

Sommario

1. La Relazione Fondamentale del Deflusso Veicolare	1
1.1 Posizione del problema.....	1
1.2 Deduzioni esatte delle Relazioni Fondamentali del deflusso.....	2
1.2.1 Deflusso vario e deflusso uniforme osservati sincronicamente.....	3
1.2.2 Deflusso vario e deflusso uniforme omogenei osservati sincronicamente	6
1.2.3 Alcune osservazioni conclusive.....	9
1.2.4 Deflusso vario osservato asincronicamente.....	10
1.2.5 La Relazione del Deflusso per domini non elementari.....	23
1.3 Determinazione approssimata della Relazione Fondamentale del Deflusso ..	34
1.4 La stazionarietà del deflusso.....	36
1.5 Riferimenti bibliografici	38
APPENDICE 1: Modalità di osservazione temporale delle correnti di traffico in una sezione trasversale	39
APPENDICE 2: Relazioni tra distanziamenti veicolari, flusso e densità veicolare.....	41
2. La Calibrazione del Diagramma Fondamentale	45
2.1 La stima delle variabili macroscopiche in una sezione di strada	45
2.2 La relazione tra le variabili macroscopiche del deflusso	46
2.2.1 Le evidenze sperimentali	46
2.2.2 La relazione costitutiva del traffico veicolare	49
2.2.3 Modelli macroscopici di deflusso a singolo regime	53
2.2.4 Modelli macroscopici di deflusso a regime multiplo	56
2.2.5 La specificazione della Legge del Deflusso	58
2.3 Dati sperimentali e stima dei parametri della Legge del Deflusso	61
2.3.1 L'intervallo di aggregazione delle misure e i dati anomali	61
2.3.2 Il binning dei dati.....	62
2.3.3 Curve fitting parametrico e modelli di regressione	64
2.3.4 La bontà del fitting	77
2.4 Un esempio di calibrazione dei modelli a regime singolo.....	80
2.5 Errori nella variabile indipendente e regressioni ortogonali.....	86
2.6 Dalla legge in media alla legge massimale	88
2.6.1 La regressione quantile e quantile approssimata	88
2.6.2 La curva di inviluppo.....	93

2.7	Riferimenti bibliografici	100
3.	L’Affidabilità delle Correnti Veicolari	103
3.1	Introduzione	103
3.2	Instabilità, Breakdown e Affidabilità.....	104
3.2.1	Criteri e metodi per l’identificazione del breakdown	110
3.2.2	Analisi dell’affidabilità del tempo di percorrenza	117
3.3	L’analisi della distribuzione delle capacità.....	120
3.3.1	Capacità e Breakdown	120
3.3.2	La probabilità breakdown e l’analisi del tempo di vita	124
3.3.3	L’affidabilità del traffico con il metodo del Prodotto Limite	126
3.3.4	Un esempio applicativo con il metodo del Prodotto Limite	128
3.4	L’analisi dei processi delle velocità.....	131
3.4.1	Il processo delle velocità e l’instabilità	131
3.4.2	Affidabilità di una corrente veicolare e capacità	134
3.4.3	Stima dell’affidabilità di una corrente veicolare in una sezione.....	136
3.5	Applicazioni e simulazioni dell’analisi dell’affidabilità del traffico	139
3.5.1	Una applicazione dell’analisi dell’instabilità	139
3.5.2	Analisi simulativa dell’instabilità del flusso di traffico	147
3.5.3	Analisi probabilistica dei livelli di congestione mediante il metodo del Prodotto Limite.....	152
3.6	Riferimenti bibliografici	156
APPENDICE: Il Calcolo dei Livelli di Servizio per una Sezione Autostradale		159
A1.1	Introduzione.....	159
A1.2	La procedura di calcolo	161
A1.3	Un esempio applicativo	169
A1.4	Riferimenti bibliografici	172
4.	Controllo e Regolazione del Traffico Autostradale	173
4.1	Introduzione.....	173
4.2	Il controllo degli ingressi	174
4.2.1	I fenomeni di inserimento veicolare	175
4.2.2	La regolazione degli ingressi	184
4.2.3	Effetti della regolazione delle immissioni	189
4.2.4	Strategie e modelli di Ramp Metering.....	192
4.2.5	Sistemi di controllo per il Ramp Metering	194

4.2.6	Il sistema di controllo ALINEA	198
4.2.7	Il controllo fuzzy	202
4.3	La regolazione dinamica della velocità	211
4.3.1	Gli effetti della regolazione dinamica delle velocità	212
4.3.2	Condizioni di deflusso con regolazione della velocità	219
4.3.3	Implementazione di un sistema VSL.....	220
4.3.4	VSL con controllo dell'affidabilità e dei processi di velocità	221
4.3.5	VSL con controllo a retroazione.....	224
4.4	La configurazione dinamica della carreggiata	225
4.4.1	Gli effetti della configurazione dinamica della carreggiata.....	226
4.4.2	Condizioni di deflusso con configurazione dinamica della carreggiata	228
4.4.3	Implementazione di un sistema DLC	229
4.5	Il platooning.....	233
4.5.1	La smart road e i veicoli autonomi e connessi.....	233
4.5.2	Composizione e relazioni tra veicoli in una corrente mista.....	236
4.5.3	Effetti del platooning sulla capacità per una corrente mista.....	239
4.6	Riferimenti bibliografici	243
5.	Modelli per i Fenomeni di Attesa	247
5.1	Introduzione.....	247
5.2	Le grandezze fondamentali	250
5.2.1	Legge di Little	255
5.3	Condizioni operative e modelli per sistemi di attesa	256
5.4	Le condizioni stazionarie.....	258
5.4.1	Processi di nascita e morte	258
5.4.2	La soluzione stazionaria	262
5.4.3	La soluzione per il modello M/M/1	264
5.4.4	I modelli probabilistici per lo stato stazionario	270
5.5	Le condizioni non stazionarie	274
5.5.1	La soluzione tempo dipendente	275
5.5.2	L'approssimazione fluida del primo ordine in condizioni di sovra- saturazione	277
5.5.3	Il metodo di approssimazione fluida con stazionarietà puntuale.....	281
5.6	Le soluzioni euristiche con le coordinate trasformate	284
5.6.1	Le soluzioni euristiche con trasformazione di coordinate	287

5.6.2	L'impiego delle soluzioni euristiche per i profili variabili di arrivi e tempi di servizio	291
5.7	Le soluzioni approssimate per picchi di traffico.....	294
5.7.1	Approssimazione diffusiva del secondo ordine e processi di rinnovamento	295
5.7.2	Crescita e scarico della coda di saturazione per il sistema M/M/1	299
5.7.3	Un confronto tra soluzioni approssimate e soluzioni euristiche	303
5.7.4	Alcune considerazioni conclusive	309
5.8	Riferimenti bibliografici	310

Il contenuto di questo volume attiene ad argomenti in genere non trattati nei testi introduttivi di Ingegneria del Traffico e, quindi, non presentati nei corsi relativi ai Sistemi e alle Infrastrutture di Trasporto: da qui la locuzione *complementi*, come sarebbe risultato naturale in una ancora non troppo lontana pratica di insegnamento universitario.

Nel primo capitolo si esamina nel dettaglio il problema della deduzione della Relazione Fondamentale del Deflusso Veicolare per diversi regimi di transito chiarendone portata e limiti, anche in vista di una definizione rigorosa della stazionarietà debole delle correnti di traffico.

In continuità con gli argomenti del primo capitolo, nel secondo si presenta la modellazione del Diagramma Fondamentale, ricorrendo alle evidenze sperimentali. Vengono esaminati, così, modelli macroscopici, sia a regime singolo sia multiplo, e affrontato il tema della stima dei parametri e della specificazione delle leggi del deflusso. Particolare attenzione è riservata alle tecniche di fitting parametrico e di regressione.

Il terzo capitolo è dedicato all'affidabilità delle correnti veicolari, esaminando in modo approfondito l'instabilità del deflusso e i fenomeni di breakdown, in uno ai criteri per la loro identificazione. Si presentano inoltre i metodi per caratterizzare l'affidabilità sulla base delle distribuzioni della capacità e delle proprietà dei processi delle velocità attuate.

Nel quarto capitolo si esplorano tecniche e strategie per il controllo e la regolazione del traffico autostradale. Tra i temi trattati figurano il ramp metering, la regolazione dinamica della velocità e le configurazioni dinamiche della carreggiata. Un'attenzione particolare, anche se in via speditiva, è riservata al platooning e al controllo di correnti di veicoli autonomi e connessi.

Infine, il quinto capitolo è relativo ai fenomeni e ai sistemi di attesa. Ne vengono esaminate le condizioni operative e i modelli stazionari e non stazionari, probabilistici e deterministici, per il loro studio. Si approfondiscono inoltre soluzioni euristiche e approssimate per l'analisi di picchi di traffico e si forniscono confronti tra i risultati che con esse si ottengono.

Non pochi dei contenuti di questo volume derivano da risultati originali conseguiti dagli autori negli ultimi anni di assidua collaborazione nello studio dell'Ingegneria del Traffico per il progetto e per il controllo delle Infrastrutture di Trasporto e dei Sistemi di Mobilità.

Bologna
Palma Campania
Dicembre 2024

Andrea Pompigna
Raffaele Mauro