso numero); la sua tecnologia garantisce un'eccellente qualità non soltanto nel trasferimento della voce, ma anche nello scambio di dati (un particolare servizio di trasmissione dati

offerto dal GSM è il servizio SMS, "Short Message Service", che consente l'invio di brevi messaggi alfanumerici tra apparecchi GSM);

- il GPS (Global Positioning System) è un sistema di localizzazione automatica realizzato mediante la messa in orbita di alcuni satelliti artificiali e basato sulla ricezione a terra dei segnali radio emessi da tali satelliti; ciascun satellite emette in permanenza un segnale che viene captato a terra da un apposito ricevitore, il quale è così in grado di rilevare la propria posizione.

Dal punto di vista tecnico, un nucleo telematico di bordo risulta costituito da un insieme di apparecchiature contenute in un unico case installabile all'interno del mezzo mobile; le apparecchiature presenti sono:

- un elaboratore, che costituisce l'unità preposta per l'espletazione della capacità di calcolo del sistema di bordo e per la gestione di tutte le unità periferiche associate;
- un'unità GSM, di ridotte dimensioni, che fa da interfaccia tra il processore di bordo e la rete pubblica GSM, al fine di consentire conversazioni in fonia e trasmissioni dati tra il mezzo mobile e la centrale operativa;
- un ricevitore GPS, compatto e di dimensioni contenute, in grado di determinare la propria posizione, ovvero quella del veicolo (in termini di latitudine, longitudine e quota), nonché la velocità del veicolo e la cronologia degli eventi.

A tali apparecchiature può anche aggiungersi un display di bordo, composto da uno schermo a cristalli liquidi e montato generalmente su un braccio snodabile che permette l'orientazione dello schermo al fine di migliorarne la visibilità; la funzione principale di tale display è quella di visualizzare il percorso seguito dal veicolo durante il suo movimento.

L'apparizione di veicoli così equipaggiati e collegati a centrali di servizio remote può essere vista, oggi, non soltanto come una risposta alle esigenze di sicurezza e informazione degli automobilisti, ma anche come una tecnica completamente innovativa di raccolta dei dati di traffico. Difatti l'equipaggiamento dei veicoli con il sistema GPS può contribuire, allo stato attuale, alla determinazione dei tempi di percorrenza e delle velocità dei veicoli, e nel futuro (in previsione di una diffusione di massa di tali sistemi telematici) può sicuramente consentire il rilevamento di ulteriori parametri del traffico, quali portata, densità, tasso di occupazione, ecc.

Tutto ciò si rende possibile dal momento che i dati rilevati dal ricevitore GPS posto sul veicolo (posizione, velocità, cronologia degli eventi) possono essere inviati (a mezzo GSM) ad una centrale operativa remota che così è in grado di raccogliere importanti informazioni sul traffico veicolare, a cominciare dai tempi di percorrenza.

Fino ad ora, la tecnica di rilevamento dei dati di traffico con l'impiego di veicoli capaci di ricevere segnali dai satelliti ha avuto essenzialmente un carattere sperimentale; di recente alcune sperimentazioni sono state orientate alla stima dei tempi di viaggio per il tramite di un campione di veicoli test, fornendo risultati nel complesso incoraggianti.

B.2.12. Il rilevamento con unità attrezzate mobili

L'apparizione di veicoli equipaggiati con mezzi di identificazione o di localizzazione tramite satellite, tipo GPS, è vista oggi come una nuova opportunità di completare utilmente la raccolta dati proveniente da installazioni fisse, soprattutto ai fini del rilievo dei tempi di percorrenza. Alcuni progetti sperimentali sono stati di recente orientati alla stima dei tempi di viaggio per il tramite di un campione di veicoli test, fornendo risultati nel complesso incoraggianti.

Altri sistemi di rilevamento sono tuttavia possibili senza ricorrere necessariamente al satellite; ci si riferisce a strumenti in grado di facilitare l'acquisizione di informazioni, in modo dinamico, lungo un tragitto. L'apparecchio più semplice è un semplice apparecchio registratore, simile ad un apparecchio contacolpi, con una pulsantiera attivata da un operatore in automobile; lunghezza di strada e tempo sono registrati in modo automatico e progressivo e sono scanditi dal rilievo di eventi di interesse quali «curva, passaggio a livello, galleria, incrocio semaforizzato, ecc.) attivato dall'operatore. Un sistema di più recente concezione fa ricorso ad una telecamera in grado di captare la scena mutevole lungo il percorso, restituendo alcune grandezze d'interesse previa elaborazione automatica delle immagini video registrate.

B.3. Tecniche di rilevamento automatiche in rapporto ad obiettivi specifici

Il monitoraggio di una stessa variabile del traffico può essere operato con strumenti diversi. In relazione agli obiettivi, a vincoli di budget, ad analisi tecniche, l'analista potrà ricorrere a strumenti specifici o a combinazioni di strumenti per assicurare efficienza ed efficacia all'attività di monitoraggio. Nel seguito sono proposte alcune considerazioni scaturite da esperienze pregresse, relative ad alcuni degli obiettivi più diffusi di monitoraggio del traffico.

Controllo della sosta

Il grado di occupazione dei parcheggi può essere rilevato in vari modi. Si può procedere con dei conteggi in corrispondenza dei varchi di ingresso/uscita con l'aiuto di rilevatori classici: spire, cellule fotoelettriche, lettura ottica delle targhe, ecc. si può, in alternativa, osservare direttamente l'occupazione degli stalli tramite telecamere e sistemi di analisi di immagini: questo è possibile in particolare per parcheggi all'aperto che permettono di predisporre le telecamere in posizioni elevate. La sorveglianza della sosta su strada è piuttosto finalizzata al controllo della sosta abusiva che può ripercuotersi negativamente sul traffico e la sicurezza di circolazione. In questo caso è possibile ricorrere a sensori ottici. La lotta contro le frodi e l'appropriazione indebita di veicoli nei pedaggi può essere perseguita attraverso l'uso di dispositivi di lettura automatica di targhe nei varchi di ingresso/uscita.

Rilievo infrazioni

Per il rilevamento dell'eccesso di velocità possono essere utilizzati sensori a spire accoppiate, radar Doppler, laser. Alcuni di questi strumenti sono già in

dotazione alle forze di polizia e sono sottoposti a vincoli di precisione: l'errore di stima deve rimanere entro un limite prestabilito, dell'ordine del 5%, al fine di evitare di dar luogo a contestazioni.

Il rilevamento della violazione del rosso semaforico è possibile a mezzo di un sensore a doppia spira magnetica o radar, in corrispondenza della linea di arresto, in grado di rilevare il transito di un veicolo e la sua velocità; in caso di infrazione può essere scattata una fotografia che identifica il veicolo. Più complicata è la rilevazione del mancato arresto allo stop e a tal fine sono ancora in corso studi specifici.

Per i distanziamenti temporali tra i veicoli è possibile ricorrere a diversi tipi di sensori in grado di segnalare il passaggio dei veicoli, purché lo strumento di rilevamento sia dotato di un orologio interno.

Il superamento della linea bianca lungo l'asse stradale non è agevole; sono stati condotti studi sperimentali tesi a riconoscere la presenza di veicoli e il loro senso di marcia.

La circolazione illecita su corsia riservata, in particolare riservata agli autobus, può essere rilevata a mezzo di sensori ottici.

Circa la sosta esistono due esigenze distinte: rilevare il superamento della durata limite di sosta consentita, riconoscere la presenza di veicoli in zona di sosta vietata (in particolare sulla carreggiata). Nel primo caso non esistono strumenti automatici di controllo e quindi si ricorre alla vigilanza umana, nel secondo caso potrebbero essere adoperati dei sensori ottici, anche se non pare che esistano, ad oggi, delle realizzazioni operative (vedi anche sopra il controllo della sosta).

Il superamento del tempo limite di guida da parte di guidatori di mezzi pesanti è di norma registrato attraverso il cronotachigrafo installato a bordo. E' possibile comunque attivare anche misure attraverso altri strumenti quali dati di pedaggio in autostrada, dispositivi video di riconoscimento dei veicoli o lettura automatica delle targhe.

Difetti di funzionamento del veicolo, quali difetti nell'apparato di illuminazione o nel grado di gonfiaggio delle ruote, possono produrre situazioni di pericolo e sono perciò oggetto di ricerca dispositivi atti a rilevarli in modo automatico e affidabile.

Sicurezza dei pedoni

Il monitoraggio dei rischi di incidenti coinvolgenti i pedoni in ambito urbano o su strada può essere operata tanto attraverso rilevatori fissi quanto attraverso opportuni dispositivi a bordo veicolo (radar anticollisione). In alcune aree critiche, quali quelle adiacenti alle scuole, la presenza di pedoni può essere rilevata e indicata agli automobilisti attraverso segnali di allerta. La protezione in corrispondenza di segnali è possibile attraverso fasi di "tutto rosso" per i veicoli, prolungamento dei tempi per il transito pedonale, segnalazione sonora della fase di libertà di movimento per i pedoni, l'attivazione "a domanda" del verde per il pedone. I dati da rilevare sono in primo luogo le portate di veicoli e le portate di pedoni; questi ultimi possono essere rilevati mediante telecamera ed

eventuale trattamento automatico d'immagini, ovvero con sensori a raggi laser o infrarossi.

Assistenza alla guida

Diversi tipi di dati possono essere rilevati; fra gli altri:

- dati di traffico quali portata, velocità, classificazione dei veicoli, fenomeni di coda;
- parametri meteorologici;
- parametri relativi alle condizioni della pavimentazione stradale;

Per alcune applicazioni si può adottare un modello di rivelatore di transito di veicoli (spire, ultrasuoni, ecc.), per altre (es. formazione di code conseguenti ad un collo di bottiglia) pare più appropriato l'uso di telecamere, anche se sensori puntuali, tipo spire magnetiche, sufficientemente ravvicinati possono permettere di rilevare con buona precisione gli stessi fenomeni. Per una verifica dello stato della pavimentazione stradale possono essere adoperati sensori specifici quali termometri infrarossi per una cartografia termica della carreggiata, analizzatori della capacità riflettente della strada per rilevare la presenza di neve o ghiaccio, ecc.

Sicurezza nei passaggi a livello

Le esperienze condotte con successo in questo campo fanno ricorso a radar, sensori ottici, spire magnetiche. Il limite di questi sistemi risiede tuttavia nell'ancora troppo elevato tasso di falsi allarmi.

Sicurezza in galleria

Il rilevamento di fuochi o fumi può essere effettuato con gli strumenti in uso negli edifici pubblici, ma si vanno affermando dispositivi innovativi, basati sulla sorveglianza della temperatura tramite fibra ottica o sul rilievo di fumi tramite telecamera.

Protezione opere d'arte

Strumenti di rilevamento con telecamera e trattamento automatico d'immagine possono essere adottati per il rilievo di sagome in eccesso come anche rilevatori radar/laser; per la determinazione del peso dei veicoli esistono strumenti specificatamente costruiti, i cosiddetti WIM.

B.4. Il mercato delle tecnologie per il monitoraggio del traffico

Alcune ricerche condotte negli Stati Uniti hanno stimato che nel mondo sono installati circa 1.59 milioni di strumenti per il rilievo del traffico, che effettuano monitoraggio su circa 1.36 milioni di corsie stradali. L'investimento complessivo è stimato essere attorno a 2.04 M. di US\$.

La maggior parte di tali strumenti è costituita da spire magnetiche (63%), seguono a distanza i rilevatori ultrasonici (21.3%), che cominciano ad avere larga diffusione. I rilevatori radar, a microonde, piezoelettrici, a raggi infrarossi e

i sensori video sono invece scarsamente presenti sul mercato rispetto ai primi due, come mostra la Tabella B.1.

Tabella B.1. Mercato delle tecnologie di rilevamento del traffico per unità installate, corsie coperte e valore delle installazioni

<i>Rilevatore</i>	<i>Unità installate</i>	<i>Quota di Mercato (%)</i>	<i>Corsie monitorate</i>	<i>Quota di mercato</i>	<i>Valore (US\$)</i>	<i>Quota di mercato</i>
Spire induttiva	670.182	63.30	460.203	33.85	833.933.204	40.82
Ultrasuono	225.456	21.30	563.640	41.46	447.123.300	21.89
Microonda	51.036	4.82	142.563	10.49	65.551.208	3.21
Piezo-elettrico	42.473	4.01	79.074	5.82	179.649.975	8.79
Infrarosso	23.999	2.27	34.029	2.50	75.935.459	3.72
Video	19.502	1.84	48.197	3.55	237.595.482	11.63
Magnetico	12.046	1.14	12.038	0.89	2.383.235	0.12
CCTV	5.026	0.47	10.717	0.79	63.722.870	3.12
WIM	4.721	0.45	1.788	0.13	56.062.713	2.74
Ibridi	2.423	0.23	4.511	0.33	61.308.000	3.00
AVI	1.272	0.12	1.610	0.12	15.309.096	0.75
Acustici	480	0.05	1.124	0.08	4.022.235	0.21
<i>Totale</i>	<i>1.058.696</i>	<i>100%</i>	<i>1.359.472</i>	<i>100%</i>	<i>2.042.944.102</i>	<i>100%</i>

Se si considera la diffusione delle tecnologie sulla base del numero di corsie coperte, la ripartizione si modifica. Ciò si verifica in quanto alcune tecnologie (radar, video) coprono più di una corsia per unità, mentre altre (spire induttive) richiedono una o più unità per monitorare una singola corsia, a seconda dei parametri da rilevare.

La Tabella 1 evidenzia come più del 41% delle corsie siano coperte da rilevatori ad ultrasuoni, mentre le spire induttive coprono il 34% del totale di corsie monitorate. I rilevatori a microonde coprono invece il 10.5%. Seguono i sensori piezo-elettrici (5.82%) e i video (3.55%).

Considerando invece l'importo globale degli investimenti, le spire induttive e i rilevatori ad ultrasuono tornano in cima alla lista. Anche se relativamente economiche, le spire sono così diffuse che coprono il 41% del mercato globale, espresso in dollari USA. I sensori ad ultrasuoni coprono invece il 22% del mercato. Seguono le restanti tecnologie.

Le spire induttive costituiscono quindi la tecnologia più diffusa per il monitoraggio del traffico, in quanto spesso rappresentano garantiscono i risultati affidabili rispetto al costo.

Come emerge dalla Tabella B.2 il costo medio unitario per l'acquisto e l'installazione di una spira magnetica è attorno ai 1.250 US\$. Molte tecnologie sono assai più costose. Tuttavia, riferendo il costo al numero di corsie coperte i rapporti si modificano sensibilmente.

Il numero di detectors per corsia è ottenuto considerando sia il numero di corsie che le aziende che producono gli strumenti dicono di poter monitorare che gli enti di gestione dicono di coprire con gli strumenti che hanno installato.

Tabella B.2. Costi medi per tecnologia di rilievo del traffico.

<i>Tecnologia</i>	<i>Costo medio per unità (\$)</i>	<i>Numero detectors per corsia</i>	<i>Costo medio per corsia (\$)</i>
Spire induttiva	1.250	1.44	1.800
Ultrasuono	1.008	0.40	403
Microonda	1.450	0.43	624
Piezo-elettrico	4.300	0.64	2.752
Infrarosso	2.800	0.92	2.572
Video	13.000	0.42	5.460
Magnetico	360	1.04	374
CCTV	19.000	0.50	9.500
WIM	11.800	2.02	23.836
Acustici	4.300	0.37	1.554

Tuttavia, gli enti preposti al monitoraggio e gestione del traffico richiedono strumenti sempre più flessibili, a supporto dei sistemi avanzati di gestione del traffico (ATMS, Advanced Traffic Monitoring Systems). Si stanno diffondendo quindi strumenti di tipo non intrusivo, in grado di essere installati, rimossi, riparati e riconfigurati molto più rapidamente dei sensori calati all'interno del manto stradale, senza alcuna interruzione nel deflusso di traffico.

Appendice C

Metodologie applicative in materia di monitoraggio del traffico, in Italia e negli Stati Uniti

In questa appendice si esaminano alcune metodologie applicative di monitoraggio del traffico in uso in Italia e in USA.

C.1. Metodologie applicate in Italia

Una metodologia standardizzata, in uso in Italia, per la stima del traffico giornaliero medio autostradale è nota come «Metodo di Ginevra».

L'indice utilizzato per la valutazione dell'entità del traffico è il traffico medio giornaliero, T.G.M., definito come il rapporto tra il numero di veicoli che, in un determinato periodo di riferimento, transitano attraverso una data sezione e il numero di giorni considerato.

I valori del traffico medio giornaliero sono calcolati secondo le seguenti formule, derivate dalla "Formula di Ginevra" usata dall'A.N.A.S. dal 1970:

$$TGM_{\text{totale}} = TGM_{\text{diurno}} + TGM_{\text{notturno}}$$

con

$$TGM_{\text{diurno}} = (TGM_{d'} + TGM_{d''}) / 2$$

$$TGM_{\text{notturno}} = (TGM_{n'} + TGM_{n''}) / 2$$

in cui

- $TGM_{d'}$ e $TGM_{d''}$ rappresentano rispettivamente il traffico giornaliero medio diurno primavera-estate e quello autunno-inverno,
- $TGM_{n'}$ e $TGM_{n''}$ rappresentano rispettivamente il traffico giornaliero medio notturno primavera-estate e quello autunno-inverno,

Questi valori sono determinati con formule che tengono conto del traffico che si è avuto nell'arco dell'intero anno.

I rilevamenti sono condotti in determinate sezioni dell'intera rete, durante sedici giorni dell'anno, in giornate diverse della settimana e indicando i passaggi dei mezzi, distinti per categoria.

I rilevamenti sono svolti in parte di giorno, dalle ore 7 alle ore 19, e in parte di notte, dalle 19 alle 7 del giorno successivo al rilevamento diurno; i rilevamenti notturni di solito sono limitati a sette giorni.

La valutazione della domanda di traffico è fatta con riferimento a schede compilate nei posti di osservazione: tali schede forniscono il totale dei veicoli transitati durante il periodo di rilevamento, suddiviso secondo le seguenti categorie:

1. Moto, moto con sidecar, scooter;
2. Autovetture fino a 9 posti a sedere, anche con rimorchio o roulotte;
3. Autocarri e motocarri con peso totale, compreso il carico autorizzato, fino a 30 quintali;
4. Autocarri con peso totale, compreso il carico autorizzato, superiore a 30 quintali o trattori stradali isolati;

5. Autocarri con rimorchio;
6. Trattori stradali con semirimorchio;
7. Autobus;
8. Veicoli speciali (sgombraneve, autogrù, autopompe, carri armati, autoblinda, ecc.) e/o trasporti eccezionali;

In particolare, i termini relativi al TGM diurno e notturno che intervengono nelle formule precedenti, sono dati da:

- il traffico giornaliero medio, primaverile-estivo, diurno, è dato da

$$T.G.M._{d'} = \frac{1}{7} \left(n + \frac{e+h}{2} + \frac{f+m}{2} + l + 3 \cdot \frac{g+i}{2} \right)$$

- il traffico giornaliero medio, autunno-invernale, diurno, è dato da

$$T.G.M._{d''} = \frac{1}{7} \left(r + \frac{a+o}{2} + \frac{b+p}{2} + c + 3 \cdot \frac{d+q}{2} \right)$$

- il traffico giornaliero medio, primaverile-estivo, notturno, è dato da

$$T.G.M._{n'} = \frac{1}{7} (4 \cdot g_n + n_n + f_n + h_n)$$

- il traffico giornaliero medio, autunno-invernale, notturno, è dato da

$$T.G.M._{n''} = \frac{1}{7} (5 \cdot d_n + p_n + o_n)$$

i termini delle formule si riferiscono a particolari giorni dell'anno, e, nella tabella seguente, se ne riporta un esempio:

Codice rilevamento		Data	Giorno della settimana	Orario rilevamento diurno	Orario rilevamento notturno
diurno	notturno				
a		15 gennaio	Sabato	7 - 19	19 - 7
b		30 gennaio	Domenica	7 - 19	19 - 7
c		6 marzo	Lunedì	7 - 19	19 - 7
d	d _n	16/17 marzo	Mercoledì - Giovedì	7 - 19	19 - 7
e		15 aprile	Sabato	7 - 19	19 - 7
f	f _n	30 aprile/ 1 maggio	Domenica - Lunedì	7 - 19	19 - 7
g	g _n	14/15 giugno	Mercoledì - Giovedì	7 - 19	19 - 7
h	h _n	24/25 giugno	Sabato - Domenica	7 - 19	19 - 7
i		11 luglio	Martedì	7 - 19	19 - 7
l		7 agosto	Lunedì	7 - 19	19 - 7
m		27 agosto	Domenica	7 - 19	19 - 7
n	n _n	15/16 settembre	Venerdì - Sabato	7 - 19	19 - 7
O	o _n	14/15 ottobre	Sabato - Domenica	7 - 19	19 - 7
P	p _n	29/30 ottobre	Domenica - Lunedì	7 - 19	19 - 7
Q		8 novembre	Mercoledì	7 - 19	19 - 7
R		1 dicembre	Venerdì	7 - 19	19 - 7

C.2. Metodologie applicate in USA

Negli Stati Uniti la Federal Highway Administration (FHWA) ha definito una metodologia unitaria per la realizzazione di estesi programmi per il monitoraggio del traffico mediante l'utilizzo di Sistemi di Monitoraggio Automatici. Il programma generale, all'interno del quale vengono definite le procedure connesse, è denominato HPMS (Highway Performance Monitoring System), mentre altre procedure complementari sono contenute all'interno di un manuale guida denominato: "Traffic Monitoring Guide". Le finalità del programma HPMS sono molteplici:

- pervenire ad adeguati e affidabili fattori di stagionalità nel rilievo dei flussi di traffico, sulla base di un approccio che minimizzi le risorse monetarie impegnate;
- assicurare un minimo di rigore statistico nel rilievo e nel trattamento dei dati;
- integrare i programmi di monitoraggio del traffico già avviati dai vari Stati, al fine di favorire lo sviluppo di un approccio unitario su base federale;

- rendere disponibile uno strumento potente e flessibile per successivi utilizzi dei dati mediante calcolatore.

L'approccio usuale per la determinazione del Traffico Giornaliero Medio Annuo (nel seguito indicato con la sigla AADT, Annual Average Daily Traffic) prevede tre differenti, ma complementari, tipologie di conteggi di traffico.

I *conteggi continui* vengono svolti per 365 giorni l'anno su un ridotto numero di sezioni di rilievo. Essi forniscono le informazioni più utili e dettagliate e, generalmente, implicano l'uso di strumenti di conteggio permanenti, da parte di enti e agenzie preposti alla gestione del traffico. Poiché i dati ottenuti dai conteggi continui presentano una struttura non dissimile da Stato a Stato, la Federal Highway Administration li sintetizza su base mensile per lo sviluppo di trend di traffico su scala nazionale. I conteggi continui costituiscono l'asse portante degli attuali programmi di monitoraggio del traffico dei vari Stati.

I *conteggi stagionali* risultano più difficili da caratterizzare a causa delle molteplici modalità di esecuzione da parte delle diverse organizzazioni Statali. Questi conteggi sono usualmente effettuati da 2 a 12 volte l'anno, per periodi temporali variabili da 24 ore a 2 settimane. Il principale scopo dei conteggi stagionali è quello di fornire un legame tra i conteggi di breve durata e i valori di AADT.

I *conteggi di breve durata* sono effettuati su periodi variabili da 6 ore a 7 giorni, distribuiti all'interno delle aree da monitorare in modo da fornire specifiche informazioni puntuali. Le loro modalità di esecuzione variano considerevolmente da Stato a Stato. Molti Stati hanno implementato programmi che prevedono un limitato numero di conteggi effettuati periodicamente, sviluppando efficienti sistemi di analisi computerizzati. Altri Stati hanno preferito effettuare completi e dettagliati conteggi sui sistemi autostradali, acquisendo un gran numero di dati di traffico con elevata frequenza, archiviandoli manualmente. Ovviamente, le diverse esigenze e i diversi vincoli si sono tradotti in programmi molto diversificati.

Negli anni è emersa la necessità di definire una procedura rigorosa, definita all'interno del programma (HPMS), con l'obiettivo di integrare i programmi dei diversi Stati, in un unico programma che abbia delle basi comuni.

Il programma consiste di 3 principali componenti:

1. il conteggio continuo su un numero limitato di sezioni permanenti,
2. la definizione di una completa architettura finalizzata al campionamento dei flussi di traffico;
3. l'eventuale adeguamento del programma di monitoraggio a specifiche esigenze.

Le procedure definite si propongono di combinare stime puntuali effettuate su pochi elementi del sistema con stime riguardanti l'intero sistema in modo efficiente e con sufficienti garanzie di affidabilità.

La prima parte del programma HPMS riguarda la definizione di un approccio per la strutturazione di programmi continui per il conteggio

automatico dei traffici. Tale strutturazione prevede una serie di attività, che sono brevemente sintetizzate nel seguito.

1. *Analisi stagionale dei dati continui acquisiti con sistemi automatici di rilievo.* E' necessario analizzare i dati già disponibili allo scopo di acquisire utili indicazioni per lo sviluppo della procedura. Tali dati, opportunamente trattati mediante tecniche statistiche (analisi cluster), possono permettere di far emergere i fattori di stagionalità nei dati rilevati.

2. *Determinazione dei fattori stagionali basate su classi funzionali delle strade definite.* I caratteri di stagionalità dei dati rilevati vengono determinati sulla base della individuazione di classi funzionali delle strade, in modo da permettere una semplice e diretta identificazione e corrispondenza fra i conteggi di breve durata e i vari gruppi di infrastrutture aventi caratteristiche similari.

3. *Raggruppamento delle sezioni di rilievo sulla base dei fattori di stagionalità.* La metodologia è legata all'analisi dei dati in possesso di ciascuno Stato e alla conoscenza di specifiche caratteristiche dei traffici. Le procedure sono disegnate per essere adottate da ciascuno Stato. L'analisi è finalizzata al raggruppamento delle sezioni di rilievo in classi funzionali sulla base dei Traffici Giornalieri Medi Mensili in ciascuna sezione, che permettono di rilevare picchi stagionali (solitamente presenti nei mesi estivi di Luglio e Agosto). Il numero minimo di gruppi stagionali raccomandati è:

- Strade Rurali Interstatali;
- Altre strade Rurali;
- Strade Urbane Interstatali;
- Altre strade Urbane;
- Strade Turistiche

Altri gruppi possono essere aggiunti per motivi specifici. Le variazioni tipiche nelle aree urbane presentano un coefficiente di variazione percentuale del 10%, mentre quelli delle aree rurali oscillano tra il 10% e il 25%. Valori maggiori del 25% sono indicativi di elevate oscillazioni stagionali caratteristiche delle strade di tipo turistico, tuttavia ciò potrebbe essere anche dovuto ad altre ragioni.

4. *Determinazione di un appropriato numero di sezioni su cui eseguire un monitoraggio automatico continuo.* Nell'ambito del programma, è definita una procedura statistica per stabilire il numero delle sezioni da monitorare relativo a ciascun gruppo funzionale di strade. È necessario assumere che esse siano state selezionate mediante un campionamento casuale semplice (assunzione pseudo-casuale), poiché la localizzazione delle sezioni di rilievo nell'ambito degli esistenti programmi di monitoraggio non è stata effettuata casualmente. Fatta questa ipotesi, la teoria riguardante le distribuzioni normali fornisce la metodologia appropriata. L'equazione standard per stimare gli intervalli di confidenza per un campione casuale semplice è:

$$B = \bar{x} + t_{1-d/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

dove:

B = limiti superiori ed inferiori dell'intervallo di confidenza,
 \bar{x} = valore medio,
 t = valore della T di Student con $1-d/2$ livello fiduciario e $n-1$ gradi di libertà,
 n = numero di sezioni di rilievo,
 d = livello di significatività,
 s = deviazione standard dei fattori.

L'intervallo di precisione è dato da:

$$D = t_{1-d/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

dove:

D = intervallo di precisione assoluto,
 s = deviazione standard.

Poiché il coefficiente di variazione è definito come rapporto tra la deviazione standard e la media, l'equazione può essere semplificata per esprimere l'intervallo come una percentuale della stima. L'equazione, pertanto, diventa:

$$D = t_{1-d/2, n-1} \frac{c.v.}{\sqrt{n}}$$

dove:

D = intervallo di precisione definito come percentuale della media,
 $c.v.$ = coefficiente di variazione.

L'utilizzo dell'ultima formula rende possibile la stima della dimensione del campione necessaria per raggiungere i desiderati intervalli di precisione o livelli di confidenza. Il raggiungimento di consistenti livelli di precisione richiede dimensioni del campione elevate (elevato numero di sezioni di rilievo) che si traducono in programmi di monitoraggio molto costosi; d'altra parte scarsi livelli di precisione riducono l'affidabilità dei dati rilevati. Generalmente, si richiede che le stime di traffico finalizzate alla determinazione del AADT abbiano una precisione contenuta al di sotto del $\pm 10\%$. Tale precisione può essere fissata con un elevato o basso livello di confidenza. Più è elevato il livello di confidenza desiderato più è numeroso il campione richiesto. I livelli raccomandati sono il 10% di precisione con il 95% di livello di confidenza (95-10) per ciascun gruppo funzionale di strade, escludendo le strade di tipo turistico, per le quali non è possibile specificare la precisione a causa della elevata variabilità dei traffici. Generalmente, il numero di sezioni necessarie (dimensione del campione, n) oscilla tra le 5 e le 8 per ciascun gruppo funzionale, anche se si verificano casi in cui è richiesto un maggior numero di sezioni di rilievo. La sola eccezione è costituita dal gruppo di strade di tipo turistico dove è necessario fare delle scelte soggettive, a seconda delle caratteristiche dell'area da monitorare.

5. *Modifiche agli attuali programmi di rilievo automatici continui.* Il programma propone dei suggerimenti in modo da apportare eventuali correttivi ai programmi di monitoraggio in corso di svolgimento presso i vari Stati, per allinearli alle procedure raccomandate. Il primo passo consiste nell'assegnare le sezioni di rilievo esistenti a ciascun gruppo funzionale di infrastrutture stradali.

Se, in generale, sono necessarie da 5 a 8 sezioni di rilievo per ciascuno dei 5 gruppi funzionali, il totale dei siti di rilievo per ciascuno Stato può oscillare da 30 a 40. Se le sezioni di rilievo per ciascun gruppo funzionale sono in eccesso rispetto al numero di sezioni individuate, alcune di esse potranno essere successivamente dismesse. La riduzione del numero di sezioni operanti va effettuata gradualmente e verificando che non si determinino imprevisti abbassamenti dei livelli di precisione. In alcuni casi, il mantenimento di alcune sezioni addizionali può essere utile per compensare eventuali mancanze di dati, dovuti a malfunzionamenti delle strumentazioni.

6. *Calcolo dei fattori mensili.* E' definita una metodologia per il calcolo dei fattori mensili per ciascun raggruppamento di strade su base stagionale e viene mostrata l'applicazione di tali fattori per espandere i conteggi di breve durata e la tecnica per assegnare ciascuna sezione ai gruppi definiti.

7. *Uso di hardware e software per l'analisi e la gestione dati.* L'uso della tecnologia informatica è ormai un fattore primario nella gestione dei dati di traffico; si fa cenno ad alcuni strumenti software che permettono una completa analisi e gestione dei dati acquisiti.

Nella seconda parte del programma HPMS sono presentati alcuni principi di base.

1. *Specificazione del periodo di monitoraggio su ciascuna sezione.* Si consiglia un periodo di monitoraggio di 48 ore continuative per ottenere stime affidabili del AADT su specifiche sezioni di rilievo.

2. *Specificazione della frequenza del monitoraggio.* Si ritiene che vada effettuato un rilievo dei traffici ogni 3 anni sui siti individuati per raggiungere gli standard qualitativi definiti nel HPMS.

3. *Selezione del Campione di Strade Interstatali.* Sono definite le procedure per la definizione e la selezione del campione di strade Interstatali. Il campione annuale si ottiene monitorando alternativamente un terzo degli elementi del campione standard definito nel HPMS.

4. *Selezione del campione per le rimanenti classi funzionali del HPMS.* Sono definite le procedure per la definizione e la selezione del campione di strade Non-Interstatali.

5. *Distribuzione spaziale e temporale dei conteggi.* Vengono fornite indicazioni su come distribuire i conteggi di 48 ore nell'area da monitorare (spazio) e nell'anno (tempo). Le procedure prevedono di suddividere l'anno in quanti più periodi possibili di rilievo e di selezionare tra i vari periodi in modo casuale.

6. *Stima del AADT per le sezioni campione definite nel HPMS.* I conteggi rilevati sulle 48 ore acquisite sulle sezioni di rilievo campione nell'anno corrente possono richiedere degli aggiustamenti sulla base di fattori mensili (stagionale) e/o giornalieri. Per le sezioni su cui non sono stati effettuati conteggi durante l'anno corrente, è richiesta la determinazione di fattori di crescita. Il metodo raccomandato per l'espansione dei conteggi di 48 ore è di convertire ciascuno dei due separati periodi di 24 ore in valori di AADT e successivamente di fare

una media. L'equazione usata per stimare il valore di AADT in corrispondenza delle sezioni di rilievo campione è:

$$AADT_{hi} = \frac{1}{2} \sum (Vol_{hi} \times M_h \times D_h \times A_h \times G_h)$$

dove:

AADT_{hi} = traffico giornaliero medio annuo in corrispondenza della sezione i della classe funzionale h;

Vol_{hi} = flusso di traffico sulle 24 ore nella sezione i della classe funzionale h;

M_h = fattore mensile per la classe funzionale h;

D_h = fattore giornaliero per la classe funzionale h (se necessario);

G_h = fattore di crescita per la classe funzionale h (se necessario).

In alcuni casi l'applicazione di alcuni fattori non si rende necessaria. Una stima approssimata del coefficiente di variazione relativo definito come una percentuale del AADT viene fornita dalla seguente equazione:

$$C = (CV^2 + CM^2 + CD^2 + CG^2)^{1/2}$$

dove:

C = coefficiente di variazione relativo definito come percentuale di AADT,

CV = coefficiente di variazione per il flusso di traffico rilevato su 48 ore,

CM = coefficiente di variazione relativo del fattore mensile,

CD = coefficiente di variazione relativo del fattore giornaliero,

CG = coefficiente di variazione relativo del fattore di crescita.

L'espressione mostra la maggiore precisione ottenuta incrementando il numero di siti usati per determinare i fattori correttivi. Essa mostra che maggiori sono i fattori correttivi usati più è grande l'errore. Ciò condurrebbe erroneamente a pensare che l'errore possa essere minimizzato non usando fattori di correzione, tuttavia è ovvio che conteggi brevi non corretti sono meno affidabili di conteggi aggiustati mediante fattori di stagionalità o crescita.

7. Stima della Distanza Veicolare Media Percorsa nell'anno (AVDT=Annual Vehicle Distance Traveled). Sono presentate delle procedure per ottenere, a partire dalle stime del AADT, i valori del AVDT.

8. Calcolo dei fattori di crescita. Sono illustrate le procedure per la determinazione dei fattori di crescita, presentando molteplici metodologie alternative.

9. Stima dei fattori legati ai giorni della settimana. Sono discusse le procedure per la determinazione del fattore correttivo connesso ai giorni della settimana.

10. Stima dei fattori di correzione degli assi veicolari. Le stime dei fattori di correzione a seconda delle classi funzionali vengono eseguite a partire dal campione ottenuto relativo alle classificazioni dei veicoli. Tali fattori vengono usati per correggere i conteggi di breve durata acquisiti da strumentazione che rileva gli assi dei veicoli.

11. Considerazioni legate alla raccolta e alla gestione dei dati. E' evidenziata una serie di accorgimenti riguardanti la corretta gestione di interruzioni orarie, di conteggi mancanti, dei processi di manipolazione dei dati

condotti con l'utilizzo del computer e l'uso di codici unitari per l'identificazione delle sezioni di rilievo.

In ultimo, il programma presenta una serie di procedure legate alla gestione di eventuali specifiche esigenze che emergono nella attività di monitoraggio. Il principale obiettivo riguarda la definizione di eventuali necessità addizionali, oltre quelle evidenziate nelle due parti precedenti del programma. Poiché l'obiettivo dei precedenti due componenti è quello di pervenire ad informazioni riguardanti l'intero sistema monitorato, ottenibili mediante un numero limitato di conteggi di breve periodo, questa parte si propone di fornire specifiche informazioni riguardanti la possibilità di pervenire agli obiettivi previsti dalle precedenti parti del programma stesso. A causa delle grandi differenze esistenti tra gli Stati, la procedura si propone di essere quanto più flessibile per assecondare le esigenze di ciascuno Stato.

Appendice D

Glossario **dei principali termini in uso** **nella tecnica del traffico stradale**

Il glossario di seguito proposto è sostanzialmente quello dettato dalla CIRCOLARE MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, N. 30 (Direzione Generale Circolazione e Traffico) del 3 gennaio 1963. Esso è stato rivisitato in alcune voci per tener conto di modifiche successive al Codice della Strada, ed integrato con una sezione D (Monitoraggio del traffico).

Si ritiene opportuno richiamare le premesse della circolare sopra citata, che rimarca il significato stesso del glossario:

“L’unificazione della terminologia costituisce, in ogni campo della tecnica, l’indispensabile premessa per un inquadramento razionale della materia trattata; e questa esigenza si impone maggiormente nei casi (come quello del traffico stradale, divenuto ormai di interesse generale), per i quali occorre impostare su basi rigorosamente tecniche gli opportuni provvedimenti.

D’altra parte, il continuo incremento della circolazione motorizzata ha reso sempre più necessario e frequente lo scambio di notizie e informazioni tecniche fra tutti gli uffici ed enti pubblici e privati interessati all’argomento.

Si è pertanto riconosciuta la necessità di classificare e definire i concetti fondamentali relativi al traffico stradale, attribuendo un preciso ed univoco significato ai termini tecnici più comunemente adottati in questo settore.

I competenti organi ministeriali, con la collaborazione della commissione permanente per l’automobilismo, nella quale sono rappresentati amministrazioni, università, enti e categorie interessati ai problemi della motorizzazione, hanno quindi elaborato un complesso di definizioni, allo scopo di procedere alla unificazione della terminologia relativa al traffico stradale, onde consentire una maggiore chiarezza ed un maggiore rigore tecnico nella compilazione sia dei provvedimenti, sia degli studi inerenti la circolazione dei veicoli.

In relazione a quanto sopra, si rivolge viva preghiera alle amministrazioni ed agli enti cui la presente è diretta affinché, ciascuno nell’ambito della propria competenza, svolgano opera di diffusione e di raccomandazione per la adozione della terminologia di cui trattasi.

In particolare, i provveditorati regionali alle opere pubbliche, gli ispettorati compartimentali della motorizzazione civile e dei trasporti in concessione e gli uffici provinciali del genio civile sono pregati di volersi attenere, nella propria corrispondenza di ufficio e nei rapporti con enti, comitati, commissioni, ecc., in materia di traffico stradale, alla terminologia che si trasmette in allegato”.

A-1 VIABILITA'

1. Anello stradale - Strada di circonvallazione completa.
2. Autostrada - Strada a carreggiate separate riservata alla circolazione di autoveicoli e di motoveicoli, priva di intersezioni a raso e munita di speciali raccordi per l'ingresso e l'uscita.
3. Deviazione stradale - Tratto di strada atto ad evitare ostruzioni deviando temporaneamente il traffico e reinserendolo sulla direttrice originaria.
4. Strada - Area di uso pubblico aperta alla circolazione dei veicoli e dei pedoni.
5. Strada extraurbana - strada esterna ai centri abitati.
6. Strada urbana - strada interna ad un centro abitato.
7. Strada vicinale (o poderalo) - strada privata fuori dai centri abitati ad uso pubblico.
8. Strada a carreggiata unica - Strada sprovvista di spartitraffico.
9. Strada accessoria - Strada con carreggiata contigua e generalmente parallela a quella di una strada principale, adibita alla raccolta e distribuzione del traffico da e per le intersezioni e per dare accesso alle singole proprietà.
10. Strada a doppia carreggiata - Strada nella quale il traffico in un senso è separato da quello svolgentesi in senso opposto da uno spartitraffico o in altro modo.
11. Strada a due corsie - Strada ad una carreggiata comprendente due corsie, una per ogni senso di marcia.
12. Strada a due sensi - Strada sulla quale è permessa la circolazione nei due sensi.
13. Strada a senso unico - Strada sulla quale è permessa la circolazione in un solo senso.
14. Strade a tre corsie - Strada ad una carreggiata comprendente una corsia riservata a ciascun senso di circolazione ed una terza centrale da usare per i sorpassi.
15. Strada con precedenza - Strada al cui traffico spetta la precedenza nelle intersezioni.
16. Strada di circonvallazione - Strada destinata a convogliare parzialmente o completamente il traffico di transito interno ad un nucleo abitato.
17. Strada di rapido transito - Strada urbana multicorsie con accessi e intersezioni regolati allo scopo di consentire transiti veloci.
18. Strada di servizio - Vedi Strada accessoria.
19. Strada multicorsie - Strada a due o più corsie per il traffico in ciascun senso. Può essere ad una o due carreggiate separate.
20. Via - Strada in zona prevalentemente urbana.
21. Via cieca - Via locale aperta ad un solo estremo.

A-2 ELEMENTI DELLA SEZIONE STRADALE

1. Banchina - Parte della strada compresa tra il margine della carreggiata ed il più vicino tra i seguenti elementi longitudinali: marciapiede, spartitraffico, arginello, ciglio interno della cunetta, ciglio superiore della scarpata nei rilevati.
2. Banchina portante - Banchina munita di sottofondo idoneo a sopportare il traffico veicolare.

3. Bordo - Elemento posto longitudinalmente al margine della carreggiata e della sede stradale, atto a delimitare stabilmente la superficie rotabile ed a costituire una guida visiva per i conducenti.
4. Bordo inclinato - Bordo con faccia interna piana inclinata da 60° a non meno di 30° sulla orizzontale verso l'esterno, costruito per essere, in casi determinati, sormontato dai veicoli.
5. Bordo verticale - Bordo con faccia interna piana verticale e con inclinazione non maggiore di 30° rispetto alla verticale, non sormontabile dai veicoli.
6. Carreggiata - Parte della strada destinata allo scorrimento dei veicoli; essa è composta da una o più corsie di marcia ed, in genere, è pavimentata e delimitata da strisce a margine.
7. Ciglio - Linea di limite della sede stradale.
8. Cordolo - Bordo manufatto continuo di piccola sezione con faccia superiore piana od ondulata atto a mettere in evidenza il margine della carreggiata.
9. Corsia - Una suddivisione della carreggiata di larghezza idonea a permettere il transito di una sola fila di veicoli.
10. Corsia centrale - Corsia longitudinale della strada a carreggiata unica a doppio senso di marcia a numero dispari di corsie, normalmente utilizzata per sorpassi nei due sensi.
11. Corsia di accelerazione - Corsia specializzata per consentire ed agevolare l'ingresso ai veicoli sulla carreggiata.
12. Corsia di decelerazione - Corsia specializzata per consentire l'uscita dei veicoli da una carreggiata in modo da non provocare rallentamenti ai veicoli non interessati da tale manovra.
13. Corsia di canalizzazione - Corsie destinate all'incanalamento dei veicoli in prossimità di zone di manovra (incroci, ecc.); possono essere, a seconda della destinazione del traffico, dirette, di svolta e miste.
14. Corsia di sosta - Corsia sulla quale è consentita la sosta di veicoli in fila.
15. Corsia di emergenza - Corsia, adiacente alla carreggiata, destinata alle soste di emergenza, al transito dei veicoli di soccorso ed, eccezionalmente, al movimento dei pedoni.
16. Corsia esterna - Prima corsia di destra nel senso di marcia di una carreggiata multicorsie.
17. Corsia interna - Estrema corsia di sinistra, nel senso di marcia, delle corsie destinate ad uno stesso senso di marcia.
18. Cunetta - Manufatto destinato allo smaltimento delle acque meteoriche o di drenaggio, realizzato longitudinalmente a anche trasversalmente all'andamento della strada.
19. Delineatori - Dispositivi posti lungo il margine della carreggiata o della banchina allo scopo di accrescere la visibilità e quindi di rendere più evidente l'andamento planimetrico della strada.
20. Fascia di pertinenza - striscia di terreno, compresa tra la carreggiata e il confine stradale. E' parte della proprietà stradale e può essere utilizzata solo per la realizzazione di altre parti della strada.
21. Fascia di rispetto - striscia di terreno, esterna al confine stradale, sulla quale esistono vincoli alla realizzazione, da parte dei proprietari del terreno, di costruzioni, recinzioni, piantagioni, depositi e simili.
22. Fascia di sosta laterale - parte della strada adiacente alla carreggiata, separata da questa mediante striscia di margina discontinua e comprendente la fila degli stalli di sosta e la relativa corsia di manovra.

23. Isola di traffico - Parte della strada, opportunamente delimitata e non transitabile, destinata a incanalare le correnti di traffico.
24. Manto stradale - Strato superiore della pavimentazione.
25. Marciapiede - Parte della strada, esterna alla carreggiata, rialzata o altrimenti delimitata e protetta, destinata ai pedoni.
26. Pavimentazione - Insieme delle strutture costruite sul terreno di sottofondo per realizzare una superficie viabile adatta a consentire lo svolgimento della circolazione.
27. Piazzola di sosta - parte della strada, di lunghezza limitata, adiacente esternamente alla banchina, destinata alla sosta dei veicoli.
28. Pista ciclabile - Parte longitudinale della strada, opportunamente delimitata, riservata alla circolazione dei velocipedisti
29. Prima, seconda corsia, ecc. - Le corsie ad uguale senso di marcia di una carreggiata si numerano a partire dalla corsia esterna.
30. Sede stradale - Superficie compresa entro i confini stradali. Comprende la carreggiata e le fasce di pertinenza.
31. Sede tranviaria - Parte longitudinale della strada, opportunamente delimitata, riservata alla circolazione dei tram e dei veicoli assimilabili.
32. Spartitraffico - Parte longitudinale non carrabile della strada destinata alla separazione delle correnti veicolari.

A-3 ACCESSI, RACCORDI, INTERSEZIONI, ISOLE ED INTERSCAMBI

1. Accesso regolato - Accesso stradale presidiato o provvisto di apprestamenti per la regolazione della circolazione.
2. Accesso stradale - Zona di ingresso ad una carreggiata stradale.
3. Braccio (o ramo) di intersezione - Tratto di strada afferente una intersezione.
4. Crocevia - Intersezione a quattro bracci formata da due strade intersecantesi ad angolo approssimativamente retto.
5. Interscambio - Complesso di rampe ed opere stradali a livelli separati atto a consentire lo scambio delle correnti eliminando i punti di conflitto.
6. Intersezione - Luogo dove due o più strade si intersecano sotto qualunque angolo.
7. Intersezione a "T" - Intersezione a tre bracci in cui uno dei bracci e il prolungamento di un altro ed il terzo forma con i primi approssimativamente un angolo retto.
8. Intersezione a "Y" - Intersezione a tre bracci diversa da quella a "T".
9. Intersezione ad "X" - Intersezione a quattro bracci formata da due strade che si intersecano obliquamente, con angolo sensibilmente diverso da quello retto.
10. Intersezione a livelli sfalsati - insieme di infrastrutture (sovrappassi, sottopassi e rampe) che consente lo smistamento delle correnti veicolari fra rami di strade poste a livelli diversi.
11. Intersezione a raso (o a livello) - Area comune a più strade, organizzata in modo da consentire lo smistamento delle correnti di traffico dall'una all'altra di esse.
12. Intersezione multipla - Intersezione a 5 o più bracci.
13. Intersezione sfalsata - Due intersezioni stradali a "T" vicine e con bracci da bande opposte.

14. Isola di canalizzazione - Parte della strada, opportunamente delimitata e non transitabile, destinata a incanalare le correnti di traffico.
15. Isola di rotazione - Isola centrale di una circolazione rotatoria.
16. Passo carrabile - Accesso ad un'area laterale idonea allo stazionamento di uno o più veicoli.
17. Quadrifoglio - Interscambio comprendente un sovrappasso, quattro rampe dirette per la svolta a destra e quattro rampe indirette per la svolta a sinistra.
18. Quadrivio - Vedi Crocevia.
19. Raccordo - Tratto di strada di collegamento tra una carreggiata ed un'altra
20. Raccordo concavo - Raccordo tra due livellette contigue di diversa pendenza che si intersecano al di sotto della superficie laterale. Tratto di strada con andamento longitudinale concavo.
21. Raccordo convesso - Raccordo tra due livellette contigue di diversa pendenza che si intersecano al di sopra della superficie laterale. Tratto di strada con andamento longitudinale convesso.
22. Rampa - Strada di raccordo, atta a collegare due carreggiate site a livelli diversi.
23. Rampa diretta - Rampa che curva direttamente verso la direzione finale di innesto.
24. Rampa indiretta - Rampa che curva in senso inverso alla direzione finale e sulla quale il traffico si svolge in senso orario.
25. Rampa semidiretta - Rampa che, prima di curvare come le rampe dirette, inizia con una più o meno sensibile controcurva o flessione contraria.
26. Rotatoria - Intersezione regolata a circolazione rotatoria nella quale il traffico viene incanalato su una sola carreggiata a senso unico antiorario.
27. Rotatoria a livelli diversi - Interscambio a due livelli tra due strade, comprendente due sovrappassi, svolte a destra dirette e svolte a sinistra semidirette mediante scambio di traiettorie lungo la rotatoria.
28. Salvagente - Parte della strada, rialzata o opportunamente delimitata e protetta, destinata al riparo o alla sosta dei pedoni, in corrispondenza di attraversamenti pedonali o di fermate dei trasporti collettivi.
29. Tromba - Interscambio a "T" a due livelli comprendente un sovrappasso, due rampe dirette per la svolta a destra, una rampa semidiretta ed una indiretta per svolte a sinistra.
30. Zona di approccio - parte di un braccio di intersezione interessato
31. Zona di attestamento - Tratto di carreggiata, immediatamente a monte della linea di arresto, destinato all'accumulo dei veicoli in attesa di via libera e, generalmente, suddiviso in corsie specializzate separate da strisce longitudinali continue.
32. Zona di intersezione - Parte dell'intersezione a raso, nella quale si intersecano due o più correnti di traffico.
33. Zona di preselezione - Tratto di carreggiata, opportunamente segnalato, ove è consentito il cambio corsia affinché i veicoli possano incanalarsi nelle corsie specializzate.
34. Zona di scambio - Tratto di carreggiata a senso unico, di idonea lunghezza, lungo il quale correnti di traffico parallele, in movimento nello stesso verso, possano cambiare la reciproca posizione senza doversi arrestare.

A-4 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

1. Allineamento edificatorio - Linea che stabilisce i limiti di costruzione dei fabbricati latitanti una strada.
2. Angolo di cambiamento di direzione - Il minore dei due angoli formato dagli assi di due successivi rettilinei.
3. Angolo di intersezione - Il minore dei due angoli formato dagli assi di due strade che si intersecano.
4. Cunetta trasversale - Superficie concava compresa tra due livellette contigue avente anche funzione di smaltimento delle acque.
5. Curva di raccordo - Curva il cui raggio, in planimetria, varia progressivamente, inserita tra rettilineo e curva circolare.
6. Curva di transizione - Vedi Curva di raccordo.
7. Curva e controcurva - Curve consecutive i cui centri trovansi opposti rispetto ad una tangente comune o ad una interposta curva di raccordo.
8. Curva orizzontale - Curva stradale per il raccordo planimetrico di due rettilinei.
9. Curva policentrica - Curva stradale composta di due o più archi successivi aventi tangenti comuni, od interposte curve di raccordo, e con centri disposti da una stessa parte di quelle o di queste.
10. Curva verticale - Curva stradale per il raccordo altimetrico di due livellette.
11. Dislivello - Differenza di quota esistente tra due punti giacenti lungo l'asse di una strada.
12. Distanza di visibilità - Lunghezza del tratto di strada completamente visibile dal conducente di un veicolo, nel senso del moto, quando la visuale non sia impedita dal traffico.
13. Dosso - Superficie convessa compresa tra due livellette contigue.
14. Freccia - Distanza tra la congiungente i cigli della carreggiata e la tangente al profilo della sezione stradale parallela alla congiungente stessa.
15. Grado di curvatura - Angolo al centro di un arco di cerchio sotteso da un corda di lunghezza assegnata (normalmente 100 piedi = m 30,47).
16. Livelletta - Tratto di strada a pendenza longitudinale costante.
17. Monta - Rapporto, espresso in percentuale tra la freccia e la larghezza della semicarreggiata.
18. Pendenza - Rapporto percentuale tra il dislivello di due punti e la loro distanza.
19. Pendenza longitudinale - Rapporto percentuale tra il dislivello di due punti dell'asse stradale e la loro distanza orizzontale.
20. Pendenza trasversale - Inclinazione trasversale delle superfici costituenti una pavimentazione stradale, espressa in percentuale.
21. Profilo longitudinale - Linea schematica dell'andamento altimetrico di una strada lungo il suo asse.
22. Punto di tangenza - Punto ove termina un rettilineo stradale ed ha inizio una curva od anche un punto dove si inverte la curvatura (flesso).
23. Sezione trasversale - Sezione del corpo stradale normale all'asse stradale mostrante in dettaglio le dimensioni caratteristiche e gli elementi componenti la sezione stessa.
24. Sommità della carreggiata - 11 punto più elevato della sezione trasversale della carreggiata.

25. Sopraelevazione in curva - Differenza di quota tra i cigli esterno ed interno di una curva stradale.

B - TRAFFICO

- CIRCOLAZIONE - Movimento e sosta degli utenti della strada.
- TRAFFICO - Complesso degli utenti in circolazione sulla strada.

B-1 STUDI E STATISTICHE SUL TRAFFICO.

1. Analisi del traffico - Analisi quantitativa e qualitativa della composizione del traffico lungo una strada o su una rete di strade.
2. Censimento del traffico - Insieme dei rilevamenti del traffico volti a determinare il numero delle unità circolanti in un determinato periodo in una zona determinata.
3. Diagramma planimetrico dei volumi di traffico - Rappresentazione grafica dei volumi di traffico di una rete stradale o di una determinata area di manovra.
4. Planimetria isocrona - Rappresentazione planimetrica di una zona determinata sulla quale sono tracciate le congiungenti delle località raggiungibili con lo stesso tempo di percorrenza da un punto dato, con riferimento a determinate caratteristiche di traffico.
5. Previsione sul traffico - Determinazione della composizione quantitativa o qualitativa del traffico futuro sulla base dei dati attuali e di criteri presuntivi .
6. Rilevamento del traffico - Indagine volta a determinare caratteristiche particolari del traffico in luoghi determinati.
7. Studio origine-destinazione (O/D) - Indagine sulle provenienze e sulle destinazioni del traffico entro, fuori, ovvero attraverso una zona determinata.
8. Traffico in arrivo - Traffico in entrata in una determinata zona nella quale si trova il punto di destinazione.
9. Traffico in partenza - Traffico in uscita da una zona determinata nella quale si trova il punto di origine.
10. Traffico in transito - Traffico che entra ed esce in un'area determinata senza avere né origine né destinazione entro di essa.
11. Traffico locale - Traffico che circola entro una area determinata nella quale ha origine e destinazione.

B-2 CARATTERISTICHE DEL TRAFFICO

1. Capacità - Portata di una strada espressa in volume di traffico.
2. Capacità limite - Volume massimo orario che può transitare per una corsia o per una strada, nelle circostanze e caratteristiche di traffico e di strada più favorevoli.
3. Capacità possibile- Volume massimo orario che può transitare per una corsia o per una strada nelle condizioni stradali e di traffico prevalenti.
4. Capacità pratica - Volume massimo orario che può effettivamente transitare per una corsia o per una strada senza causare pericoli, ritardi intollerabili o

limitazione della libertà di manovra dei conducenti, nelle condizioni stradali e di traffico prevalenti.

5. Capacità teorica - Vedi Capacità limite.
6. Corrente di traffico - Insieme di veicoli (corrente veicolare), o pedoni (corrente pedonale), che si muovono su una strada nello stesso senso di marcia su una o più file parallele, seguendo una determinata traiettoria.
7. Densità critica - Densità del traffico quando il volume ha raggiunto la "capacità possibile".
8. Densità del traffico - Numero dei veicoli che in un determinato istante occupano l'unità di lunghezza della o delle corsie di una carreggiata determinata. Generalmente si esprime in veicoli/km.
9. Densità media - Numero medio di veicoli per unità di lunghezza stradale, in un periodo di tempo determinato.
10. Distanza di marcia - Distanza tra due veicoli muoventisi lungo una stessa corsia, misurata tra le loro estremità anteriori.
11. Distribuzione longitudinale - Disposizione dei veicoli lungo una stessa corsia.
12. Distribuzione trasversale - Ripartizione dei veicoli entro differenti corsie parallele.
13. Deviazione - Manovra mediante la quale un veicolo devia da una corrente di traffico e i veicoli di una corrente di traffico deviano per formare due o più correnti separate.
14. Franco longitudinale - Distanza libera tra la estremità posteriore di un veicolo e quella anteriore del veicolo che segue sulla stessa corsia.
15. Franco trasversale - Distanza libera tra due veicoli che si muovono affiancati lungo due corsie parallele.
16. Immissione - Manovra mediante la quale due correnti di traffico convergono e si combinano per formarne una unica.
17. Intervallo di marcia - Tempo intercorrente tra il passaggio per una medesima sezione di due veicoli successivi in moto su una stessa corsia, misurato in corrispondenza delle estremità anteriori dei veicoli stessi.
18. Intervallo medio di marcia - Media degli intervalli di marcia in un determinato periodo di tempo.
19. Intervallo minimo di marcia - Il minor tempo intercorrente tra veicoli in moto su una stessa corsia nelle condizioni stradali e di traffico in atto.
20. Intreccio - Vedi Scambio.
21. Marcia in fila - Movimento di veicoli in unico senso su una stessa
22. Marcia in file parallele - Movimento di veicoli in unico senso su più corsie parallele.
23. Marcia in gruppo - Movimento in unico senso di un numero di veicoli superiore a quello della densità critica.
24. Punta di traffico - Massimo volume di traffico che si verifica in determinate circostanze.
25. Ritardo del flusso veicolare (normale) - Tempo perduto a causa di perturbazioni sul traffico da parte di eventi normali. Si esprime in sec/veicolo.
26. Scambio - Manovra di due veicoli marcianti nello stesso senso ognuno dei quali si sposta dalla propria corsia a quella dell'altro.
27. Sorpasso - Manovra mediante la quale un veicolo si porta da una posizione arretrata ad una avanzata, rispetto ad un altro veicolo che marcia sulla stessa traiettoria.

28. Spazio di arresto - Spazio totale percorso da un veicolo, misurato dall'istante in cui il conducente percepisce la necessità di frenare all'istante in cui il veicolo si arresta. E' la somma dello spazio percorso durante il tempo di reazione più lo spazio di frenatura del veicolo.
29. Spazio di frenatura - Spazio totale percorso da un veicolo misurato dall'istante in cui il conducente aziona il pedale del freno all'istante in cui il veicolo si arresta.
30. Tempo di relazione - Tempo necessario ad un conducente per percepire e reagire ad uno stimolo determinato dal traffico.
31. Traffico alternato - Traffico di veicoli i quali, marciando in senso opposto, sono obbligati in un dato punto a procedere alternativamente.
32. Traffico pendolare - Traffico su di una strada a due sensi caratterizzato dal fatto che, in ore determinate o per altri motivi ricorrenti, si svolge prevalentemente in un senso od in quello opposto.
33. Velocità di base - La massima velocità continua in base alla quale sono progettate le caratteristiche costruttive di una strada per consentire la marcia sicura dei veicoli in condizioni normali meteorologiche e di traffico.
34. Velocità di esercizio - La massima velocità media che un conducente può tenere su una strada, nelle condizioni prevalenti, senza superare la velocità di base.
35. Velocità di progetto - Vedi Velocità di base.
36. Velocità istantanea - La velocità di un veicolo in un punto determinato.
37. Velocità libera - Velocità adottata dai conducenti quando la loro condotta non sia influenzata dalla presenza di altri utenti.
38. Velocità ottima - Velocità media alla quale deve svolgersi il traffico per raggiungere il massimo volume lungo una determinata strada.
39. Velocità relativa - Differenza dei vettori esprimenti le velocità di due veicoli.
40. Volume della decima, ventesima, trentesima, ecc. ora di punta annuale - Volume orario su una determinata strada che è superato solo 9, 19, 29, ecc., volte nell'anno determinato.
41. Volume di traffico - Numero di "unità di traffico" che attraversano una determinata sezione nella unità di tempo (in genere si esprime in veicoli/ora).
42. Volume giornaliero medio di traffico - Volume totale di un determinato periodo diviso per il numero dei giorni del periodo stesso.
43. Volume orario massimo annuo di traffico - Volume orario massimo che si verifica su una strada determinata in un determinato anno.

B-3 TIPI DI VEICOLI E COMPOSIZIONE DEL TRAFFICO

La classificazione qui riportata è quella stabilita nel titolo III, capo I, del Codice della Strada (decreto Presidente della Repubblica 15-6-59, n. 393), art. 20 a 31.

1. Autoarticolato - Complesso di veicoli costituito da un trattore e da un semirimorchio.
2. Autobus - Autoveicolo destinato al trasporto di persone con più di nove posti, compreso quello del conducente.
3. Autocaravan - Autoveicolo avente una speciale carrozzeria attrezzato permanentemente per essere adibito al trasporto a all'alloggio di sette persone al massimo, compreso il conducente.

4. Autocarro - Autoveicolo destinato al trasporto di cose e persone addette all'uso o al trasporto delle cose stesse.
5. Autosnodato - Autobus composto da due tronconi rigidi collegati tra loro da una sezione snodata.
6. Autotreno - Complesso di veicoli costituito da due unità distinte, agganciate, delle quali una motrice.
7. Autoveicoli - Veicoli a motore con almeno quattro ruote (comprendono i veicoli di cui ai nn. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 30).
8. Autoveicolo per trasporto promiscuo - Autoveicolo avente una massa complessiva a pieno carico non superiore a 35 quintali o 45 quintali se a trazione elettrica o a batteria, destinato al trasporto di persone e di cose e capace di contenere al massimo nove posti compreso quello del conducente.
9. Autoveicolo per trasporti specifici - Autoveicolo destinato al trasporto di determinate cose o di persone in particolari condizioni, caratterizzato dall'essere munito permanentemente di speciali attrezzature relative a tale scopo.
10. Autoveicolo per uso speciale - Autoveicolo caratterizzato dall'essere munito permanentemente di speciali attrezzature e destinato prevalentemente al trasporto proprio.
11. Autovettura - Autoveicolo destinato al trasporto di persone, avente al massimo nove posti, compreso quello del conducente.
12. Carrelli - Veicoli di peculiari caratteristiche destinati al trasporto di prodotti da un reparto all'altro di uno stabilimento industriale. Si dividono in:
 - a) carrelli: veicoli di peso complessivo a pieno carico fino a 40 quintali;
 - b) carrelli-trattori: veicolo di peso fino a 15 quintali;
 - c) carrelli rimorchiati: veicoli di peso complessivo a pieno carico fino a 15 quintali.
12. Carrello appendice - Veicolo a non più di due ruote destinato al trasporto di bagagli, attrezzi e simili, e trainato da un autoveicolo, di cui si considera parte integrante. Si distingue dal rimorchio per le dimensioni ed il peso limitati.
13. Carrello attrezzi - Veicolo accodato alle macchine operatrici agricole per le necessità funzionali delle stesse.
14. Ciclomotore - Veicolo a motore con due o tre ruote avente le seguenti caratteristiche:
 - a) cilindrata fino a cmc 50;
 - b) potenza fino a CV 1,50;
 - c) peso del motore fino a kg 16;
 - d) capacità di sviluppare su strada piana una velocità fino a km 40 all'ora.
15. Filobus - Filoveicolo destinato al trasporto di persone.
16. Filocarro - Filoveicolo destinato al trasporto di cose.
17. Filoveicolo - Veicolo a motore elettrico alimentato per contatto con una linea aerea esterna e non vincolato da rotaie.
18. Macchine agricole - Macchine destinate ai lavori agricoli ed occasionalmente circolanti su strada per trasferimento od anche, in taluni casi per trasporto di cose d'interesse agrario. Si dividono in:
 - a) macchine agricole semoventi (vedi n. 19);
 - b) macchine agricole trainate (vedi n. 20).
19. Macchine agricole semoventi (vedi anche n. 18). Si dividono in:
 - a) trattrici agricole;
 - b) macchine operatrici agricole;

- c) carrelli portatrattrici azionati dal motore della trattrice;
 - d) generatori di energia per uso agricolo;
 - e) motoagricole (vedi n. 22).
20. Macchine agricole trainate (vedi anche n. 18). Si dividono in:
- a) macchine operatrici agricole;
 - b) generatori di energia per uso agricolo;
 - c) rimorchi agricoli (vedi n. 28);
 - d) carrelli attrezzi (vedi n. 13).
21. Macchine operatrici - Comprendono le macchine semoventi o trainate e i locomobili impiegati per la costruzione e la manutenzione di opere stradali, per il ripristino del traffico o per l'esecuzione di altri lavori, compreso lo sgombero della neve. Si dividono in:
- a) macchine per movimenti di terra;
 - b) macchine per la costruzione e manutenzione dei manti stradali;
 - c) macchine per altri lavori di cantiere;
 - d) macchine sgombraneve (spazzaneve, spartineve, spanditrici di sabbia e rompighiaccio).
22. Motoagricola - Veicolo di larghezza non superiore a m 1,60, lunghezza non superiore a m 4, altezza non superiore a m, 2,50 e peso complessivo non superiore a 25 quintali, destinato, oltre che alla esecuzione di lavori agricoli, al trasporto, per conto delle aziende agrarie, di prodotti agricoli e sostanze di uso agrario, nonché di macchine, attrezzature agricole e accessori funzionali per le lavorazioni meccanico-agrarie.
23. Motocarro - Motoveicolo a tre ruote destinato al trasporto di cose.
24. Motocarozzetta- Motoveicolo a tre ruote destinato al trasporto di persone.
25. Motociclo - Motoveicolo a due ruote destinato al trasporto di persone.
26. Motoveicoli - Veicoli a motore di cilindrata superiore a cmc 50 con due o tre ruote, aventi larghezza non superiore a m 1,60, lunghezza non superiore a m 4, altezza non superiore a m 2,50 e peso complessivo a pieno carico non superiore a 25 quintali. Si dividono in:
- a) motocicli (vedi n. 25);
 - b) motocarrozette (vedi n. 24);
 - c) motocarri (vedi n. 23);
 - d) motoveicoli per trasporto non contemporaneo di persone e cose;
 - e) motoveicoli per uso speciale o per trasporti specifici.
27. Rimorchio - Veicolo privo di propri mezzi di propulsione e destinato ad essere trainato da un autoveicolo. I rimorchi si distinguono in:
- a) rimorchi per trasporto di persone;
 - b) rimorchi per trasporto di cose;
 - c) rimorchi per trasporto di persone e cose;
 - d) rimorchi per uso speciale;
 - e) rimorchi per trasporti specifici.
28. Rimorchio agricolo - Veicolo trainato da una trattrice agricola e destinato al trasporto, per conto delle aziende agrarie, di prodotti agricoli e sostanze di uso agrario, nonché di macchine, attrezzature agricole e accessori funzionali per le lavorazioni meccanico-agrarie. Il rimorchio agricolo di peso complessivo a pieno carico fino a 15 quintali si considera parte integrante della trattrice dalla quale è trainato.
29. Semirimorchio - Rimorchio costituito in modo tale che parte notevole del peso e del carico gravi sul veicolo trattore.

30. Trattore stradale - Autoveicolo destinato esclusivamente al traino di rimorchi o semirimorchi.
31. Veicolo a braccia - Veicolo spinto o trainato dall'uomo.
32. Veicoli a trazione animale - Possono essere a ruote od a pattini. Si distinguono in:
 - a) veicoli destinati principalmente al trasporto di persone;
 - b) veicoli destinati principalmente al trasporto di cose;
 - c) carri agricoli destinati a trasporti per uso esclusivo delle aziende agrarie.
33. Velocipede - Veicolo con due o più ruote funzionante a propulsione muscolare per mezzo di pedali o analoghi dispositivi.

B-4 SOSTA, FERMATE E PARCHEGGI

1. Angolo di parcheggio - Angolo che l'asse longitudinale di un veicolo in sosta forma con la direzione del limite della zona di parcheggio.
2. Arresto - Interruzione del moto di un veicolo in un punto qualunque della carreggiata imposta dal traffico o per rispettare determinate norme di circolazione.
3. Fermata - Momentanea sospensione della marcia di un veicolo, presso il limite della carreggiata.
4. Parcheggio - Area o infrastruttura, posta fuori della carreggiata, destinata alla sosta regolamentata o non dei veicoli.
5. Sosta - Interruzione, protratta nel tempo, del moto di un veicolo, presso il limite della carreggiata o in apposita area (parcheggio).
6. Unità di parcheggio - Area atta alla sosta di un veicolo.

C - REGOLAZIONE DEL TRAFFICO

C-1 GENERALITA' SULLA SEGNALETICA VERTICALE ED ORIZZONTALE

1. Distanza di leggibilità - Distanza dalla quale il conducente di un veicolo in movimento può riconoscere i simboli ovvero leggere le scritte di una segnalazione stradale.
2. Riflettorizzazione - Applicazione a cartelli o ad elementi stradali di mezzi o materiali atti a renderli visibili nelle ore notturne, quando colpiti dalla luce dei proiettori dei veicoli.
3. Segnale di indicazione - Segnale informativo di località, di direzione, di preavviso di bivio, di ubicazione di posti di servizio e di assistenza, o di punti di particolare interesse, ecc.
4. Segnale di pericolo - Segnale di avvertimento, a mezzo di appositi simboli unificati, dell'esistenza di una situazione stradale che richiede particolare attenzione e prudenza.
5. Segnale di prescrizione - Segnale di un divieto o di un obbligo stabiliti a mezzo di appositi simboli o segni unificati, per regolare la circolazione.
6. Segnaletica stradale - Complesso di cartelli, tabelle, indicazioni, segni, dispositivi, ecc., collocati sulla strada allo scopo di regolare la circolazione.
7. Simbolo - Disegno convenzionale unificato, utilizzato nei segnali in luogo di parole.

C-1a SEGNALAZIONE VERTICALE. E COSTITUITA DAI CARTELLI STRADALI

1. Cartello stradale - Segnale di indicazione, pericolo o prescrizione installato su di un supporto fisso o mobile.
2. Pannello integrativo - Tabella recante una scritta che integra i cartelli stradali qualora si renda necessario aggiungere ulteriori indicazioni ai segnali.

C-1b SEGNALETICA ORIZZONTALE. E' COSTITUITA DAI SEGNI TRACCIATI SULLA STRADA O SULLE OPERE ACCESSORIE

1. Attraversamento pedonale - Parte della carreggiata, opportunamente segnalata ed organizzata, sulla quale i pedoni in transito dall'uno all'altro lato della strada godono della precedenza rispetto ai veicoli.
2. Attraversamento zebra - Passaggio pedonale contrassegnato con zebra.
3. Doppia striscia - Vedi Strisce affiancate continue.
4. Inserto - Segnalazione stradale orizzontale realizzata con materiali diversi dalla vernice, incorporati nella pavimentazione.
5. Iscrizioni - Parole tracciate sulla pavimentazione.
6. Striscia di arresto - Linea tracciata trasversalmente per indicare il limite di arresto in funzione della regolazione del traffico.
7. Strisce affiancate continue e discontinua - Linee longitudinali continue e discontinua affiancate per dare ai due sensi di marcia indicazioni distinte.
8. Strisce affiancate continue - Linee longitudinali continue affiancate.
9. Strisce di attraversamento - Linee trasversali delimitanti la zona entro la quale i pedoni possono attraversare una carreggiata.
10. Strisce di parcheggio - Linee perimetrali o di suddivisione in unità di parcheggio.
11. Striscia di corsia - Linea longitudinale che separa due corsie, diversa dalla striscia di mezzera.
12. Striscia di mezzera - Linea longitudinale tracciata in corrispondenza dell'asse geometrico di una carreggiata ovvero della linea di separazione dei sensi di marcia.
13. Striscia discontinua - Linea longitudinale tratteggiata. La lunghezza dei tratti e il loro intervallo sono in funzione della composizione del traffico e della sua velocità media.
14. Striscia obliqua - Linea tracciata obliquamente sulla carreggiata (rispetto all'asse stradale) per guidare e convogliare il traffico secondo la direzione appropriata.
15. Zebra - Sistema di strisce parallele bianche equamente intervallate.

C-2 SEGNALAZIONI SEMAFORICHE (APPARECCHI E DISPOSITIVI VARI)

1. Ciclo semaforico - Successione completa di fasi che si ripete periodicamente.
2. Faccia del semaforo - Parte di un semaforo che fornisce segnalazioni al traffico proveniente da una sola direzione.
3. Fase semaforica - Frazione del ciclo semaforico che regola uno o più movimenti del traffico.

4. Intervallo semaforico - Tempo durante il quale l'indicazione presentata da una faccia del semaforo rimane invariata.
5. Lunghezza del ciclo semaforico - Tempo necessario per lo Svolgimento di un ciclo semaforico.
6. Regolazione a tempo fisso - Funzionamento di un semaforo secondo un ciclo predeterminato.
7. Regolazione progressiva - Funzionamento dei semafori lungo un determinato itinerario nel quale la segnalazione
8. Regolazione progressiva a sistema alternato - Regolazione progressiva per itinerari a doppio senso di marcia nella quale i semafori cambiano segnalazione nel medesimo tempo e quelli adiacenti mostrano indicazioni alternativamente opposte.
9. Regolazione progressiva a sistema simultaneo - Regolazione progressiva per itinerari a doppio senso di marcia nella quale i semafori cambiano segnalazione nel medesimo tempo.
10. Regolazione progressiva flessibile - Regolazione progressiva in cui la durata dei cicli può variare in accordo coi vari volumi di traffico.
11. Rilevatore di traffico - Dispositivo automatico che rileva i passaggi dei veicoli.
12. Semaforo - Dispositivo che regola le correnti di traffico mediante segnali luminosi.
13. Semaforo a comando elettromeccanico - Semaforo con regolazione delle fasi comandate da un meccanismo elettrico ad orologeria.
14. Semaforo a comando indipendente - Semaforo il cui funzionamento non è coordinato con quello di altri impianti.
15. Semaforo a comando manuale - Semaforo con regolazione delle fasi comandate a mano.
16. Semaforo a comando sincronizzato - Semaforo il cui funzionamento è coordinato con altri impianti semaforici.
17. Semaforo comandato dal traffico - Semaforo con regolazione delle fasi comandabili dai rilevatori (traffico veicolare) o dai pulsanti (traffico pedonale).
18. Semaforo pedonale - Semaforo esclusivamente impiegato per la regolazione dei movimenti pedonali.

D - MONITORAGGIO DEL TRAFFICO

1. Monitoraggio del traffico - Controllo dell'andamento dei fenomeni di traffico mediante strumenti di misura.
2. Sensore - Dispositivo che produce un segnale descrittivo di caratteristiche del traffico rilevato.
3. Rilevatore - Dispositivo elettronico capace di codificare il segnale prodotto dal sensore.
4. Sistema di trasmissione dati - Sistema atto al trasferimento delle informazioni codificate, dal sensore al rilevatore, dal rilevatore ad un'unità locale, dall'unità locale ad un'unità centrale.
5. Trattamento – Elaborazione destinata a fornire dei risultati a partire dai dati provenienti dai rilevatori; esso può essere centralizzato o avvenire, almeno in parte, presso le unità locali (stazioni di misura).

Appendice E

La rappresentazione del sistema di monitoraggio. Illustrazione di alcuni esempi

In questa appendice è proposto un esempio di progettazione di un sistema di monitoraggio sul sistema stradale della Regione Calabria.

Nella prima parte dell'esempio, in accordo con lo schema metodologico, sono individuati gli obiettivi del monitoraggio; gli usi e gli utenti dei dati che saranno rilevati; i criteri per la selezione delle sezioni da monitorare sulla rete stradale, dopo aver determinato le caratteristiche geometriche e funzionali delle infrastrutture della rete; il periodo di esecuzione del rilievo e le tecniche e tecnologie da utilizzare.

La seconda parte invece descrive le caratteristiche di una specifica stazione di monitoraggio.

Finalità e obiettivi

La finalità del progetto è la realizzazione di un sistema di monitoraggio del traffico veicolare sulla rete viaria della Regione Calabria, costituita dai rami di collegamento stradali più importanti. L'intento è quello di strutturare un sistema capace di acquisire con continuità, affidabilità e costi contenuti, informazioni relative ai flussi di traffico.

L'obiettivo di fondo del sistema di monitoraggio è quello di utilizzare i dati di traffico acquisiti per stimare il Traffico Giornaliero Medio nel mese di Agosto, ritenuto il mese dell'anno in cui sono presenti situazioni di traffico più gravose, in relazione ai fenomeni di mobilità turistica stagionale. Ciò al fine di prevedere eventuali effetti indesiderati o situazioni a rischio e garantire livelli di servizio e di sicurezza ottimali.

Uso dei dati e utenti destinatari

I dati rilevati saranno funzionali allo svolgimento di attività di pianificazione e progettazione del sistema dei trasporti regionale, e per dare precise indicazioni sulle operazioni da compiere per il controllo della circolazione.

Gli utilizzatori dei dati saranno tecnici delle società di gestione ed esperti di trasporti.

Caratteristiche geometriche e funzionali dell'infrastruttura

Le sezioni di rilevamento appartenenti all'autostrada A3 hanno caratteristiche pressoché omogenee, e possono essere così riassunte: due carreggiate, larghe 7,00 metri ciascuna, separate da uno spartitraffico largo 0,75 metri; ogni carreggiata è formata da due corsie larghe 3,75 metri ed è fiancheggiata da una banchina larga 1,75 metri.

Le sezioni appartenenti alle altre strade sono eterogenee, comunque ascrivibili agli standard descritti dalle normative nazionali.

Sono state comunque individuabili due tipologie di arterie, in rapporto al livello di servizio offerto:

- a) strade di grande comunicazione;
- b) strade minori

Le caratteristiche della rete possono essere riassunte nella Tabella E.1.

Tab. E.1. - Caratteristiche della rete stradale

Numero totale rami	310
Estensione totale della rete (Km)	4.320
Numero rami autostradali	33
Numero rami strade di grande comunicazione	76
Numero strade locali	201

Individuazione delle sezioni di monitoraggio

L'interesse è puntato su alcune sezioni della rete stradale (Fig. E.1) che dovranno essere rappresentative dell'intero sistema regionale sia per la elevata frequentazione su tutto l'arco giornaliero, sia per la presenza di una cospicua percentuale di veicoli pesanti.

Attraverso opportune tecniche di campionamento saranno individuate una serie di particolari sezioni stradali, ispirandosi anche ai seguenti criteri:

1. assenza di fattori perturbativi esterni;
2. omogeneità del tracciato;
3. facilità di esecuzione delle opere di installazione di eventuali sensori.

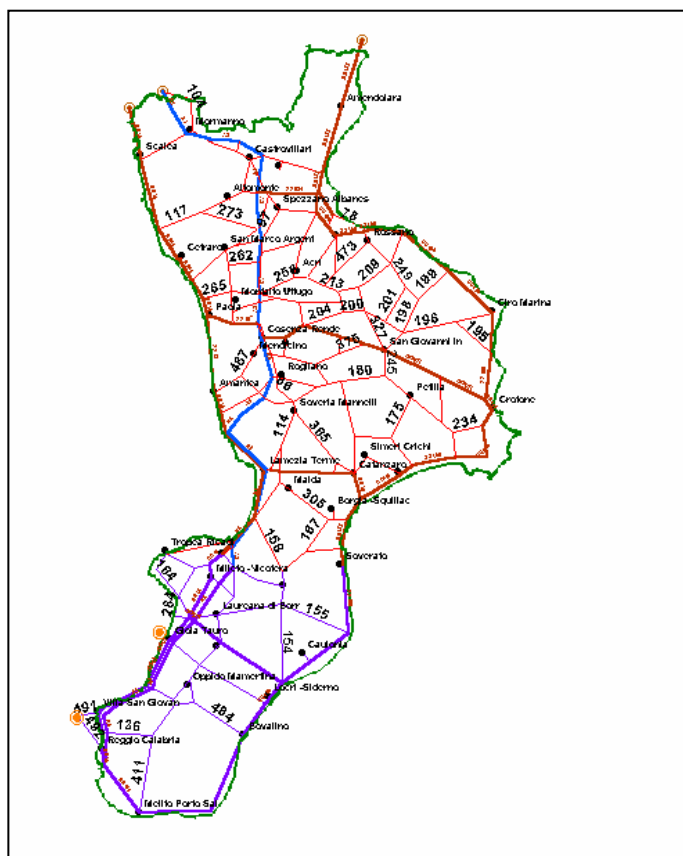


Fig. E.1 - Definizione della rete stradale

Periodo di rilevamento

L'indagine è prevista protrarsi per un mese, dal 1 al 31 agosto, con rilievi dei flussi di traffico ad intervalli di 60 minuti, con classificazione dei veicoli.

Tecniche e tecnologie di rilevamento

Le tecniche del rilevamento sono variabili in funzione della classe stradale cui appartiene la sezione da monitorare: automatiche nel caso delle strade di grande comunicazione, manuali per le strade minori.

Descrizione delle caratteristiche di una specifica stazione di monitoraggio

Nel seguito sono presentate alcune specifiche di progetto di specifica stazione di monitoraggio (Fig. E.2), da allestire lungo l'autostrada A3, nella zona di Cosenza Nord, e capace di acquisire con continuità, affidabilità e costi contenuti le informazioni relative ai flussi di traffico (portata, velocità media, densità, tipo di veicolo, distanziamento temporale, ecc.).

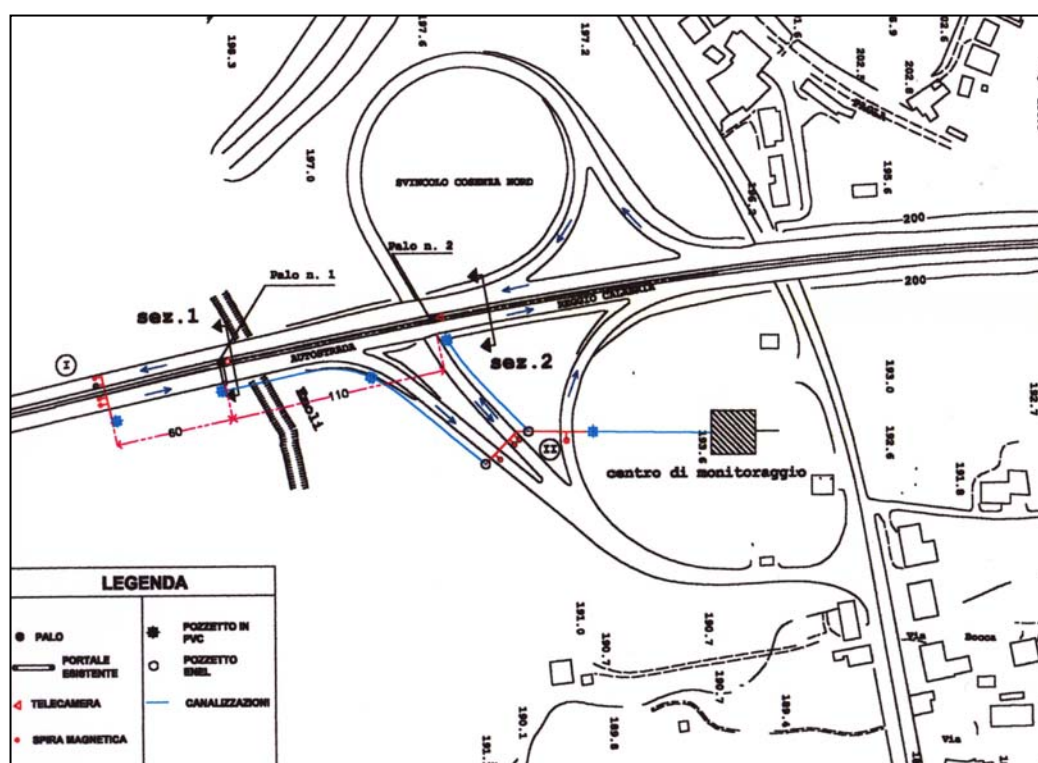


Fig. E.2 - Planimetria di progetto in scala 1:2000 della stazione di monitoraggio

Tale stazione di monitoraggio si avvarrà di opportuni sensori, quali:

- spire magnetiche installate sulle carreggiate, adatte ad operare i conteggi di traffico, ovvero a misurare la portata veicolare;
- telecamere, adatte per il rilievo di alcune caratteristiche dei flussi di traffico, quali il tipo di veicolo, la velocità media, il distanziamento temporale, ecc.

Alcune spire induttive saranno ubicate come indicato in Fig. E.3 e annegate nella pavimentazione stradale. Il gruppo di spire andrà raccordato ad un pozzetto posto al margine della strada, entro il quale sono alloggiate le batterie di alimentazione e le apparecchiature elettroniche per rilievi "off line". Nella Fig. E.4 è riportato lo schema di montaggio di una singola spira.

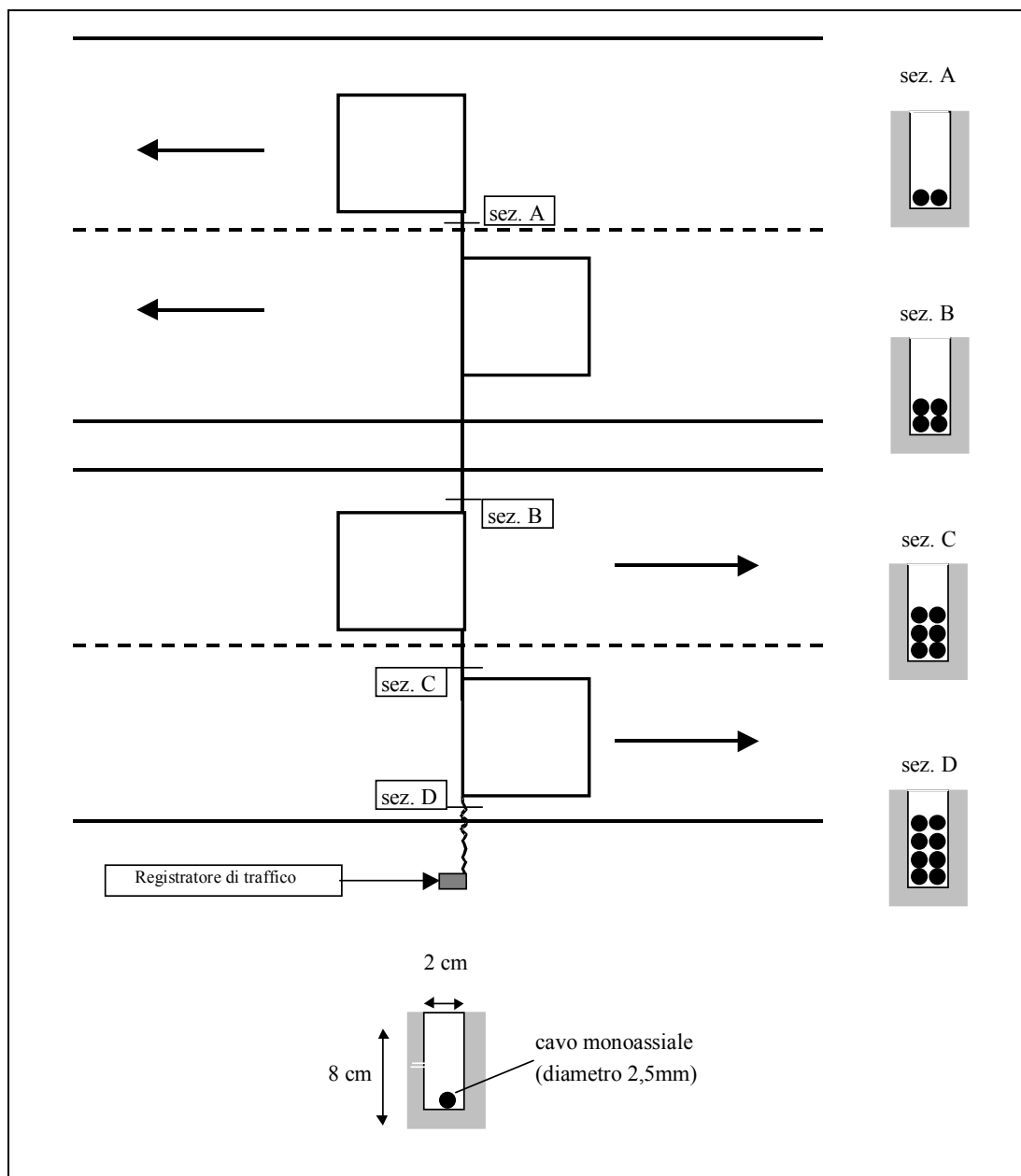


Fig. E.3 - Schema di installazione di un gruppo di spire magnetiche

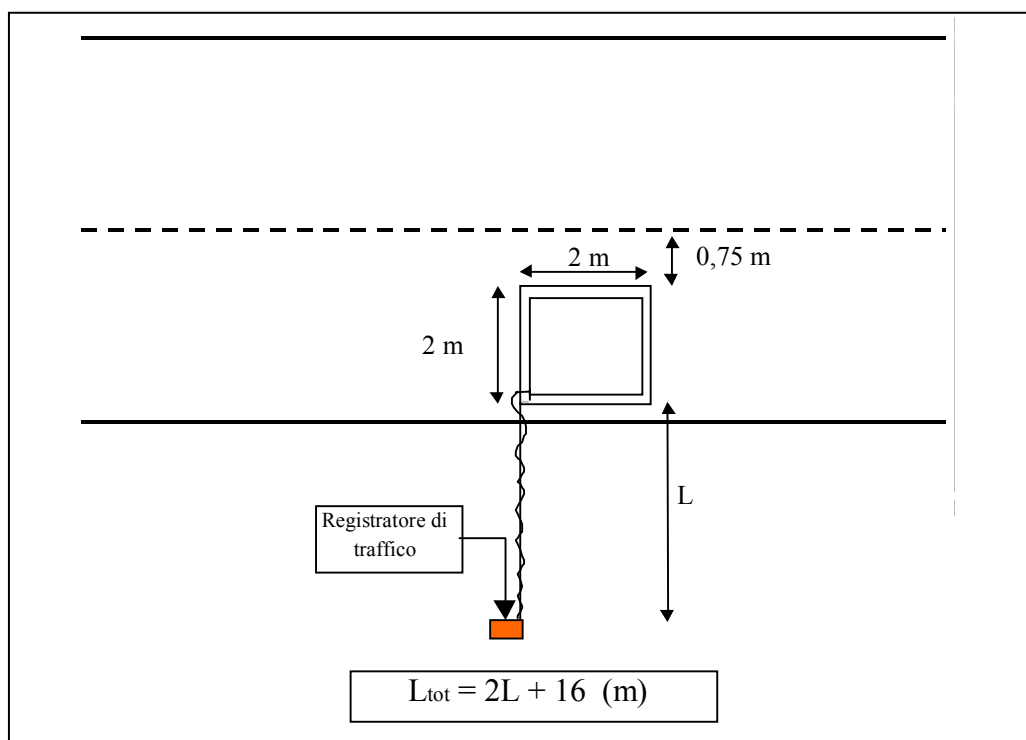


Fig. E.4 - Schema di montaggio di una singola spira e di calcolo della lunghezza di cavo

Saranno inoltre installate 2 telecamere fisse: tali telecamere andranno orientate in maniera tale che ognuna di esse inquadrerà un diverso dominio spaziale; in tal modo l'utilizzo simultaneo delle due telecamere permetterà l'analisi del traffico su un tronco di infrastruttura più esteso; le due telecamere saranno analogiche in bianco e nero, ad ottica variabile da fissare durante l'installazione;

Nella Fig. E.5 è rappresentata la sezione autostradale con il palo su cui saranno montate le telecamere. Il palo sarà ottenuto tramite il collegamento bullonato di due elementi diversi: un elemento inferiore avente altezza 7 m e diametro di base pari a 22 cm, ed un elemento superiore di altezza 5 m e diametro in sommità pari a 14 cm. In conseguenza della sovrapposizione (1 m) tra i due elementi e dell'affondamento (1 m) del palo in un plinto di calcestruzzo, la sua altezza fuori terra sarà pari a 10 m. Il plinto di calcestruzzo sarà a base quadrata, di lato 1 m con profondità di 1,2 m (Fig. E.6).

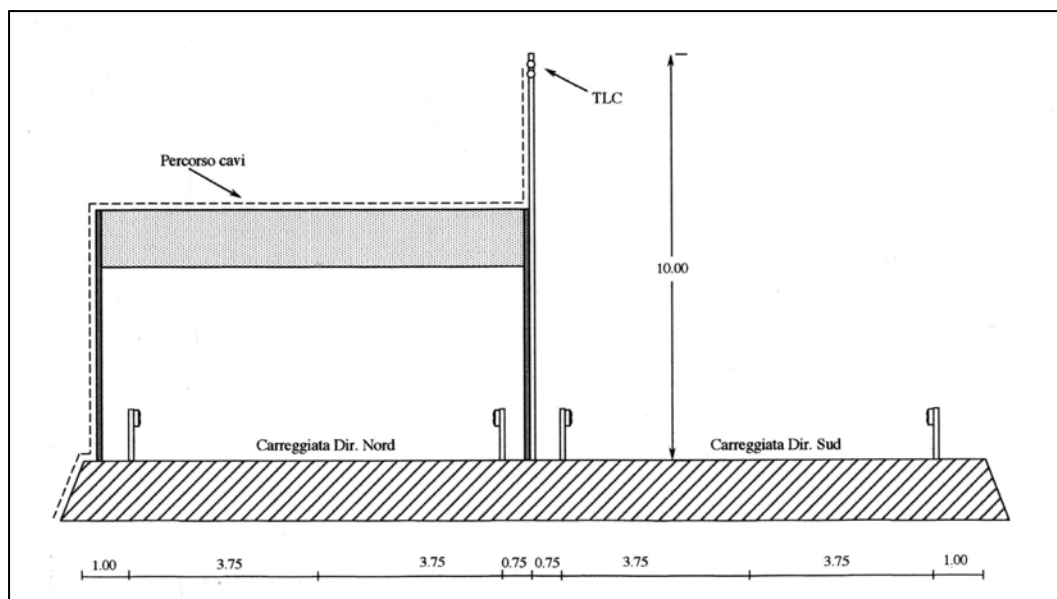


Fig. E.5. Sezione 1: palo con due telecamere fisse.

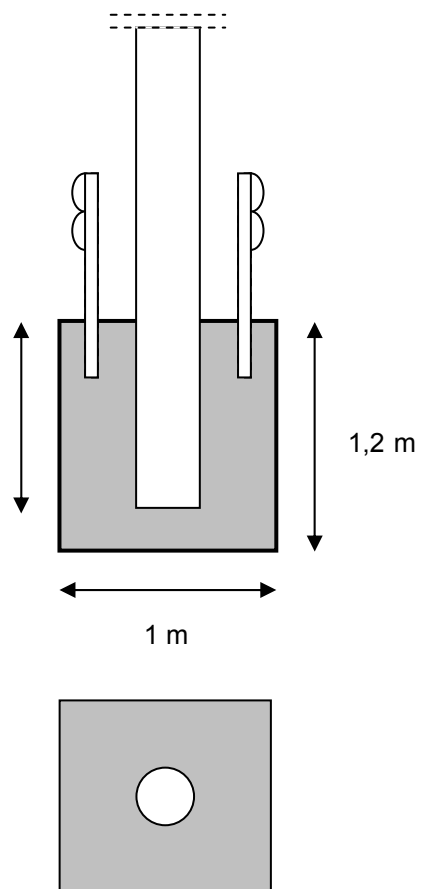


Fig. E.6. Sezione e pianta del plinto per il palo.