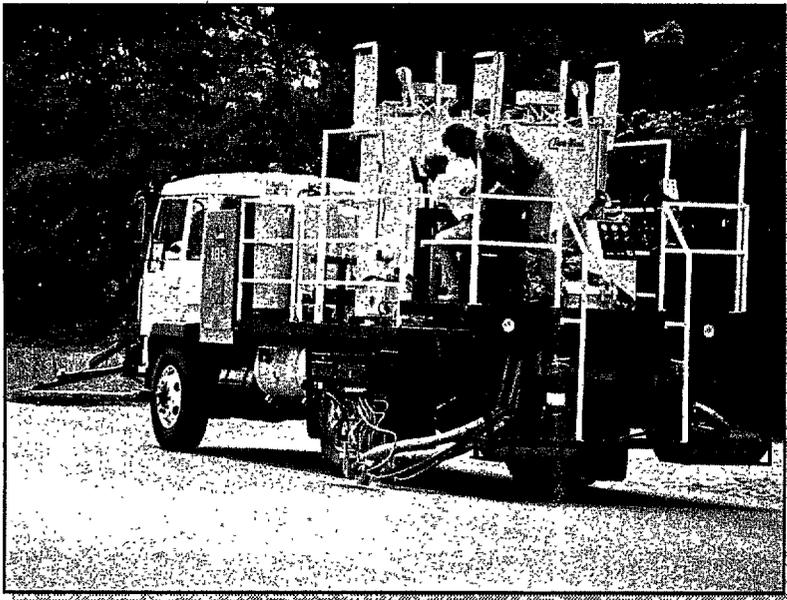




U.S. Department  
of Transportation  
Federal Highway  
Administration

Publication No. FHWA-SA-93-001



# ROADWAY DELINEATION PRACTICES HANDBOOK

August 1994



*Innovation Through Partnerships*



DOT/FHWA  
101659

*NOTICE*

*This document is disseminated under the Sponsorship of the Department of Transportation in the interest of information exchange. The United States Government assumes no liability for its contents or the use thereof. This report does not constitute a standard, specification, or regulation.*

*The United States Government does not endorse products or manufacturers. Trade and manufacturers' names appear herein only because they are considered essential to the object of this document.*

## Technical Report Documentation Page

<b>1. Report No.</b> FHWA-SA-93-001	<b>2. Government Accession No.</b>	<b>3. Recipient's Catalog No.</b>	
<b>4. Title and Subtitle</b> Roadway Delineation Practices Handbook		<b>5. Report Date</b> August 1994	
		<b>6. Performing Organization Code</b>	
<b>7. Author(s)</b> James Migletz, Joseph K. Fish, and Jerry L. Graham		<b>8. Performing Organization Report No.</b>	
<b>9. Performing Organization Name and Address</b> Graham-Migletz Enterprises, Inc. P.O. Box 348 Independence, MO 64050		<b>10. Work Unit No. (TRAVIS)</b>	
		<b>11. Contract or Grant No.</b> DTFH61-90-C-00028	
<b>12. Sponsoring Agency Name and Address</b> Office of Safety and Office of Technology Applications Federal Highway Administration 400 Seventh Street, SW Washington, DC 20590		<b>13. Type of Report and Period Covered</b> Handbook	
		<b>14. Sponsoring Agency Code</b>	
<b>15. Supplementary Notes</b> The Contracting Officer's Technical Representatives were Peter J. Hatzi and James T. Brooks. Drawings and editorial work by Scientific and Commercial Systems Corporation.			
<b>16 Abstract</b> <p><i>The Roadway Delineation Practices Handbook</i> was developed to assist design, traffic, and maintenance engineering personnel in making determinations about roadway delineation systems, including the appropriate system for a given situation, when a system has reached the end of its useful life, and how to maintain a quality delineation system. It may also be valuable to consulting engineers, educators, and students.</p> <p>A companion videotape, <i>Testing and Field Inspection of Roadway Delineation</i>, was produced to assist engineers with field inspection of the quality of delineation projects. This videotape is available separately as publication number FHWA-SA-93-002.</p> <p>This Handbook supplements the policies and standards provided in the <i>Manual on Uniform Traffic Control Devices</i> by offering implementation guidelines for the standards. The contents cover current and newly developed devices, materials, and installation equipment, presenting each item's expected performance based on actual experience or field and laboratory tests. The Handbook draws on the experiences of Federal, State, county, and city agencies and summarizes future directions and developments as reported in recent research and by industry's technical representatives. Individual chapters cover the characteristics of retroreflection and quality assurance, driver visibility needs, traffic paints, preformed tapes, raised pavement markers and other marking materials, post-mounted delineators and other delineation devices, and administrative and management issues and practices. The appendices provide detailed technical information, including cost analysis techniques; sources of materials and equipment; and a list of standards, specifications, and test methods related to delineation.</p>			
<b>7. Key Words</b> Roadway Delineation, Pavement Markings, Retroreflection, Driver Visibility, Traffic Paints, Thermoplastic, Preformed Tapes, Raised Pavement Markers		<b>18. Distribution Statement</b> No restrictions. This document is available to the public from the National Technical Information Service, Springfield, VA 22161	
<b>9. Security Classification (of this report)</b> Unclassified	<b>20. Security Classification (of this page)</b> Unclassified	<b>21. No. of Pages</b> 266	<b>22. Price</b>

# CONTENTS

	<i>Page</i>
<b>CHAPTER 1. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
BACKGROUND.....	1
Definition of Delineation .....	1
Initiatives to Improve Highway Safety .....	2
Cost-Effective Markings .....	2
SCOPE OF THE RESEARCH.....	3
HANDBOOK ORGANIZATION.....	3
<b>CHAPTER 2. CHARACTERISTICS OF RETROREFLECTION AND     QUALITY ASSURANCE.....</b>	<b>5</b>
INTRODUCTION .....	5
RETROREFLECTION .....	5
General Principles.....	5
Measuring Retroreflection.....	7
Units of Measure.....	7
Glass Beads .....	11
Prismatic Cube-Corner Retroreflection .....	17
QUALITY ASSURANCE.....	18
Vendor Certification.....	18
Regional Test Facilities .....	19
<b>CHAPTER 3. DRIVER VISIBILITY NEEDS.....</b>	<b>21</b>
INTRODUCTION .....	21
Driver Visibility.....	21
Older Drivers .....	21
VISIBILITY CRITERIA.....	22
Luminance .....	22

PAVEMENT MARKING VISIBILITY DISTANCE.....	24
Driver Events.....	24
Guidelines for Effective Delineation.....	24
VISIBILITY PARAMETERS .....	25
Physical Parameters .....	25
Psychophysical Parameters.....	27
DELINEATION VARIABLES.....	29
Roadway Geometry.....	30
Weather and Climate.....	31
Traffic Volume and Composition.....	32
Substrate Material.....	33
Implication of Variables .....	34
<b>CHAPTER 4. TRAFFIC PAINTS .....</b>	<b>35</b>
INTRODUCTION .....	35
TYPES AND APPLICATIONS OF PAINTED MARKINGS.....	35
MATERIALS .....	35
Categories.....	35
Types.....	38
Essential Properties.....	39
Paint Formulation .....	40
Purchase of Materials.....	40
Testing.....	41
PERFORMANCE.....	42
Performance Descriptors .....	42
Causes of Failure .....	43
Ranges of Service Life .....	43
INSTALLATION, MAINTENANCE, AND REMOVAL.....	44
Application Equipment.....	45
Crew Size for Installation.....	50
Pretreatment of Pavement.....	51
Premarking of Roadway .....	51
Scheduling of Marking Activities.....	52
Warehousing and Storing of Materials.....	53
Removal of Painted Markings.....	54
New Techniques.....	56
INSPECTION.....	57
Preapplication Inspections .....	57
Application Inspections .....	57

Postapplication Inspections .....	58
ENVIRONMENTAL CONCERNS .....	58
State and Local Regulation.....	59
Hazardous Materials .....	59
Lead-Based Pigments .....	59
<b>CHAPTER 5. THERMOPLASTIC MATERIALS .....</b>	<b>61</b>
INTRODUCTION .....	61
USES .....	61
MATERIALS .....	62
Types.....	62
Properties of Thermoplastics .....	63
PERFORMANCE .....	64
Service Life .....	64
Determining Service Life.....	65
INSTALLATION, MAINTENANCE, AND REMOVAL.....	66
Installation.....	66
Maintenance .....	72
Removal .....	73
INSPECTION .....	73
Clean and Dry Pavement .....	74
Air Temperature .....	74
Pavement Temperature.....	74
Material Temperature.....	74
Other Tests .....	75
<b>CHAPTER 6. PREFORMED TAPES .....</b>	<b>79</b>
INTRODUCTION .....	79
USES .....	79
Properties of Cold-Applied Plastic.....	79
Cost Considerations .....	80
Illuminated Streets .....	80
TYPES.....	80
Permanent.....	80
Temporary .....	80
PERFORMANCE .....	81

Retroreflectivity .....	81
Durability .....	81
INSTALLATION AND REMOVAL.....	81
Installation.....	81
Removal .....	84
INSPECTION .....	84
<b>CHAPTER 7. RAISED PAVEMENT MARKERS .....</b>	<b>85</b>
INTRODUCTION .....	85
USES .....	85
Functional Applications.....	85
Considerations for Application .....	92
Guidelines for Application.....	92
Special Locations.....	93
MATERIALS .....	94
Types.....	94
Adhesives and Characteristics .....	110
Temporary Delineation.....	111
PERFORMANCE .....	112
Conventional RPMs .....	112
Snowplowable Markers.....	113
INSTALLATION AND MAINTENANCE .....	114
General Practices .....	114
Application of Self-Adhesive RPMs .....	114
Epoxy Adhesive .....	115
Bitumen Adhesive .....	116
Routine Maintenance.....	116
Immediate Maintenance.....	117
RPM Replacement Process.....	118
Specific Maintenance Concerns .....	119
Cleaning .....	120
Retroreflective Tabs.....	120
INSPECTION .....	120
<b>CHAPTER 8. OTHER MARKING MATERIALS.....</b>	<b>121</b>
INTRODUCTION .....	121
USES .....	121
TYPES.....	121

Latex Paint .....	121
Epoxy Paint .....	122
Polyester, Solids.....	122
Epoxy Thermoplastic .....	122
Methyl Methacrylate .....	123
Marking Powder .....	123
Other Materials.....	124
PERFORMANCE .....	124
Latex Paint .....	124
Epoxy Paint .....	124
Polyester .....	125
Epoxy Thermoplastic .....	126
Methyl Methacrylate .....	127
INSTALLATION, MAINTENANCE, AND REMOVAL.....	127
Latex Paint .....	127
Epoxy Paint .....	127
Polyester .....	128
Epoxy Thermoplastic .....	129
Methyl Methacrylate .....	129
OTHER CONSIDERATIONS .....	129
Cost Considerations .....	130
Potential For Future Use .....	131
<b>CHAPTER 9. POST-MOUNTED DELINEATORS .....</b>	<b>133</b>
INTRODUCTION .....	133
USES.....	133
MATERIALS .....	134
Retroreflective Element .....	134
Mounting Post .....	135
PERFORMANCE .....	136
INSTALLATION AND MAINTENANCE .....	137
Spacing and Placement.....	137
Retroreflective Element Installation .....	137
Post Installation and Equipment.....	139
Replacement .....	140
Cleaning .....	140
Winter Maintenance.....	140
Crew Size and Safety .....	140
Colored Posts.....	140
Removal .....	141

<b>CHAPTER 10. OTHER DELINEATION DEVICES .....</b>	<b>143</b>
INTRODUCTION .....	143
USES .....	143
Object Markers .....	143
Warning Signs .....	145
Barrier Delineators.....	148
Pavement Symbols.....	148
PERFORMANCE .....	165
INSTALLATION, MAINTENANCE, AND REMOVAL.....	165
Object Markers .....	165
Warning Signs .....	165
Barrier Delineators.....	172
Pavement Symbols.....	173
<b>CHAPTER 11. ROADWAY DELINEATION MANAGEMENT .....</b>	<b>175</b>
INTRODUCTION .....	175
SAFETY AND YEAR-ROUND MAINTENANCE.....	175
MINIMUM RETROREFLECTMTY .....	175
INVENTORY .....	176
Computerized.....	176
Photo Log .....	176
Other Techniques .....	178
INSPECTION .....	178
Daytime .....	178
Nighttime.....	179
Equipment and Facilities .....	179
FIELD TESTING .....	179
Instruments .....	179
Portable Equipment.....	180
Mobile Equipment.....	181
TORT LIABILITY .....	181
<b>CHAPTER 12. ADMINISTRATION .....</b>	<b>185</b>
INTRODUCTION .....	185
LEGAL CONSIDERATIONS.....	185
Definition of Tort Liability .....	186
Legal Duty and Liability .....	187
Notice of Defect.....	188
Maintenance of Delineation Systems.....	188

Implications of Tort Liability .....	189
SOURCES OF FUNDING .....	190
PROCUREMENT PROTECTION .....	190
Quantity Purchase of Materials .....	190
Inventory and Recordkeeping.....	191
Use of Model Specifications .....	191
Use of Contractors .....	192
COORDINATION OF ACTIVITIES .....	192
COST CONSIDERATIONS .....	192
Pavement Markings.....	193
Raised Pavement Markers .....	194
Post-Mounted Delineators .....	194
Signing .....	195
Conditions for Cost-Effective Applications .....	195
INSPECTION OF PAVEMENT MARKING PROJECTS.....	196
Inspector Training and Certification .....	196
Sources of Sample Specifications .....	196
<b>REFERENCES .....</b>	<b>197</b>
<b>APPENDIX A. COST ANALYSIS TECHNIQUES.....</b>	<b>205</b>
STATISTICAL ANALYSIS .....	205
Economic Analysis Models.....	206
Delineation Guidelines.....	207
COMMENTS ON THE RESEARCH .....	208
<b>APPENDIX B. SOURCES OF MATERIALS AND EQUIPMENT .....</b>	<b>211</b>
<b>APPENDIX C. LIST OF STANDARDS, SPECIFICATIONS, AND</b>	
<b>    TEST METHODS RELATED TO DELINEATION .....</b>	<b>215</b>
<b>GLOSSARY.....</b>	<b>219</b>
<b>BIBLIOGRAPHY.....</b>	<b>231</b>
<b>INDEX .....</b>	<b>247</b>

# CAPITOLO 1

## INTRODUZIONE

### **Prefazione**

Il possesso e l'uso di veicoli a motore continua ad aumentare in tutti i settori della nazione. Il corrispondente incremento in incidenti, ritardi e inconvenienti ha proposto una sfida critica alle operazioni stradali e di traffico ed agli ingegneri della sicurezza. Nella ricerca delle soluzioni, l'importanza si è spostata dalla costruzione di nuove strade al miglioramento di quelle già esistenti.

Le tecniche di delineazione stradale hanno generalmente tenuto il passo con lo sviluppo del sistema autostradale e stradale della nazione. La delineazione è stata per lungo tempo considerata essenziale per una guida efficace del conducente. Questa guida intensifica il flusso di traffico, il benessere nella conduzione del veicolo e la sicurezza del traffico. La riduzione dei budgets stradali, comunque, rende importante l'utilizzo di metodi economici di delineazione nuovi e perfezionati. Una completa conoscenza della tecnologia ed una prudente applicazione delle tecniche di costo- efficienza sono necessarie.

### **Definizione di delineazione**

La delineazione si riferisce ad ogni metodo di definizione dell'area stradale "operativa" per il guidatore. In questo manuale la delineazione è definita come uno oppure una combinazione di dispositivi (esclusi i segnali di guida) che regolano, avvertono e forniscono informazione e guida del percorso al guidatore. Questi dispositivi includono i seguenti materiali di delineazione: strisce pitturate, strisce in materiale termoplastico o in altro materiale durevole, inserti stradali, e delineatori di margine. I segnali di avvertimento sono anch'essi considerati come parte di materiale di delineazione. Essi sono utilizzati a completare la delineazione standard in aree particolari, quali le curve orizzontali.

La funzione delle strisce stradali, come definite nel MUTCD (parte 3), è di integrare le regole e gli avvertimenti di altri dispositivi utilizzati per il traffico, quali segnali e cartelli stradali. In altri casi essi sono utilizzati da soli e producono degli effetti che non possono essere ottenuti utilizzando altri dispositivi, comunicando certe regole e avvertimenti che non potrebbero essere altrimenti comunicati in modo comprensibile.

Il MUTCD presenta i modi standard di comunicazione delle informazioni al guidatore (forma, colore, modello e larghezza). Per esempio le linee gialle separano i flussi di traffico in direzioni opposte, mentre le linee bianche denotano flussi di traffico nella stessa direzione. Le linee tratteggiate sono permissive; le linee continue sono restrittive. La larghezza delle linee indica la loro importanza. Standards dettagliati relativi al colore, modello e larghezza sono presentati nelle sezioni del MUTCD dalla 3A-2 alla 3A-6, dove è accentuato che "ogni striscia standard sarà utilizzata solo per comunicare il significato prescritto per la stessa in questo manuale (MTCUD)".

In un sistema progettato propriamente per il controllo del traffico, le strisce hanno delle funzioni specifiche. Le strisce stradali guidano la movimentazione del traffico e favoriscono la sicurezza sulle strade. In alcuni casi le strisce sono utilizzate solo per integrare i messaggi di altri dispositivi di controllo del traffico. In altri casi le strisce sono l'unico modo per comunicare un messaggio senza distrarre il conducente. Inoltre la capienza di una strada aumenta col flusso ordinato di traffico. Le strisce stradali favoriscono questo tipo di incremento di capacità.

Le strisce devono essere prontamente capite, e questo può essere ottenuto solo mediante un sistema uniforme di tracciatura. Un guidatore dovrebbe vedere lo stesso tipo di strisce in differenti ubicazioni e queste strisce dovrebbero impartire lo stesso messaggio laddove vengono incontrate.

### **Iniziative per migliorare la sicurezza stradale**

Poiché le compagnie stradali stanno cominciando a concentrarsi sull'incremento della capacità per le strade esistenti, la sicurezza è divenuta più importante di prima.

Sebbene il tasso incidentale del 1990, di 2.1 incidenti mortali per 100 milioni/miglia di veicoli, sia stato il più basso nella storia degli Stati Uniti, ancora tanto lavoro rimane da fare. Ci sono stati quasi 6.5 milioni di incidenti registrati dalla polizia che sono risultati in più di 44000 morti nel 1990.

Uno dei principali obiettivi degli ingegneri è l'applicazione della nuova tecnologia ai vecchi problemi. Gli ingegneri tentano di rendere la vita più facile e sicura per gli utenti. L'uso di tecniche e trattamenti di delineazione innovativi può avere benefici nella sicurezza dei guidatori in modi che non possono essere realizzati con nessun altro metodo.

Il 3 ottobre del 1983 il Ministro dei Trasporti annunciò una serie di nuove iniziative dirette verso il miglioramento della sicurezza stradale. Le iniziative del Ministro includevano molte voci dirette specificatamente verso le azioni nell'area dell'FHWA del programma delle responsabilità. La memoria dell'FHWA, datata 25 ottobre del 1983, stabilì obiettivi e metodi per realizzare l'iniziativa di una delineazione e tracciatura per la sicurezza stradale. Il 100% dei fondi federali fu reso disponibile per realizzare l'iniziativa di una delineazione.

### **Strisce efficienti**

Il miglior modo conosciuto per migliorare la capacità e la sicurezza delle strade è fornire una delineazione efficiente. Questo significa applicare strisce che garantiscono la più lunga vita di servizio per unità di costo, fornendo la stessa prestazione.

#### *Rapporto costo- beneficio*

Le strisce dovrebbero essere valutate dall'utilizzo del rapporto costo- beneficio. Primo, tutte le opzioni devono fornire quasi la stessa visibilità durante le loro vite di servizio effettive. Questo è di primaria importanza. Se questo criterio non è aderente, l'opzione più efficiente sembra essere quella di un sistema a basso costo e basse prestazioni che può eventualmente creare una situazione di pericolo a causa del suo rapido deterioramento oppure rapida perdita di visibilità durante la sua vita di servizio.

L'appendice A (tecniche di analisi del costo) dà una definizione quantitativa di come il rapporto costo- benefici può essere utilizzato per valutare le alternative di tracciamento.

#### *Condizioni per sistemi efficienti*

L'efficienza può essere ottenuta dalla considerazione di tutte le variabili e dal pensare la delineazione come un sistema che consiste di materiale per la pavimentazione, materiale per il tracciamento, e materiale retroriflettente. È importante che le variabili della delineazione per ciascuna applicazione (discusse nel capitolo 2) siano trattate con un appropriato sistema di tracciamento.

Inoltre ci sono una moltitudine di altre variabili che entrano nell'equazione. Il tempo in cui la striscia sarà necessaria, la disponibilità locale di materiali e di attrezzatura, e la politica e la responsabilità della compagnia

sono solo alcune di queste variabili. L'ingegnere stradale deve realizzare che il bilancio deve essere spesso fatto fra una moltitudine di aspetti divergenti e spesso conflittuali. Questo è il solo modo per ottenere un sistema di delineazione che sia ottimamente efficiente.

## **SCOPO DELLO STUDIO**

L'FHWA, l'NCHRP ed altre compagnie hanno sponsorizzato lo studio per migliorare la delineazione stradale. Inoltre molti Stati ed alcune grandi città hanno condotto prove in laboratorio e sul campo di nuove tecniche di delineazione. Molte di queste piccole compagnie, comunque, non hanno le risorse per indagare sui dispositivi, materiali o attrezzatura che sono una parte di un sistema segnaletico efficiente. Queste compagnie hanno bisogno di informazioni che siano più obiettive che persuasive da parte dei venditori locali.

Riconoscendo questo bisogno, l'FHWA ha iniziato un progetto per sviluppare un manuale sui sistemi di delineazione stradale. Questo manuale dovrebbe avere lo scopo di assistere gli ingegneri che praticano la professione nella determinazione di un sistema appropriato alla particolare situazione.

Questo manuale non stabilisce la politica dell'FHWA o dei suoi standards. Piuttosto si propone di integrare il MUTCD, offrendo delle linee guida per sviluppare gli standards presentati nel MUTCD. Questo manuale non intende essere un rapporto tecnico sulla ricerca delle nuove tecnologie di delineazione. Comunque le maggiori scoperte dello studio utilizzate per sviluppare le linee guida sono chiaramente citate nella bibliografia. Coloro che sono interessati ai dettagli di un particolare progetto di ricerca dovrebbero cercarli indipendentemente.

Questo manuale è inteso principalmente per l'uso da parte del personale preposto al progetto, al traffico ed alla manutenzione. Può anche dimostrarsi prezioso per gli ingegneri, insegnanti e studenti che lo consultano. I contenuti coprono i dispositivi, materiali e attrezzature per l'installazione correnti e di nuovo sviluppo, presentando le prestazioni previste da ciascun componente in base alle esperienze attuali oppure a prove di laboratorio e sul campo.

Sebbene tale manuale non rifletta lo stato dell'arte nel campo della tecnologia di delineazione, esso fornisce dei concetti fondamentali. I materiali utilizzati per sviluppare il manuale riflettono l'esperienza delle compagnie federali, di stato, di contea e locali. Esso riassume anche le direzioni e gli sviluppi futuri come riportato in una recente ricerca e dai rappresentanti tecnici dell'industria.

## **ORGANIZZAZIONE DEL MANUALE**

Tale manuale fornisce all'ingegnere praticante una guida per la selezione della migliore tecnica di delineazione per un data composizione di circostanze. L'argomento si divide in cinque parti:

- Introduzione e prefazione (capitolo 1);
- Fattori della visibilità della delineazione (capitoli 2 e 3);
- Descrizione tecnica delle pratiche correnti di delineazione (capitoli da 4 a 10);
- Riassunto degli aspetti e procedure amministrative (capitoli 11 e 12);
- Integrazioni tecniche (appendici).

Quando è stato possibile, i capitoli con le descrizioni delle tecniche di delineazione sono stati scritti in un formato comune. Per evitare ridondanze, il materiale che è simile per molte tecniche è descritto dettagliatamente nel capitolo 4 ed è accennato nei capitoli seguenti.

Le appendici forniscono informazioni tecniche dettagliate per integrare le pratiche fondamentali descritte nel testo. Di particolare interesse per gli ingegneri che esercitano, nella gestione del traffico e nella manutenzione, sarà l'appendice A, che spiega le tecniche dell'analisi del costo per valutare il tracciamento stradale.

L'appendice B dà i nomi e gli indirizzi delle ditte che vendono prodotti per la delineazione. L'appendice C dà informazione sulle norme tecniche della delineazione.

## CAPITOLO 2

# CARATTERISTICHE DELLA RETRORIFLESSIONE E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEI PRODOTTI

### Introduzione

Oggi la delineazione è una componente fondamentale del sistema stradale. Il problema non è più se la delineazione sia efficiente, ma piuttosto come fornire il miglior sistema di delineazione al minimo costo.

La retroriflessione è fondamentale per un sistema di delineazione che sia efficace di notte. La delineazione è intesa come guida visiva per il guidatore; la visibilità notturna è quasi direttamente proporzionale alla retroriflessione. Questo capitolo, dunque, descrive il più importante aspetto della delineazione stradale: ottenere strisce retroriflettenti durevoli per assicurare una visibilità duratura. Si parla anche di verifica di qualità attraverso prove sui materiali e dei programmi sponsorizzati dalla FHWA per favorire queste prove.

### Retroriflessione

Il riconoscimento delle compagnie stradali dell'importanza della retroriflessione ha reso il suo utilizzo quasi universale. In accordo col MUTCD, le strisce, che devono essere visibili di notte, dovrebbero essere retroriflettenti a meno che l'illuminazione dell'ambiente non assicuri un'adeguata visibilità. Poiché la percentuale di strade ben illuminate è molto bassa, la tendenza tra le compagnie stradali è quella di fare tutte le strisce della pavimentazione stradale retroriflettenti. Una comune eccezione sono i marciapiedi verniciati e le linee di parcheggio.

### Principi Generali

Un articolo della FHWA del 1987, scritto da Mc Gee e Mace, definisce retroriflessione come quel fenomeno in cui un raggio di luce incide una superficie riflettente e viene riflesso direttamente verso la sorgente luminosa (vedere figura 1).

Per capire tale fenomeno è necessaria una breve discussione sulle caratteristiche ottiche. Le sorgenti di luce emettono una certa quantità di energia sotto forma di luce visibile. Una sorgente luminosa puntiforme ideale emette raggi luminosi egualmente distribuiti in tutte le direzioni (figura 2a). Se una sorgente luminosa ideale viene racchiusa in una sfera, ciascun punto sulla superficie sferica è illuminato da un'eguale quantità di luminosità, o intensità.

Una sorgente di luce direzionale, come una torcia, dirigerà la sua luce in un cono il cui asse ha la direzione verso cui è puntata la torcia, come mostrato in figura 2b. Se una torcia emette una quantità di energia luminosa uguale a quella emessa da una sorgente puntiforme, ed entrambe sono racchiuse da una sfera del medesimo raggio, l'intensità di luce proveniente dalla torcia in ogni punto della superficie sferica interessata dal fascio sarà maggiore di quella che si ha negli stessi punti da parte della sorgente puntiforme. Semplicemente si può dire che ogni punto, su cui la sorgente direzionale emette luce, brillerà di più rispetto a ciascun punto illuminato dalla sorgente puntiforme.

Per una più completa precisione si descrive il flusso luminoso e come esso si relaziona all'energia, poiché questi due concetti non sono strettamente identici. Piuttosto il flusso luminoso è una portata di energia. Esso può essere paragonato alla portata di acqua che fluisce in un condotto; indica la quantità di luce che fluisce nell'unità di tempo.

Analogamente l'intensità è come la velocità dell'acqua. Se ci sono due tubazioni che scaricano la stessa quantità di acqua nell'unità di tempo (portata), e la sezione di una tubazione è il doppio dell'altra, la velocità dell'acqua nella sezione più piccola è il doppio di quella nella sezione più grande.

La stessa cosa è valida per la luce. Se ci sono due sorgenti luminose direzionali che emettono lo stesso flusso luminoso, ma la prima sorgente illumina un'area che è il doppio dell'area illuminata dall'altra sorgente, allora l'intensità della seconda sorgente è il doppio della prima. Questo fatto può essere visualizzato come una sorta di compressione che subiscono i raggi luminosi per dare la stessa quantità di energia su una sezione minore. Come risultato si avrà che l'area illuminata dalla seconda sorgente apparirà più luminosa, così come l'acqua nel tubo più stretto viaggerà più velocemente e fluirà più acqua per unità di area.

Questi concetti possono aiutare a capire il fenomeno della retroriflessione. Una sorgente puntiforme ha una distribuzione del flusso luminoso uniforme in tutte le direzioni. Un retroriflettore perfetto (catadiotro) dovrebbe semplicemente invertire il verso del raggio incidente. In tutte le direzioni, eccetto quella della sorgente (direzionale), l'intensità della luce emessa dal retroriflettore è nulla.

Un retroriflettore perfetto non dovrebbe essere usato per la delineazione stradale poiché tutta la luce riflessa dovrebbe ritornare direttamente ai fari dell'automobile (figura 3a).

Fortunatamente i catadiottri non sono perfetti. Parte della luce è assorbita dal retroriflettore. Ma la cosa più importante è che c'è una diffusione di luce lungo direzioni vicine a quella della sorgente, come mostrato in figura 3b. Ed è questa luce retroriflessa non perfettamente che ritorna verso l'occhio del conducente e fa sì che la retroriflessione venga usata per il tracciamento stradale.

## Misurazione della retroriflessione

Hoffman e Firth suggeriscono un modo ideale per misurare le proprietà retroriflettenti di un dispositivo. Sembra intuitivamente corretto misurare la retroriflessione come un rapporto fra l'intensità della luce che ritorna nella direzione del conducente e l'intensità emessa dalla sorgente. Questo darebbe luogo ad una scala per la retroriflessione che consiste di numeri adimensionali compresi fra 0 e 1.

Sfortunatamente ci sono dei problemi concreti con questo approccio e ci deve essere perciò un sistema di unità di misura per definire il flusso luminoso, l'intensità ed altre grandezze ottiche. Le seguenti sezioni mostrano come queste unità siano state utilizzate per stabilire dei metodi di prova standard per la misura della retroriflessione.

## Unità di misura

### *Unità metriche*

Per capire l'uso delle unità di misura fotometriche, bisogna definire il concetto di angolo solido. Un angolo solido è una misura di quanto sembra grande un oggetto visto da un certo punto. L'angolo solido sotteso da un oggetto (o da un'area arbitraria) è in funzione della posizione della proiezione dell'area dell'oggetto nella direzione del punto da cui è visto l'oggetto e della sua distanza da tale punto.

Gli angoli solidi sono misurati in unità dette steradiani (sr). Gli steradiani sono definiti in modo che ci siano un totale di  $4\pi$  steradiani in una sfera completa che circonda la sorgente. Questo è l'analogo al caso bi-dimensionale, dove  $2\pi$  radianti equivalgono ad un angolo circolare completo attorno ad un punto.

Nella figura 4 l'angolo solido sotteso dall'area ABCD è uguale all'area di ABCD diviso l'area totale di una sfera concentrica, moltiplicato il numero totale di steradiani nella sfera (cioè  $4\pi$ ).

$$\text{Angolo sotteso da ABCD in sr} = (\text{Area ABCD}/\text{area sfera}) \times 4\pi$$

(In generale lo steradiante è l'angolo solido che viene intercettato su una sfera di raggio  $r$  avente centro coincidente col vertice dell'angolo solido stesso e che interessa una calotta di area uguale a quella di un quadrato avente lato uguale al raggio della sfera, e cioè  $1 \text{ sr} = r^2/4\pi r^2 = 1/4\pi$ )

Una volta definito l'angolo solido si può passare alla definizione delle grandezze fotometriche. La grandezza fotometrica fondamentale è la candela. Essa è una misura dell'intensità luminosa. Il concetto di intensità è stato illustrato precedentemente.

La definizione ufficiale adottata nel 1979 dalla *Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure* è la seguente: *"La candela è l'intensità luminosa in una data direzione di una sorgente che emette una radiazione monocromatica della frequenza di  $540 \times 10^{12}$  Hz, la cui intensità in quella direzione è di  $1/683 \text{ W/sr}$ "*

Questa definizione, se da una parte non aiuta a dare una comprensione intuitiva circa la natura dell'intensità luminosa, dall'altra provvede a darle un significato fisico stabilendo un'unità di misura fotometrica.

Con questa definizione, che stabilisce la candela come grandezza fotometrica fondamentale, può essere definita la grandezza flusso. Come detto prima, il flusso è una misura dell'energia luminosa totale emessa nell'unità di tempo. L'unità di misura è il *lumen*. Il lumen è definito come la quantità di energia che passa attraverso un angolo solido di un steradiante proveniente da una sorgente avente intensità luminosa di 1 candela (cd).

L'*illuminamento* è definito come un flusso per unità di superficie. È misurato in *lux*, che corrisponde ad 1 lumen/m<sup>2</sup>. In altre parole, se un flusso luminoso di 1 lumen attraversa una sezione di 1 m<sup>2</sup>, allora l'illuminamento in ogni punto di tale sezione è pari a 1 lux (vedi figura 4). L'illuminamento sull'arco ABCD è 1 lux (1 lumen/m<sup>2</sup>).

Nella figura 4 l'area ABCD è di 1 m<sup>2</sup>. L'angolo solido sotteso da tale area, rispetto alla sorgente puntiforme situata al centro della sfera, è 1 steradiante. Se la sorgente puntiforme è uniforme ed ha un'intensità di 1 candela, allora il flusso sull'area ABCD è di 1 lumen. L'illuminamento in ogni punto sull'area ABCD è di 1 lumen/m<sup>2</sup> o 1 lux. La sfera (di raggio pari ad 1 m) ha un'area totale (pari a  $4\pi r^2$ ) di 12.57 m<sup>2</sup>. Un flusso di 1 lumen cade su ogni metro quadrato, così la potenza totale emessa dalla sorgente è di 12.57 lumens.

La figura 5 illustra la differenza fra intensità ed illuminamento. Supponiamo che le linee (raggi luminosi), che passano per i punti A, B, C e D della figura 4, siano estese in modo da sottendere un'area di 4 m<sup>2</sup>. Una sfera, con raggio uguale alla distanza di tali punti dalla sorgente, avrà un raggio di 2 m.

L'angolo solido sotteso dai punti E,F,G ed H sarà lo stesso di quello sotteso dai punti A,B,C e D. Quindi se l'intensità della sorgente è di 1 candela, o 1 lumen/sr, allora c'è un flusso totale di 1 lumen sull'area EFGH. L'illuminamento in ogni punto dell'area EFGH sarà pari a  $1 \text{ lumen}/4 \text{ m}^2 = 0.25 \text{ lumen/m}^2 = 0.25 \text{ lux}$ . Ovviamente l'illuminamento su una superficie decresce col quadrato della distanza dalla sorgente.

In altre parole l'intensità misura la luminosità di una sorgente e l'illuminamento misura la luminosità della superficie illuminata. Queste, quindi, non sono la stessa cosa perché la luce, che una sorgente emette, investe una regione estesa non appena si irradia nello spazio. Tutto ciò è valido per sorgenti puntiformi poiché, per sorgenti direzionali, la luce non investe sorgenti così estese.

## Unità Inglesi

Le unità inglesi sono simili a quelle del sistema Internazionale. Candela e lumen sono definite allo stesso modo. L'illuminamento invece è misurato in lumen/ft<sup>2</sup> invece di lumen/m<sup>2</sup>. Un lumen/ft<sup>2</sup> è detto candela-piede (footcandle) ed un footcandle (ftc) equivale a 10.76 lux (lumen/m<sup>2</sup>).

## Coefficiente di Luminanza retroriflessa – Strisce

La misura più comunemente usata per misurare il coefficiente di retroriflessione delle strisce è il *coefficiente di luminanza retroriflessa*,  $R_L$ . Esso è definito dalle norme ASTM come il rapporto tra la *luminanza*  $L$  di una superficie e il normale illuminamento,  $E_L$ , su una superficie. La luminanza è definita come il flusso luminoso di un raggio di luce su una superficie per unità di area proiettata di quella superficie, e per unità di angolo solido. Uno dei principali problemi connessi con la misura della retroriflessione è stato, in passato, quello che standards come questi erano scritti avendo in mente le procedure delle prove di laboratorio. Questi standards, comunque, non si adattano bene ai metodi di prova che si effettuano sul campo.

In campo questa definizione di  $R_L$  dovrebbe tradursi nel confrontare la luminanza della striscia all'illuminamento normale di un raggio luminoso incidente sulla striscia. In questo contesto la luminanza dovrebbe essere il flusso luminoso di un raggio di luce proveniente dalla striscia, e diretto verso il conducente, per unità di area proiettata dalla striscia in direzione del conducente, per unità di angolo solido. Inoltre poiché l'intensità luminosa è già un flusso luminoso per unità di angolo solido, la luminanza è semplicemente l'intensità luminosa della luce che ritorna dalla striscia per unità di area. L'illuminamento normale,  $E_L$ , è l'illuminamento dei fari sulla striscia, misurato su di un piano perpendicolare alla direzione dei raggi luminosi.

La figura 6 aiuta a visualizzare queste grandezze. Se si considera la macchina in un certo istante di tempo, allora l'angolo di osservazione e quello di illuminazione sono fissati. I fari dirigono la luce di una certa intensità lungo l'asse di illuminazione. Poiché le grandezze definite nelle norme sono direzionali, un singolo punto deve essere individuato sulla striscia dove sarà esaminato  $R_L$ . Questo punto sarà il punto B di figura 6. Avendo stabilito questo, una definizione precisa di asse di illuminazione è possibile, cioè è diretto lungo la direzione AB.

Mentre la luce raggiunge il punto B, essa si diffonde nello spazio ed avrà un certo illuminamento associato. Un piano è posto nel punto B con un'area di 1 m<sup>2</sup> e la sua normale parallela ad AB. Il valore dell'illuminamento in B sarà uguale alla quantità di luce che cadrebbe su tale piano se esso fosse illuminato dalla stessa intensità di luce che è diretta in B.

La luce sarà retroriflessa entro un cono che circonda la direzione della sorgente. Essa avrà una certa intensità lungo la direzione di osservazione, cioè la linea BC.

A questo punto le norme non sono più d'aiuto. Usando i due valori già detti, un valore per il coefficiente di intensità luminosa può essere calcolato. Per calcolare la luminanza e ricavare il valore di  $R_L$ , l'intensità luminosa per unità di area deve essere trovata. Il problema è tutto nella selezione di una appropriata superficie. Infatti tutte le quantità sono direzionali, riguardando aree infinitesime. Se una superficie molto piccola è scelta, l'illuminamento sarà uniforme, ma quanto grande dovrebbe essere tale superficie e quanto l'angolo? Se una superficie larga viene scelta, l'illuminamento non sarà uniforme ed il flusso dovrà essere integrato lungo la superficie e poi diviso per la superficie stessa ( $1/S \cdot \int_S E_L dS$ ). Se un'unità di superficie è scelta, la sua inclusione non altera il valore del coefficiente. Se l'intera area illuminata dai fari viene scelta, allora c'è il problema dell'illuminamento non uniforme, poiché alcune zone della suddetta area sono più lontane dai fari rispetto ad altre zone.

Cosa realmente avviene è deciso dal costruttore dello strumento che misura la retroriflessione. L'illuminamento è misurato su una superficie arbitraria e tale superficie è utilizzata come superficie "campione". Il problema dell'illuminamento non uniforme non è poi così importante poiché la scala dello strumento è piccola rispetto ai fari dell'automobile e, inoltre, gli strumenti emettono la luce su piccole aree.

Tali decisioni fanno sì che i coefficienti di retroriflessione differiscano da strumento a strumento, dipendendo dalla superficie campione utilizzata da ciascun strumento e dal metodo di misura dell'intensità e dell'illuminamento. Bisogna fare attenzione per prevenire l'uso di questi valori in modo intercambiabile per diversi strumenti.

Ciascun strumento può essere riferito solo a se stesso. Il metodo di misura di ciascun strumento dovrebbe essere invariabile e risulterà essere espresso in  $\text{cd/lux}\cdot\text{m}^2$ . L'unità  $1 \text{ cd/lux}\cdot\text{m}^2$  è eccessiva nella pratica. Infatti di solito è utilizzata il  $\text{mcd/lux}\cdot\text{m}^2$  ( $\text{mcd} = \text{millicandela}$ ), che è uguale ad un millesimo dell'unità base.

Come detto precedentemente la maggior parte dei problemi nasce dal tentativo di applicare sul campo dei metodi di laboratorio. La mancanza di flessibilità delle norme, l'incompletezza dei termini e dei metodi definiti dalle norme stesse fanno sì che gli strumenti di misura della retroriflessione siano inconsistenti ed in continua evoluzione. Al tempo in cui è stato pubblicato questo manuale una norma non ufficiale dell'ASTM esisteva per dare un metodo di misura sul campo della retroriflessione ma, da quel che si dice, piani sono stati fatti per svilupparla.

### *Coefficiente di retroriflessione – Segnali*

Il coefficiente di retroriflessione ( $R_A$ ) è di norma utilizzato per i segnali stradali ed è descritto nelle norme ASTM E808-91. E' definito come il coefficiente di intensità luminosa,  $R$ , di una superficie piana retroriflettente diviso la sua area, espresso in unità metriche come  $\text{candela/lux}\cdot\text{m}^2$ .

Il coefficiente di intensità luminosa è definito come l'intensità luminosa,  $I$ , di un retroriflettore nella direzione di osservazione diviso l'illuminamento del retroriflettore su un piano perpendicolare alla direzione della luce incidente. Dopo tutte le unità ed le altre considerazioni fatte,  $R_A$  è concettualmente identico al coefficiente di luminanza retroriflesso, ma è più semplice da applicare per i segnali. Anche le unità inglesi,  $\text{cd/ftc}\cdot\text{ft}^2$ , sono utilizzate per  $R_A$ , ed è anche spesso riferita come un'intensità specifica per unità di area (SIA).

$R_A$  è quindi un rapporto tra l'intensità che ritorna all'osservatore sull'illuminamento incidente diviso l'area del retroriflettore. I segnali si prestano a misure più semplici poiché hanno un'area fissata. La geometria che si misura è disposta in modo che il piano del segnale sia perpendicolare all'illuminazione incidente; l'illuminamento è uniforme lungo tutto il piano del segnale. Questo rende le misure più semplici ed accurate.

## **PERLINE**

### *Definizione*

Le perline sono delle piccole sfere di vetro utilizzate nei segnali stradali e nelle strisce per fornire la necessaria retroriflessione.

Possono essere applicate alle strisce secondo uno dei seguenti tre modi:

- possono essere lasciate cadere;
- possono essere miscelate alla pittura prima dell'applicazione;
- una parte può essere lasciata cadere nel materiale premiscelato.

La tecnica più comune è quella di spruzzare (sotto pressione) o lasciar cadere (per gravità) una certa quantità di perline sul materiale umido. L'ugello delle perline è posizionato immediatamente dopo l'ugello o la

tramoggia di estrusione della pittura in modo che le perline siano spruzzate o lasciate cadere quasi simultaneamente all'applicazione della pittura. Per perline retroriflettenti due proprietà sono necessarie: trasparenza e rotondità. Le perline di vetro hanno entrambe queste proprietà. I primi esperimenti per l'uso di perline di vetro frantumato o di alluminio o di ottone hanno messo in evidenza come questi materiali non possano essere accettati poiché non rispondono a queste caratteristiche.

La necessità di trasparenza e rotondità può essere spiegata esaminando il percorso della luce appena attraversa la perlina immersa nel film di pittura delle strisce stradali. Per prima cosa la perlina deve essere trasparente in modo che la luce può attraversare la sfera. Non appena il raggio luminoso entra nella perlina, esso è rifratto verso il basso dalla superficie tonda della sfera, in un punto che si trova al di sotto dove la perlina è immersa nella pittura. La luce che colpisce la parte posteriore della superficie della perlina rivestita dalla pittura è riflessa indietro nella direzione del percorso di entrata (vedi figura 7). Se la pittura non fosse presente, la luce continuerebbe attraverso la perlina e rimbalzerebbe in molte direzioni. Le caratteristiche, le tipiche utilizzazioni e i maggiori fattori che influenzano l'applicazione delle perline sono trattate nelle seguenti sezioni.

### *Descrizione fisica*

La luce che le perline retroriflettono è funzione di tre variabili:

- indice di rifrazione;
- caratteristiche geometriche delle perline (forma, dimensioni e superficie);
- numero di perline presenti ed esposte ai raggi luminosi.

L'indice di rifrazione (RI) dipende dalla costituzione chimica delle perline. Più è alto tale indice più la perlina è retroriflettente. Le perline utilizzate nelle pitture stradali hanno comunemente un RI pari a 1,50. Ci sono alcune perline con RI di 1,65 utilizzate con materiale termoplastico; perline con RI di 1,90 sono spesso usate per le strisce retroriflettenti delle piste di atterraggio.

La composizione chimica delle perline è diversa per ogni RI. La perlina con RI pari a 1,50 è di vetro sodico-calcico duro fatta con un frammento di vetro di finestra frantumato, chiamato cullet. Le perline con RI di 1,65 e 1,90 sono prodotte da materie prime.

Malgrado la maggior brillantezza ottenuta con perline con elevato indice di rifrazione, la maggior parte delle compagnie stradali di Stato e locali utilizzano perline con RI di 1,50. Poiché queste perline sono fatte con cullet, un prodotto riciclato, esse sono meno costose di quelle prodotte da materie prime. Esse sono più stabili dal punto di vista chimico e richiedono poche libbre per gallone di materiale di tracciamento, perché sono meno dense di quelle con RI più alto. Inoltre le perline con alto RI sono più fragili e perciò hanno bisogno di essere sostituite più spesso. Alcune compagnie stradali utilizzano una miscela di perline con RI di 1,50 e 1,65 sulle strade, ed alcune integrano le perline con RI di 1,50 con quelle aventi un RI di 1,90.

L'intervallo dimensionale delle perline varia da 60  $\mu\text{m}$  (0.0024 in) a 850  $\mu\text{m}$  (0.034 in). La dimensione della perlina è di solito espressa in termini di numero di setaccio U.S., oppure di numero di mesh del setaccio che una perlina attraverserà. Per esempio un numero di setaccio U.S. 20 permetterà a perline con diametro di 840  $\mu\text{m}$  (0.033 in) o meno di passare attraverso le maglie; un numero di mesh 200 permetterà il passaggio delle sole perline con diametro di 74  $\mu\text{m}$  (0.0029 in) o meno.

Perline applicate per caduta hanno tipicamente una granulometria tra 20 e 100 mesh. Una granulometria specifica, o percentuale in peso di ogni classe dimensionale, è soggetta di qualche discussione. Essa è di solito dovuta a una decisione politica locale basata su molti fattori. Per prima cosa, quando si seleziona una granulometria, devono essere presi in considerazione le condizioni reali di applicazione del materiale di

tracciamento, l'incertezza delle condizioni meteorologiche e il controllo dei materiali. Secondo, il tempo di essiccamento del materiale di tracciamento condiziona la sistemazione delle perline nel legante. Ottenere la stessa immersione in un materiale che essicca rapidamente richiede perline più piccole. Terzo, il tempo di vita del materiale ed il numero di perline applicate condizionano la granulometria delle perline. L'applicazione di un materiale termoplastico durevole con 10 lb/gallone di perline, premiscelate e aggiunte per caduta, richiede un ampio intervallo di granulometrico. Di contro, strisce verniciate aventi una vita di servizio prevista minore di 4 mesi ed una velocità di applicazione di 4 lb/gallone di perline richiedono un intervallo granulometrico più stretto. Infine perline troppo piccole (da 80 a 100 mesh) sono molto leggere e possono essere soffiate via. Invece perline troppo grosse possono essere perse subito perché sono immerse male. L'uso di nuovi materiali leganti può ridurre questi problemi.

### *Proprietà retroriflettenti*

Ogni sfera di vetro lavora come una lente di messa a fuoco della luce. Ognuna ha un punto focale all'esterno della parte posteriore della perlina. Più è vicino il fuoco alla superficie posteriore della perlina più è lucente il raggio riflesso. Per esempio, come mostrato in figura 8, una perlina con indice di rifrazione di 1,50 ha il fuoco piuttosto lontano dalla superficie posteriore della perlina, rispetto ad una perlina con RI di 1,65. Con perline aventi indice di rifrazione di 1,90 il fuoco è molto vicino alla superficie posteriore della perlina. Di conseguenza un tracciamento con perline con RI di 1,90 sarà più lucente di quello con perline aventi RI 1,50 o 1,65.

Poiché la luce viene focalizzata fuori la parte posteriore della sfera, la luce che incide la parte posteriore della perlina è sotto forma di punto luminoso intenso semicircolare (vedere figura 9).

Questa luce passa attraverso lo strato legante della pittura, dove viene diffusa. Questo fa sì che lo strato legante si comporti come un'altra sorgente luminosa localizzata sul lato della perlina opposto al guidatore. Quindi una buona retroriflessione dipende non solo dalla quantità e qualità delle perline, ma anche dalla quantità e qualità dei pigmenti ad alto indice nello strato legante delle strisce.

La luce retroriflessa forma un cono diretto verso il guidatore, dopo che è stata focalizzata dalla perlina. Come diretta conseguenza delle caratteristiche ottiche della perlina, il punto luminoso intenso nella parte posteriore della perlina si trova ad una distanza dalla parte superiore che è il 60% del diametro della perlina. Di conseguenza la retroriflessione delle perline dovrebbe aumentare notevolmente a circa il 60% di immersione, in modo che il punto luminoso intenso debba colpire lo strato legante e subire una riflessione diffusa per il giusto funzionamento della perlina. Inoltre ci si aspetterebbe che la retroriflessione diminuisca gradualmente non appena l'immersione aumenta e la parte del cono riflesso, che ritorna verso il conducente, diminuisce. Questo è di fatto ciò che avviene per una sola perlina (vedere figura 10).

Per un tracciamento della strada con molte perline, altri fattori (come la formazione di un menisco della pittura sulla perlina e la luce raccolta che passa a perline più lontane dal conducente) cambiano il valore ottimale di immersione. Per le strisce il valore corrente per una prestazione ottimale è fra il 55% e 60% di immersione.

### *Dimensioni delle perline*

Fino a poco tempo fa l'uso di perline grosse, per incrementare la retroriflessione, è stato limitato. I materiali evidenziarono una significativa perdita di retroriflessione nel tempo dovuta all'aumentato consumo delle perline più grosse.

In uno studio recente Kalchbrenner indagò se era possibile usare queste grosse perline in un sistema di tracciamento stradale, utilizzando leganti sintetici migliori e resine, specialmente strisce in materiale termoplastico, poliestere e epossidico. Egli trovò che le grosse perline (40 mesh o più grosse) aumentavano la retroriflessione delle strisce. Quando usate con un appropriato sistema legante, queste potevano

tranquillamente durare a lungo. La figura 11 mostra l'andamento nel tempo delle prestazioni (coefficiente di luminanza retroriflessa) di perline, di dimensioni standard e grosse, misurate con un retroriflettometro MiroLux.

Le perline grosse sono efficienti specialmente quando le strade sono umide. La figura 12 mostra come il film acquoso (di spessore uguale al 10% del diametro delle perline) influenzi (negativamente) l'effetto lente di una perlina. La figura superiore mostra la stessa perlina in condizioni ambientali secche. Alcuni calcoli mostrano che una perlina di diametro due o tre volte più grande renderà trascurabile l'effetto dello stesso spessore di film, non appena questo spessore sarà molto piccolo rispetto al diametro della perlina grossa.

Le perline grosse possono avere un effetto positivo in certe condizioni. Ancora una volta si evidenzia il fatto che per i sistemi di delimitazione si devono considerare tutte le variabili più importanti quando si seleziona una granulometria delle perline.

Con lo scopo di avere un tracciamento stradale adatto a tutti i climi, la FHWA ha sviluppato tre nuove granulometrie di perline grosse, come perline alternative, da usare in materiali di tracciamento a pittura a base acquosa, epossidico, poliestere e termoplastico. Queste granulometrie, che variano da setaccio di dimensione n°8 a n°25, sono mostrate in tabella 1. La velocità di applicazione di perline grosse nei materiali suddetti sono menzionate nelle FP-92 della FHWA. Prove sul campo evidenziano che l'uso di perline grosse fornisce una buona visibilità delle strisce nelle notti di pioggia.

#### *Pitture premiscelate*

Per ottenere una lunga durabilità ed una migliore distribuzione delle perline, possono essere aggiunte delle perline di granulometria fine (da 60 a 200 mesh) alla formulazione della pittura, per ottenere una "pittura retroriflettente". La retroriflessione iniziale di pitture premiscelate è molto bassa poiché sono poche le perline esposte. Non appena la striscia è soggetta al traffico, il rivestimento sottile che copre le perline viene levato via. La retroriflessione, così, aumenta marcatamente e si mantiene per un periodo di tempo significativamente lungo. La retroriflessione iniziale può essere ottenuta facendo cadere perline di granulometria più grossolana sulla pittura premiscelata.

Durante gli anni '60 ed all'inizio degli anni '70, circa il 20 % delle compagnie statali autostradali usavano pitture con perline premiscelate cui venivano poi aggiunte altre perline per caduta. Sebbene la durabilità e la lucentezza delle strisce fu giudicata superiore, un certo numero di problemi fu riscontrato. La sedimentazione delle perline nella pittura durante lo stoccaggio era un grosso problema all'inizio, ma esso fu risolto in parte usando perline più piccole e degli agenti adatti alla sospensione delle perline nella formulazione della pittura. Apparecchiature a tamburo rotante e dispositivi di mescolamento furono anche sviluppati per attenuare il problema.

Un certo numero di utilizzatori della premiscelazione ha riscontrato un'eccessiva usura degli ugelli spruzzatori della pittura. Il personale preposto alla verniciatura generalmente mostra poco entusiasmo per questa tecnica, non appena si accorge che "il gioco non vale la candela". Di conseguenza solo pochi maggiori utilizzatori di pitture premiscelate restano, malgrado le prestazioni superiori di tale tecnica.

#### *Perline flottanti*

Per migliorare le prestazioni delle perline convenzionali, i produttori hanno sviluppato la tecnica delle perline flottanti. Le perline flottanti sono delle normali perline trattate con una speciale sostanza chimica che consente loro, grandi o piccole che siano, di galleggiare nella pittura umida piuttosto che sprofondare completamente nel film di pittura (figura 13). Poiché tutte le perline sono esposte, una striscia lucente può essere teoricamente ottenuta.

I due maggiori vantaggi associati con le perline flottanti riguardano l'applicazione e le prestazioni. Le perline flottanti forniscono un più regolare livello di lucentezza. Tutte le perline galleggiano in modo tale che la metà di ogni perlina è esposta, qualsiasi sia la variazione dello spessore del film di pittura. Con perline standard, una applicazione pesante di pittura sommergerà una grande quantità di perline, riducendo così la luminosità iniziale.

Le perline flottanti sono più costose di quelle convenzionali di molti cents per libbra, cosa che potrebbe essere significativa per le compagnie stradali che acquistano milioni di libbre di perline all'anno. Questo costo aggiuntivo, comunque, può essere in parte recuperato poiché meno libbre di perline più piccole sono richieste per fornire lo stesso livello di retroriflessione. Per esempio 4 libbre (1.8 kg) di perline più piccole producono corpi più riflettenti di 6 libbre (2.7 kg) di perline a granulometria mista.

Sapendo questo, una compagnia stradale può specificare un più basso numero di libbre di perline per gallone di materiale di tracciamento, con una maggiore percentuale in peso di perline più piccole. Ciò effettivamente aumenterà, o al limite manterrà costante, il numero totale di corpi retroriflettenti nella striscia. Questa tecnica dovrebbe essere inefficace con strisce contenenti perline convenzionali poiché molte perline più piccole affonderebbero al di sotto del 50% del proprio diametro, e perciò diventare non retroriflettenti, specialmente in materiali di tracciamento più spessi.

Un problema con le perline flottanti sorge in particolari condizioni. In zone dove le strade sono spesso umide e le strisce sono coperte da una pellicola di acqua, le strisce con perline flottanti potrebbero evidenziare una retroriflessione diminuita. Se la percentuale in peso di perline più piccole è aumentata, la retroriflessione umida sarà ridotta a causa dell'effetto del film di acqua discusso nelle precedenti sezioni.

Inoltre le perline flottanti sono di uso limitato per quei sistemi che richiedono l'applicazione delle perline per spruzzo. Per esempio in sistemi che usano pitture applicate a caldo, ad essiccamento rapido, la pittura schiuma così rapidamente che le perline sono applicate solo parzialmente nello spruzzo di pittura sotto pressione. Alcune perline sono perciò coperte dalla pittura e quindi non galleggeranno.

Poiché le perline flottanti non sono immerse totalmente, una striscia con tali perline spesso non dura come quella con perline convenzionali. Infatti non appena il film di pittura si consuma, le perline più grosse saranno perse velocemente poiché esse non sono più ancorate così profondamente come quando sono fissate nelle strisce con perline standard oppure quelle premiscelate. Non ci sono più perline sotto la superficie della striscia, che vengono esposte non appena essa si consuma. Perciò le perline flottanti vengono normalmente utilizzate come strumento per aumentare la retroriflessione iniziale, quando una lunga vita di servizio non è importante.

### *Problemi comuni*

In zone molto umide le perline applicate per caduta tendono ad assorbire umidità e perdere la propria "fluidità". L'assorbimento di umidità è dovuto all'alto valore di superficie specifica delle perline. Quindi le perline si attaccano fra loro, cadendo come una massa compatta piuttosto che come corpi individuali, cosicché si raggruppano nel film di pittura. E' cosa comune delle perline intasare l'equipaggiamento per la posa in opera della pittura, che quindi deve essere spesso pulito affinché possa continuare il tracciamento. Per evitare che le perline si raggruppino, si rendono queste impermeabili all'umidità aggiungendo una piccola quantità di polvere assorbente, come per esempio caolino, oppure rivestendo le perline con materiale avente proprietà del silicone.

Come per la granulometria, l'adeguata velocità di applicazione delle perline per una data quantità di materiale di tracciamento è incerta. Generalmente si è concordi col fatto che fattori quali le dimensioni delle perline, lo spessore del legante, il tipo di perline (flottanti o meno) e la vita di servizio prevista delle strisce retroriflettenti,

esercitano tutti un'influenza innegabile sulla velocità di applicazione ottimale. Numerosi studi di ricerca, che hanno implicato sia prove di laboratorio che sul campo, hanno tradotto l'effetto di questi fattori in termini di durabilità e costo-efficienza.

## **Retroriflessione prismatica ad angolo cubico**

L'uso più comune della retroriflessione prismatica ad angolo cubico è negli inserti stradali catarifrangenti. Un rivestimento prismatico è anche usato per i "bottoni" retroriflettenti dei delineatori di margine. Per semplicità si parlerà della retroriflessione prismatica degli inserti stradali.

### *Descrizione fisica*

Gli inserti stradali si trovano in una varietà di configurazioni; alcuni hanno una caratteristica forma a cuneo, alcuni sono rotondi oppure ovali, alcuni hanno o meno "inserti" retroriflettenti sostituibili, eccetera. Una più completa panoramica delle caratteristiche fisiche degli inserti stradali si trova nel capitolo 7.

La maggior parte degli inserti stradali impiega riflettori prismatici ad angolo cubico per ottenere le necessarie caratteristiche di retroriflessione, ma alcuni utilizzano anche le perline. Le perline utilizzate negli inserti stradali funzionano allo stesso modo di quelle utilizzate nelle strisce, tranne per il fatto che il punto luminoso creato dall'effetto lente della perlina è riflesso diffusamente dall'alloggiamento in plastica dell'inserto, o dallo strato di base dell'elemento retroriflettente, invece che dai pigmenti presenti nello strato legante della pittura. Poiché le caratteristiche fisiche di retroriflessione delle perline sono state discusse nella sezione precedente, la seguente trattazione sarà focalizzata sui retroriflettori prismatici ad angolo cubico e sul loro uso negli inserti stradali.

### *Proprietà retroriflettenti*

La retroriflessione prismatica degli inserti stradali è ottenuta attraverso l'uso di molti minuscoli elementi retroriflettenti ad angolo cubico in un elemento oppure in un rivestimento retroriflettente sulla faccia dell'inserto. Ciascun elemento è un minuscolo mezzo-cubo aperto nella direzione del conducente. Quando un raggio luminoso entra nel cubo, esso rimbalza su ciascuna faccia riflettente dell'elemento ad angolo cubico. Il componente del raggio perpendicolare al piano della superficie è invertito. Alla fine tutti e tre i componenti direzionali vengono invertiti, e la direzione di uscita del raggio luminoso è quasi uguale, ma di verso opposto, alla direzione della luce incidente (vedi figura 14).

La misura in laboratorio della retroriflessione è simile, ma più semplice, di quella delle strisce. Ciascun inserto testato avrà un'area ed una geometria ben definita in ciascuna prova, che sarà probabilmente conforme per le varie compagnie che effettuano le prove. Le norme ASTM furono originariamente scritte con l'intenzione di essere utilizzate per condurre prove su retroriflettori di area limitata con una geometria di prova fissata. La geometria e l'area devono essere invariabili per assicurare dei risultati consistenti per i coefficienti di retroriflessione.

La figura 15, presa dallo "*Standard Practice for Describing Retroreflection (ASTM Standard E808-91)*", illustra un metodo di prova per la retroriflessione che è naturalmente compatibile con le prove di laboratorio degli inserti o dei loro elementi retroriflettenti. La figura mostra inoltre che i metodi di prova non sono stati sviluppati avendo le strisce come interesse originario. Bisogna stare attenti a non paragonare i risultati per il coefficiente di retroriflessione degli inserti con quelli per il coefficiente di luminanza retroriflessa,  $R_L$ , delle strisce. Questi coefficienti sono misurati in modo differente; i risultati non saranno consistenti.

Sebbene gli standards sono adatti per la misura in laboratorio della retroriflessione degli inserti stradali, esiste ancora qualche difficoltà con le misure in campo. Ci sono numerosi problemi nella creazione di un dispositivo

che misuri la retroriflessione degli inserti in campo a causa del bisogno di collimazione e dei problemi di sistemazione ed esclusione della luce.

Un metodo errato, che è spesso utilizzato dai ricercatori e dalle compagnie stradali, comporta semplicemente la misura della distanza cui gli inserti sono visibili se sono illuminati da fari abbaglianti standard di un'automobile. Tale metodo è stato scoraggiato poiché gli automobilisti raramente guidano con gli abbaglianti, ed i risultati del calcolo di tale distanza sono alquanto ingannevoli. C'è una piccola dimostrazione che correla le prestazioni degli inserti illuminati da abbaglianti con quelle che si hanno quando sono illuminati da anabbaglianti.

Il problema principale riguardo alle prestazioni di retroriflessione degli inserti è quanto velocemente queste diminuiscano. Van Gorkum afferma che gli inserti, in media, perdono il 95% della propria retroriflessione nei primi sei mesi di utilizzo. Comunque buona parte di questa retroriflessione viene recuperata durante i periodi in cui l'aria è umida, quando l'acqua riempie le scalfitture superficiali sulla faccia dell'inserto. Più informazioni, sui problemi di retroriflessione degli inserti e sulle possibili soluzioni, sono date nel capitolo 7.

## **VERIFICA DI QUALITA'**

Uno dei problemi che si ha con le strisce stradali è la loro discontinuità (di rendimento). Le compagnie stradali non possono prevedere realmente le loro prestazioni. Alcuni metodi, che sono stati istituiti per rimediare a queste discontinuità ed assicurare la qualità dei materiali, sono discussi nelle seguenti sezioni.

### **Certificazione del produttore**

La certificazione del produttore per i materiali di tracciamento stradale è di interesse crescente. La prestazione in termini di retroriflessione è probabilmente il principale barometro dell'efficienza globale delle strisce stradali. Comunque è difficile effettuare prove, così come eseguire prove per tutte le strisce già applicate.

Attualmente molti Dipartimenti dei Trasporti di vari Stati conservano una lista di produttori "pre- qualificati". Questa pre- qualificazione è realizzata regolarmente attraverso l'approvvigionamento e l'esecuzione di prove su prodotti di molti differenti produttori, e tenendo una lista di quei produttori sui cui materiali ci si può fare affidamento per avere delle buone prestazioni. Si può ottenere un migliore sistema segnaletico, sono richieste ispezioni delle strisce meno rigorose, si ottiene una maggiore uniformità di tracciamento e si spera di ottenere un'efficienza globale.

#### *Prelevamento materiali*

Per conservare una lista globale di produttori qualificati, una varietà di produttori, prodotti e materiali da tracciamento deve essere vagliata. Perciò l'operazione di approvvigionamento dei materiali da testare risulta essere una fase molto importante. Procurarsi una varietà di materiali da testare può essere costoso. L'origine del materiale deve essere esaminata molto attentamente cosicché solo materiali e produttori "promettenti" sono selezionati per minimizzare la perdita di tempo e denaro.

#### *Esecuzione delle prove*

Dopo che una lista dei potenziali fornitori è stata creata e i campioni prelevati, le prove devono essere condotte per valutare le prestazioni dei materiali. La valutazione delle prestazioni effettive consiste di solito nell'esecuzione sia di prove in laboratorio che sul campo.

Le prove di laboratorio consistono in prove chimiche e di altri tipi per essere sicuri che il materiale utilizzato rispetti tutte le specifiche di composizione, lucentezza, resistenza alla gelatinizzazione e all'agglomerazione, e così via. Ciascun Stato normalmente ha qualche genere di laboratorio dei materiali o chimico dove queste prove possono essere realizzate.

Inoltre ciascun Stato avrà normalmente una struttura per eseguire prove sulle pitture dove le strisce sono tracciate sulla strada ed osservate per determinare durabilità e visibilità. Spesso queste strisce sono tracciate trasversalmente in modo tale da accelerarne l'usura. Ci sono delle equazioni di correlazione per compensare la durabilità al passaggio delle ruote rispetto a quella delle strisce longitudinali.

Le strisce sono anche testate per misurarne la retroriflessione e la scivolosità sia in laboratorio che sul campo. I risultati di tutte queste prove saranno raccolti per costruire una lista di produttori e prodotti che rispettano gli standard di ciascun Stato.

### **Strutture regionali per eseguire prove**

L'approvvigionamento e l'esecuzione di prove possono essere costose e richiedere del tempo. Un programma è stato iniziato per sviluppare strutture regionali per l'esecuzione delle prove in modo tale che gli Stati, appartenenti a quella regione, non eseguiranno prove in soprannumero.

Le strutture regionali per le prove hanno la responsabilità dell'esecuzione delle prove e della stesura delle specifiche che sono utilizzate da tutti gli Stati appartenenti a quella regione. Il numero di strutture regionali per le prove dovrebbe essere abbastanza grande, in modo che le condizioni in ciascuna regione siano le stesse per tutti gli Stati componenti, riguardo alle necessità di delineazione, caratteristiche climatiche e prezzo dei materiali e fornitori. Due strutture regionali per prove sono state costituite, una nel Nord- Est e l'altra nel Sud- Est.

Nel Nord- Est c'è una sola struttura per prove, fondata dalla NASHTO (Northeastern Association of State Highway and Transportation Officials), che si trova nel Dipartimento dei Trasporti della Pennsylvania (PennDOT). Attualmente la NASHTO non conserva una propria lista di fornitori prequalificati, ma coopera con altri 11 Stati del Nord- Est per eseguire prove sui materiali di possibili fornitori, che potrebbero essere utilizzati da tutti gli Stati appartenenti. La struttura è situata nel laboratorio di prove sui materiali del PennDOT, mantenendo i costi al minimo. Il PennDOT agisce come una forza organizzativa per coordinare e confrontare gli sforzi di esecuzione delle prove in tutti gli Stati del Nord- Est. Essa è stata inizialmente finanziata in parte da un contratto dell'FHWA per eseguire prove sui materiali di tracciamento stradale.

La SRTF (Southeastern Regional Test Facility) fu creata da una commissione ad hoc della SASHTO (Southeastern Association of State Highway and Transportation Officials) nel 1988, con l'obiettivo di organizzare gli sforzi di ciascun Stato nell'esecuzione delle prove sui materiali. La SRTF differisce dalla struttura della NASHTO per il fatto che essa non ha una collocazione centrale. Piuttosto essa è semplicemente un'organizzazione di personale, edifici ed attrezzatura stradale già esistente all'interno della regione del SASHTO. Dei 12 Stati della SASHTO, 11 sono attualmente coinvolti in qualche tipo di prova sui materiali per il programma. In questo modo, dalla combinazione delle risorse dei vari Stati, il programma favorisce l'efficienza economica per gli Stati partecipanti. Inoltre essa crea un sistema di tracciamento uniforme in tutti gli Stati partecipanti. Uno dei problemi con i sistemi di tracciamento stradale è stato, in passato, un inadeguato trasferimento di tecnologia fra le varie compagnie stradali. Ciò è stato dovuto, in larga parte, ad una mancanza di norme che si rivolgessero verso il problema del tracciamento stradale, ed all'incoerenza delle norme che esistevano. L'enorme varietà di metodi di prova di laboratorio e sul campo, utilizzati dagli Stati, ha anche contribuito al problema. La rete regionale di strutture di prova promossa dall'FHWA dovrebbe alleviare questi problemi.

## CAPITOLO 3

### NECESSITA' DELLA VISIBILITA' DELLA DELINEAZIONE PER IL CONDUCENTE

#### INTRODUZIONE

Il primo proposito di un sistema di delineazione stradale è fornire l'informazione visiva necessaria al conducente per manovrare in sicurezza il veicolo in tutte le situazioni. La tecnica di delineazione utilizzata deve definire il campo di spostamento sicuro, e la delineazione deve essere visibile sia di giorno che di notte, così come in periodi di avverse condizioni meteorologiche, cioè con pioggia e nebbia.

Questo capitolo tratterà come realizzare il compito di fornire un'adeguata delineazione e quali parametri fisici, come luminanza e contrasto, influenzano la comunicazione dell'informazione visiva. Raccomandazioni saranno date circa il minimo valore di questi parametri e le distanze di visibilità per una varietà di situazioni. È trattato anche il perché la visibilità dovrebbe essere incrementata al suo massimo livello (un'elevata luminosità è necessaria per conducenti anziani, per esempio).

Infine sono esaminate le caratteristiche delle strade e del traffico, che influenzano la retroriflessione dei sistemi di delineazione. Le proprietà dei materiali retroriflettenti (e della superficie della pavimentazione) influenzano molti dei materiali e dei dispositivi di tracciamento stradale. Una breve discussione di queste variabili è anche inclusa per fornire una conoscenza base per i capitoli successivi.

#### Visibilità del conducente

La forma ideale di delineazione è quella che fornisce la migliore informazione ed il miglior avviso al conducente. Studi sono stati fatti per definire le caratteristiche comportamentali e di percezione dei conducenti e porre in relazione questi fattori umani alla sicurezza ed all'efficienza operativa del sistema nazionale stradale. Questa ricerca ha giocato un ruolo importante nello sviluppo di nuovi materiali, specifiche e norme. Il campo di ricerca dei fattori umani relativi al modo di guidare è molto più complesso per essere incluso solo come una parte di questo manuale. La trattazione è limitata ad un riassunto delle caratteristiche del conducente che influenzano il progetto e la messa in opera di un sistema di delineazione.

Generalmente l'abilità del conducente a manovrare il veicolo in condizioni di sicurezza è basata sulla percezione del guidatore di una situazione, sul livello di prontezza, sulla quantità di informazioni disponibili, e sull'abilità del guidatore ad assimilare l'informazione disponibile. I compiti del conducente sono i seguenti:

- controllo; la manipolazione fisica del veicolo. In questa azione evidente, il conducente usa il volante per mantenere il controllo laterale e longitudinale del veicolo.
- guida; la selezione di una velocità e di una traiettoria sicura. In questo processo decisionale, il conducente deve prima valutare la situazione per determinare la velocità e la traiettoria appropriata alle condizioni esistenti. Successivamente egli deve tradurre queste decisioni in azioni di controllo (posizionarsi nella corsia, distanza di sicurezza, superare un altro veicolo, eccetera).
- percorso; la pianificazione e lo svolgimento del viaggio, dall'origine alla destinazione.

Di questi tre compiti, la mancanza di controllo ha come conseguenza potenziale più grave quella dell'incidente.

## Conducenti anziani

In aggiunta ai requisiti rigorosi per la delineazione determinati secondo le caratteristiche psicofisiche della gente "normale", ci sono individui il cui bisogno di visibilità è alquanto elevato. Questi sono persone con vista ridotta o indebolita, con deficienze nella visione dei colori, o quelle che guidano sotto l'influenza di alcolici. Ma forse il gruppo più importante è quello dei guidatori con più di 55 anni. Questo gruppo è il segmento di popolazione che sta crescendo più rapidamente e c'è uno studio significativo che indica che tali persone hanno bisogno di una visibilità più accentuata sulle strade.

Un recente studio della *Transportation Research Board* fornisce una misura quantitativa della differenza nella capacità visiva dovuta all'età. Il documento definisce come *soglia di contrasto* la minima differenza fra la luminanza di un oggetto e la luminanza del suo sottofondo necessaria per la rilevazione dell'oggetto stesso. Nella figura 16 il valore soglia, per una persona di 65 anni, è in media circa il doppio di quello di un ragazzo di età inferiore a 23 anni.

Mace ha mostrato che il tempo di reazione di un guidatore cresce continuamente con l'età. Questo significa che anche la minima distanza di visibilità richiesta per conducenti più anziani cresce con la complessità delle decisioni da prendere. Questi cambiamenti sono causati da una diminuzione dell'abilità di cognizione e della capacità psicomotoria associata all'età avanzata.

In termini di delineazione stradale, queste esigenze richiedono l'uso di delineatori più luminosi per incrementare la distanza di visibilità e di tipi e quantità aggiuntive di dispositivi di delineazione per aumentare le informazioni disponibili.

Per queste ragioni, le strisce, i segnali ed altri dispositivi di sicurezza stradale potrebbero risultare non adeguati per conducenti di tutte le età. In alcuni casi, conducenti di età pari a 65 anni, o più, hanno bisogno di una luminosità quattro volte più elevata di quelli di età pari a 39 anni. Inoltre l'evidenza supporta il fatto che conducenti più anziani attuano una strategia di ricerca meno flessibile. Essi guardano meno elementi sulla strada, in un dato intervallo di tempo, rispetto a conducenti più giovani. Perciò è importante offrire alle persone più anziane forme di segnalamento più luminose e sovrabbondanti. I trattamenti di delineazione raccomandati, per fornire ai conducenti più anziani la visibilità che essi richiedono, includono, come miglioramenti, strisce di margine di 8 in. (20 cm), sostegni speciali per i delineatori post-montati, una migliore retroriflessione per aumentare la luminosità delle strisce ed il loro contrasto con la pavimentazione.

## CRITERI DI VISIBILITA'

Diversi criteri determinano la visibilità della delineazione. Questi criteri sono utilizzati in modo simile a quelli dei segnali stradali. La trattazione seguente di tali criteri è derivata da un programma di ricerca della FHWA riguardante la visibilità dei segnali autostradali.

### Luminanza

La luminanza, nell'ambito della visibilità della delineazione, è la quantità totale di luce che il conducente riceve da una striscia. Come mostrato in figura 17, la luce proveniente dai fari dell'automobile è retroriflessa dalla striscia in un cono che si forma attorno la direzione dei fari. La luminanza della striscia è direttamente proporzionale alla quantità di questa energia luminosa che è diretta verso l'occhio del conducente.

## Contrasto

Il contrasto è il rapporto tra la luminanza della striscia e quella del sottofondo, misurata dalla posizione del conducente. Molto più importante per la visibilità globale della luminanza, il contrasto dice chiaramente come un oggetto spicca dal sottofondo. Perciò il contrasto rappresenta una miglior misura della visibilità di una striscia stradale.

## Vistosità

La vistosità si riferisce alla probabilità con cui un conducente noterà un certo oggetto ad una data distanza. E' probabilmente la miglior misura della visibilità, ma è anche la più difficile da quantificare. A differenza della luminanza e del contrasto, la vistosità non è semplicemente una determinata quantità ottica. Essa dipende da una varietà di fattori, molti dei quali non prevedibili.

La vistosità è probabilmente più relazionata al contrasto che alla luminanza, poiché il contrasto definisce come facilmente un oggetto può essere visto rispetto al suo sottofondo. Sfortunatamente dipende anche dalle capacità del guidatore, dal suo stato d'animo e dal livello cui l'oggetto è visto (caratteristiche soggettive). E' anche direttamente relazionata, ma in modo enigmatico, alla complessità visiva dello scenario che il guidatore percepisce.

Come molti altri fattori di vistosità, la complessità visiva è un fenomeno enigmatico. E' difficile anche quantificare i fattori di vistosità e molto di più combinare loro in modo che diano luogo ad un valore numerico della vistosità. La vistosità è una quantità che può essere valutata solo empiricamente.

Comunque Schwab e Mace hanno studiato gli effetti che uno sfondo complesso ha sulla visibilità del segnale. (Gli interessati ai metodi di questa ricerca possono riferirsi al lavoro originale: *Schwab & Mace – "Luminance requirements for signs with complex backgrounds" – Public Roads – Volume 2, n°51, pp. 48-55*).

## Leggibilità

La leggibilità si riferisce alla probabilità che un conducente avrà nel capire il messaggio che la delineazione intende trasmettere. E' una quantità che è anche meno evidente della vistosità.

La leggibilità dipende da un numero quasi infinito di fattori, alcuni dei quali sono ben conosciuti. Inoltre i criteri con cui la leggibilità può essere valutata differiscono per vari tipi di delineazione.

Nel campo del segnalamento stradale, relazioni empiriche sono state trovate per la leggibilità basate su variabili quali altezza del carattere, colore, spaziatura e larghezza del tratto. Questi stessi criteri si applicano a forme di delineazione tali da includere i delineatori modulari di curva (*Chevron sign*), *Large arrow sign*, *Turn sign* e *Curve sign*.

Comunque queste variabili hanno poco o nessun significato quando sono applicate alle strisce o agli inserti stradali (RPM: raised pavement marker). Per questi tipi di delineazione potrebbe essere più importante che essi abbiano un sufficiente contrasto con la pavimentazione, siano consistenti con altri tracciamenti simili e non entrino in conflitto con altri tipi di delineazione o segnalazione vicini.

## **DISTANZA DI VISIBILITA' DELLE STRISCE**

La distanza di visibilità si riferisce all'intervallo (di spazio) in cui una striscia può essere vista. Essa non garantisce che un dato guidatore noterà effettivamente la striscia o percepirà correttamente il suo significato. Queste caratteristiche si riferiscono alla vistosità e alla leggibilità. La distanza di visibilità specifica solo la distanza cui un dato conducente è capace di vedere una striscia.

Poiché la visibilità non comprende una reazione umana nell'accezione del termine, essa è quantificabile ed è direttamente dipendente dalla luminanza e dal contrasto della striscia e dalla sensibilità al contrasto del guidatore.

### **Azioni del conducente**

Nella segnalazione stradale la distanza di visibilità minima è determinata da certe azioni del conducente. La distanza di visibilità deve essere abbastanza grande affinché tutte le azioni del conducente avvengano prima che l'informazione comunicata dal segnale "abbia luogo".

Le strisce di delineazione sono differenti dai segnali perché comunicano un messaggio continuo. Comunque la delineazione è simile alla segnalazione stradale perché la distanza di visibilità delle strisce è importante per dare un sufficiente avvertimento del cambiamento dell'allineamento stradale. In base alle azioni del conducente che devono aver luogo per la segnalazione, le seguenti azioni del conducente riguardano la delineazione:

- percepire cambi nella delineazione (cambiamento di direzione, curva, rampa di uscita autostradale);
- riconoscere il messaggio che la striscia riferisce;
- decidere la reazione appropriata;
- iniziare la reazione;
- completare la manovra del veicolo.

Un'adeguata distanza di visibilità permetterà al conducente di avere sufficiente tempo per poter eseguire tutte queste azioni.

### **Linee guida per una segnaletica efficiente**

Uno studio della FHWA del 1988 ha combinato l'uso di simulazioni sul computer, studi basati sull'osservazione in campo ed esperimenti condotti in laboratorio per determinare i requisiti per una delineazione efficace. Si era pervenuti a due conclusioni circa il tempo di reazione che la delineazione dovrebbe fornire.

Primo, la delineazione dovrebbe fornire un minimo di 2 secondi di tempo di reazione per un controllo a corto raggio in situazioni estreme. Questo valore è in accordo con quello stabilito da Allen per la distanza di visibilità a corto raggio. Questo valore si applica in situazioni estreme, come in caso di forte pioggia o nebbia oppure di abbagliamento provocato dai fari di auto provenienti in direzione opposta. Il tempo di reazione è importante perché la vista della strada, in avanti, è molto limitata, costringendo il conducente ad avere fiducia nella strada e nelle informazioni sul traffico che è visibile solo a breve distanza. Il conducente deve rispondere velocemente ai pericoli percepiti o ai cambi nell'allineamento, facendo frequenti manovre e cambi di velocità per correggere gli errori. La risposta del conducente richiede un'elevata attenzione e concentrazione sulle brevi visioni della delineazione. La distanza di visibilità della delineazione deve fornire un tempo sufficiente al conducente a percepirla, riconoscere in anticipo le caratteristiche della strada e l'allineamento, e rispondere

con aggiustamenti di manovra e di velocità. Un tempo di reazione di 2 secondi è stato trovato essere il limite minimo accettabile di sicurezza. A 25 miglia/h (40 Km/h) le strisce devono essere visibili minimo fino a 75 piedi (25 metri); a 55 miglia/h (90 Km/h) le strisce devono essere visibili minimo fino a 160 piedi (48 metri). Le strisce stradali di solito sono adeguate a fornire queste distanze di visibilità.

Secondo, la delineaazione dovrebbe fornire un minimo di 3 secondi di tempo di reazione in modo tale che i conducenti siano forniti di una informazione di guida a lungo raggio. Questo valore è in accordo con quello stabilito da prime ricerche sulla delineaazione a lungo raggio fatte da Godthelp e Riemersma. Quando i conducenti hanno a disposizione 3 o più secondi per valutare la delineaazione, il compito di manovrare il veicolo è sostanzialmente più agevole. Il conducente non esegue costantemente a lungo delle rapide correzioni agli errori di guida, ma può fare assegnamento sulle informazioni stradali poste più avanti. Le informazioni a lungo raggio permettono un'abilità di guida più collaudata e più automatica che risulta in manovre meno brusche e nel controllo della velocità. A 25 miglia/h (40 km/h) le strisce devono essere visibili minimo fino a 110 piedi (34 metri); a 55 miglia/h (90 km/h) le strisce devono essere visibili minimo fino a 250 piedi (76 metri). Di solito sono necessari gli inserti stradali (RPM) ed i delinearori di margine (PMD) per questa distanza di visibilità.

## **PARAMETRI DI VISIBILITA'**

Ci sono un certo numero di parametri che limitano la visibilità della delineaazione. La prima categoria, parametri fisici, sono creati dai limiti della percezione sensoriale del conducente. La vista e l'udito, di un particolare conducente, sono solo capaci di percepire una certa soglia di fenomeni sensoriali. Un aspetto importante, quando si progettano dei sistemi di delineaazione, è come le condizioni climatiche avverse ed altre condizioni diminuiscono gli stimoli del conducente.

La seconda categoria di parametri che limitano la visibilità della delineaazione, parametri psicofisici, sono le limitazioni alle prestazioni del conducente dovute alla propria limitata abilità ad assimilare e capire gli stimoli che i suoi sensi sono capaci di percepire.

### **Parametri fisici**

La percezione visiva è critica per la guida. Per essere efficienti le strisce devono presentare un'appropriata indicazione visiva. Come base per il controllo del veicolo, l'abilità di vedere e percepire è funzione del contrasto fra strada e sfondo, particolarmente di notte. Il bisogno di contrasto decresce con una maggiore luminanza dello sfondo; perciò c'è una migliore distinzione di giorno. Durante le ore diurne, la visibilità presenta pochi problemi perché l'informazione visiva è indirettamente disponibile dalle caratteristiche stradali e dal terreno circostante; quindi la delineaazione è meno importante per la guida. Di notte, questi delinearori indiretti sono meno efficienti e l'automobilista deve affidarsi alle strisce per percepire la via sicura di viaggio. La visibilità a lungo raggio è ristretta quando il contrasto e la luminanza sono ridotte. La pioggia e le altre condizioni meteorologiche avverse abbassano ulteriormente la visibilità della delineaazione.

#### *Raccomandazioni sui parametri fisici*

Poiché la visibilità è cruciale per la guida, una ricerca significativa è stata dedicata a definire i minimi valori dei parametri fisici che si avranno per un'adeguata visibilità. Freedman e colleghi hanno concluso che la delineaazione dovrebbe fornire un minimo contrasto di luminanza di 1.0 ai conducenti per avere un'adeguata guida visiva quando c'è un abbagliamento sulla superficie asciutta della pavimentazione. Studi analitici hanno indicato che, in condizioni ideali, un contrasto di 0.5 è necessario per il conducente medio. Comunque le condizioni sono raramente ideali. Infatti condizioni di pavimentazione umida possono diventare peggiori delle condizioni di abbagliamento all'asciutto. Uno studio dell'Università della Carolina del Nord ha mostrato l'importanza della retroriflessione per la visibilità in notti umide. La visibilità minima, stabilita per condizioni

asciutte, corrispondeva a 93 mcd/lux·m<sup>2</sup> letto su un dispositivo Mirolux. Comunque un altro tracciamento avrebbe bisogno di una lettura in condizioni asciutte di 180 mcd/lux·m<sup>2</sup>, quasi il doppio del primo, per ricevere un'equivalente efficacia di prestazione quando la pavimentazione fosse umida.

Inoltre conducenti più anziani e menomati spesso richiedono un tempo di reazione più lungo. Freeman e colleghi hanno indicato di raddoppiare il valore del contrasto di luminanza per tener conto di questi fattori. Per ottenere un tempo di reazione di 3 secondi per conducenti più anziani, o per conducenti più giovani su strade bagnate, un contrasto da 2.0 a 3.0 è accettabile. Per strade asciutte questo può essere ottenuto se le strisce forniscono una retroriflessione da 64 a 127 mcd/lux·m<sup>2</sup>.

In un altro studio, Henry e Attaway hanno stabilito in 100 mcd/lux·m<sup>2</sup> il minimo livello di retroriflessione su strade asciutte. Un valore più alto di retroriflessione è raccomandato per tener conto di condizioni meno favorevoli e di conducenti con capacità visive e psicofisiche ridotte. Dove non è possibile ottenere o mantenere tali livelli di retroriflessione, una delineazione supplementare, come strisce speciali o inserti stradali, potrebbe essere appropriata.

### *Effetti di visibilità avversa*

Poiché un'adeguata visibilità è stata dimostrata essere vitale per le prestazioni del conducente, molte ricerche sono state dedicate all'effetto che una diminuzione di visibilità avrà sul guidatore.

Esperimenti di simulazione e prove sul campo, condotte da Allen e colleghi, hanno fornito tante intuizioni sulle prestazioni del conducente in condizioni di visibilità avverse.

Primo, non appena la distanza di visibilità è ridotta, la configurazione o il tipo di delineazione diviene più importante. Linee di margine continue, linee tratteggiate con tratti più lunghi e più vicine fra loro, tendono a opporsi ad alcuni degli effetti della visibilità ridotta.

Secondo, il cofano dell'automobile restringe la vista minima in avanti ad approssimativamente 20 piedi (6 metri) oltre la posizione del guidatore. Quando un segmento di striscia sparisce sotto la linea del cofano, prima che il segmento del tratto seguente sia visibile, la prestazione di manovra diviene irregolare. La lunghezza dell'intervallo di delineazione è una variabile chiave.

Terzo, segmenti di striscia più lunghi possono dare alcune indicazioni sulla curvatura della strada anche se solo un segmento è visibile. Gli inserti stradali (RPM) retroriflettenti non forniscono un'informazione sulla curvatura a meno che più di un inserto sia visibile. Perciò gli inserti stradali dovrebbero essere posizionati più vicini tra loro su di un tratto di curva. Infine la velocità ottimale decresce con la riduzione della visibilità oppure, a velocità costante, le prestazioni di manovra decrescono.

Riassumendo, esperimenti di simulazione hanno indicato che la manovrabilità si relaziona agli effetti combinati di visibilità ridotta e configurazione di delineazione. Perciò la manovrabilità del veicolo decresce con il decrescere della distanza di visibilità e con una riduzione della quantità totale di informazioni che vengono fornite al conducente. Questo suggerisce che la distanza di visibilità e le caratteristiche di delineazione sono delle variabili importanti nel progetto di sistemi di delineazione.

In condizioni ottime di visibilità i conducenti tendono a posizionare i propri veicoli un po' a sinistra del centro della corsia. Questo perché il guidatore è seduto a sinistra ed ha una vista migliore del lato sinistro del veicolo. Questa posizione permette anche al guidatore di mantenere una posizione laterale relativamente costante rispetto alla corsia di sinistra oppure alla linea centrale.

Prove sul campo hanno rilevato delle variazioni interessanti di questo comportamento. Quando la visibilità della delineazione è stata ridotta, sia dalla riduzione di contrasto sia dal film coprente di acqua, i guidatori hanno spostato i propri veicoli dalla posizione sinistra della corsia verso il centro della corsia stessa. Un incremento nella variazione dalla posizione laterale dei veicoli ha mostrato un decremento nella prestazione del controllo laterale. La velocità media non era influenzata significativamente se non in condizioni di pioggia. In caso di pioggia, la riduzione della velocità media era di circa 2 miglia/h (3.2 km/h), nelle peggiori condizioni di visibilità. Infine il controllo della velocità sembrava non essere generalmente influenzato sebbene la variazione di velocità dei veicoli fosse uniformemente più elevata in caso di pioggia.

Questi esperimenti hanno dimostrato una relazione sistematica fra il contrasto delle strisce stradali e l'abilità del conducente a mantenere costantemente la posizione del veicolo sul percorso di viaggio. L'espressione per questo tipo di relazione può essere utilizzata per prevedere inavvertite escursioni dei veicoli dalla corsia di traffico, in funzione del contrasto delle strisce. Perciò una relazione fra contrasto e incidente potenziale può essere stabilita.

Esperimenti condotti in condizioni di pioggia hanno indicato l'efficacia degli inserti retroriflettenti e l'inadeguatezza delle strisce per la guida. Con le sole strisce, in condizioni di pioggia, i conducenti hanno rivelato una combinazione potenzialmente pericolosa tra l'incremento di incostanza nel mantenere la posizione laterale e una diminuzione della distanza media dalla linea di corsia. Nello stesso tempo essi hanno mostrato segnali di elevata agitazione, che indicava che essi stavano compiendo un grande sforzo. Quando essi ritornavano su di un tratto stradale in cui gli inserti facevano da supporto alle strisce stradali, il loro rendimento si ristabiliva ed il loro stress psico-fisiologico ritornava a livelli normali. Anche in condizioni di tempo asciutto l'incostanza nel mantenere la posizione laterale era diminuita quando gli inserti stradali erano utilizzati insieme alle strisce. Con ciò non si può concludere che l'aggiunta degli inserti migliora le prestazioni di guida in tutte le circostanze, sebbene sia evidente che tale miglioramento avviene.

Progressi nella tecnologia dei materiali potrebbe migliorare le prestazioni delle sole strisce. Una ricerca sulla delineazione condotta dall'Università della Carolina del Nord ha studiato l'efficienza delle perline più grosse per un incremento della retroriflessione. Lo studio ha valutato la prestazione dei materiali delle strisce in condizioni di tempo umido e notturne. Sette differenti strisce a nastro ed una formulazione di materiale termoplastico sono state valutate in condizioni di asciutto e bagnato con il retroriflettometro MiroLux. In accordo a tale studio, "in condizioni effettive di pioggia sul campo, strisce della VISIBead (Potters Industries, Parsippany, NJ) hanno dato una distanza di visibilità doppia o maggiore della distanza di visibilità data da strisce simili ma con perline standard".

In passato l'uso di queste perline grosse è stato ristretto a materiali con leganti forti o resine, come quelle termoplastiche, epossidiche e poliestere. Le industrie Potters hanno formulato una linea di VISIBead per l'uso con pitture stradali al lattice. La formulazione ha già completato un test di valutazione di nove mesi in cui le perline hanno resistito fermamente nella pittura dopo il passaggio di tre spazzaneve.

Questi tipi di progressi nella tecnologia del tracciamento stradale possono eventualmente rendere le sole strisce altrettanto efficienti quanto le strisce più gli inserti, ma ad un costo inferiore.

### **Parametri psicofisici**

Un rapporto della FHWA definisce i seguenti parametri psicofisici che influiscono sulle prestazioni di guida: abilità di percezione del guidatore; abilità di cognizione del guidatore; abilità psicomotoria del guidatore. Il campo di ricerca dei fattori umani tenta di definire come questi parametri influenzino i conducenti in modo che un sistema di delineazione più efficiente possa essere progettato.

Comunque questo manuale si concentrerà semplicemente sulle relazioni empiriche per determinare come questi parametri influenzano le prestazioni in specifiche condizioni stradali. Dalla comparazione della prestazione con una varietà di trattamenti di delineazione, livelli relativi di efficienza possono essere determinati. Una ricerca condotta in questo modo è discussa di seguito.

Freedman e colleghi hanno fatto osservazioni riguardo agli effetti dei parametri psicofisici, focalizzandosi sull'effetto che la complessità visiva di una scena ha sulla prestazione di guida.

I loro studi di laboratorio hanno indicato che in situazioni dove alcune richieste sono fatte per l'attenzione del conducente, la presenza di oggetti stabili sul lato della strada, come luci, segnali, edifici, tendono a ridurre il bisogno di una delineazione ad alto livello. Comunque dove la complessità visiva coesiste con operazioni che esigono traffico, una delineazione ad alto livello, che includa tracciamenti più visivamente sporgenti, come gli inserti stradali (RPM) e i delineatori (PMD), è preferita dai conducenti.

Per curve orizzontali simulate su superfici bagnate o asciutte, la combinazione di strisce con RPM e strisce con PMD è stata associata con un controllo del veicolo più calmo ed un migliore allineamento in corsia. La presenza di una simulata complessità visiva non riduce la prestazione di guida. Per biforcazioni simulate su superfici bagnate, trattamenti di delineazione completi di strisce più RPM o strisce più PMD è stata associata ad un controllo calmo del veicolo, specialmente dove la complessità visiva dello sfondo era alta. Per corsie simulate di svolta a sinistra su superfici bagnate, trattamenti di delineazione comprendenti RPM è stata associata con prestazioni di guida tranquille, specialmente se la complessità visiva circostante era alta.

I ricercatori hanno notato che le correnti linee guida per la selezione di trattamenti di delineazione non tengono conto della complessità visiva dell'ambiente circostante.

I risultati di prove di laboratorio hanno concordato con i risultati che si sono ottenuti dall'osservazione condotta sul campo da alcuni ricercatori nello studio su curve orizzontali. Tracciamenti paragonabili a strisce con RPM, PMD e segnali "Chevron" (delineatori modulari di curva) hanno dato luogo a risultati simili ai precedenti studi di velocità e allineamento in corsia. Gli effetti individuali dei RPM, PMD, e dei segnali non potrebbe essere analizzato separatamente, ma la loro combinazione con le strisce stradali altamente visibili hanno dimostrato un migliore allineamento in corsia e suggerito che i conducenti ottenevano più facilmente una appropriata guida visiva con una delineazione più marcata.

Hoffman e Firth hanno studiato la visibilità delle strisce. Hanno riscontrato che le letture di retroriflessione dello strumento (Erichsen) corrispondevano linearmente alle valutazioni degli osservatori della visione delle strisce, se diagrammate su scala logaritmica (vedi figura 18). Questa scoperta suggerisce che c'è un valore ottimale, vicino all'interruzione della curva, dopo il quale un incremento della retroriflessione comporta solamente un piccolo incremento delle prestazioni visive.

Hoffman e Firth hanno anche notato che la prestazione visiva di una striscia non dipende solamente dalla sua retroriflessione. I loro studi hanno confermato che una striscia più larga ma di minore lucentezza può essere visibile allo stesso modo di una striscia più stretta ma di maggior lucentezza. Perciò è necessario esaminare tutte le opzioni e armonizzare un sistema di delineazione con tutti gli aspetti della strada e i dispositivi di applicazione, includendo larghezza del tracciamento, colore della pavimentazione, caratteristiche climatiche, tipo di fondo della pavimentazione e costo del tracciamento.

Alla luce di queste scoperte è importante adottare un approccio sistematico alla progettazione della delineazione. L'efficienza della delineazione dipende largamente da un complesso di interazioni di molte variabili che influenzano la visibilità. Riconoscendo l'importanza dell'interazione di queste variabili Kalchbrenner affermò: "Il termine sistema implica progetto e sinergia. In vari luoghi un miglioramento nelle

prestazioni in strada e nella vita di servizio è stato spiegato nei materiali durevoli da un appropriato dimensionamento e trattamento delle perline a seconda dello spessore e del tipo di legante usato”.

In senso generale l'efficienza può essere drasticamente incrementata trattando la strada stessa come un sistema. La considerazione di fattori, quali le esigenze di visibilità dei guidatori, il materiale della pavimentazione, la complessità visiva, la luminanza dell'ambiente circostante ed i tipi di materiali di tracciamento disponibili e le loro differenti proprietà, è critica per la selezione di un sistema di tracciamento stradale appropriato per una particolare applicazione.

## VARIABILI DI DELINEAZIONE

Quando si adotta un approccio sistematico per la progettazione della delineazione, le variabili chiave che dovrebbero essere considerate nella determinazione della più appropriata tecnica e trattamento di delineazione sono la geometria della strada, le condizioni del tempo ed il clima, il volume e la composizione del traffico, il tipo di supporto. Il modo in cui queste variabili interagiscono con il materiale di delineazione e la tecnica di applicazione determinerà la visibilità e la durabilità del tracciamento. Un'analisi degli effetti significativi di queste variabili si trova nella trattazione di ciascuna variabile.

### Geometria della strada

La geometria della strada ha più effetto sul trattamento di delineazione che sulle varie tecniche di delineazione. In questo contesto *trattamento* si riferisce alla linea di mezzzeria, alle linee di margine, ai delineatori, includendo larghezza, spaziatura, rapporto interruzione- linea e colori. *Tecnica* si riferisce ai vari dispositivi di delineazione, ai materiali ed alle procedure di applicazione.

In uno studio finale sui sistemi di delineazione stradale condotta dall'NCHRP (National Cooperative Highway Research Program), la ricerca fu centrata sul seguente insieme di situazioni geometriche: tratti rettilinei; curve orizzontali; zone di divieto di transito; cambiamenti di larghezza della carreggiata; strettoie; svolte; svolte con corsie di decelerazione; avvicinamento agli stop; passaggi a livello; strisce pedonali.

Ogni aspetto del progetto geometrico studiato aveva un unico insieme di informazioni necessarie al conducente e dei requisiti associati di delineazione. Queste situazioni classiche furono usate per valutare la sicurezza dei vari trattamenti di delineazione e il loro impatto sul comportamento del guidatore e sulle caratteristiche del traffico.

Lo studio ha mostrato che aree senza precedente delineazione furono rese più sicure con l'applicazione di trattamenti di delineazione standard. Il tasso di incidenti fu ridotto significativamente. I maggiori cambiamenti nei trattamenti di delineazione possono produrre dei cambiamenti misurabili nel rendimento del traffico. Comunque minori variazioni dei trattamenti di delineazione, come spaziatura, rapporto interruzione- linea e colore, non influivano sul tasso degli incidenti oppure non mostravano delle differenze sostanziali nelle misure del rendimento del traffico. Si concluse che i minori cambiamenti dei trattamenti di delineazione dovevano essere giudicati su altri fattori piuttosto che sulla riduzione degli incidenti.

In aggiunta alla ricerca effettuata dall'NCHRP, ci sono stati una serie di studi, sia precedenti che seguenti, sugli effetti delle linee di margine sul rendimento del traffico e sul tasso degli incidenti. In generale questi studi non sono paragonabili fra loro anche se molti di questi si sono concentrati sulle strade rurali a due corsie. L'impossibilità di fare una comparazione diretta era conseguenza della presenza di condizioni nettamente differenti, quali la larghezza della corsia, la presenza o meno di corsie di emergenza, ed altri fattori ambientali.

Ciò nonostante tali studi hanno messo in evidenza che le linee di margine sui tratti rettilinei tendono a far diminuire la variabilità nella disposizione laterale (del veicolo). La disposizione laterale media è spostata

lontano dal margine della strada. A causa del potenziale incremento di collisioni frontali connesse con lo spostamento dei veicoli verso la linea di mezzzeria, molti Stati hanno proibito carreggiate più strette, fra le strisce di margine, di 18 piedi (5.5 metri).

Un altro studio ha mostrato che le linee di margine riducono la velocità in curva e minimizza lo stare "a cavallo" della striscia di mezzzeria.

Si è studiata la sicurezza e il rapporto costo- efficienza di sei trattamenti di delineazione, per varie situazioni geometriche. I trattamenti consistevano in: nessuna delineazione, linee centrali, linee centrali più linee di margine, linee centrali più PMD e linee centrali più guardrail. Lo studio ha esaminato l'effetto di varie combinazioni di trattamenti di delineazione sul tasso medio di incidenti. I trattamenti più sofisticati, come linee centrali più quelle di margine oppure linee centrali più PMD, hanno prodotto una diminuzione del tasso di incidenti.

Si deve far notare che alcune recenti esperienze su strade tortuose o di montagna hanno dimostrato una tendenza del guidatore ad aumentare la velocità oltre i limiti di sicurezza laddove vi erano delle linee di margine. Il decremento di collisioni frontali è stato compensato da un incremento di incidenti dovuti a uscite di strada. E' stato indicato che l'accresciuto controllo fornito dalle linee di margine da un falso senso di sicurezza al guidatore. Ciò risulta in un'eccessiva confidenza da parte del guidatore a controllare il veicolo e mantenere una posizione di sicurezza sulla strada.

## **Tempo e clima**

Il clima prevalente e le condizioni del tempo influenzano l'efficienza della delineazione. La durabilità dei materiali e le tecniche di installazione sono anche influenzate dal tempo.

Durante le ore di luce, la pioggia riduce la capacità del guidatore a scorgere l'ambiente circostante. Di notte l'abbagliamento, dovuto ai fari di un automobile che sopraggiunge dalla direzione opposta, l'azione del tergicristallo, e la superficie scivolosa della pavimentazione, accoppiate con la retroriflessione ridotta delle strisce, rende la guida particolarmente difficile e pericolosa. Gli RPM e i PMD sono molto più efficienti delle strisce in queste condizioni. Le strisce perdono velocemente la propria retroriflessione a causa del film superficiale d'acqua. Durante periodi piovosi diurni gli RPM migliorano leggermente la visibilità, ma il rumore udibile quando si passa sopra gli inserti avverte il guidatore che ha invaso l'altra corsia.

La pioggia non influenza la durabilità delle strisce. È nota l'azione dei pneumatici, sul materiale termoplastico bagnato, di pulizia delle strisce. Personale addetto alla manutenzione cita numerosi casi di visibilità migliorata delle strisce termoplastiche dopo molte ore di pioggia. Viceversa i PMD sono soggetti agli spruzzi nelle strade bagnate, che riducono la loro retroriflessione. La pulizia dei catadiottri è necessaria.

Più della pioggia, la neve riduce la visibilità del guidatore. Anche una caduta moderata di neve di solito cancella tutte le strisce. Inoltre le strisce possono essere danneggiate dall'attività dello spazzaneve e dall'uso di additivi chimici e sali antighiaccio. I PMD (con i sostegni più estesi dove i cumuli sono più alti) forniscono una linea di margine più efficiente ed un allineamento segnaletico stradale, ma sono vulnerabili all'azione degli spazzaneve.

Anche la nebbia riduce la visibilità del guidatore. Nessuna tecnica di delineazione efficiente risulta essere adeguata in caso di nebbia intensa. Comunque esperimenti con varie forme di illuminazione della superficie stradale sono stati iniziati. La delineazione stradale è stata migliorata da RPM retroriflettenti, di alta intensità, posizionati più vicini fra loro, combinati con RPM non retroriflettenti per creare l'effetto rumoroso quando si passa sopra il tracciamento. Similmente, dove la visibilità a corto raggio è un problema ricorrente,

l'interruzione fra il salto di linea è stato ridotto, in modo che al minimo uno o due segmenti di striscia sono sempre visibili.

La visibilità ridotta associata agli effetti del tempo, come pioggia, neve e nebbia rendono la guida difficile. In queste situazioni considerazioni riguardo la sicurezza prescindono sempre da considerazioni basate sul rapporto costo-efficienza.

In aggiunta alla presenza fisica della pioggia, neve, nebbia sia la sabbia che valori estremi di temperatura possono avere influenza sulla delineazione. I materiali termoplastici ed alcune pitture sono spesso formulate per resistere a specifici valori di temperatura. Per esempio un prodotto termoplastico formulato nel Nord-Est non potrebbe essere applicabile nel Sud-Est. Nei climi freddi, i cicli di gelo e disgelo possono causare un prematuro cedimento dovuto all'indebolimento del legame fra la striscia e la superficie della pavimentazione.

Anche il calore estivo deteriora le strisce stradali. In alcune parti dell'Arizona, California, Nevada, Texas, ed altri Stati con clima molto caldo, spesso la temperatura superficiale eccede i 120 °F (49°C). Sotto tale stress termico, il materiale termoplastico sulla pavimentazione in asfalto si "spargerà", si deformerà e diverrà malamente segnato dalle ruote dei camion, risultando scarsamente visibile di giorno. Comunque le impronte delle ruote del camion sulle strisce non influenzano significativamente la retroriflessione notturna. Inoltre i raggi ultravioletti della forte luce solare possono deteriorare il colore e la vita dei convenzionali materiali di delineazione.

## Composizione e volume del traffico

Il volume e la composizione del traffico possono influenzare la scelta dei trattamenti e delle tecniche di delineazione. Il volume del traffico è importante perché il traffico medio giornaliero (TGM) è spesso il maggior criterio usato per selezionare le tecniche di delineazione. Per esempio strade con alta densità di traffico possono essere servite meglio con l'installazione di dispositivi molto duraturi, come gli RPM, materiali termoplastici posati a caldo, e materiali epossidici. Questi materiali duraturi forniranno una delineazione a lungo termine, evitando così il bisogno di frequenti manutenzioni. Essi inoltre riducono l'esposizione delle squadre di manutenzione ai pericoli del traffico e l'interruzione del traffico. L'alto costo iniziale può essere bilanciato dalla sicurezza e dai benefici economici a lungo termine delle tecniche più durature.

Un basso valore del traffico medio giornaliero può indicare che le strisce verniciate, da sole o in combinazione con gli RPM o PMD, sono adeguate e possono durare uno o più anni senza essere riverniciate. I vari Stati fanno esperimenti per determinare i periodi migliori per riverniciare in questi luoghi.

La composizione del traffico può influenzare la vita di servizio dei materiali di delineazione. Un'alta percentuale di camion, buses, ed altri mezzi pesanti può danneggiare o consumare le strisce più velocemente rispetto ad un tipo di traffico automobilistico. Per esempio strade a bassa densità, quali quelle rurali, di mercato agricolo oppure strade di accesso industriale, possono richiedere applicazioni più durature di quello che il TGM potrebbe indicare.

Un'altra caratteristica del flusso di traffico che influenza la selezione del sistema di delineazione è la posizione delle strisce. Le strisce longitudinali durano più a lungo di quelle trasversali e quelle di margine durano più a lungo delle strisce di corsia a causa di qualche attraversamento di corsia.

Come linea guida per la selezione, il TGM è genericamente correlato con il tempo di servizio. Un grafico è stato sviluppato, come l'esempio mostrato in figura 19. Alcune compagnie sviluppano correlazioni più

complesse. Piuttosto che il semplice TGM, il Distretto di Columbia usa come indicatore il numero di ruote che attraversa un punto sulla strada. La ragione di ciò è che l'abrasione dovuta al traffico avviene solo quando le ruote di un veicolo passano sopra una striscia. Le strisce di margine o le linee di corsia delle autostrade trafficate pesantemente possono non avere la stessa usura delle strisce situate in strade con basso TGM, ma in queste ultime gli incroci o le invasioni sono spesso più pronunciate.

La tecnica usata da tale Distretto per calcolare la vita di servizio prevista come funzione del flusso di traffico è basata su molte ipotesi.

- ❑ La vita di servizio prevista è misurata dal numero totale di veicoli per corsia che sono passati sulla striscia quando questa è completamente consumata dai passaggi delle ruote.
- ❑ L'usura dei materiali di tracciamento stradale è una funzione del quadrato del numero di veicoli per corsia che sono passati sui materiali stesi perpendicolarmente alla direzione del flusso di traffico.
- ❑ La vita di servizio è una misura del numero di veicoli per corsia che sono passati sul materiale quando la striscia non è più utilizzabile a lungo, in considerazione del fatto che ha perso la propria luminosità, la propria retroriflessione o del fatto che è stata consumata completamente dal passaggio delle ruote.
- ❑ Le strisce, fatte con pittura convenzionale oppure con altri materiali che essicano rapidamente, dovrebbero essere rinnovate non appena il materiale, per il passaggio delle ruote, è stato consumato per metà della sua superficie originaria. È approssimativamente a questo punto che ci si aspetta che la striscia abbia perso la propria luminosità, e che le perline abbiano perso la propria retroriflessione.
- ❑ Le strisce di materiale termoplastico conservano la lucentezza e le perline e sono ancora retroriflettenti fino a che tutto il materiale non sia stato consumato dal passaggio delle ruote.
- ❑ Il rapporto costo-efficienza è il rapporto tra il costo di tracciamento per piede lineare (metro lineare) sulla vita di servizio. Il tempo di servizio è espresso in milioni di veicoli per corsia di traffico.

Questa tecnica sembra essere adatta per strade ad alta densità di traffico. Se correlazioni semplici oppure più complesse sono sviluppate, ciò dipende dal tipo e dalla funzione di ogni specifico sito. Differenti caratteristiche di traffico per un sito possono influenzare notevolmente la vita di servizio. Le caratteristiche del traffico sono importanti quando si analizza il rapporto costo-efficienza di tecniche di delineazione più durevoli.

## Materiali di supporto

Variazioni sul tipo e condizione del supporto determina, a lungo termine, la durabilità e la visibilità delle strisce. I materiali di supporto, su cui le strisce sono applicate, sono di due categorie: conglomerati bituminosi (AC); conglomerati cementizi (PCC). I conglomerati bituminosi costituiscono una superficie stradale compatta di aggregati minerali caldi miscelati con bitume caldo. Essi includono sia conglomerati asfaltici che miscele simili fatte con bitume raffinato. L'aggregato grossolano è generalmente costituito da pietre frantumate, da scorie frantumate, e ghiaia frantumata. Sabbia e filler oppure solamente sabbia è di solito aggiunta. I conglomerati bituminosi hanno il vantaggio che una volta posati possono quasi subito essere aperti al traffico.

Un'altra forma di conglomerati bituminosi sono gli open-graded, in cui è presente solo aggregato grossolano. Quando sono applicati come strato superficiale, essi hanno un'elevata porosità e permeabilità, così come una tessitura superficiale rugosa. I pori minimizzano l'effetto di aquaplaning poiché costituiscono numerosi canali di "fuga" per l'acqua al di sotto della ruota. L'accumulo d'acqua impedisce alle strisce di retroriflettere la luce incidente. Perciò l'uso di asfalti open-graded minimizza il tempo in cui la delineazione è inefficiente durante la pioggia.

I conglomerati cementizi consistono in una miscela relativamente ricca di cemento Portland, sabbia, aggregati grossolani, e acqua. Essi sono collocati in singoli blocchi. Quando sono propriamente progettati e costruiti hanno una vita di servizio lunga e richiedono poca manutenzione. Un minimo da cinque a sette giorni di tempo di maturazione è richiesto prima che la pavimentazione sia pronta per essere aperta al traffico.

Poiché la vita di servizio del conglomerato bituminoso dipende da molte variabili (per esempio tipo di aggregato, tipo di fondazione, densità del traffico, condizioni climatiche) un valore medio della sua vita di servizio prevista è basso. In generale la pavimentazione in PCC dura circa due volte più a lungo di quella in AC. Però il PCC è più liscio dell'AC. Il PCC è spesso intagliato oppure trattato per incrementare la resistenza alla scivolosità.

La vita di una pavimentazione è significativa particolarmente quando si considera un'applicazione della delineazione a lungo termine. Per esempio gli RPM o le strisce di materiale termoplastico potrebbero durare più a lungo di una superficie in AC vecchi, in certe condizioni. L'alto costo iniziale di questo tipo di trattamenti è giustificato dalla durabilità e dalla longevità. Poiché l'imminente rifacimento superficiale o ripristino della pavimentazione in AC cancella questo vantaggio, metodi alternativi dovrebbero essere considerati per un periodo temporaneo.

Maggiori quantità di pittura o materiali termoplastici applicati a caldo sono richieste per la pavimentazione di AC open-graded a causa della sua porosità. Comunque una tale superficie fornisce una migliore visibilità notturna in condizioni di bagnato. Con gli RPM, i problemi nell'ottenere una sicura adesione alla superficie rugosa determina un'alta percentuale di inserti distaccati.

### **Implicazione di tutte le variabili**

La forma ideale di delineazione è quella che garantisce la migliore prestazione basata sul comportamento del guidatore, sicurezza, libertà di movimento del traffico, e costo. Molte tecniche di tracciamento e delineazione possono essere utilizzate individualmente o insieme per essere appropriate a tali fini.

I vantaggi o svantaggi di ciascuna di queste tecniche e trattamenti e le loro caratteristiche generali sono descritte nei capitoli seguenti. I progettisti di strade devono essere a conoscenza di questa area allo scopo di specificare una delineazione efficiente ed economica.

La selezione e l'acquisto di tecniche e materiali di delineazione è un'attività ricorrente per le compagnie stradali. Non c'è una configurazione universale della delineazione che soddisfa ugualmente tutti i bisogni. Per ottenere il migliore bilanciamento tra le richieste del conducente, gli aspetti di sicurezza e le considerazioni economiche, ciascuna delle variabili discusse deve essere valutata per determinare il suo contributo all'efficienza. I capitoli seguenti identificano le pratiche correnti in tale prospettiva e chiarificano l'analisi ragionata utilizzata nel processo decisionale.

## CAPITOLO 4

### PITTURE STRADALI

#### INTRODUZIONE

L'uso di strisce verniciate sulla superficie stradale, per dividere la corrente di traffico e fornire una guida al conducente, è esistito da quando le strade in terra hanno ceduto il posto alle strade pavimentate. Oggi le strisce verniciate, usate da sole oppure in combinazione con altri dispositivi, costituiscono la tecnica di delineazione più comunemente utilizzata. Questo capitolo tratta dei vari usi, materiali, dispositivi, procedure di installazione ed altri fattori associati con le strisce verniciate sulla pavimentazione.

#### TIPI DI STRISCE E LORO APPLICAZIONI

Le strisce sono classificate sia come longitudinali che come trasversali. Esse forniscono una indicazione "positiva" definendo i limiti del percorso sicuro di transito del conducente, come le linee di corsia, linee di mezzzeria, linee di margine, strisce pedonali e linee di stop. Esse inoltre forniscono un'indicazione "negativa", che definisce dove non è permesso ai guidatori il transito, come le strisce a forma di cuneo, salvagenti, spartitraffico verniciati.

Le applicazioni specifiche di colori, larghezze, forme e disposizione standard sono definite nel MUTCD (Manual of Uniform Traffic Control Devices). Alcuni concetti base sono trattati in questo manuale, ma il MUTCD dovrebbe essere consultato per informazioni più precise circa la loro installazione.

Inoltre la tabella 2 presenta una definizione dei tipi fondamentali di strisce. Questa include delle indicazioni per selezionare le caratteristiche fisiche di una striscia, che dipendono dallo scopo della sua applicazione. La figura 20 illustra le forme ed i colori base che sono utilizzati in una varietà di situazioni stradali.

#### MATERIALI

Le strisce stradali verniciate continuano ad essere il principale sistema di delineazione. Continui miglioramenti sono stati fatti nella composizione delle pitture e nelle tecniche di applicazione per fornire un miglior rapporto costo-efficienza. Un certo numero di fattori interagiscono per determinare le prestazioni dei vari tipi di pitture stradali.

Ogni trattazione dei materiali utilizzati per le strisce verniciate deve considerare i tre elementi interagenti del sistema costituito dalla pittura stradale: la stessa pittura (pigmenti e leganti); le perline (sfere di vetro retroriflettenti); superficie della pavimentazione (supporto). Per esempio differenti pitture reagiscono in modo differente su pavimentazioni in asfalto oppure su quelle in cemento. Le perline retroriflettono in modo differente a seconda del legante utilizzato, del suo spessore e della percentuale di pigmento.

Le seguenti informazioni sulle pitture utilizzate per le strisce fornirà del materiale per una successiva trattazione circa i maggiori fattori che influenzano la selezione di una buona pittura per una certa situazione. Ciò include un riepilogo delle categorie di pitture, delle proprietà essenziali e dei criteri di prestazione. L'uso di perline per creare una striscia retroriflettente è già stato discusso nel capitolo 2.

## Categorie

Ci sono molti modi per classificare una pittura. Essa può essere classificata per la sua retroriflessione, che significa se le perline sono state aggiunte per migliorare la visibilità notturna. Pitture senza perline generalmente sono usate per strisce che non richiedono visibilità notturna, come le strisce di parcheggio e per i cordoni di marciapiede.

Le pitture possono essere classificate in base all'applicazione, cioè se sono applicate a caldo oppure a freddo. La temperatura cui una pittura è applicata ha una relazione diretta con il tempo di essiccamento che è il terzo metodo di classificazione. Il tempo di essiccamento è influenzato dalla temperatura di rugiada dell'atmosfera, dalla composizione chimica della pittura, dalla temperatura della pittura e della pavimentazione durante l'applicazione, dalla velocità del vento e dallo spessore della pittura.

Le categorie delle pitture basate sul tempo di essiccamento sono definite come segue:

- *Convenzionali*. Pitture applicate a freddo con un valore standard di viscosità. Esse richiedono più di 7 minuti per essiccare.
- *Essiccamento veloce*. Pitture applicate a caldo che essiccano senza lasciare impronte tra i 2 ed i 7 minuti.
- *Essiccamento rapido*. Pitture applicate a caldo che essiccano senza lasciare impronte tra i 30 ed i 120 secondi.
- *Essiccamento istantaneo*. Pitture applicate a caldo e dense che essiccano in meno di 30 secondi.

## Tipi

I tre principali componenti di una pittura sono il legante (materiale di base), il pigmento (per il colore e la retroriflessione) ed il solvente. Mentre sono nel barattolo le pitture conservano lo stato liquido a causa della presenza del solvente. Quando sono applicate sulla pavimentazione, il solvente evapora lasciando un film duro. Le pitture sono qualche volta classificate a seconda del materiale base presente nella composizione. Il materiale base è anche essenziale per il tempo di essiccamento di una pittura. Alcuni materiali comunemente utilizzati come base sono oli (resine alchidiche), oleoresine (vernice alchidica modificata, vernice di oli siccativi), a base di gomma (gomma clorurata) ed acqua.

In questo capitolo sarà brevemente discusso qualche aspetto sull'impatto ambientale delle pitture ad uso stradale. L'alto contenuto di composti organici volatili (VOC) delle pitture stradali, che impiegano solventi alifatici ed altro, ha determinato un incremento dell'uso di pitture a base acquosa e lattice negli anni recenti.

### *Pitture alchidiche e alchidiche modificate*

Le pitture alchidiche e alchidiche modificate sono generalmente le più economiche e le più veloci all'essiccamento tra i materiali comuni. L'esperienza mostra che esse, comunque, sono le meno durature. Sebbene ci siano stati dei tentativi per incrementare la loro durabilità attraverso variazioni della formula chimica, queste sono di solito ottenute ad un costo più alto e ad un incremento del tempo di essiccamento.

La pittura alchidica è il materiale cui normalmente si fa riferimento come pittura da traffico. E' il materiale più largamente usato ed la sua scarsa durabilità (meno di tre mesi sotto severe condizioni) ha dato un incremento allo sviluppo di numerose nuove tecnologie.

### *Pitture alla gomma clorurata*

La pittura a base di gomma clorurata è un esperimento per cambiare i materiali di base delle pitture per aumentare la loro durabilità. Questo materiale fu disponibile intorno al 1964. Uno dei maggiori utilizzatori di questo tipo di pittura è il Dipartimento dei Trasporti del Texas, che si spostò all'uso della gomma clorurata nel 1966. In quel tempo tale Dipartimento fu scontento del lungo tempo di essiccamento al tatto delle pitture alchidiche. Recentemente tale Dipartimento ha cambiato nuovamente le pitture, questa volta verso una formulazione di poliolefine clorurate che è simile alla gomma clorurata. Questo materiale è ancora spesso riferito come gomma clorurata.

Tale Stato è rimasto soddisfatto dalle prestazioni di questo materiale, sebbene preoccupazioni ambientali riguardo al suo uso hanno spinto lo Stato a formulare dei piani futuri per l'utilizzo di pitture a base acquosa e lattice. Attualmente le poliolefine clorurate sono applicate dalle squadre di manutenzione dello Stato al costo di 6-7 cents per piede lineare. La durabilità è circa 1.5 volte rispetto a quella della pitture alchidiche standard, con 1 o 2 minuti di tempo di essiccamento al tatto.

Il Dipartimento dello Stato di New York (NYSDOT) è un altro dei maggiori utilizzatori di questo tipo di pittura. Nel 1987 90,000 galloni di pittura furono applicati come parte di un progetto di ricerca. L'obiettivo di tale Dipartimento era quello di fornire un sistema di pitture che avrebbe dovuto fornire una durabilità di circa un anno ad un prezzo molto vicino a quello delle pitture alchidiche tradizionali. Sebbene non tutte le installazioni, nel 1987, durarono 12 mesi, tutte durarono al minimo per nove mesi, includendo anche la stagione invernale. Questo è un tempo che è tre volte maggiore di quello previsto, nelle stesse condizioni, per una pittura tradizionale.

I soli problemi che furono adottati alla pittura a base di gomma clorurata furono il suo tempo di essiccamento ed il suo odore. Il solvente al MEK (metil etil chetone), presente nella pittura, è molto forte, con una soglia di rivelazione olfattiva circa otto volte più bassa di quella del toluene, normalmente utilizzato nelle pitture alchidiche. Comunque le pitture a base di gomma clorurata non sembrano porre alcun rischio per i lavoratori poiché le concentrazioni sono approssimativamente uguali.

La pittura a base di gomma clorurata ha un tempo di essiccamento da 3 a 6 minuti. Il personale del NYSDOT ha trovato che questo potrebbe essere ridotto a circa 1.5 minuti variando la temperatura e la pressione di applicazione. Questi tempi, che sono ancora più lunghi di quelli delle pitture alchidiche modificate, possono rendere l'applicazione delle pitture a base di gomma clorurata impraticabile in aree con elevato volume di traffico e con configurazioni di traffico più complesse.

### *Pitture a base di acqua e lattice*

Un tipo di pittura di cui è costantemente sperimentato l'uso è la pittura al lattice. Più rilevanza è stata posta su considerazioni ambientali che riguardano l'uso di pitture stradali. Le pitture alchidiche, e qualunque altro materiale che impiega toluene o solventi simili, rilasciano composti organici volatili nell'atmosfera quando sono utilizzati. Come risultato le compagnie autostradali americane stanno ordinando l'uso di pitture prive di VOC, come formulazione a base di lattice, sulle loro strade. Aspetti specifici, relativi alle prestazioni, applicazioni e manutenzione di pitture a base di emulsione acquosa contenente lattice, sono esaminati in dettaglio, con altri materiali di tracciamento, nel capitolo 8.

## Proprietà essenziali

In generale ci sono due criteri con cui le prestazioni di una pittura sono valutate: durabilità e visibilità. La durabilità riguarda la vita di servizio di una striscia verniciata. Questa è misurata come la quantità di materiale che rimane sulla superficie della pavimentazione oltre un certo tempo. La visibilità è relazionata alla luminosità del materiale, particolarmente di notte. Queste proprietà sono descritte nelle norme ASTM D-7B-66T.

Anche il tempo di essiccamento è di grande importanza per valutare le prestazioni di una pittura. Pitture che essiccano velocemente riducono l'uso di coni durante il periodo d'essiccamento, l'esposizione degli operai, che applicano la pittura, al traffico e diminuiscono l'interruzione della strada al traffico. Altri requisiti tipicamente inclusi quando si specifica le pitture stradali sono:

- *Prima dell'applicazione.* La pittura dovrebbe essere chimicamente stabile con un adeguato tempo di immagazzinamento. Dovrebbe mantenere una viscosità costante ed essere capace di resistere all'indurimento, alla sedimentazione, alla gelatinizzazione, alla formazione di pellicole ed a cambiamenti di colore.
- *Durante l'applicazione.* La pittura dovrebbe adattarsi facilmente all'applicazione da parte di apparecchiature di tracciamento più commerciali. La pulizia dovrebbe essere mantenuta facilmente. Dovrebbe avere una forte azione di bagnatura per permetterne la penetrazione del supporto contaminato da terra, olio o sabbia. Ciò aiuterà ad ottenere una buona adesione.
- *Dopo l'applicazione.* La pittura non dovrebbe sbavare o scolorire sulla superficie bituminosa e dovrebbe resistere all'azione chimica delle caratteristiche alcaline della superficie in PCC. Inoltre deve essere capace di resistere agli additivi utilizzati per il controllo della neve e del ghiaccio. Le pitture stradali devono essere abbastanza flessibili alle espansioni e contrazioni che si hanno con i cambiamenti di temperatura dal giorno alla notte. Dovrebbe essere resistente alla luce solare ed all'acqua ma sufficientemente permeabile da permettere all'umidità di fuoriuscire dal supporto.

L'importanza di ciascuno di questi requisiti può variare a seconda della compagnia stradale. Il loro grado di importanza, nella specifica della pittura, può anche variare.

Inoltre la formulazione della pittura sarà influenzata dalle variabili di delineazione discusse nel capitolo 3. Come notato nel capitolo 3, la geometria della strada influenza più il trattamento che la tecnica, ed in questo modo non influenzerà la formulazione della pittura. Comunque il tipo di supporto, le condizioni climatiche e le caratteristiche del traffico sono tutti fattori che dovrebbero essere considerati attentamente quando si seleziona una pittura.

## Formulazione di una pittura

I maggiori elementi delle formulazioni di una pittura sono il legante, il pigmento e il solvente. Il legante rappresenta la massa del film. E' costituito da oli siccativi, resine e plastificanti in una formulazione che fornisce adesione al supporto e coesione per tenere insieme la pittura. Il legante fornisce anche la maggior parte delle proprietà di resistenza. I pigmenti danno opacità, colore, durezza e speciali proprietà di resistenza. La concentrazione volumetrica ottimale dei pigmenti, per una buona durabilità, si estende in un intervallo che va dal 42 al 59%. I solventi dissolvono il legante e regolano la velocità di essiccamento del film con il controllo della velocità di evaporazione. Essi sono anche connessi all'aggiustamento del film di solido ed alla facilità d'applicazione.

Le pitture alchidiche modificate, come è la pittura utilizzata a New York, sono probabilmente il più comune materiale di tracciamento. Queste pitture sono normalmente riscaldate a 122°F (50°C) per l'applicazione. Esse essiccano, senza lasciare impronte, tra 1 e 5 minuti a causa del veloce rilascio di solvente. La duratura resina produce un film duro e resistente all'usura. Vengono utilizzate in situazioni climatiche estreme come

dimostrato da un utilizzo che ha avuto un buon esito in Arabia Saudita, Finlandia e Brasile. Pitture alchidiche modificate hanno un'ottima adesione su asfalti, bitumi e superfici in cemento.

Comunemente la combinazione pittura- perline usata è dell'ordine di 15 ÷ 17 mil (0.38 ÷ 0.43 mm) di spessore di pittura umida con 5 ÷ 7 libbre per gallone (0.6 ÷ 0.8 kg/l) di perline entro un intervallo granulometrico da 20 a 100 mesh. La FHWA raccomanda l'uso di 16 mil (0.4 mm) di spessore di film umido di pittura, con 6 libbre per gallone (0.7 kg/l) di perline applicate.

Molti Stati vanno alla ricerca di un tracciamento verniciato retroriflettente di uguali prestazioni ad un costo ridotto. Alcune compagnie hanno provato uno spessore di pittura umida di 10 ÷ 11 mil (0.25 ÷ 0.28 mm) con 4 libbre per gallone (0.48 kg/l) di perline da 40 a 80 mesh, con ottimi risultati. Un certo numero di Stati, quali California, Pennsylvania, Colorado e Kansas, hanno adottato questa combinazione di pittura- perline ed hanno riportato un significativo risparmio di costo ed una non apprezzabile perdita di efficienza.

### **Acquisto di materiali**

Le specifiche per l'acquisto di pitture stradali sono di solito scritte nella forma di composizione chimica o specifica di prestazione. Il costo e la disponibilità di alcuni dei componenti chimici usati nella produzione di pitture varia radicalmente di settimana in settimana e le specifiche dettagliate di composizione, preferite in passato dalle compagnie stradali, sono state sostituite dalle specifiche di prestazione. In alcuni casi una combinazione di caratteristiche prestazionali e di composizione è usata per indicare la percentuale in peso di ciascun componente senza specificarne la formula chimica o la marca.

Ogni specifica ha il suo vantaggio e svantaggio. Uno studio ha esaminato 24 Stati e 15 produttori nazionali di pitture. La maggior parte degli Stati esaminati ancora usava specificare la composizione, ma i produttori preferivano specificare le prestazioni.

La specifica di prestazione permette all'utilizzatore di rendersi conto dei vantaggi della tecnologia di produzione della pittura. Lo stato dell'arte nella produzione di pitture è progredita così rapidamente che è difficile per un ingegnere capire tale tecnologia e tenere lo stesso passo del chimico della pittura. Inoltre i produttori hanno denotato che la migliore strada verso un costo più basso è attraverso la loro ricerca e sviluppo tecnologico. Per esempio, durante la ricerca nel 1978-79, il prezzo medio, specificando la composizione chimica, era di 3.6 dollari per gallone (0.95 per litro), per la pittura gialla, e 3.36 dollari per gallone (0.89 per litro), per la pittura bianca. Specificando le prestazioni, invece, il prezzo medio era di 3.15 dollari per gallone (0.83 per litro), per la pittura gialla, e 2.95 dollari per gallone (0.78 per litro), per la pittura bianca.

Il maggior problema, con l'uso di specifiche prestazionali, è nel giudicare tali prestazioni. Molti Stati utilizzano un sistema a punti per valutare la pittura. Il metodo è alquanto soggettivo e dipende dalle opinioni dei singoli membri del gruppo di valutazione. Durante la ricerca i valori assegnati al colore, alla durabilità, al contrasto e all'apparenza variavano in molti Stati, dipendendo dalle priorità delle varie compagnie stradali.

Un altro svantaggio è la potenziale difficoltà nel trovare fornitori per sostituire pitture che non soddisfano alle specifiche prestazionali. Ciò porta via molto tempo e può richiedere un'azione legale.

Il vantaggio di una specifica di composizione è nella certezza che gli acquirenti stanno ottenendo una pittura basata sulle loro formulazioni. Lo sviluppo di specifiche di composizione è normalmente in funzione dei materiali e della sezione, che effettua le prove, di ciascuna compagnia stradale. In questa operazione molte differenti pitture sono applicate su pavimentazioni in asfalto e in cemento per la valutazione. In relazione ai risultati, una specifica di composizione viene scritta per assicurare che l'utilizzatore ottenga il prodotto che dia

la vita di servizio più lunga. Le prove in laboratorio, per il controllo di qualità, sono incluse nella specifica per assicurare che il materiale fornito corrisponda a ciò che è richiesto.

Dopo aver attentamente ponderato i vantaggi e gli svantaggi associati con la specifica di una pittura, lo studio precedentemente menzionato, circa l'emissione di una specifica, ha concluso che "la pittura acquistata usando specifiche prestazionali sembra avere un costo medio più basso di quella acquistata secondo una specifica di composizione".

Si conclude anche che, quando una specifica di composizione è usata, i componenti chimici dovrebbero essere annualmente sottoposti a revisione per determinare la composizione più ottimale, in base a considerazioni sul rapporto costo-efficienza. Spesso è possibile sostituire o ridurre un componente chimico senza sacrificare le prestazioni o il colore.

## Prove

La previsione della vita di servizio di una pittura è un fattore critico nella valutazione delle pitture esaminate. Prove sul campo, su pitture di varie composizioni, portano via molto tempo e le prove convenzionali di laboratorio, come caduta di sabbia, test di abrasione (Taber test) e simulazione di condizioni atmosferiche, non producono i migliori risultati.

Uno studio più importante è stato intrapreso per sviluppare prove accelerate di laboratorio, più economiche e pratiche, per valutare la durabilità dei materiali di tracciamento stradale. Due conclusioni sono emerse da questo studio. Primo, prove sul campo possono essere eseguite per dare una graduatoria globale di durabilità. Secondo, prove di laboratorio possono essere eseguite per fornire dati che possano prevedere i risultati delle prove sul campo con un elevato grado di affidabilità. Se prove sul campo sono eseguite parallelamente a quelle in laboratorio, metodi statistici possono essere utilizzati per selezionare il minor numero di prove richieste e fornire i coefficienti delle equazioni di previsione.

Se le prove sul campo e la successiva analisi statistica non vengono condotte, i dati delle prove di laboratorio per le equazioni di previsione possono essere ottenuti dallo studio.

L'esecuzione delle prove e le analisi di laboratorio, per essere eseguite, possono essere costose e portano via molto tempo. Inoltre il lavoro è essenzialmente lo stesso per quasi tutti gli Stati. Al minimo, quegli Stati che hanno quasi le stesse variabili di delineazione, come il clima, che influenzano le pitture, avrebbero dei benefici se qualche tipo di progetto di accumulare tutte le tecnologie iniziasse.

La FHWA riconobbe queste esigenze molti anni fa, quando iniziò il progetto di costituire strutture regionali per eseguire le prove. Il concetto nacque semplicemente come modo di ridurre la sovrabbondanza dell'esecuzione delle prove. La struttura regionale per le prove, presso il Dipartimento dei Trasporti (DOT) della Pennsylvania, derivò da un contratto dell'FHWA che riguardava l'esecuzione di prove su materiali che erano state assegnate al dipartimento. Gradualmente, con l'incoraggiamento da parte dell'FHWA, il progetto iniziò ad svilupparsi in una struttura regionale cui tutti gli Stati della NASHTO (Northeastern Association of State Highway and Transportation Officials) potevano accedere.

Il concetto è stato esteso in modo che tutti gli Stati della NASHTO cominciasse a coordinare i propri sforzi nel campo dell'esecuzione di prove sui materiali. Ci sono ora programmi di cooperazione nell'esecuzione delle prove, amministrati dalla struttura centrale del DOT della Pennsylvania, dove i risultati delle prove su materiali differenti sono condivisi da tutti gli Stati.

Allo stesso modo la SASHTO (Southeastern Association of State Highway and Transportation Officials) ha creato un'organizzazione per promuovere l'accumulo di tecnologia fra i suoi Stati appartenenti. La struttura

della SASHTO è più una attività di cooperazione, costituita semplicemente da un piano organizzativo per coordinare gli sforzi del personale esistente delle compagnie stradali nell'esecuzione delle prove.

## **PRESTAZIONI**

Moltissima attenzione è stata prestata sulle proprietà delle pitture stradali. Ciò ha aiutato la ricerca mirata a sviluppare una formulazione di pittura che desse una maggiore durabilità, visibilità ed un miglior aspetto. Il risultato di ciò è stato che un certo numero di pitture effettivamente soddisfa le specifiche delle compagnie stradali.

Ci sono tre ragioni per valutare le prestazioni di una pittura. Primo, le stime prestazionali aiutano a valutare il rapporto costo-efficienza di una striscia rispetto ad altre forme di delineazione. Secondo, se la pittura è selezionata, è necessario valutare i campioni di pittura per determinare il miglior prodotto da acquistare. Terzo, bisogna sapere per quanto tempo una striscia fornirà un'adeguata delineazione in modo da programmare i successivi "ripassi" di pittura.

Vari studi indicano che una precisa composizione di una pittura non è così importante come una scrupolosa applicazione della stessa. È stato asserito che "una pittura scadente ma applicata propriamente avrà delle prestazioni uguali o maggiori di quelle evidenziate da una buona pittura ma applicata impropriamente. E' stato documentato che il 90% degli insuccessi di una pittura sono dovuti al tipo di supporto ed alle condizioni superficiali dello stesso.

### **Termini per descrivere le prestazioni**

Vari termini sono utilizzati dalle varie compagnie stradali per descrivere le prestazioni di una pittura. Alcuni di questi, quali "vita di servizio", "vita prevista", "durata o vita utile" e "malfunzionamento di una pittura", spesso hanno differenti significati e non dovrebbero essere usati in modo intercambiabile. E' difficile esprimere tali termini quantitativamente essendo normalmente basati su giudizi soggettivi.

Ciascuna striscia deteriora gradualmente con il tempo e l'esposizione al traffico e le condizioni meteorologiche. Le compagnie stradali spesso definiscono la vita di servizio di una striscia come l'intervallo di tempo tra il momento della sua applicazione ed il momento in cui essa deve essere rifatta. Perciò la vita di servizio è dipendente dal grado di deterioramento che può essere tollerato prima che il rifacimento sia necessario.

Come menzionato prima le vite di servizio sono usate per valutare le strisce testate e computare il costo di vari materiali. La stima è basata sull'aspetto, durabilità e visibilità notturna di materiali campioni su sezioni di prova. Ciascuna delle tre caratteristiche sono stimate numericamente da 0 a 10. Un valore pari a 10 rappresenta il massimo mentre il valore 0 rappresenta il minimo (non rimane niente della striscia). Molte compagnie assumono che la vita di servizio è alla fine, quando la media pesata dei valori è pari a 4 o meno. Ciò viene qualche volta riferito come "vita effettiva".

E' stato suggerito che l'uso di una scala numerica di 11 gradi (0 e 10 inclusi) può essere scomoda. Per esempio con questo tipo di scala la differenza tra 7 e 8 è talmente piccola che è difficile mantenere una certa consistenza fra valori differenti. Perciò sarebbe meglio usare una scala con meno gradi fra il valore di "perfezione" e "completa mancanza di funzionamento".

La prestazione è una funzione di numerose variabili, ma non già della stessa pittura. Le prestazioni di materiali identici dipenderanno dall'interazione delle variabili di delineazione discusse nel capitolo 3. Inoltre molti fattori coinvolti nell'applicazione del materiale influenzano le sue prestazioni. Queste ragioni rendono impossibile determinare velocemente e semplicemente una formula per la vita di servizio.

## Cause di cedimento

L'integrità di una striscia stradale può risentire le conseguenze di tre meccanismi: perdita di materiale per abrasione della superficie, cedimento nella coesione della pittura (dentro lo strato legante), cedimento nell'adesione all'interfaccia con il supporto.

Un'altra possibile causa di cedimento spesso trascurata è all'interno della regione del supporto appena sotto l'interfaccia pittura- supporto. Le tensioni che causano tale cedimento sono dovute alla reazione della superficie della pavimentazione alle forze di taglio ed al peso dei veicoli.

Dal momento che le singole tensioni, ovviamente, non causano tali cedimenti, la fatica deve essere il meccanismo che produce tali cedimenti. I fattori che contribuiscono alla perdita di efficacia di una pittura, dell'interfaccia e del supporto possono includere il ciclo di temperatura e di umidità, il danno provocato dalle radiazioni solari, l'attacco chimico di sali ed acidi (da ossidi di azoto e zolfo presenti nell'aria), l'attacco fisico dei solventi (come benzina ed olio), i battistrada dei pneumatici e le catene, gli spazzaneve.

Con così tanti possibili meccanismi di cedimento, non deve sorprendere il fatto che ci sia una ampia variazione nelle prestazioni riscontrate di vari tipi di materiali. Questa è anche la ragione del fatto che le prove di abrasione non hanno avuto completamente successo nella predizione della vita di servizio delle strisce verniciate.

## Intervalli di vita di servizio

Sebbene la vita di servizio stimata di una pittura stradale è funzione di numerose variabili specifiche dell'area, il traffico medio giornaliero (TGM) è la più comunemente usata rispetto ad ogni altra variabile. Molte compagnie stradali considerano che un ragionevole obiettivo sia da 6 a 12 mesi in condizioni normali. Un servizio di tre mesi potrebbe essere accettabile per strade con altissima densità di traffico, laddove alcune pitture possono durare più di un anno in strade con basso TGM.

Lo stato di usura per la pittura è funzione dell'interazione fra le variabili di delineazione discusse nel capitolo 3. Le variabili che influenzano, in particolare, la pittura sono studiate di seguito. Come già detto nel capitolo 3, la geometria della strada e le caratteristiche del traffico determineranno il numero di ruote che passano sopra una certa porzione di striscia. Inoltre la composizione del traffico determinerà il ciclo di carico medio per ogni passaggio di ruota. Questi fattori sono direttamente proporzionali all'usura della striscia. In combinazione con gli effetti di altre variabili di delineazione, questi fattori saranno di solito correlati bene con la vita di servizio.

Il tipo e la condizione della superficie della pavimentazione è un'altra variabile che influenza la vita di servizio. La pittura normalmente dura più a lungo sul supporto bituminoso che su quello in cemento. In media le strisce centrali situate su di un supporto in cemento possono richiedere un ripasso di pittura ogni anno, laddove le stesse strisce sull'asfalto possono richiedere un ripasso ogni due anni. E' stato anche riscontrato che strisce rifatte su vecchie strisce hanno migliori prestazioni di strisce nuove, supponendo che lo strato di base di una pittura è in discrete condizioni ed è su un supporto stabile.

Le condizioni climatiche avranno un'influenza diretta sulla vita di servizio di una striscia. Sono particolarmente importanti per una pittura, che spesso ha una vita di servizio più corta di un ciclo completo di quattro stagioni. L'usura della pittura è specialmente accentuata in condizioni atmosferiche fredde. In certi climi pitture applicate in autunno avranno una vita di servizio più breve di quelle applicate in primavera.

A parte la velocità di usura, la vita di servizio di una pittura sarà determinata dalla modalità del cedimento e dalla formulazione e spessore della pittura. Differenti formulazioni di una pittura influenzano la vita di servizio, ma la pittura più durevole tenderà ad essere proporzionalmente anche la più costosa.

Di solito films più spessi di pittura su pavimentazioni stabili forniscono un incremento della durabilità. Comunque questo non dà luogo ad una relazione lineare. Infatti per strisce più spesse di 15 mil (0.4 mm) l'incremento della vita di servizio diminuisce proporzionalmente con l'incremento dello spessore.

L'aumento di spessore di una pittura allungherà la vita di servizio solo se il cedimento è causato dall'usura. Qualche volta la modalità del cedimento è dovuta alla perdita di coesione dentro lo strato di pittura o di adesione all'interfaccia tra strato di pittura e supporto. In questi casi l'incremento dello spessore di pittura normalmente non aumenta la vita di servizio.

A causa della variazione dei parametri associati con la vita di servizio di una pittura, ciascuna compagnia stradale dovrebbe sviluppare una propria stima della vita di servizio, basata sulle condizioni climatiche locali e sull'esperienza. Una vita di servizio media basata sulla compilazione di esperienze su scala nazionale ha poco significato.

## **APPLICAZIONE, MANUTENZIONE ED RIMOZIONE**

I dispositivi, le procedure e l'accortezza prestate nell'applicazione di una pittura hanno una profonda influenza sulle prestazioni. Ciò è ugualmente vero per tutti i tipi di trattamento di delineazione. Fra i maggiori interessi vi è la compatibilità dei materiali e dell'attrezzatura, il numero e la capacità degli operai, la sicurezza degli operai ed il controllo del traffico durante l'applicazione.

Mentre si potrebbe assumere che il materiale scelto dovrebbe imporre il tipo di attrezzatura, in pratica si verifica il contrario. Infatti il materiale è spesso selezionato in base alle capacità dell'attrezzatura disponibile. Questa è una delle ragioni per cui le compagnie stradali sono poco propense all'utilizzo di nuovi materiali.

Per esempio, si può determinare che una pittura ad essiccamento rapido, applicata a caldo, sarà economica, duratura e applicata in modo sicuro per un certo progetto. Se l'attrezzatura della compagnia stradale è compatibile solo con pitture applicate a freddo, molte compagnie utilizzeranno solo pitture applicate a freddo. La spesa di capitale per nuove attrezzature o per l'impiego di un appaltatore sono spesso oltre il budget disponibile.

Questo illustra quali compromessi bisogna fare tra tutti gli elementi di un trattamento di delineazione. Poche decisioni sono abbastanza semplici da poter essere fatte indipendentemente da altri interessi.

### **Attrezzature di applicazione**

Le strisce stradali possono essere applicate con una varietà di attrezzature. La selezione dell'attrezzatura adatta dipenderà dalla dimensione della comunità, dalle miglia di strada, dalle caratteristiche geografiche, dal tipo di superficie della pavimentazione e dai tipi di tracciamenti.

Le attrezzature sono di due categorie. La prima è la piccola, motorizzata, controllata manualmente traccialinee con una capacità molto bassa. L'altra è la traccialinee autocarrata, per servizio pesante e multicorsia.

La traccialinee più piccola è generalmente usata per le strisce pedonali ed altre strisce trasversali e scritte. Le traccialinee commerciali possono avere diverse caratteristiche particolari. Un tipo potrebbe essere autosufficiente con un piccolo motore che la aziona e fa funzionare i compressori dell'aria, i serbatoi della pittura e delle perline, la pistola a spruzzo ed il distributore di perline. In altre traccialinee, il compressore può

essere un'unità ausiliaria con una manichetta connessa alla pistola a spruzzo. Tipiche traccialinee di piccole dimensioni sono illustrate in figura 21.

La traccialinee più grossa autocarrata è quasi sempre utilizzata per le strisce longitudinali. Queste traccialinee sono disponibili commercialmente o possono essere modificate a seconda delle specifiche delle compagnie stradali. Mentre le specifiche possono essere diverse, le traccialinee per servizio pesante hanno tipicamente le seguenti caratteristiche. Il banco deve essere abbastanza grande da portare tutta l'attrezzatura necessaria per il tracciamento. Il motore dovrebbe avere una potenza sufficiente per mantenere una velocità costante nelle salite. Questo è necessario per l'attrezzatura spruzzatrice per ottenere un tracciamento uniforme. La traccialinee è equipaggiata con speciali luci di avvertimento. I pannelli con la freccia dovrebbero essere montati sulla traccialinee se essa non è seguita da un veicolo di protezione. La parte anteriore della traccialinee è di solito equipaggiata con un dispositivo, come una piccola ruota orientabile, che permetterà all'operatore di seguire una "traccia" sulla pavimentazione o di seguire un tracciamento precedente. Il dispositivo deve essere retrattile in modo che possa essere sollevato facilmente dalla pavimentazione quando l'operazione di tracciamento è discontinua oppure quando il dispositivo non è in uso. Un tipico schema di traccialinee di grosse dimensioni è mostrato in figura 22. Foto di alcuni modelli più comuni di traccialinee sono mostrati in figura 23.

Due metodi differenti sono impiegati per rifornire pittura alle pistole a spruzzo. Nel primo i serbatoi della pittura sono sollevati da un camion di approvvigionamento verso la traccialinee per mezzo di un montacarichi e la pittura viene pompata direttamente dai serbatoi alle pistole spruzzatrici. Una valvola sulla manichetta permette il pompaggio da ognuno dei due serbatoi. Nel secondo metodo i serbatoi della pittura sono posizionati sulla traccialinee. Questi possono essere riempiti da bidoni o autocisterne sia per mezzo di pompe che di pressurizzatori ad aria. In entrambi i metodi filtri devono essere presenti sulle linee per prevenire contaminanti nella pittura. I filtri devono essere facilmente accessibili in modo da essere puliti frequentemente. Filtri aggiuntivi dovrebbero essere posizionati vicino alle pistole spruzzatrici. Le manichette devono essere resistenti ai solventi di lavaggio ed ai solventi utilizzati nella pittura.

La traccialinee dovrebbe essere equipaggiata con un accurato misuratore di velocità in modo da mantenere una velocità costante. Un misuratore di portata per ogni rifornimento di pittura è prezioso per controllare la quantità di pittura applicata.

Un sistema pressurizzato ad aria trasporta la pittura alle pistole spruzzatrici ad una pressione determinata dalla quantità di pittura da erogare. Viene inoltre fornita aria, ad una pressione più bassa, all'ugello della pittura per atomizzarla. Inoltre l'aria muove le perline dal serbatoio di stoccaggio al distributore del tipo a gravità. Quando è usata pittura calda, le perline sono applicate pneumaticamente. L'aria è anche usata per attuare le valvole di controllo delle pistole spruzzatrici. Alcune compagnie stradali utilizzano un getto d'aria appena prima della pistola per soffiare via le scaglie di pittura staccata, ed altri detriti, dall'area che deve essere verniciata.

L'approvvigionamento di aria viene da un compressore che è comandato da un motore a benzina o diesel. Questo è montato su di un telaio imbullonato al banco. Ci dovrebbe essere della strumentazione per assicurare che il motore fornisca la potenza necessaria al compressore. Dispositivi di protezione sono necessari per staccare il motore in caso di malfunzionamento.

L'aria pressurizzata è anche connessa ad un sistema di pulizia, che è un serbatoio del solvente della pittura, che può essere connesso alle linee e agli ugelli della pittura da una valvola di rifornimento. Le linee, gli ugelli ed i filtri devono essere puliti solo dopo l'uso. Il solvente di pulizia viene ricircolato ad un serbatoio sulla traccialinee.

Le pistole spruzzatrici ed i distributori di perline sono montati su carrelli più bassi rispetto al banco del camion; questi sono attaccati dietro gli assi posteriori. Questo è illustrato nella figura 24. I carrelli possono essere mossi lateralmente dall'operatore addetto alle pistole spruzzatrici. Quindi si può ottenere un buon posizionamento del carrello. Se le linee di margine devono essere fatte insieme alle strisce di mezzzeria, due dispositivi a carrelli sono necessari.

Le pistole spruzzatrici e i distributori di perline sono temporizzati in modo tale che il distributore di perline viene attivato dopo che la pistola spruzzatrice è stata attivata. Tutte le pistole ed i distributori sono controllati da un timer a funzionamento intermittente. Questo dispositivo consiste in un meccanismo di regolazione guidato da una rotella a contatto con il suolo. Un tipico pannello di controllo è mostrato in figura 25.

Il riscaldamento della pittura prima dell'applicazione si è dimostrato efficiente nell'ottenimento di una consistenza più uniforme al cambiamento delle condizioni di temperatura e nella riduzione del tempo di essiccamento. Temperature basse (fino a quasi 120°F/49°C) possono essere ottenute utilizzando uno scambiatore di calore nel serbatoio di rifornimento della pittura. Questo utilizza come vettore termico l'acqua calda del radiatore del camion oppure del radiatore del compressore. Temperature più alte di questa richiedono che le linee di rifornimento della pittura siano incamiciate e l'acqua calda deve essere fornita alla camicie.

Temperature al di sopra i 180°F (82°C) generalmente richiedono un sistema di riscaldamento esterno per fornire il liquido riscaldato allo scambiatore e riscaldare le linee della pittura. Alcuni traccialinee che sono utilizzati per l'applicazione di pitture riscaldate ad essiccamento rapido hanno un compressore posizionato dietro l'operatore ed uno scambiatore montato sul banco.

Un tipo di traccialinee è capace di applicare materiale a pressioni fino a 2000 psi (14000 KPa) e a temperature fino a 350°F (177°C). Un traccialinee usato dal Dipartimento dei Trasporti della Florida ha un riscaldatore di 1 milione di Btu (293 KW), un compressore di portata pari a 250 ft<sup>3</sup>/min. (0.12 m<sup>3</sup>/s), doppia guida e una capacità di applicazione della pittura ad una temperatura di 225 °F (108°C) mentre traccia tre strisce.

Un altro tipo di traccialinee usato in California genera calore in base ad un meccanismo di rotazione che utilizza energia meccanica per fornire calore alla pittura. Non c'è bisogno, quindi, di alcun scambiatore di calore. Le temperature possono essere controllate entro 1°F (0.6°C), in un intervallo di temperatura che va da quella ambiente fino a 400°F (204°C). E' stato utilizzato con vari materiali ed a una velocità fino a 20 mph (32 Km/h). Il tempo di essiccamento della pittura, a seconda del materiale, varia da 6 a 90 secondi. L'operazione è condotta da una squadra di due operai più un camioncino a seguito con un segnale di avvertimento. Questo traccialinee può tracciare dal lato destro o sinistro oppure mettersi sui due lati del tracciamento. Fino a tre tracciamenti possono essere applicati simultaneamente. Un'altra caratteristica di questo traccialinee è la pistola spruzzatrice ad ugelli multipli senz'aria capace di un'operazione a strati; per esempio due sottili strati di pittura, seguiti da perline, poi un altro strato di pittura e uno strato superiore di perline. Poiché non è necessario pulire le linee della pittura e le pistole spruzzatrici alla fine del giorno di lavoro, un'intera giornata di tracciamento è possibile. Si è riscontrato che questo traccialinee riduce l'uso di perline del 15% e quello di pittura del 10% rispetto ai modelli più vecchi.

Il Missouri, la North Carolina e molti altri Stati hanno traccialinee che usano un sistema spruzzatore con fluido ad alta pressione (1400÷1800 psi/9600÷124000 KPa). L'atomizzazione con aria della pittura non è richiesta. Il Wyoming ha traccialinee con motori che azionano pompe ad alta pressione.

### **Numero di operai per l'installazione**

Sebbene le pitture applicate a freddo ad essiccamento rapido e riscaldate non richiedano protezione dal traffico del tracciamento appena verniciato, le pitture ad essiccamento più lento richiedono alcune forme di

protezione. Il tipo di protezione richiesto definisce il numero di operai della squadra addetta all'applicazione del tracciamento.

Il tipo di protezione più comune è il cono da traffico. Il traccialinee può essere equipaggiato con un apparato che posiziona i coni. Alternativamente una piattaforma, in coda oppure al lato del traccialinee, può accogliere un operaio che posiziona i coni manualmente. In altre operazioni i coni sono posizionati da un camion, che segue il traccialinee, equipaggiato con un segnale a freccia. Un esempio di come questi coni sono posizionati è mostrato in figura 26.

Alcune compagnie stradali ritirano i coni manualmente. In altri Stati macchine per ritirare i coni sono state sviluppate. Una di tali macchine, progettata dall'ADDCO e commercializzata, consiste di una larga ruota che ritirerà oppure metterà giù i coni, permettendo all'operatore di rimanere sul camion.

Su strade molto trafficate alcune compagnie stradali useranno uno o più camion, con segnali a freccia, che seguono il traccialinee. Questi camion dirigeranno il traffico e proteggeranno il tracciamento dal traffico. Particolare attenzione e cautela in queste situazioni devono essere prese per proteggere il lavoro degli operai.

Il numero di operai dipende dalla natura dell'operazione e dalla politica di ciascuna compagnia stradale. Se linee di centro, linee di margine e linee di "divieto" sono applicate simultaneamente, due operatori addetti alle pistole spruzzatrici sono necessari. Inoltre, considerando che il traccialinee ha un conducente ed un assistente, un numero di quattro operai è richiesto. Un camion di rifornimento ed un operatore è richiesto per la maggior parte delle operazioni. Se i coni sono necessari, un altro operaio è richiesto. Il coordinatore degli operai di solito segue il traccialinee. I coni devono essere ritirati da un altro camion con due o tre operai. Se i coni non sono richiesti, camion di supporto sono usati per proteggere le strisce e generalmente seguono il traccialinee ad una distanza di circa 500 ft (150 m).

La più semplice operazione di tracciamento richiede circa cinque operai e due camion, in aggiunta al traccialinee. Una certa pianificazione e coordinamento sono richiesti per ottenere un'operazione efficiente e a basso costo. Poiché l'operazione di tracciamento è stagionale in molti Stati, le strisce dovrebbero essere applicate la mattina presto, ma non prima che le condizioni non siano adatte. A causa delle molte ore di lavoro, il tracciamento spesso inizia la mattina prima che la superficie della pavimentazione sia asciutta.

Come in molti altri campi, la qualità è spesso sacrificata a causa della spinta verso una maggiore produttività. Scorciatoie nell'applicazione sono raramente efficienti. I materiali possono essere sprecati, le apparecchiature inceppate e la qualità del tracciamento scadente, se un'appropriatezza attenzione ai dettagli è trascurata in favore di alcuni metri aggiuntivi di tracciamento.

### **Pretrattamento della pavimentazione**

Le prime esperienze con le pitture stradali hanno suggerito che una migliore adesione potrebbe risultare dal pretrattamento. E' stato abbastanza ben documentato che strisce ripinturate hanno prestazioni migliori di quelle applicate per la prima volta su una pavimentazione nuda. E' stato ipotizzato che un pretrattamento, in particolar modo sulla pavimentazione in cemento, dovrebbe allungare la vita di servizio di una pittura.

Comunque l'attuale prestazione dei pretrattamenti è stata irregolare; molti metodi sono stati utilizzati senza un significativo incremento della durabilità. L'applicazione di un leggero rivestimento di pittura senza perline, come turapori (prima mano), su una superficie di pavimentazione nuova si è mostrata una pratica di successo utilizzata in alcuni Stati.

Il primo rivestimento (primer: prima mano), steso nella misura di 4÷5 galloni per miglio (9.4÷11.8 litri per km), essicca rapidamente e sigilla la pavimentazione. Questo elimina lo scolorimento dell'asfalto dovuto al solvente della pittura stradale. Inoltre aumenta l'adesione su pavimentazioni in cemento.

Un altro problema è l'inadeguata pulizia delle superfici della pavimentazione. Alcune prove hanno mostrato che una pavimentazione pulita migliora l'adesione. Uno studio sul campo è stato condotto per valutare i vari tipi di tecniche di preparazione della superficie. Le tecniche studiate includevano: grinding (molatura), airblasting (abbattimento ad aria compressa), sandblasting (sabbatura), burning (cottura), hydroblasting o washing (lavaggio), attacco chimico con acidi e wire brushing (spazzolatura con fili metallici).

Tra i vari metodi, l'uso della spazzola metallica era il migliore per il tipo di tecnica di applicazione utilizzata. Questa era facile da usare, lavorava bene su superfici irregolari, non danneggiava le superfici, non aveva problemi logistici e di tempo ed effettivamente rimuoveva la sporcizia sulla pavimentazione. In questo metodo una spazzola metallica è montata davanti alla pistola delle linee centrali ed è controllata dallo stesso circuito. La pistola e la spazzola in questo modo si attivano e disattivano simultaneamente.

La pressione di spazzolatura sulla strada è controllata da un regolatore sulla linea dell'aria di rifornimento. Sembrava che un'ottima spazzolatura si avesse quando la spazzola era alla sua massima velocità (600 rivoluzioni al minuto) e ad una pressione che causava 0.25 in. (0.17 mm) di flessione delle setole laterali. Una pressione troppo alta dava luogo ad un'eccessiva flessione delle fibre, a guasti prematuri, ad un'azione di pulizia insufficiente e ad un inutile sforzo sulle parti di guida.

Il costo dell'operazione di spazzolatura, durante questo studio condotto nel 1979, ammontava a circa 0.26 dollari al miglio (0.16 al chilometro). Si concluse che la vita di servizio di una pittura non era apprezzabilmente migliorata dalla spazzolatura condotta nelle condizioni presenti nelle prove sul campo (caldo, tempo secco, strade relativamente pulite). Può essere ancora utile per altre condizioni della strada ed è probabilmente più importante quando si applica per tracciamenti di materiale termoplastico spruzzato oppure estruso, poiché questo non ha la stessa capacità di bagnabilità delle pitture a base di solvente.

### **Pretracciamento di una strada**

E' generalmente necessario pretracciare la superficie della pavimentazione prima di applicare una nuova striscia. Il metodo di pretracciamento più comune è quello di utilizzare una cordicella oppure pezzi di nastro di tracciamento stradale e fare dei pallini da applicare ogni 5 ft (1.5 metri). Quando lavorano nel traffico, gli operai che applicano il pretracciamento devono essere protetti con segnali, bandiere e chiusura delle corsie. Un'altra procedura è pretracciare la pavimentazione con linee "sbavate" utilizzando un piccolo traccialinee. L'uso del traccialinee assicura una veloce disposizione delle tracce con un minimo numero di punti di controllo.

Per lavori di rifacimento superficiale, una striscia di deviazione temporanea è tracciata sul margine prima che la copertura sia applicata. Il traccialinee poi applica la striscia sulla nuova superficie utilizzando la striscia di deviazione come guida. Questo metodo è stato provato in passato.

Se un tracciamento è stato cancellato dal rifacimento superficiale della pavimentazione, la politica della FHWA richiede che le strisce siano applicate prima che la carreggiata sia aperta al traffico. In alcuni Stati, linee sbavate sono tracciate per essere utili al traffico fino a che la superficie non è matura e le strisce standard non sono verniciate. Se utilizzate, le linee sbavate non dovrebbero essere larghe più di 3 in (76 mm), in modo tale da essere completamente coperte dall'applicazione delle strisce standard. Comunque l'uso di linee sbavate è dissuaso dall'FHWA.

## Programmazione delle attività di tracciamento

Una adatta manutenzione richiede la ripittura delle strisce quando il contrasto, il film di base o la retroriflessione sono perse. La decisione di ripitturare e programmare l'attività sono compiti del responsabile della manutenzione di una compagnia stradale. Le compagnie stradali hanno di solito una politica già stabilita di conduzione di tale attività. La disponibilità di materiali, di macchinari e di operai è anche importante. I materiali devono essere selezionati, acquistati ed immagazzinati. I macchinari devono essere revisionati e mantenuti in efficienza per garantire le giuste funzioni e prevenire le rotture mentre sono sulla strada. Operai qualificati devono essere disponibili e appropriatamente inclusi in una lista.

Alcune compagnie stradali hanno delle liste preordinate che identificano i tratti di strada che devono essere periodicamente riverniciate. Un programma computerizzato di tracciatura dovrebbe essere utilizzato per una grande quantità di strade per assicurare una distribuzione ottimizzata di macchinari, operai e materiali. Quando pochi chilometri di strada sono interessati, un'operazione di programmazione manuale è comunemente usata. In ogni caso l'esperienza passata e la politica della compagnia stradale definiscono il numero di volte all'anno che una strada deve essere riverniciata.

Altre compagnie possono preferire di programmare la ripittura in base all'ispezione notturna delle varie installazioni. In alcuni casi le strade residenziali o a basso TGM sono semplicemente riverniciate su base periodica. Quelle più trafficate o ad alto TGM sono inserite in una lista su base prioritaria utilizzando la visione notturna per giudicarne le prestazioni globali.

Determinare il momento in cui sostituire le strisce è, al massimo, una scienza inesatta il cui punto debole è il giudizio soggettivo e la pressione budgetaria. Molte compagnie stradali hanno documentato che il costo supplementare dovuto alle ispezioni notturne non può essere giustificato, specialmente quando il risultato delle valutazioni è basato su opinioni soggettive.

Qualunque sia il metodo utilizzato, il personale addetto alla manutenzione dovrebbe avere una conoscenza del traffico locale e delle condizioni climatiche e deve aver fatto esperienza con una grande varietà di materiali di delineazione. Questi due criteri sono considerati ugualmente importanti per programmare le attività di ritracciamento.

I tipi di clima dell'area determinano, in larga misura, il periodo di tempo utilizzabile per la manutenzione. In aree molto nevose, per esempio, la pittura è di solito limitata alla fine della primavera, d'estate, e all'inizio dell'autunno. Il trattamento e le tecniche utilizzate riflettono la breve vita di servizio delle strisce in condizioni di maltempo invernale.

Le attività di riverniciamento dovrebbero essere programmate in concomitanza con i maggiori programmi di miglioramento e con le altre attività di manutenzione. Il rifacimento della pavimentazione, il riallineamento o cambiamenti dello schema del traffico, che richiederebbero nuove strisce o la ripittura di quelle già esistenti, possono rendere la ripittura precedentemente programmata non necessaria. Se le attività di tracciamento non sono coordinate con le altre attività di manutenzione, le nuove strisce potrebbero essere rimosse. Questo costituirebbe un errore molto costoso. Purtroppo questo tipo di sbaglio avviene spesso.

Questo non significa che la ripittura dovrebbe essere sempre procrastinata a causa dei cambiamenti o miglioramenti pianificati, particolarmente se le strisce sono significativamente degradate in luoghi pericolosi. Altre opzioni sono utilizzabili, come variare il tipo di pittura, ridurre lo spessore della striscia, oppure utilizzare delle strisce temporanee. Queste opzioni dovrebbero essere attentamente considerate quando i cambiamenti sono anticipati. Se una compagnia stradale sta programmando di procrastinare il rifacimento delle strisce, dovrebbe essere consapevole del potenziale rischio sulla sicurezza e delle implicazioni legali dell'inadeguatezza della delineazione.

## Immagazzinamento e accumulo di materiali

La pittura stradale è di solito fornita in accordo alle specifiche della compagnia stradale. E' provata nella fabbrica, messa in contenitori stagni ed inviata, pronta per essere utilizzata. La capacità dei contenitori è specificata dalla compagnia stradale e sarà di solito di 5 galloni (19 litri), 30 galloni (114 litri) o 55 galloni (208 litri).

Le specifiche per le pitture stradali sono scritte per assicurarsi contro l'agglomerazione e l'eccessiva sedimentazione del pigmento. Comunque può essere necessario mescolare la pittura per assicurarsi del completo rimescolamento prima dell'uso. Pitture che hanno sedimentato e hanno formato un duro pannello sul fondo del recipiente non dovrebbero essere usate. Anzi tutti i dati riguardanti il numero di lotto, la quantità ed altre informazioni pertinenti dovrebbero essere riportati e disposizioni devono essere prese per tali pitture, per essere restituite al produttore.

Le pitture stradali che rimarranno in magazzino per qualche tempo dovrebbero essere depositate capovolte cosicché ciascun deposito o sedimento avrà luogo sul coperchio del recipiente. Quando è aperta, il pigmento sedimentato potrà essere facilmente grattato via dal coperchio ed incluso con ciò che resta della miscela.

Occasionalmente un recipiente di pittura stradale mostrerà un film verde nella parte alta e lungo i bordi del recipiente. Questo scolorimento, che sparisce immediatamente con il mescolamento, non è di alcun rilievo nelle prestazioni della pittura. Comunque qualche volta la pittura stradale contiene "pellicole". Le specifiche di solito richiedono che l'interno dei recipienti, che contengono le pitture stradali, sia resistente ai solventi ed impedisca la formazione di pellicole. Una pellicola potrebbe formarsi a causa dell'utilizzo da parte dei produttori di materiali inadatti come interni di recipienti della pittura. Questo interno si scioglie e forma pellicole. Le pitture che contengono pellicole di questo tipo non dovrebbero essere utilizzate, e accordi devono essere presi per riportarle ai venditori.

La pittura dovrebbe essere miscelata accuratamente prima di essere posta nel serbatoio del dispositivo utilizzato per la sua applicazione. Solventi non dovrebbero essere necessari. (Il solvente di lavaggio, di solito fornito, è inteso solamente per la pulizia dell'attrezzatura e non per diluire la pittura).

Uno studio, condotto nel 1979, di costo- efficienza delle varie pratiche di immagazzinamento e stoccaggio, si rivolse specificatamente alla fattibilità economica del riciclo di bidoni per la spedizione e lo stoccaggio di pitture, all'uso di bidoni di 55 galloni (208 litri) invece che di 30 galloni (114 litri), ed allo stoccaggio di grossi volumi di pittura invece che in bidoni.

Molti Stati provarono ad utilizzare bidoni riciclati, ma i bidoni avevano problemi di perdita poiché i coperchi non si incastravano bene. Si concluse che ciò non costituiva un'alternativa economicamente fattibile, considerando la perdita di pittura attraverso il coperchio ed il piccolo risparmio ottenuto con l'uso di bidoni riciclati.

Lo studio mostrò che l'uso di bidoni da 55 galloni, al posto di quelli da 30 galloni, risultava in una riduzione del 40% del numero di bidoni. In base ad una comparazione fra i costi dei bidoni ed i loro valori di rivendita, per entrambe le dimensioni, si rilevò che un considerevole risparmio nel solo costo d'acquisto poteva essere realizzato.

In aggiunta agli ovvi risparmi, di circa 0.35 dollari al gallone (0.09 al litro), favoriti dall'eliminazione del costo dei bidoni, si stimò che circa 3 galloni (11.4 litri) di pittura rimanevano in ciascun bidone da smaltire. Perciò ci sarebbe stato un ulteriore risparmio dovuto alla riduzione dello spreco di pittura. I costi di installazione, manutenzione ed energia delle strutture di stoccaggio compensano alcuni di questi potenziali risparmi.

Il principale problema nel convertirsi all'uso di bidoni più grossi risiede nella movimentazione di questi bidoni nelle varie aree di stoccaggio. I bidoni da 30 galloni, pieni, possono essere caricati manualmente sui camion di rifornimento. Per movimentare i bidoni da 55 galloni, elevatori a forca o altre attrezzature sono necessarie. Da qui un ulteriore costo per l'attrezzatura di movimentazione può compensare parte del risparmio iniziale.

Un'effettiva potenzialità di risparmio sembra risiedere nel concetto di stoccaggio di grossi volumi di pittura. Questo possibile risparmio, come la capacità di stoccare grosse quantità di pittura in aree piccole, rende tale metodo di stoccaggio un'alternativa attraente.

## **RIMOZIONE DELLE STRISCE**

Tutte le compagnie stradali hanno bisogno di stabilire risorse per la rimozione delle strisce esistenti, che sono diventate inadeguate ai fini della sicurezza stradale. Le difficoltà connesse con la rimozione delle strisce sono state aumentate dallo sforzo sempre più riuscito di migliorare la durabilità e l'adesione di una pittura.

### **Metodi tradizionali**

Una ricerca del 1986, condotta dal Dipartimento dei Trasporti dello Stato di New York, ha indagato sui metodi tradizionali di rimozione delle strisce. Tali metodi sono i seguenti.

*Chimico.* La sostanza chimica che rimuove la pittura può essere applicata sulla striscia non voluta o manualmente o con una macchina. Viene lasciata reagire per 10÷20 minuti a seconda della temperatura della pavimentazione. Un getto d'acqua, alla pressione di 500÷2500 psi (3400÷17000 KPa), toglie poi la sostanza chimica e la pittura dalla pavimentazione. Questo metodo è risultato essere efficiente per entrambe le pavimentazioni in asfalto o cemento, ma danni possono risultare se la sostanza chimica è lasciata per troppo tempo oppure la pressione del getto è troppo elevata. Tale procedura è limitata a temperature al di sopra di quella di congelamento ed è molto efficiente per strisce di spessore di 10÷20 mil (0.26÷0.53 mm). Aumenti dello spessore della pittura richiedono una seconda o terza applicazione, perciò rallentano l'operazione ed incrementano il costo.

*Grinding (Molatura).* Questo metodo è stato prospettato per rimuovere effettivamente le strisce da entrambe le pavimentazioni in asfalto e cemento. Poiché lo spessore delle strisce non influenza il grado di rimozione, la molatura può essere efficiente anche sul prodotto termoplastico. Comunque il danneggiamento della pavimentazione è un problema, perché la molatura altera la tessitura superficiale della pavimentazione e l'aspetto e può anche scavare la superficie, creando perciò un segno al posto della striscia rimossa. La molatura è stata riscontrata essere molto lenta e costosa e non è raccomandabile per pavimentazioni in asfalto open-graded o con tessitura ruvida.

*Getto d'acqua ad alta pressione.* Getti d'acqua ad alta pressione, 2000÷3000 psi (13.700÷20.500 KPa), si sono dimostrati efficienti nella rimozione di strisce da pavimentazioni in cemento. E' stata riscontrata una rimozione del 90% delle strisce dall'asfalto, ma un segno della striscia cancellata può rimanere. Questo metodo, che è ristretto a temperature maggiori di quella di congelamento, può rimuovere anche l'aggregato fine dalla pavimentazione in asfalto.

*Combustione con aria compressa calda.* Questo metodo utilizza getti molto caldi (temperatura maggiore di 2400°F/1325°C) di gas esausti risultanti dalla combustione del propano con aria compressa ad alta velocità per ossidare le strisce. Buon risultati sono stati riscontrati nella rimozione delle strisce, ma il getto d'aria rimuove anche del materiale della pavimentazione. La pittura cancellata e le perline rimangono legati alla superficie della pavimentazione, creando dei segni. Una spazzola metallica rimuove un po' di questa "macchia" ma il segno è ancora visibile sia di giorno che di notte. L'usura del tempo e del traffico tende a rendere questo "scolorimento" della pavimentazione meno ovvio, ma esso può essere ancora visibile dopo tre

mesi. Come in ogni metodo di bruciatura, la pavimentazione in asfalto e il materiale del giunto di dilatazione, nella pavimentazione in cemento, possono essere danneggiati se la testa del bruciatore si muove troppo lentamente.

*Combustione in eccesso di ossigeno.* In questo sistema due bruciatori, larghi e piatti, sono montati in serie su di un semplice carrello azionato a mano. Il primo bruciatore genera una fiamma ad elevata temperatura (4500÷5000°F/2482÷2760°C) di propano e ossigeno diretta verso la superficie della pavimentazione. La punta del secondo bruciatore dirige ossigeno puro verso la superficie di combustione per accelerare l'ossidazione della striscia. Buoni risultati sono ottenuti su strati di pittura che sono sottili, e strisce più spesse di 20 mil (0.53 mm) richiedono di solito più di un passaggio. Le strisce cancellate e le perline rimangono legate alla superficie della pavimentazione, ma possono essere rimosse utilizzando una spazzola metallica. Dopo alcune settimane di usura dovuta agli agenti atmosferici ed al traffico, questo segno normalmente si meschia con la pavimentazione circostante e non rimane a lungo visibile. La velocità di rimozione varia con lo spessore della striscia. Fino a 20 mil (0.53 mm) di una tipica pittura alla gomma clorurata o alchidica, la striscia può essere rimossa con ogni passata eseguita alla velocità di 7÷15 piedi (2÷5 metri) al minuto. Per strisce più spesse, è necessaria più di una passata. Non appena la cenere residua si accumula, essa protegge la striscia da un'ulteriore penetrazione della fiamma.

*Hydroblasting (Sabbatura con l'acqua).* Questo metodo utilizza un getto d'acqua ad alta pressione in combinazione con sabbia per sottoporre a sabbatura idraulica la striscia. La sabbatura è condotta ad una pressione di 5000÷10000 psi (34250÷68500 KPa) e la sabbia viene utilizzata ad una velocità di 300 libbre/h (136 Kg/h). L'Hydroblasting rimuove tutta la pittura e le perline da pavimentazioni in cemento senza alcun danno apparente. Una sottile fanghiglia grigio-chiara rimane sulla pavimentazione, ma dopo qualche settimana di usura dovuta agli agenti atmosferici e al traffico, il segno non è più evidente. Questo metodo è meno efficiente per la pavimentazione in asfalto rispetto a quella in cemento, ed in alcuni casi l'aggregato superficiale può essere trascinato via oppure levigato, creandosi un segno che può essere visibile di notte ed in condizioni di visibilità ridotta. L'abrasione dovuta agli agenti atmosferici ed al traffico eventualmente rimuovono questo segno. L'hydroblasting, che richiede una lunga serie di attrezzature ed è limitata a temperature al di sopra di quella di congelamento, è un'operazione lenta. Comunque qualche aspetto positivo è stato riscontrato nella rimozione delle strisce verniciate dalla pavimentazione in asfalto.

*Sabbatura.* Uno dei metodi più largamente utilizzati per la rimozione delle strisce, la sabbatura raggiunge risultati eccellenti sia su pavimentazioni in cemento che su quelle in asfalto. Comunque la capacità dell'operatore è necessaria per una efficace rimozione delle strisce senza danneggiare la pavimentazione. La sabbatura non è efficace per pavimentazioni in asfalto open-graded poiché è difficile rimuovere completamente le strisce senza danneggiare la superficie della pavimentazione. E' generalmente lenta, richiedendo una lunga serie di attrezzature, e lascia residui che devono essere tirati via.

La tabella 3 (riportata di seguito tradotta) confronta l'efficienza dei vari metodi nella rimozione di differenti tipi di materiali utilizzati per le strisce.

Metodo di rimozione	Pittura	Prodotto termoplastico	Epossidi	Nastri in plastica	Foil Tape
Sabbatura	Buona	Lenta	Buona	Inefficiente	Molto lenta
Getto ad acqua ad alta pressione	Buona	Lenta	Buona	Inefficiente	Inefficiente
Hydroblasting	Buona	Lenta	Buona	Inefficiente	Inefficiente
Molatura	Buona	Buona	Buona	Inefficiente	Inefficiente
Combustione con ossigeno in eccesso	Solo se è sottile	Inefficiente	Inefficiente	Inefficiente	Buona
Prodotti chimici	Lenta	Inefficiente	Inefficiente	Inefficiente	Inefficiente
Rimoz. Manuale	Non applicabile	Molto lenta	Non applicabile	Molto lenta	Inefficiente

Verniciare sopra le strisce errate con pittura nera oppure con soluzioni bituminose è specificatamente proibito dal MUTCD. Tale trattamento si è dimostrato inadatto poiché la striscia originale potrebbe eventualmente riapparire non appena il materiale di copertura si consuma a causa del traffico. Inoltre le strisce che sono state coperte in questo modo sono ancora visibili in certe condizioni (bassi angoli di illuminamento) a causa della riflessione preferenziale da due superfici contrastanti, la striscia e la strada.

Il miglior metodo per la rimozione delle strisce è quello che incide il meno possibile sulla superficie della pavimentazione. Questo non dovrebbe danneggiare la superficie o la tessitura della pavimentazione. Poiché il trattamento chimico può danneggiare la superficie della pavimentazione o i canali di drenaggio, questo è quasi mai completamente soddisfacente. La rimozione delle strisce con la molatura non dà un esito del tutto buono poiché tracce di striscia di solito rimangono. La sabbiatura è stata il metodo di trattamento preferito.

La sabbiatura è efficiente particolarmente quando la pavimentazione è ruvida e porosa. Il processo provoca piccoli danneggiamenti all'asfalto e i segni risultanti sono appena evidenti. La sabbia depositata sulla pavimentazione dovrebbe essere rimossa per prevenire problemi di drenaggio e rischi al traffico.

### **Nuove tecniche**

Un nuovo metodo simile alla combustione in eccesso di ossigeno è stato sviluppato da un imprenditore privato alcuni anni fa. Consiste di un bruciatore specificatamente progettato per bruciare propano e ossigeno in una fiamma larga composta da un grande numero di "punte" separate. Dopo la combustione la striscia viene trattata con un scarificatore leggero. Prove sul campo hanno indicato che l'uso di una fiamma più fredda si risolve in una scarificazione ed in un maggior danneggiamento della pavimentazione rispetto alla combustione in eccesso di ossigeno. L'esperienza sul campo è stata limitata.

Un altro imprenditore privato ha sviluppato una tecnica di rimozione meccanica. Con questo metodo si applicano alla striscia delle ruote da taglio in acciaio duro per indebolire il legame tra la pittura e la pavimentazione. L'applicazione di getti d'acqua ad alta pressione completa la rimozione della striscia. Questo metodo ha mostrato risultati significativi in prove su piccola scala ma non è stato utilizzato in applicazioni su larga scala.

### **ISPEZIONE**

L'ispezione delle strisce è importante per le applicazioni efficienti. Gli ispettori devono essere sul luogo per assicurarsi che il contraente stia applicando correttamente le strisce. L'uso di specifiche prestazionali ha ridotto l'importanza dell'ispezione. Comunque ci sono problemi legali nel cercare di far applicare le specifiche prestazionali. I principali punti per l'ispezione delle strisce verniciate sono trattati in questa sezione.

#### **Ispezioni prima dell'applicazione**

Prima dell'applicazione l'ispettore deve controllare i seguenti punti:

- I materiali utilizzati devono provenire da un produttore qualificato oppure devono essere approvati specificatamente da un laboratorio di Stato;
- La pavimentazione, che deve essere pitturata, si deve trovare nelle condizioni appropriate per il materiale da applicare. Alcuni materiali, come le pitture epossidiche a due componenti, hanno differenti requisiti. Esse possono essere applicate sulla pavimentazione umida a basse temperature. Comunque queste non possono essere applicate su altri materiali di tracciamento. Il materiale da applicare imporrà le condizioni della pavimentazione. E' molto importante che la pavimentazione sia asciutta e pulita. Se il tracciamento comincia la mattina presto, prove di umidità dovrebbero essere eseguite. L'applicazione deve comunque avvenire dopo che queste prove siano completate con esito soddisfacente.

- Il pretracciamento dovrebbe essere adeguato per guidare l'operatore, addetto al tracciamento, nell'applicazione di strisce ben allineate. Queste dovrebbero essere larghe meno di 3 in (76 mm) per assicurare una completa copertura da parte dell'applicazione delle strisce.
- La temperatura dell'aria e della pavimentazione devono accordarsi alle caratteristiche del materiale da applicare. Inoltre differenti materiali avranno differenti requisiti. Bisogna controllare che le condizioni effettive siano concordi con quelle raccomandate dal fornitore. La tabella 4 (di seguito riportata tradotta) dà tipici intervalli di temperatura ammessi per vari materiali. Se le temperature sono al di fuori dell'intervallo di valori raccomandati dal fornitore, il tracciamento deve essere rinviato.

Materiale della pittura	Temperatura pavimentazione (°C)	Temperatura aria (°C)	Temperatura del materiale (°C)	Tempo di essiccamento (min)	Spessore tipico (mm)
Pitture alchidiche o alchidiche-modificate	>10	>10	>48.9	7 o più	0.3975
Pittura alla gomma clorurata	37.2÷67.2	37.2÷67.2	92.2÷112.2	3÷6	0.3975

### Ispezioni durante l'applicazione

Gli ispettori devono controllare i seguenti punti durante l'applicazione:

- L'esposizione al traffico deve essere minimizzata. I coni od altri dispositivi devono garantire un'adeguata protezione sia per gli operai che per le strisce appena tracciate.
- Le nuove strisce devono essere protette per tutto il loro tempo di essiccamento.
- Prove della velocità di applicazione delle perline dovrebbero essere effettuate, collocando dei sacchi sopra il distributore delle perline e avanzando, per una distanza predeterminata, alla velocità di normale tracciamento. Le perline possono poi essere pesate e la velocità di applicazione calcolata.
- La temperatura di applicazione del materiale deve essere all'interno dell'intervallo raccomandato dal fornitore.
- L'ispezione delle procedure di movimentazione e delle misure di sicurezza è vitale per ragioni di responsabilità. Molte pitture, come quelle in poliestere, implicano il maneggiamento di solventi potenzialmente rischiosi o altri materiali.

### Ispezioni dopo l'applicazione

Dopo che le strisce sono state applicate, i punti seguenti dovrebbero essere controllati per testare le tecniche di applicazione:

- Il colore dovrebbe essere controllato con un colorimetro. Il colore deve essere conforme ai requisiti dell'FHWA per i colori stradali standard.
- Lo spessore può essere controllato posizionando un lamierino sul percorso del traccialinee, rimuovendo il lamierino e misurando lo spessore con un micrometro. Il contratto probabilmente specificherà lo spessore da applicare con la tolleranza disponibile.
- La striscia deve essere controllata per un'adeguata retroriflessione usando la tecnica del chiaro- scuro o un retroriflettometro portatile; l'ancoraggio e la distribuzione delle perline può essere controllata utilizzando un microscopio tascabile.

### ASPETTI AMBIENTALI

L'uso di componenti organici volatili (VOC) in formulazioni di pitture a base di solvente è l'oggetto del crescente interesse da parte degli ambientalisti. Infatti in accordo con il CARB (California Air Resources Board) solventi organici, utilizzati nelle pitture e per la pulizia dei dispositivi, sono la terza più grande sorgente di inquinamento atmosferico a Los Angeles, San Diego, San Francisco e Sacramento.

A causa dei composti organici volatili rilasciati nelle operazioni di tracciamento, quest'ultime possono essere soggette a particolari vincoli ambientali. Infatti particolari compagnie governative hanno cominciato a sviluppare leggi specificatamente per regolare il rilascio dei VOC dalle operazioni di tracciamento. Alcune di queste compagnie, e le leggi che sono state sviluppate, sono trattate di seguito.

### **Leggi statali e locali**

Seguendo la guida dell'EPA (Environmental Protection Agency) e le ultime ricerche, gli Stati hanno cominciato i loro programmi per istituire delle leggi sui rischi ambientali creati dalle attività di tracciamento. Gli Stati che hanno fatto la maggior parte del lavoro sono quelli con seri problemi di inquinamento, come la California e New York. Queste regioni hanno una densità di popolazione particolarmente elevata e corrispondentemente un elevato inquinamento. Il rilascio di VOC ed altri inquinanti, da operazioni di tracciamento della pavimentazione, peggiora solamente il problema. Questi Stati hanno, perciò, iniziato a esercitare un controllo su queste attività.

Il bisogno di ridurre l'inquinamento che risulta dall'uso di solventi, come il toluene, ha portato allo sviluppo di un sistema normativo (Model Rule), in California, per il controllo dell'emissione di idrocarburi. Approvato dal CARB nel Luglio del 1977, tale sistema proibisce la vendita o l'applicazione di nessun rivestimento contenente più di 250 grammi per litro di VOC. Questa regolamentazione divenne effettiva il 2/09/1982. In molti casi eccezioni furono concesse che spostarono questa data a Settembre del 1984.

Nel 1982 il The South Coast Air Quality Management District (il bacino di Los Angeles) emanò la legge 442 che limitò l'emissione dei VOC a 600 libbre (272 kg) al giorno. Questo limitò l'applicazione di pitture a base di solvente a 172 galloni (662 litri) al giorno per ogni tracciamento.

La tendenza a diminuire il volume di VOC nei solventi più comunemente utilizzati, indica che le formulazioni delle pitture stanno cambiando marcatamente. I produttori delle pitture commerciali, così come i laboratori di Stato dei materiali, stanno cercando di ridurre l'emissione di vapori organici. Si stanno spostando da formulazioni convenzionali a quelle che utilizzano solventi non volatili. Essi stanno utilizzando materiali con basso indice di solvente, come quelli con base acquosa e rivestimenti con epossidi.

### **Materiali a rischio**

Prima dell'attuazione del sistema normativo del 1984 da parte della California, a Los Angeles era stata introdotta la legge 66, che specificava il tipo di solvente che poteva essere utilizzato nella pittura stradale, di colore giallo e bianco, nei distretti in cui era controllato l'inquinamento atmosferico. Solventi di tipo I, costituiti da toluene e diluenti alifatici, potevano essere utilizzati in tutte le aree dello Stato, eccetto quelle comprese nei distretti posti sotto controllo. Per quest'ultimi erano stati specificati solventi di tipo II, che erano costituiti da metil-etil-chetone, etil-amil-chetone, e diluenti alifatici speciali.

### **Pigmenti a base di piombo**

In aggiunta al pericolo dovuto ai solventi utilizzati nelle pitture stradali, c'è un altro problema ambientale dovuto al pigmento giallo a base di piombo che era tradizionalmente utilizzato. Lo Stato della California riconobbe anche questo problema ed iniziò un programma di ricerca per pigmenti gialli che non fossero a base di piombo.

La ricerca diede come risultato che era semplice ottenere il colore giallo con un pigmento non a base di piombo. Comunque, in una prova di invecchiamento utilizzando pigmenti a base di piombo come riferimento,

si rilevò che solo il pigmento a base di cromato di piombo conservava il colore giallo dopo un apprezzabile tempo di invecchiamento.

## CAPITOLO 5

### PRODOTTI TERMOPLASTICI

#### INTRODUZIONE

La ricerca di tracciamenti estremamente duraturi, come alternativa alle tradizionali pitture stradali, è stata condotta per più di vent'anni. La crescente popolarità dei materiali termoplastici è stata attribuita alla loro disposizione ad un impiego immediato, alla superiore durabilità, alla capacità di un risparmio a lungo termine ed alla sicurezza stradale. Sebbene il costo iniziale del materiale termoplastico possa essere quasi quindici volte il costo di una pittura stradale, la sua lunga vita di servizio e la sua migliore visibilità lo rendono un'alternativa attraente in molte situazioni. Questo capitolo riassume gli usi correnti e le procedure suggerite per l'installazione di materiali termoplastici applicati a caldo.

I materiali termoplastici applicati a caldo si utilizzano da molti anni e sono considerati un'alternativa efficiente alle tradizionali strisce verniciate, quando la durabilità è il primo fattore di interesse. A causa della vasta esperienza operativa, in questo capitolo si evidenziano le applicazioni tradizionali di materiale termoplastico.

#### IMPIEGHI

I materiali termoplastici hanno le stesse funzioni di base delle pitture stradali. Le linee guida di applicazione, riportate sul MUTCD, che riguardano i colori standard, le larghezze, i modelli e la disposizione delle strisce verniciate, si applicano anche ai materiali termoplastici.

L'esperienza ha mostrato che i vari materiali termoplastici vanno meglio per alcuni usi che in altri. L'uso più efficiente e più sicuro è in funzione di variabili dipendenti dal luogo di applicazione. Materiali termoplastici di natura idrocarbureca non dovrebbero essere utilizzati come strisce trasversali poiché le perdite di olio tendono a dissolverle. Questo limita il loro uso per le applicazioni di strisce pedonali o di stop. La decisione di utilizzare i materiali termoplastici deve nascere da un confronto fra le caratteristiche del luogo di applicazione e del materiale, e l'incremento del costo.

A causa della lunga vita di servizio e delle difficoltà connesse con la rimozione di strisce permanenti di materiale termoplastico, le condizioni di esercizio sono importanti nella loro applicazione. I cambiamenti nei modelli di tracciamento dovrebbero essere mantenuti al minimo. I programmi di manutenzione ed i programmi di riparazione sono esempi di progetti che possono disturbare la programmazione di un tracciamento. Tutte queste possibilità dovrebbero essere considerate per la strada che deve essere tracciata. Questo aiuterà ad evitare l'installazione di strisce in materiale termoplastico su strade che, dopo il tracciamento, saranno subito soggette ad un rifacimento superficiale.

Sono molti i vantaggi delle strisce in materiale termoplastico, se paragonate a quelle in pittura. Forse il vantaggio più evidente riguarda la sostituzione. Una singola applicazione di materiale termoplastico, in termini di durata, potrebbe sostituire venti o più applicazioni di pittura (dipendentemente dalle variabili specifiche del luogo di applicazione e dalle caratteristiche di applicazione). Perciò sebbene il materiale termoplastico possa costare 15 volte tanto quanto una pittura, esso risulta essere particolarmente efficiente se utilizzato in modo appropriato. Inoltre c'è il vantaggio di avere una delineazione invariabile sulla strada, rispetto ad una pittura di breve durata. Con un materiale non duraturo, una frazione significativa del ciclo di tracciamento ha luogo quando una striscia non è più adeguata e la strada sta semplicemente aspettando di essere tracciata.

Varie compagnie hanno riscontrato che le strisce di materiale termoplastico tipicamente durano 3÷15 volte più a lungo di una pittura. Questo numero dipende dalla politica di sostituzione di una pittura e dalle specifiche per l'installazione del materiale termoplastico. Il punto di "pareggio" varia da 3 a 6 anni. Ciò significa che, per essere efficiente, una striscia in materiale termoplastico deve rimanere sul posto, con una retroriflessione soddisfacente, per un minimo di tre anni fino a sei anni. Da un'attenta selezione del materiale e della tecnica di applicazione, per una data installazione, un bilanciamento può essere ottenuto tra la vita di servizio e il costo iniziale più alto.

Mentre le installazioni di materiale termoplastico sono spesso funzionali in termini di durabilità e visibilità, gli utilizzatori sono concordi del fatto che non dovrebbe essere scontato che tali installazioni siano appropriate per tutte le situazioni. Le osservazioni seguenti rappresentano un riassunto di esperienze che risalgono a quelle riportate dalle compagnie utilizzatrici.

- I materiali termoplastici non dovrebbero essere applicati su pavimentazioni nuove in cemento Portland. Un periodo di un anno di maturazione è raccomandato prima di installare il materiale termoplastico. Anche dopo questo periodo di un anno, una prima mano sigillante (primer) dovrebbe essere sempre utilizzata quando si applica il materiale termoplastico al PCC.
- Strisce di materiale termoplastico di base alchidica hanno buonissime prestazioni come strisce trasversali. Invece quelle di base idrocarburica tendono a deteriorarsi rapidamente a causa delle perdite di olio.
- I materiali termoplastici sono stimati come il miglior materiale di tracciamento da più compagnie autostradali (il 36.5%). Comunque le compagnie stradali generalmente lo considerano essere uno dei materiali più sensibili da applicare.

## MATERIALI

I materiali termoplastici applicati a caldo sono resine sintetiche che rammoliscono quando sono riscaldate e induriscono quando sono raffreddate, senza cambiare le proprietà intrinseche del materiale. La formulazione di una striscia in materiale termoplastico include tre componenti base: plastica e plastificante (legante); pigmento e fillers; perline. L'esatta composizione chimica varia considerevolmente. Le formule di materiali disponibili commercialmente sono riservate (coperte da brevetto) e cambiano continuamente appena il prezzo dei componenti chimici oscilla. Per questo motivo la composizione è di solito specificata in termini di percentuale in peso minima di ciascun componente base.

Sebbene la percentuale in peso dei componenti vari fra le specifiche, un tipico intervallo di valori è il seguente:

- |   |                |
|---|----------------|
| – Legante                                     | 15÷35% in peso |
| – Perline                                     | 14÷33% "       |
| – Biossido di titanio (TiO <sub>2</sub> )     | 8÷12% "        |
| – Carbonato di calcio (o altro filler inerte) | 48÷50% "       |

## Tipi

I materiali termoplastici sono classificati dal tipo di legante usato. Due materiali sono maggiormente utilizzati nelle correnti applicazioni. Le strisce di materiale termoplastico di base alchidica sono probabilmente le più utilizzate. In questo tipo di materiale vengono utilizzate le resine alchidiche come legante. Per questo motivo non si deteriorano a causa delle perdite di olio, come i materiali termoplastici di base idrocarburica. I materiali termoplastici di base idrocarburica generalmente sono utilizzati per l'applicazione di strisce longitudinali a causa della loro suscettibilità alle perdite di olio. Questi utilizzano componenti organici di origine petrolifera come leganti.

## Proprietà dei materiali termoplastici

I materiali termoplastici sono, per definizione, materiali che possono essere riscaldati fino a raggiungere lo stato liquido, riformati e raffreddati per formare un nuovo oggetto. Per tali materiali questo ciclo può essere ripetuto un qualsiasi numero di volte senza influenzare in modo significativo le proprietà del materiale.

Nelle prime utilizzazioni il materiale termoplastico veniva riscaldato sopra i 375°F (191°C) ed estruso sulla pavimentazione ad uno spessore di circa 90÷125 mil (2.2÷3.2 mm). Le perline retroriflettenti venivano premiscelate nel materiale base ed un rivestimento superiore veniva applicato non appena la plastica rammollita veniva estrusa. Il materiale solidificava, pronto per l'uso, in alcuni minuti. Questa striscia era, al minimo, di spessore sei volte maggiore di quello di una convenzionale pittura stradale. In aggiunta alla durabilità intrinseca della stessa plastica, queste strisce garantivano un livello minimo di visibilità notturna in condizioni di bagnato. Le strisce spesse emergevano al di sopra del film superficiale d'acqua, annullando alcuni degli effetti di focalizzazione del film. Questo film di acqua si forma sulla strada umida, causando la perdita della retroriflessione delle strisce. I meccanismi fisici, con cui tale fenomeno avviene, sono discussi più accuratamente nel capitolo 2.

Le prime installazioni di materiale termoplastico avevano dei problemi. Le prestazioni erano irregolari su pavimentazioni in cemento. La scarsa adesione e la formazione di bolle nelle strisce erano dei problemi soprattutto in aree ad alta caduta di neve. A causa della scarsa adesione gli spazzaneve danneggiavano severamente le strisce, specialmente sulle pavimentazioni in cemento. Molti di questi problemi erano dovuti ad un'assenza di procedure standard di installazione. I pretrattamenti della pavimentazione erano abbastanza vari. Spesso la pavimentazione era lasciata sporca tranne che per qualche spazzolamento superficiale. Dove rivestimenti di "primer" furono utilizzati, anche la loro formulazione variò considerevolmente. Date queste circostanze, le prestazioni dei primi materiali termoplastici erano imprevedibili. Anche quando i fattori più importanti erano mantenuti costanti, variazioni inspiegabili nelle prestazioni restavano.

Uno dei principali contributi all'irregolarità nelle prestazioni di un materiale termoplastico è la mancanza di un controllo della temperatura durante il processo di applicazione. A causa della loro fluttuazione, le temperature sono probabilmente l'unico aspetto più importante quando si tratta con materiali termoplastici. Il materiale termoplastico è progettato per essere facilmente rammollito e riformato. Per ottenere questo con successo, le temperature richieste devono essere strettamente controllate. Inoltre la formulazione del materiale deve essere rigorosa per garantire che il materiale risponda correttamente a temperature predeterminate.

Le temperature che sono troppo alte durante il processo di rammollimento possono bruciare il materiale. Temperature inadeguate possono non rammollire il materiale interamente, determinando un'adesione inadeguata. Inoltre lo spessore deve essere controllato per assicurare una buona adesione. Se un'applicazione non è abbastanza spessa, il materiale sulla pavimentazione non tratterrà il calore abbastanza a lungo affinché lo stesso materiale possa penetrare nel substrato e aderire bene. Le temperature della pavimentazione e dell'aria, che saranno troppo alte oppure basse, influenzeranno le caratteristiche di trasferimento di calore e perciò influenzeranno negativamente l'adesione.

Il materiale termoplastico può essere il migliore tra i materiali per il tracciamento stradale quando viene applicato propriamente. Comunque le proprietà di tale materiale (temperatura di rammollimento, formabilità, caratteristiche di conservazione del calore, eccetera), che lo rendono così utile, lo rendono anche il più sensibile nell'applicazione. Il controllo delle variabili di applicazione deve essere meticoloso per ottenere un'ottima prestazione.

Malgrado questi problemi, i materiali termoplastici applicati a caldo mostrano di poter essere migliorati. Studi sono rivolti a migliorare le formulazioni del materiale e le tecniche di applicazione. Come risultato le strisce in materiale termoplastico hanno subito cambiamenti ed evoluzioni. In aggiunta ai miglioramenti nei materiali di

base dei termoplastici e dei primer, le moderne attrezzature attuano un controllo più preciso sulle variabili di applicazione. L'applicazione con spruzzi a caldo può risolvere alcuni dei problemi del processo. Inoltre, con più esperienze operative, le prestazioni e l'efficienza possono essere previste più accuratamente.

## **PRESTAZIONI**

Le strisce in materiale termoplastico, quando applicate in modo appropriato, hanno delle prestazioni eccellenti. Esse sono probabilmente la tecnica di delineazione più duratura, ed il loro spessore gli conferisce, inoltre, una certa capacità di fornire una delineazione notturna su strade bagnate. Questa sezione esporrà i metodi di misura delle prestazioni delle strisce in materiale termoplastico.

### **Vita di servizio**

In alcune condizioni, i materiali termoplastici estrusi a caldo possono essere severamente danneggiati dalle operazioni degli spazzaneve. I primi studi hanno riportato l'intensità dell'attività degli spazzaneve, misurata dalla caduta di neve media annuale, in funzione della durabilità del materiale termoplastico. Questa relazione è mostrata in figura 29. Nessuna correlazione è stata trovata fra le altre variabili, quali la densità del traffico, il pretrattamento della pavimentazione, il tipo di primer, e l'età della pavimentazione in questa indagine del 1969.

La varietà di opinioni, procedure ed esperienze indica che la vita di servizio delle strisce in materiale termoplastico dipende dal luogo d'installazione. Inoltre i risultati di un progetto di ricerca dovrebbero essere condizionati dal giudizio e dall'esperienza del personale di ciascuna compagnia stradale.

Sebbene le strisce in materiale termoplastico siano state in uso per un certo numero di anni, c'è poco accordo sulla loro vita di servizio. La loro eccellente durabilità è fondata. Comunque prevedere una vita di servizio, per un particolare materiale su una particolare strada, è difficile. Ci sono troppi fattori che influenzano le prestazioni per permettere di prevedere una vita di servizio media con una certa sicurezza. Le figure 30 e 31 esprimono rispettivamente la vita di servizio media in funzione del volume del traffico e la durabilità in funzione del flusso di traffico. Queste figure sono rappresentative di due dei metodi più comunemente utilizzati per prevedere la vita di servizio.

Lo spessore rimanente oppure la percentuale di superficie conservata sono le più comuni misure della vita di servizio. Per esempio la striscia risulta essere inefficiente quando lo spessore si trova al di sotto dei 10÷15 mil (0.25÷0.38 mm). La perdita longitudinale di superficie è spesso usata per determinare la vita di servizio, così come la perdita di retroriflessione.

### **Determinazione della vita di servizio**

Prove di laboratorio suggeriscono che, dove un'adeguata adesione è ottenuta, l'azione dello spazzaneve è solo la causa minore della perdita di materiale di una striscia in termoplastico. Il danneggiamento è probabilmente causato dal ciclo di gelo- disgelo, caratteristico di molte aree nevose. In ogni caso i danneggiamenti invernali sono molto più frequenti su pavimentazioni in cemento rispetto a quelle in asfalto, a causa del fatto che il materiale termoplastico aderisce meglio alle superfici in asfalto. Il materiale termoplastico è considerato refrattario agli additivi chimici antighiaccio ed alla sabbia.

Un'indagine, condotta nel 1969 da alcune compagnie stradali, ha riportato una serie di dati circa le prestazioni del materiale termoplastico e le previsioni delle compagnie. Una percentuale di conservazione indicata per garanzia di contratto è data nella seguente tabella:

Durata dopo l'accettazione	Minima conservazione delle strisce longitudinali	Minima conservazione delle strisce trasversali
12 mesi	90%	90%
24 mesi	80%	75%
36 mesi	60%	50%

Questi requisiti sono basati su un'applicazione di materiale estruso a caldo con spessore di 90÷125 mil (2.3÷3.2 mm).

L'Istituto dei Trasporti del Texas ha sviluppato la seguente tecnica per determinare la percentuale di materiale termoplastico conservato. La percentuale conservata è definita come la differenza fra l'area nominale e l'area consumata di una striscia, diviso l'area nominale e moltiplicata per 100.

*Edge Loss* è la perdita di materiale misurata da un margine della striscia, che non attraversa la striscia in tutta la sua larghezza. L'area consumata è la metà della differenza fra la larghezza nominale della striscia (W) e la larghezza minima rimasta nella zona consumata (R) moltiplicata per la lunghezza del margine consumato (L<sub>L</sub>):

$$\text{Edge Loss} = L_1 = \frac{1}{2}(W-R)L_L$$

*End Loss* è definita come la perdita di materiale termoplastico fra le estremità di una striscia. L'area consumata è pari alla differenza fra l'area nominale (prodotto della lunghezza nominale, L, e la larghezza nominale, W) e l'area rimasta, data dal prodotto della lunghezza del tratto rimasto (L<sub>R</sub>), misurata al centro, moltiplicata per la larghezza nominale (W).

$$\text{End Loss} = L_2 = (LW) - (L_R W)$$

*Center Loss* è definita come il consumo di materiale che si estende interamente in senso trasversale fra le due estremità della striscia. E' determinata come la lunghezza del tratto consumato (L<sub>L</sub>), misurato al centro, moltiplicato per la larghezza nominale (W):

$$\text{Center Loss} = L_3 = L_L W$$

*Interior Loss* è la perdita di materiale termoplastico che è contenuta tutta all'interno della striscia. L'area consumata è calcolata come la lunghezza di perdita misurata in senso longitudinale (L<sub>L</sub>) moltiplicata per la larghezza di perdita misurata in senso trasversale (W<sub>L</sub>):

$$\text{Interior Loss} = L_4 = L_L W_L$$

La perdita totale sarà la somma dei quattro termini suddetti:

$$\text{Perdita totale} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

da cui si ricava la percentuale rimasta:

$$\% \text{ rimasto} = \frac{\text{Area Nominale} - \text{Perdita Totale}}{\text{Area Nominale}} \times 100$$

## INSTALLAZIONE, MANUTENZIONE E RIMOZIONE

I materiali termoplastici sono considerati come la tecnica di delineazione più durevole. L'evidenza inoltre indica che questa durabilità si traduce in una spesa per una facilità di trattamento. Tali materiali probabilmente richiedono più attenzione per l'installazione, manutenzione e rimozione di qualsiasi altro materiale. Gli aspetti più importanti per un appropriato trattamento di questi materiali sono descritti di seguito.

### Installazione

L'installazione dei materiali termoplastici è un processo delicato. L'alta temperatura e l'estrema sensibilità del materiale al calore richiedono un elevato controllo di qualità nell'operazione di tracciamento. La seguente discussione fornisce una guida su gli aspetti più critici dell'applicazione del materiale termoplastico.

#### *Primer sigillante*

Il tipo e la condizione della pavimentazione, durante l'applicazione su conglomerati bituminosi, è importante per una buona adesione. L'esperienza mostra che l'adesione su una pavimentazione in asfalto è migliore rispetto a quella in cemento. La superficie bituminosa probabilmente si ammorbidisce col calore di applicazione, ed il materiale termoplastico, quindi, si fonde completamente con la strada. Una buona adesione può richiedere una pulizia e/o l'applicazione di un primer sigillante sulla superficie prima del tracciamento.

Se il tipo di pavimentazione e le raccomandazioni del fornitore lo garantiscono, un primer sigillante dovrebbe essere impiegato. Il Dipartimento dei Trasporti dello Stato di New York (NYSDOT), insieme ad altre compagnie stradali, ha riscontrato che non c'è alcuna differenza nelle prestazioni con o senza l'impiego di un primer nelle applicazioni su pavimentazioni in asfalto. Comunque la maggior parte dei fornitori di materiale termoplastico raccomandano l'uso di un primer su pavimentazioni in cemento e in bitume vecchio.

Dopo prove di installazione di materiale termoplastico estruso a caldo, il NYSDOT ha specificato l'utilizzo di un primer in resina epossidica su pavimentazioni in cemento. L'attrezzatura utilizzata in California, grande, automatizzata ed a spruzzo caldo, è equipaggiata per stendere direttamente una resina epossidica a due componenti prima dello spruzzo di materiale termoplastico. Il primer più comunemente usato negli scorsi anni era una resina epossidica. Primers a base di gomma non si sono dimostrati efficaci.

Un'attenta applicazione di un primer di rivestimento, in resina epossidica ad essiccamento rapido, è necessaria per una buona adesione. Per esempio l'esperienza indica che il materiale termoplastico dovrebbe essere applicato quando il primer è ancora appiccaticcio. Un'insufficiente adesione è stata riscontrata quando il primer era troppo secco oppure troppo umido. Una specifica richiede che un primer spruzzato rimanga appiccaticcio per almeno dieci minuti a 73°F (23°C). Un tipo di resina epossidica (con olio di lino) richiede 24 ore di tempo di indurimento.

C'è anche poca intesa su come il materiale termoplastico dovrebbe essere applicato rispetto alla pittura. L'esperienza indica che una migliore adesione è ottenuta sulla pavimentazione scoperta. Le compagnie stradali, che mantengono la propria attrezzatura ed utilizzano le proprie risorse per l'applicazione, sembrano aver sviluppato dei metodi propri. In alcuni casi sia le superfici in asfalto che quelle in cemento non vengono pretrattate, malgrado le raccomandazioni dei fornitori. Tuttavia alcune compagnie stradali continuano a stimare fiduciosamente una vita di servizio di 8÷10 anni, sulla base di esperienze passate.

Sembra non esserci alcuna intesa se l'applicazione di un primer o la pulizia della pavimentazione sia il miglior metodo di pretrattamento. C'è solo poca intesa sulla velocità di applicazione del primer. Essa dipende dall'età, porosità e tessitura della pavimentazione, così come dal contenuto di solido attivo della soluzione epossidica

utilizzata. Lo spessore di film umido del primer varia da 2 a 5 mil (0.05÷0.13 mm) ed è normalmente basato sulle raccomandazioni del produttore. Uno studio raccomanda 2 mil (0.05 mm) come spessore adeguato.

### *Stoccaggio e movimentazione sul campo dei materiali*

I materiali termoplastici applicati a caldo sono disponibili in forma di blocchi o granulare. Questi sono confezionati in scatole di cartone o sacchi per servizi pesanti che pesano da 20 a 50 libbra (da 9 a 23 kg). Le scatole dovrebbero essere accatastate in posizione orizzontale e stoccate su pallets in un luogo secco. L'acqua oppure l'umidità non danneggeranno il materiale ma possono indebolire oppure danneggiare le scatole di cartone.

La sporcizia, residuo del cartone, oppure la fodera in polietilene possono contaminare il materiale. Bisogna stare attenti a proteggere il materiale in modo che tali inquinanti non vengano accidentalmente caricati nel dispositivo di rammollimento.

La fornitura giornaliera di cartoni o sacchi, da portare sul basamento dei camion, dovrebbe essere coperta. Se le scatole di cartone si impregnano di umidità, tutta la carta e gli altri residui dovrebbero essere rimossi ed il materiale contenuto dovrebbe essere essiccato prima dell'uso.

Prima del carico, il materiale dovrebbe essere fatto a pezzi con un martello mentre è ancora nel cartone. Il cartone, poi, dovrebbe essere aperto, posizionato sopra il dispositivo di riscaldamento ed inclinato per svuotare il materiale dentro il recipiente dove avviene il rammollimento.

Qualche volta il materiale termoplastico sarà fornito in scatole fatte di materiale termoplastico compatibile con il materiale di tracciamento. In questo caso l'intera scatola viene semplicemente caricata nel dispositivo di rammollimento e non c'è alcun problema di contaminazione. Comunque la parte esterna della scatola deve essere controllata per la sporcizia ed altri contaminanti.

### *Metodi di applicazione*

Le formulazioni differiscono a seconda del tipo di applicazione e cioè se per estrusione oppure a spruzzo. Esse differiscono inoltre per l'impiego in climi caldi oppure freddi. Spesso un materiale di base alchidica (resina sintetica) è utilizzato nelle aree del nord ed applicato per estrusione. Materiale di base idrocarburica (composto organico) viene utilizzato per applicazioni a spruzzo in climi più temperati. I fornitori faranno un componente secondo le specifiche delle compagnie stradali, anche se essi possono raccomandare minori modifiche.

Le varie categorie di installazioni di materiale termoplastico richiedono differenti tecniche di applicazione. Nella selezione dei materiali termoplastici più appropriati, bisogna considerare i requisiti fisici per ciascun tipo di applicazione per ottenere un'appropriata adesione, così come i requisiti dell'attrezzatura e del personale.

Il tipo di installazione (per strisce trasversali oppure longitudinali), il tipo di struttura (urbana o rurale), il tipo di pavimentazione, l'importanza dell'installazione ed altre caratteristiche di progetto influenzeranno il metodo di applicazione. Per esempio il progetto di un piccolo incrocio per installare strisce pedonali e di stop differirà da un progetto di un miglioramento più importante in cui le strisce di delineazione sono un articolo del contratto di costruzione.

### *Estrusione*

L'applicazione di materiale termoplastico per estrusione è stato il metodo preferito per molti anni fino all'avvento dell'applicazione per spruzzo a caldo. Le operazioni di tracciamento con materiale termoplastico

estruso a caldo hanno luogo ad una velocità di circa 3 mph (5 km/h), e circa 2÷10 minuti dopo l'applicazione la strada è pronta per il traffico. Il tipico spessore di applicazione è di 125 mil (3.2 mm).

In traccialinee di piccole dimensioni l'estrusione è tipicamente realizzata con uno stampo di estrusione. Il materiale è riscaldato in un riscaldatore incamiciato. La macchina trasferisce poi una determinata quantità di materiale dal riscaldatore allo stampo. Lo stampo contiene un attacco di colata che è dimensionato in modo tale che un certo spessore di materiale è depositato sulla pavimentazione. Poi il processo si ripete. In questo modo la temperatura del materiale che rimane è tenuta costante, senza dover incorporare lo stampo di estrusione nel meccanismo di riscaldamento. Questo processo è chiamato "estrusione per gravità".

L'"estrusione a nastro", più comune su traccialinee di grosse dimensioni, utilizza una pistola pressurizzata per stendere il materiale. L'estrusione a nastro è capace di produrre gli stessi bordi affilati, "vivi" di quelli tracciati con l'impiego dell'estrusione per gravità.

## **Spruzzo**

Lo sviluppo della tecnica di applicazione a spruzzo caldo per il materiale termoplastico è considerata da molti come una svolta significativa nella tecnologia di tracciamento. Il processo a spruzzo differisce nel fatto che il materiale termoplastico caldo è combinato con l'aria pressurizzata. Tale combinazione forza il materiale sulla pavimentazione. Le applicazioni tipiche con traccialinee di grosse dimensioni possono aver luogo ad una velocità di stesa di 9÷12 mph (15÷19 km/h) e le strisce sono pronte al traffico in meno di un minuto. Le applicazioni a spruzzo sono tipicamente più sottili di quelle ad estrusione, con uno spessore che è di solito fra 60 e 90 mil (1.5 e 2.3 mm).

I maggiori vantaggi con materiale termoplastico spruzzato a caldo includono la possibilità di applicare rivestimenti più sottili, con migliore adesione alla pavimentazione e miglior distribuzione e trattenimento delle perline. Inoltre le difficoltà a mantenere un'alta temperatura del materiale durante l'estrusione è interamente eliminata nel processo a spruzzo. Per di più il materiale termoplastico spruzzato a caldo indurisce rapidamente in tale applicazione, diminuendo la sensibilità alla temperatura della pavimentazione.

### *Attrezzature per l'applicazione*

I materiali termoplastici rammolliti possono essere estrusi oppure spruzzati sulla pavimentazione per mezzo di un dispositivo azionato manualmente, per corse brevi (figura 32), oppure da traccialinee automatici più grandi, per progetti di costruzione più importanti (figura 33). Tipicamente 2000 libbre (908 kg) di materiale termoplastico, fornito in forma di blocco o granulare, produrrà strisce che sono approssimativamente lunghe 6600 piedi (2 km), larghe 4 in. (10 cm) e spesse 90 mil (2.3 mm).

I traccialinee manuali di piccole dimensioni di solito hanno un recipiente per il rammollimento, che contiene un agitatore manuale a pale che protegge il materiale termoplastico dalla segregazione e dalla cottura. Ci sono anche un rubinetto, uno stampo, ed una tramoggia e un distributore di perline. In un modello il traccialinee è equipaggiato con un serbatoio di propano per alimentare il bruciatore sotto il recipiente per il rammollimento. Un altro traccialinee ha un'unità ausiliaria per il riscaldamento del materiale, dopo la quale esso viene trasferito nell'unità di distribuzione (figura 34). Un riscaldatore a infrarosso, sopra lo stampo di estrusione, può essere utilizzato per mantenere la temperatura durante l'applicazione. Per applicazioni a spruzzo a caldo manuali, il traccialinee preleva l'aria compressa, mediante un lungo tubo flessibile, da un dispositivo di piccole dimensioni montato su di un autocarro. I traccialinee di piccole dimensioni hanno una capacità media di circa 12 galloni (45.4 litri), o di circa 100 libbre (45 kg), di materiale termoplastico rammollito.

I traccialinee per l'applicazione di materiale termoplastico, montati su slitta oppure su autocarro, sono unità indipendenti con grandi camere di rammollimento, agitatori automatici, riscaldatori, controlli elettronici,

temporizzatori intermittenti che controllano il flusso dello spruzzo per formare strisce continue o tratteggiate, distributori di materiale (stampi di estrusione oppure ugelli spruzzatori), tramogge delle perline e distributori delle perline. Traccialinee di grosse dimensioni hanno recipienti di rammollimento (figura 35) di capacità variabile da 1000 libbre (454 kg) a 3000 libbre (1360 kg). Le applicazioni che utilizzano questo tipo di traccialinee sono spesso appaltate. Il costo dell'attrezzatura può superare i 150000 dollari e le squadre di operai locali raramente hanno esperienza nel far funzionare un macchinario così complesso.

Alcune compagnie stradali tengono traccialinee di piccole dimensioni per lavori di manutenzione oppure per piccole installazioni di strisce, come quelle pedonali o di stop. Tracciamenti più estesi sono o dati in appalto separatamente (per pavimentazioni già esistenti) oppure sono inclusi nell'appalto di nuove costruzioni stradali o di rifacimenti del manto stradale. Ci sono, comunque, alcune compagnie stradali che preferiscono acquistare traccialinee di dimensioni medie e condurre in proprio le operazioni di tracciamento, con l'assistenza del fornitore del materiale se c'è ne bisogno. Il numero di operai di una squadra di tracciamento varia da 2 operai, per applicazioni manuali, a 5 operai, per operazioni di tracciamento più estese. Questo numero non include i veicoli di supporto ed altro personale addetto al controllo del traffico durante l'applicazione.

### *Spessore del materiale applicato*

L'applicazione dello spessore corretto è l'argomento di qualche discussione. Se la durabilità è una funzione dello spessore, le strisce più spesse dureranno più a lungo ma richiederanno più materiale e ciò comporta un costo maggiore. Si può arguire che questa vita di servizio prolungata può durare più a lungo delle proprietà di retroriflessione e, in alcuni casi, della stessa pavimentazione. L'importanza di una vita di servizio di 1÷6 anni è minima se la pavimentazione è soggetta al rifacimento superficiale durante questo tempo. Similmente la perdita di perline può rendere la striscia inefficiente di notte prima che questo tempo scada.

Strisce più spesse (90÷125 mil/2.3÷3.2 mm) forniscono una migliore visibilità notturna in presenza di umidità quando le perline sono ancora presenti, ma sono molto più vulnerabili all'azione degli spazzaneve. In pratica l'applicazione delle strisce più spesse continua ad essere ancora più utilizzata rispetto a quella di strisce più sottili. Questo approccio è molto più flessibile in modo che le strisce possano essere sia estruse che spruzzate.

Comunque il processo di estrusione è molto più compatibile con le applicazioni di strisce più spesse, specialmente se è di 125 mil (3.2 mm) lo spessore desiderato. Il processo a spruzzo è più adatto per applicazioni di strisce di spessore di 90 mil (2.3 mm) o meno. I rivestimenti più sottili hanno generalmente delle buone prestazioni e sono di solito più efficienti (dal punto di vista costo- efficienza).

Quelli che propongono applicazioni più sottili (40÷60 mil/1.0÷1.5 mm) riscontrano un'accettabile retroriflessione e durabilità con una vita di servizio di 3÷4 anni. I costi del materiale sono più bassi, l'applicazione è più veloce, ed il danno dovuto all'azione degli spazzaneve è minore. Il consumo di materiale termoplastico è stato valutato essere in media di 10 mil (0.25 mm) all'anno. Un consumo normale include danni provocati dai pneumatici scolpiti, dall'abrasione del traffico e dall'azione degli spazzaneve. Di conseguenza una striscia di 40 mil (1 mm) potrebbe durare 3 o 4 anni.

Comunque le strisce più spesse hanno un profilo più alto e possono perciò garantire una migliore visibilità notturna in condizioni di bagnato. Le strisce sottili non si estendono tanto sopra la pavimentazione e sono più facilmente coperte dal film acquoso. Comunque i nuovi progressi nella tecnologia dei leganti hanno permesso l'uso di perline di dimensioni più grosse con una buona durabilità. L'aumento di visibilità notturna in condizioni di bagnato dovuto alle perline più grosse è discusso nel capitolo 2. Con questi progressi la tecnica di applicazione più efficiente è probabilmente il processo a spruzzo con una combinazione di perline miscelate ed un'applicazione per caduta di perline più grosse.

Quando si seleziona uno spessore per una striscia in materiale termoplastico, ci sono una moltitudine di variabili da considerare. Uno spessore deve essere selezionato in modo da rendere capace la striscia ad avere buone prestazioni, specialmente nelle condizioni ambientali in cui è destinata. Si dovrebbe notare che questo processo non deve essere eseguito indipendentemente da altri fattori. Tutti gli aspetti dell'applicazione (materiale utilizzato, metodo di applicazione, tipo di pavimentazione, eccetera) devono essere considerati in modo interattivo per ottenere una certa efficienza.

## **Manutenzione**

Uno dei vantaggi del materiale termoplastico è la sua durabilità. Dipendentemente dal materiale utilizzato e dalle caratteristiche della strada, tale materiale può fornire una delineazione virtualmente libera da problemi di manutenzione per anni. Alcuni aspetti di manutenzione relativi ai materiali termoplastici sono discussi di seguito.

### *Formazione di macchie*

In condizioni climatiche calde le strisce in materiale termoplastico possono scolorirsi oppure essere macchiate dai pneumatici dei camion, particolarmente su pavimentazioni in bitume. Questo degrada la visibilità diurna ed il contrasto. I materiali termoplastici, comunque, si puliscono da soli durante la pioggia. Infatti l'azione del pneumatico sulle strisce bagnate rimuoverà la maggior parte delle macchie. In aree calde e secche può essere consigliabile pulire le strisce lavandole con un detergente leggero.

### *Rattoppamento*

Installazioni di strisce di materiale termoplastico spesso, estruso sono vulnerabili specialmente al taglio se l'adesione alla pavimentazione è debole, l'adesione alla pavimentazione manca, oppure la coesione interna della pavimentazione stessa è instabile. Quasi tutti i materiali termoplastici, applicati a caldo oppure a freddo, possono essere rattoppati applicando uno strato sottile di materiale compatibile sulla parte perduta della striscia vecchia. Questo è di solito eseguito con un dispositivo manuale.

### *Sostituzione*

Quando le strisce di materiale termoplastico non sono più efficienti e devono essere sostituite, è pratica comune rinnovare le strisce con una copertura di materiale compatibile. Questo può essere considerato come attività di manutenzione programmata, come progetto separato, oppure come programma di un più esteso miglioramento. Dipendentemente dalle dimensioni dell'installazione (striscia) e dalla politica della compagnia, il lavoro può essere eseguito dalla compagnia stessa oppure un contraente può essere preso a servizio.

In alcuni casi le strisce in materiale termoplastico durano più a lungo delle loro proprietà di retroriflessione. Una compagnia stradale ha sperimentato l'uso di pittura e perline con cui coprire la vecchia striscia in materiale termoplastico per ottenere la visibilità notturna. La pittura era stata utilizzata come legante per trattenere le perline poiché la maggior parte del materiale termoplastico era ancora presente. Se la pittura aderisce al materiale termoplastico e se la base di tale materiale è sicuramente legata alla pavimentazione, questo potrebbe essere un metodo economico per migliorare le strisce che presentano un'inadeguata retroriflessione. Comunque non ci sono informazioni disponibili sulle prestazioni di questa combinazione.

## **Rimozione**

Le strisce in materiale termoplastico possono essere difficili da rimuovere. Le proprietà che aumentano la durabilità, come lo spessore e l'adesione completa alla pavimentazione, impediscono una facile rimozione.

Su entrambe le pavimentazioni in cemento e bitume, la rimozione di strisce di materiale termoplastico lascia il segno sulla pavimentazione. L'estensione del segno dipenderà dal metodo di rimozione impiegato.

Le strisce sul posto saranno completamente coperte durante qualsiasi tipo di rifacimento superficiale o progetto di ristrutturazione.

### *Sabbiatura*

La sabbiatura è usata frequentemente per lavori di rimozione su larga scala. Le caratteristiche fisiche di questo metodo sono descritte nel capitolo 4. Un'operazione è caratterizzata da getti d'acqua ad alta pressione utilizzati in combinazione con la sabbiatura. Questo minimizza la quantità residua di sabbia sulla pavimentazione ed aumenta gli effetti della sabbiatura.

### *Combustione con eccesso di ossigeno*

La rimozione con eccesso di ossigeno di strisce pitturate, descritta nel capitolo 4, è stata anche utilizzata per rimuovere materiale termoplastico spruzzato a caldo. In questo caso la fiamma calda rammollisce il materiale termoplastico che viene rimosso con una "marra" dritta. Successivamente il materiale residuo è bruciato nuovamente ed il residuo bruciato è spazzolato via lasciando solo una lieve traccia della striscia applicata. Questa sparirà con il traffico.

### *Molatura o scrostatura*

Per lavori più piccoli un martello ad aria compressa ed una lama scrostante possono essere utilizzate. Bisogna prestare attenzione alla superficie della pavimentazione per prevenire un eccessivo danneggiamento della superficie stessa. Per rimuovere una freccia isolata oppure una scritta, la rimozione manuale con martello e scalpello può essere una procedura soddisfacente.

Negli anni più recenti, miglioramenti nelle ruote taglienti ed altre tecnologie hanno reso le molatrici di grosse dimensioni realizzabili. Queste sono commercializzate da una varietà di venditori, molti dei quali vendono anche prodotti per il tracciamento delle pavimentazioni. L'esperienza di molte compagnie stradali con queste molatrici è stata eterogenea per differenti prodotti ed una piccola ricerca formale è stata resa disponibile per valutare i differenti modelli di molatrici.

## **ISPEZIONE**

Le procedure operative per l'applicazione delle strisce di materiale termoplastico sono abbastanza simili a quelle per l'applicazione delle pitture. Dove non vi sono strisce esistenti, la strada deve essere pretracciata con linee guida, utilizzando gli stessi metodi descritti per l'applicazione delle pitture. Sebbene molte specifiche delle varie compagnie stradali differiscano, la maggior parte richiedono l'applicazione su pavimentazioni asciutte e pulite. Le pavimentazioni dovrebbero essere testate per verificarne l'assenza di umidità. Molto spesso un giudizio soggettivo viene espresso dall'ingegnere incaricato. L'umidità mattutina può causare un precoce cedimento della striscia.

Le tecniche per la rimozione di terra, vernici vecchie, oli ed altri inquinanti includono la sabbiatura (sandblasting), l'abbattimento con aria compressa (airblasting), l'abbattimento con acqua (hydroblasting), la rigatura (brooming), attacco chimico con acidi (acid etching) e molatura (grinding). Alcune compagnie non riportano alcuna richiesta di pre-pulizia per le pavimentazioni in bitume. Le tecniche più appropriate dipendono dalle condizioni della superficie e anche da qualche residuo di vernice che deve essere rimossa. La sabbiatura e l'attacco chimico con acidi sono di solito ristrette alle pavimentazioni in cemento. Una migliore

adesione è stata riscontrata per le installazioni in cui la pavimentazione in cemento era soggetta ad una leggera molatura prima dell'applicazione.

### **Pulizia ed essiccamento della pavimentazione**

La pavimentazione dovrebbe essere asciutta senza alcuna umidità superficiale, rugiada oppure umidità subsuperficiale. Come già detto nel capitolo 4, l'operazione di tracciamento però spesso inizia prima che la pavimentazione sia sufficientemente asciutta per l'applicazione.

Il materiale termoplastico non dovrebbe essere applicato sopra vecchi nastri preformati. Se il materiale termoplastico viene applicato sulla parte superiore di vecchie strisce di materiale termoplastico, lo strato di base deve essere in condizioni stabili ed il vecchio materiale dovrebbe ancora avere un'adeguata adesione alla pavimentazione. Materiale termoplastico, applicato su strisce che cedono per inadeguata adesione, si staccherà semplicemente dalla pavimentazione insieme alle vecchie strisce.

Se il vecchio strato di una striscia ha ancora un'apprezzabile quantità di perline superficiali, dovrebbe essere irruvidito da una rigatura o leggera molatura. Lo stesso si applica alle strisce di pretracciamento che erano state applicate con un rivestimento superiore di perline.

### **Temperatura dell'aria**

La temperatura dell'aria ambiente dovrebbe essere al minimo 55°F (13°C) per l'applicazione della maggior parte del materiale termoplastico. Se il produttore specifica un'altra temperatura, quel valore dovrebbe essere usato. Il fattore di "raffreddamento da vento" dovrebbe essere considerato quando si determina se è abbastanza caldo da poter cominciare l'operazione di tracciamento. Il fattore di "raffreddamento da vento" aiuterà a determinare quanto velocemente si raffredderà il materiale sulla pavimentazione. Se il raffreddamento da vento è troppo basso, il materiale raffredderà prima che abbia avuto la possibilità di aderire alla pavimentazione. Se il fattore di "raffreddamento da vento" è sotto i 45°F (7°C), i materiali termoplastici non dovrebbero essere applicati.

### **Temperatura della pavimentazione**

La temperatura della pavimentazione è probabilmente il fattore più importante nell'applicazione di materiali termoplastici. La temperatura della pavimentazione governerà la velocità di raffreddamento del materiale, anche più della temperatura dell'aria. Questo perché la velocità di trasferimento del calore, dal materiale alla pavimentazione, è governata da un meccanismo di conduzione mentre quello tra materiale ed aria è governato dalla convezione. In condizioni normali il trasferimento di calore per conduzione è più veloce di quello per convezione.

La pavimentazione dovrebbe essere al minimo ad una temperatura di 55°F (13°C). Questa può essere misurata da un normale termometro di superficie.

### **Temperatura del materiale**

La temperatura del materiale richiesta varierà più di ogni altro parametro. Il valore ottimo può variare per differenti materiali e le leggi di trasferimento di calore evidenziano che mantenere strette tolleranze alle alte temperature richieste, per l'applicazione di materiali termoplastici, è molto difficile. Queste sono spesso centinaia di gradi più elevate delle temperature di applicazione delle pitture. Le temperature operative normali sono intorno ai 400÷450°F (204÷232 °C), con il valore ottimale intorno ai 425÷435°F (218÷224°C).

## Altre prove

A parte i pretrattamenti della pavimentazione e gli aspetti riguardanti le temperature, l'ispezione di materiali termoplastici è essenzialmente la stessa di quella per le pitture. Le strisce dovrebbero prima essere ispezionate visivamente per i bordi crespi e le deviazioni minime oppure per la troppa spruzzatura. Le stesse prove delle pitture possono, quindi, essere eseguite. Queste includono lo spessore del materiale, l'ispezione con un microscopio portatile per esaminare la quantità e la distribuzione delle perline, ed il test di retroriflessione all'ombra del sole.

I materiali termoplastici sono molto sensibili alle variabili che influiscono sull'applicazione. La tabella 6 (riportata di seguito tradotta) è stata inclusa per diagnosticare i problemi che possono verificarsi durante il processo di applicazione. Essa presenta alcune possibili soluzioni a questi problemi. Questa tabella è presa direttamente dalla letteratura dei produttori, per correggere i problemi che si verificano con i loro materiali.

<i>Se la striscia appare:</i>	<i>Il problema è:</i>	<i>Per correggere:</i>
Liscia, lucida, brillante	Nessuna perlina nella striscia, che determina mancanza di retroriflessione, causata da un malfunzionamento della pistola che applica le perline.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riparare l'applicatore di perline;</li> <li>– Aumentare la velocità di applicazione delle perline;</li> <li>– Muovere il punto di applicazione delle perline.</li> </ul>
Liscia con leggere ondulazioni	Le perline applicate a caduta sono troppo immerse, risultando una retroriflessione più bassa, causata da materiale applicato troppo caldo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aumentare la velocità di applicazione delle perline;</li> <li>– Raffreddare il materiale, stando sempre ad una temperatura sopra i 425 °F (218°C).</li> </ul>
Appannata o "ghiacciata"	A causa di applicazione del materiale che è troppo freddo o la pistola troppo lontana, le perline si trovano troppo in alto e non aderiscono bene e quindi saranno spazzate via.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assicurarsi che la temperatura di applicazione sia 425÷435°F (218÷223°C);</li> <li>– Muovere il punto di applicazione delle perline.</li> </ul>
Butterata	A causa dell'applicazione di materiale che è troppo freddo e/o scarsa adesione della perline, le perline salteranno fuori, dando luogo ad una bassa retroriflessione.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assicurarsi che la temperatura di applicazione del materiale termoplastico sia 425÷435°F (218÷223°C).</li> </ul>
Ruvida vicina ai margini	Adesione inconsistente, che determina una minore durabilità, a causa dell'applicazione di materiale che è troppo freddo e/o sottile.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assicurarsi che il materiale abbia un opportuno spessore;</li> <li>– Assicurarsi che la temperatura di applicazione sia 425÷435 °F (218÷223°C).</li> </ul>
Ondulata con margini irregolari	Il flusso di materiale non è ben definito, a causa del fatto che il materiale è troppo caldo o liquido, la pressione di applicazione è troppo alta, l'attacco di colata troppo aperto e la superficie della strada troppo irregolare.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assicurarsi che la temperatura di applicazione sia 425÷435°F (218÷223°C);</li> <li>– Aggiustare l'attrezzatura utilizzata per l'applicazione;</li> <li>– Diminuire la velocità di applicazione su superfici ruvide.</li> </ul>

<i>Se la striscia appare:</i>	<i>Il problema è:</i>	<i>Per correggere:</i>
Gialla verdastra	Scottatura superficiale che determina infragilimento e minore durabilità del materiale, a causa di surriscaldamento o troppi riscaldamenti.	– Scartare il materiale.
Gialla sporca, opaca	Scottatura superficiale che determina infragilimento e minore durabilità del materiale, a causa di surriscaldamento o troppi riscaldamenti.	– Scartare il materiale.
Bucherellata	Umidità intrappolata, primer intrappolato oppure aria intrappolata che indeboliscono l'adesione.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eseguire un test di umidità;</li> <li>– Se c'è umidità interrompere l'applicazione;</li> <li>– Se non c'è umidità verificare se la superficie della pavimentazione è open-graded. Per evitare che venga intrappolata aria su superfici open-graded, diminuire la velocità di applicazione ed assicurarsi che la temperatura di applicazione del materiale termoplastico sia 425÷435°F (218÷223°C)</li> </ul>
Granulosa	Materiale carbonizzato oppure pigmenti e filler non miscelati, che determinano una minore durabilità.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Individuare il problema rimuovendo il grumo dalla camera di rammollimento e tagliandolo all'aperto;</li> <li>– Se il grumo appare bruciato, di colore scuro, il materiale sta carbonizzando dentro il sistema di riscaldamento. Rimuovere tutto il grumo visibile dalla camera di rammollimento e vagliarlo prima dell'applicazione;</li> <li>– Se il grumo appare granuloso o non miscelato, la resina e/o i pigmenti non sono rammolliti. Tenere il materiale termoplastico nel rammollitore a 425÷435°F (218÷223°C) fino a che il grumo si dissolve.</li> </ul>
Tirata o tesa	Adesione inconsistente e scarsa durabilità causata da materiale che è stato applicato troppo freddo e troppo rapidamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assicurarsi che la temperatura di applicazione sia 425÷435°F (218÷223°C);</li> <li>– Aggiustare la velocità di applicazione.</li> </ul>

<i>Se la striscia appare:</i>	<i>Il problema è:</i>	<i>Per correggere:</i>
Sfregiata o squarciata	Adesione indebolita causata da materiale carbonizzato o pezzo di roccia attraverso la striscia	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rimuovere il grumo dalla camera di rammollimento e tagliarlo all'aperto per determinare se il materiale è carbonizzato. Se è così, rimuovere tutti grumi visibili e vagliare il materiale prima di applicarlo;</li> <li>– Pulire la superficie.</li> </ul>
Irregolarità all'inizio o alla fine della striscia	Aspetto scadente, taglio non netto poiché l'applicatore non è regolato correttamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Regolare l'applicatore;</li> <li>– Assicurarsi che la temperatura di applicazione sia 425÷435°F (218÷223°C).</li> </ul>
Troppo sbavamento tra i salti	Aspetto scadente causato dall'applicatore che è regolato male.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Regolare l'applicatore;</li> <li>– Assicurarsi che la temperatura di applicazione sia 425÷435°F (218÷223°C).</li> </ul>
Tracce di ruote di camion	Strada aperta al traffico prima che il materiale termoplastico sia indurito oppure una quantità insufficiente di perline è stata utilizzata.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tenere la strada chiusa al traffico per un periodo sufficiente;</li> <li>– Aumentare la velocità di applicazione delle perline.</li> </ul>

## CAPITOLO 6

### NASTRI STRADALI PREFORMATI

#### INTRODUZIONE

I materiali termoplastici applicati a caldo richiedono un'alta temperatura per ottenere uno stato fuso per l'applicazione. Questo richiede attrezzature di installazione costose e operatori esperti. Comunque materiale plastico di tracciamento applicato a freddo non richiede nessuna di queste cose, non richiede alcun tempo di indurimento, e, in certe condizioni, esibisce un'elevata durabilità.

I nastri per il tracciamento stradale, applicati a freddo, sono forniti in rulli continui di varie lunghezze e larghezze. Questi nastri preformati sono forniti in colore giallo o bianco, ed in modelli pretagliati per produrre lunghezze e simboli standard. Le plastiche applicate a freddo sono anche fornite in fogli da cui modelli, forme o lettere "speciali" possono essere fatte secondo le esigenze del cliente.

#### IMPIEGHI

I nastri preformati sono molto frequentemente utilizzati per strisce pedonali, segnali di stop, lettere e simboli ed altri trattamenti speciali. Alcune compagnie locali hanno anche mostrato una preferenza per i nastri preformati, come strisce di mezzeria o di corsia, in aree con bassa densità di traffico. Come per i materiali termoplastici applicati a caldo, i nastri preformati applicati a freddo si sono mostrati più efficienti su superfici in asfalto che su quelle in cemento.

#### Proprietà delle plastiche applicate a freddo

I nastri preformati sono generalmente riconosciuti per la loro durabilità, specialmente per la resistenza all'abrasione. Essi sono ideali per luoghi che richiedono piccole quantità di materiali per il tracciamento, particolarmente in condizioni severe che richiedono frequenti sostituzioni. La facilità di installazione e riparazione dei nastri, che non richiedono attrezzatura, li rende quasi economici, per queste applicazioni, come altri materiali. Questo perché i costi di altri materiali spesso includono il costo operativo o di affitto di attrezzatura per l'applicazione su larga scala, che è difficile da impiegare per installazioni più piccole, particolarmente per linee trasversali e speciali.

I nastri preformati sono quasi sempre fabbricati in rulli o in fogli dall'industria. Questo tipo di tracciamento è composto dagli stessi materiali che si trovano nelle strisce in materiale termoplastico: resina legante, pigmenti, perline e fillers inerti. I nastri differiscono nel fatto che sono spesso rivestiti con un adesivo, per l'adesione alla pavimentazione. Un rivestimento superficiale di perline è spesso presente per la retroriflessione.

Mentre alcune compagnie stradali hanno apprezzato tale materiale per la buona resistenza all'abrasione, altre compagnie si lamentano del fatto che i nastri preformati si alterano in aree molto tortuose. I nastri preformati devono essere applicati in aree dove una buona adesione è assicurata. Le procedure di applicazione devono essere strettamente seguite. La pulizia della pavimentazione è più importante per i nastri preformati che per altri materiali.

Per una descrizione più approfondita delle condizioni sotto le quali i nastri aderiranno bene alla pavimentazione, vedere la sotto- sezione sulla durabilità, nella sezione di questo capitolo in cui sono descritte le prestazioni. Queste sono le condizioni in cui la durabilità dei nastri li rende efficienti.

## Considerazioni sul costo

I nastri preformati costano per metro lineare più di ogni altro materiale di tracciamento. I prezzi da contratto, per un'installazione del 1984 a New York, erano di circa 1.25 dollari per piede lineare (4.10 al metro). Per confronto il costo per piede lineare delle pitture era di 0.04 dollari (0.013 al metro), mentre il costo per piede lineare dei materiali termoplastici era di 0.32 dollari (1.05 per metro).

Un paragone fra costo previsto e vita di servizio dovrebbe essere sempre fatto prima di specificare l'uso dei nastri preformati. I nastri devono essere utilizzati per tutta la loro vita di servizio, per poterne giustificare l'elevato costo iniziale.

## Strade illuminate

I nastri preformati spesso non forniscono un'adeguata retroriflessione per tutta la durata della loro vita di servizio. Questo fatto, insieme all'alto costo del materiale, ha limitato l'uso dei nastri per installazioni quali gli incroci urbani e le strisce urbane. In queste aree, dove l'installazione di piccole quantità di strisce è necessaria, sono più efficienti. I nastri utilizzati in queste aree hanno una buona durabilità, e le strisce urbane sono generalmente su strade ben illuminate. L'installazione dei nastri è molto più semplice per queste applicazioni. Molti materiali standard da tracciamento richiedono attrezzature di grosse dimensioni, difficili da manovrare, per lo stesso proposito.

## TIP

I nastri preformati sono generalmente classificati in base alla vita di servizio prevista e alla composizione del materiale. Solo due classificazioni della vita di servizio sono caratterizzate: permanente e temporanea. La maggiore differenza fra questi due tipi di nastri preformati è il loro spessore ed il metodo di adesione alla pavimentazione.

## Nastri permanenti

I nastri preformati permanenti sono installazioni "inserite" (inlay) oppure installazioni spesse "coprenti" (overlay), che hanno un'ottima adesione con la superficie della pavimentazione. Tutti i nastri preformati, i cui produttori riportano vite di servizio maggiori di un anno, sono considerati nastri permanenti. Due tipi di plastica sono utilizzati nella maggior parte delle formulazioni dei nastri permanenti, uretano e polimeri flessibili.

### *Uretano*

Il primo tipo di materiale dei nastri preformati, l'uretano, è una plastica estrusa a freddo con perline immerse, con o senza una superficie superiore di perline. Generalmente hanno uno spessore di 60÷90 mil (1.5÷2.3 mm). E' prerivestito con un adesivo sensibile alla pressione per l'autoadesione oppure è fornito con un adesivo a parte.

### *Polimeri flessibili*

Il secondo tipo di materiale plastico applicato a freddo è un materiale polimerico che è un qualcosa di più flessibile del tipo estruso a freddo. Un rivestimento superiore di perline è raccomandato per le aree dove la retroriflessione immediata è richiesta. Lo spessore standard di questi nastri è di 30÷60 mil (0.76÷1.5 mm). I nastri di polimeri flessibili sono prerivestiti con un adesivo sensibile alla pressione oppure applicati con un collante.

## Nastri temporanei

Nastri preformati temporanei sono normalmente utilizzati in installazioni "coprenti". Le tecniche di installazione "inlay" (inserita) ed "overlay" (coprente) sono descritte nella sezione "Installazione e Rimozione". Essi sono più sottili dei nastri permanenti, sono supportati da lamine, con un rivestimento di adesivo per l'autoadesione.

Il nastro preformato temporaneo è spesso utilizzato per strisce temporanee in zone di lavori di costruzione. Il vantaggio di questo materiale è la sua facile rimozione. Può essere rimosso intatto (o in larghi pezzi) sia da pavimentazioni in conglomerato bituminoso che da quelle in conglomerato cementizio. La rimozione può essere manuale o con dispositivi che lo tirano su, senza l'uso di calore, solventi, sabbiatura e molatura.

Il materiale consiste di un singolo strato di legante pigmentato e perline applicato su uno strato di sostegno di lamina metallica. Questi nastri sostenuti da lamine vanno dai nastri temporanei con alta lucentezza iniziale, ma bassa durabilità, ai nastri che offrono molti anni di servizio. In aggiunta all'adesivo, applicato al nastro in fabbrica, un primer può essere raccomandato, in alcuni casi, per aumentare l'adesione alla pavimentazione.

## PRESTAZIONI

Come ogni altro materiale di tracciamento, le prestazioni dei nastri preformati sono giudicate in termini di visibilità e durabilità. Alcune caratteristiche fondamentali delle prestazioni dei nastri, riguardo questi due aspetti, sono descritte nelle due sezioni seguenti. In particolare la trattazione tocca particolari problemi dei nastri preformati, riguardanti la conservazione per lungo tempo di un quantità sufficiente di perline per una buona retroriflessione.

### Retroriflessione

Una delle ragioni più significative per cui i nastri preformati, sebbene altamente duraturi, non sono stati efficienti, è la loro insufficienza a garantire una buona retroriflessione per tutta la durata del servizio. La maggior parte dei nastri sono così carenti nel garantire una buona visibilità notturna, che molte compagnie stradali specificano il loro impiego solamente su strade ben illuminate. Ciò restringe significativamente il loro utilizzo.

Alcune compagnie stradali sono andate alla ricerca, senza successo, di un nastro che garantisse un'adeguata retroriflessione. Qualche speranza è stata mostrata da nastri che impiegavano perline con indice di rifrazione pari a 1.75 (RI), ma tali nastri ancora duravano più a lungo della loro retroriflessione. In molti casi la buona retroriflessione iniziale del nastro si conservava per un certo periodo, ma col tempo essa si deteriorava fino ad un livello inaccettabile, a causa dell'insufficienza della matrice di perline.

### Durabilità

Uno studio del 1983, condotto dal Dipartimento dei Trasporti dello Stato di New York (NYSDOT), ha tentato di identificare le superfici su cui i nastri preformati hanno buone prestazioni. La loro esperienza è il risultato di molte osservazioni. Le strisce "inserite" (inlay) hanno prestazioni più durature di quelle "coprenti" (overlay), se una buona adesione è ottenuta con la pavimentazione. I nastri devono essere installati velocemente nelle installazioni ad "inserimento", per ottenere una buona adesione con la pavimentazione (che si ha quando la pavimentazione è ancora calda). I pneumatici, che passano sopra le strisce, chiaramente aiutano ad assicurare una buona adesione con la pavimentazione. La mancanza di adesione è più probabile che avvenga in aree con minor traffico. I nastri non dovrebbero essere installati su pavimentazioni in cemento "irruvidite", poiché queste causeranno un cedimento dovuto alla separazione (delaminazione) fra il nastro ed il suo

supporto adesivo. Inoltre sia l'abrasione che la mancanza di adesione sono accelerate se il nastro è installato sopra agglomerati bituminosi in condizioni deteriorate.

## INSTALLAZIONE E RIMOZIONE

Il pregio dei nastri preformati è la straordinaria semplicità della loro installazione e delle procedure di rimozione. Attrezzature speciali o complesse non sono di solito richieste per l'installazione. Qualche volta un dispositivo di applicazione a rulli è utilizzato per la posa di strisce longitudinali. Una pavimentatrice stradale a rulli è spesso anche utilizzata per assicurare il contatto con la pavimentazione, in modo da avere una buona adesione. L'applicazione di strisce pedonali e di stop normalmente non richiede neanche questa attrezzatura.

### Installazione

I nastri preformati possono essere installati con il metodo ad "inserimento" (inlay) oppure con il metodo a "copertura" (overlay), dipendentemente dal tipo e dalle condizioni della pavimentazione. Con ciascuno di questi metodi, le strisce sono già pronte a ricevere il traffico immediatamente dopo l'installazione.

#### *Metodo ad "inserimento" (overlay)*

Il metodo ad "inserimento" è usato in nuove costruzioni oppure nei rifacimenti superficiali di pavimentazioni in bitume, steso a caldo. Il nastro, sensibile alla pressione ed autoadesivo, è posizionato sulla zona ed è rullato saldamente nell'asfalto durante la compattazione finale, mentre l'asfalto è ancora caldo (al minimo 130°F/54°C). Questa operazione è normalmente effettuata utilizzando una pavimentatrice stradale.

Per strisce longitudinali, un dispositivo di applicazione del nastro segue i rulli di "sbozzatura" ed automaticamente stende le linee a tratti, le doppie linee gialle e le bianche linee continue di margine. Può essere alimentato con una batteria da 12 volt ed è equipaggiato con un meccanismo di interruzione ad aria compressa. Il nastro, appena posizionato, è unito saldamente alla pavimentazione da un rullo finale che segue. Forme e lettere pretagliate devono essere posizionate a mano prima della compattazione. Il rullo tende a smussare la striscia di plastica dentro la pavimentazione. Questo aumenta l'adesione e isola dall'umidità.

#### *Metodo a "copertura" (overlay)*

Il termine "copertura" si riferisce ad ogni metodo di installazione di nastri preformati su pavimentazioni esistenti, applicando questi alla superficie e creando poi una sorta di adesione con la pavimentazione.

#### *Nastri permanenti*

Pellicole sensibili alla pressione funzionano bene su superfici in asfalto relativamente nuove, che stanno per ricevere installazioni permanenti di nastri preformati "coprenti". Quando nastri preformati permanenti coprono vecchie superfici in asfalto oppure superfici in cemento, una migliore adesione è ottenuta quando un collante è applicato prima dell'installazione. In questo caso il produttore può raccomandare due mani sulla pavimentazione ed uno sul nastro sottile. Ciò è vero anche per le strisce di incrocio che sono soggette ad un forte movimento di rotazione. Inizialmente le strisce sono posizionate semplicemente "calpestandole" e creando una leggera adesione alla pavimentazione. Un leggero rullo manuale è poi utilizzato per legare parzialmente il nastro alla pavimentazione, per prevenirne lo spostamento fino a che la pressione continua, esercitata dai pneumatici, assicuri un'adesione sicura.

### *Nastri temporanei*

Per lavori di costruzione o di manutenzione, che richiedono una delimitazione temporanea per le corsie di marcia nuove o modificate nella zona di lavoro, un sottile nastro autoadesivo può essere applicato direttamente sulla pavimentazione. Due tipologie di strisce temporanee sono disponibili. Una tipologia è intesa per l'impiego in quei progetti di costruzione dove la rimozione delle strisce non sarà richiesta. L'altra tipologia è progettata per una facile rimozione. I maggiori vantaggi dell'ultimo materiale includono la sua elevata retroriflessione. Può essere installato velocemente da una squadra di due persone. Può anche essere facilmente rimosso quando il progetto di costruzione è completato ed il flusso di traffico ritorna alla configurazione originale.

Il nastro autoadesivo, specificato per strisce temporanee in zone di costruzione, può essere rimosso con relativa facilità. Il materiale può essere semplicemente distaccato e rimosso manualmente oppure arrotolato su di un applicatore, come mostrato in figura 37.

Questo tipo di operazione non lascerà alcuna traccia permanente. Una vaga traccia può essere lasciata dall'adesivo residuo, ma questa sarà cancellata dal traffico in breve tempo.

### *Nastri fusi a caldo*

Un metodo relativamente nuovo di nastri preformati a "copertura" è stato commercializzato dalla Pave Mark Corporation. Consiste in una speciale formulazione di polimeri flessibili utilizzati con un cannello al propano per creare l'adesione alla pavimentazione.

Il processo di installazione è semplice. Le strisce sono stese ed il calore è applicato sulla loro superficie superiore con il cannello al propano. La Pave Mark asserisce che il materiale risolve i precedenti problemi incontrati con i nastri preformati, come le distorsioni e le premature perdite di retroriflessione. La ricerca ha già stabilito la validità di queste asserzioni.

### *Simboli*

Scritte e simboli preformati, applicati a freddo, devono essere installati manualmente, ma questa è un'operazione relativamente semplice. Consiste nello stendere le strisce nei punti desiderati e farle aderire alla pavimentazione con un rullo o un veicolo a ruote.

## **Rimozione**

La rimozione dei nastri preformati è un problema particolare, poiché la rimozione varia molto con il tipo di materiale e, cosa più importante, con il metodo di installazione. Perciò la rimozione di nastri temporanei e permanenti è trattata separatamente. Inoltre la tabella 2, nel capitolo che riguarda le pitture stradali, descrive minuziosamente l'efficienza dei vari metodi di rimozione dei nastri preformati.

### *Nastri permanenti*

La rimozione dei nastri preformati permanenti può essere difficile. Se una buona adesione è ottenuta nell'applicazione, pochi metodi, per rimuovere il materiale, sono efficienti, particolarmente se il materiale è stato nel luogo per lungo tempo.

Il NYSDOT ha trovato che il miglior metodo di rimozione dei nastri era per combustione con eccesso di ossigeno. Il riscaldamento del materiale rompe la sua adesione alla pavimentazione. Un dispositivo di

raschiamento è utilizzato insieme a questo metodo. Questo è simile al metodo utilizzato in passato, dove il materiale era semplicemente riscaldato e le strisce manualmente raschiate dalla pavimentazione.

### *Nastri temporanei*

Poiché i nastri temporanei non hanno una forte adesione, essi sono veramente facili da rimuovere. Essi sono semplicemente raccolti su di un semplice rullo meccanico, oppure possono di solito essere strappati dalla pavimentazione manualmente. Non ci sono fattori o attrezzature speciali da considerare.

## **ISPEZIONE**

I nastri preformati permanenti sono essenzialmente composti dagli stessi materiali costituenti le strisce termoplastiche applicate a caldo. Molte delle procedure di ispezione applicate ai materiali termoplastici sono simili a quelle applicate ai nastri preformati. Infatti lo scorticamento e la spellatura dei nastri preformati inducono a calcolare la percentuale di materiale residuo in modo analogo a quello utilizzato per i materiali termoplastici.

Alcune caratteristiche particolari dei nastri preformati permanenti generano altre problematiche di ispezione. Per esempio i nastri preformati dovrebbero essere controllati specialmente da vicino per eventuali estesi cedimenti del legame con il substrato e anche per le distorsioni, soprattutto in aree ricche di svolte.

Se è necessario usare nastri preformati per strisce longitudinali su strade non illuminate, esse devono essere ispezionate regolarmente per un'adeguata retroriflessione.

I nastri preformati temporanei non sono utilizzati abbastanza a lungo, affinché l'ispezione diventi un aspetto prioritario. Qualunque programma, per ispezionare e identificare i tratti in cui sono presenti nastri preformati temporanei, potrebbe non essere realizzato abbastanza velocemente da fornire qualche beneficio, prima che il tempo di vita dell'installazione sia scaduto.

## CAPITOLO 7

### INSERTI STRADALI CATARIFRANGENTI

#### INTRODUZIONE

L'uso di perline nelle strisce stradali fu il primo passo significativo per fornire una visibilità notturna ad un basso costo. Comunque le strisce stradali scompaiono quando la pavimentazione stradale è bagnata. La perdita di visibilità si ha in condizioni meteorologiche avverse, particolarmente nelle notti di pioggia e di nebbia.

Durante le ultime decadi la ricerca si è indirizzata allo sviluppo di dispositivi per il tracciamento stradale duraturi, che fornissero una visibilità sia diurna che notturna in avverse condizioni climatiche. Come risultato di tale ricerca gli inserti stradali (RPM: raised pavement markers), retroriflettenti e non retroriflettenti, sono apparsi un'alternativa molto efficiente. Gli RPM, come si può vedere dalla figura 38, forniscono un'eccellente visibilità notturna. Questo capitolo è rivolto agli impieghi, ai tipi ed alle caratteristiche degli RPM in uso oggi e a quelli progettati per il futuro.

#### IMPIEGHI

Gli RPM possono essere usati per indicare l'allineamento stradale, oppure per sostituire o fare da supporto ad altri dispositivi di tracciamento stradale. Sono descritti nella parte 3 del MUTCD e sono definiti nella sezione (3A-3) dei materiali per il tracciamento, come una variante delle pitture.

Gli stessi principi che governano l'uso delle strisce verniciate sono applicati agli RPM, riguardo al colore, all'applicazione ed alla configurazione. Le sezioni 3B-14, 15, 16 del MUTCD evidenziano quale è la configurazione e la spaziatura dei RPM, per fare da supporto oppure sostituire gli altri dispositivi di tracciamento. Tale manuale dà delle linee guida per la spaziatura in termini di N, che rappresenta il normale ciclo di lunghezza di un tracciamento stradale discontinuo (lunghezza dell'intervallo fra i segmenti di striscia + lunghezza segmento di striscia).

In questo manuale delle figure sono mostrate per illustrare i principi che il MUTCD delinea e per dare, in modo particolare, un indirizzo sulla disposizione e la spaziatura dei RPM in situazioni particolari o rischiose. Nella figura 39 c'è una lista di simboli per le strisce e gli RPM. La figura 40 illustra l'impiego degli RPM per indicare l'allineamento stradale in tratti rettilinei e in curve orizzontali. Le figure 41, 42, 43 illustrano le configurazioni più comunemente adottate per le linee di mezzzeria, le linee di corsia e le linee continue (linee di margine e limite da non superare), rispettivamente. In queste figure si applica un rapporto fra l'intervallo dei segmenti di striscia e la lunghezza dei segmenti di striscia di 3 a 1, e si assume un valore di N pari a 40 ft (12 m), per cui l'intervallo fra i segmenti di striscia è di 30 ft (9 m) e la lunghezza di un segmento di striscia è di 10 ft (3 m).

#### Applicazioni funzionali

Ci sono molti differenti tipi di RPM. Le caratteristiche di ciascun tipo riguardano la funzione che essi devono compiere nelle loro applicazioni specifiche.

Gli RPM non retroriflettenti sono utilizzati in alcune installazioni per sostituire completamente le strisce longitudinali verniciate. Gli RPM retroriflettenti sono sparpagliati per fornire una visibilità notturna dove non c'è un impianto di illuminazione. Il più alto costo iniziale di un sistema di RPM è giustificato sulla base della lunga vita di servizio e dell'incremento di visibilità in condizioni di bagnato. Comunque le compagnie stradali tendono

ad utilizzare, più frequentemente, gli RPM retroriflettenti insieme alle strisce verniciate, per la delimitazione longitudinale. Poiché gli RPM forniscono una maggiore visibilità notturna, specialmente durante la pioggia, essi sono consigliabili in posizioni pericolose quali le rampe d'uscita, gli accessi ai ponti, le transizioni di corsia, le curve e le zone di costruzione.

### Considerazioni per l'applicazione

Gli RPM hanno i seguenti vantaggi rispetto alle normali strisce verniciate:

- Gli RPM retroriflettenti forniscono una maggiore retroriflessione in condizioni di pioggia;
- Gli RPM, sia retroriflettenti che non, sono più duraturi delle strisce verniciate. Le sostituzioni sono meno frequenti e le operazioni di riverniciamento, in condizioni di traffico pesante, possono essere spesso evitate;
- La vibrazione del veicolo ed il suono prodotto dal passaggio dei veicoli sugli RPM creano un avvertimento secondario;
- La capacità di fornire un controllo direzionale, in base al colore retroriflesso, permette il loro utilizzo nella comunicazione di un messaggio di senso di marcia sbagliato;
- Gli RPM non retroriflettenti possono essere utilizzati come strisce trasversali rumorose.

Il principale svantaggio nell'uso degli RPM è il loro elevato costo iniziale. La loro applicazione, perciò, tende ad essere limitata a strade importanti, dove una delimitazione aggiuntiva è necessaria, ed a strade che hanno una superficie che non sarà subito soggetta a riparazione, sostituzione o scavi. Solo in queste condizioni una compagnia può recuperare l'alto investimento iniziale e sfruttare pienamente i vantaggi degli RPM duraturi.

Un altro aspetto è la vulnerabilità degli RPM all'attività degli spazzaneve. Tutti i tracciamenti stradali sono cancellati dalle forti nevicate. Gli RPM hanno lo svantaggio di essere danneggiati o rimossi dalla lama degli spazzaneve. Un RPM, che sopporta l'azione degli spazzaneve, è stato sviluppato ed ha dimostrato qualche efficacia nel resistere ai danni provocati dagli spazzaneve. I tipi, le risorse e le configurazioni degli RPM correntemente impiegati sono descritti nella sezione "Materiali".

### Linee guida per l'applicazione

La parte 3B del MUTCD fornisce delle linee guida per i tracciamenti stradali in varie situazioni. Il Manuale sui Dispositivi per il Controllo del Traffico (*The Traffic Control Devices Handbook*) ha una simile sezione per l'applicazione degli RPM. Linee guida per l'applicazione degli RPM sono presentate nelle figure da 44 a 50. Poiché le linee di condotta possono essere diverse fra le varie compagnie stradali, nelle configurazioni mostrate non sono indicate le dimensioni. In queste figure la spaziatura normale, N, rappresenta la lunghezza del segmento di striscia più la lunghezza dell'intervallo fra due segmenti di striscia. Il colore degli RPM dovrebbe accordarsi a quello delle strisce che sono sostituite o integrate.

La figura 44 presenta alcune configurazioni di tracciamento per strade a due sensi di marcia, che includono: a) strade a due corsie; b) zone con limiti da non superare; c) strade a quattro corsie.

La figura 45 presenta alcune configurazioni di tracciamento per tratti di raccordo, che includono: a) passaggio da 4 a 2 corsie verso destra; b) passaggio da 4 a 2 corsie verso sinistra.

La figura 46 presenta alcune configurazioni di tracciamento nell'avvicinamento ad un incrocio, che includono: a) una strada a due corsie ed un solo senso di marcia; b) una strada a due corsie e due sensi di marcia; c) una strada a quattro corsie e due sensi di marcia.

La figura 47 presenta alcune configurazioni di tracciamento per curve orizzontali che hanno un grado di curvatura di 6° o maggiore, che includono: a) strade a due corsie e due sensi di marcia; b) strade a quattro corsie e due sensi di marcia.

La figura 48 presenta alcune configurazioni di tracciamento per corsie di svolta a sinistra, che includono: a) corsia centrale di una strada a tre corsie; b) corsia centrale di una strada a cinque corsie; c) una corsia di svolta sinistra protetta.

La figura 49 presenta alcune configurazioni di tracciamento per rampe di autostrade, che includono: a) la combinazione di RPM e strisce verniciate su rampe di uscita; b) la combinazione di RPM e strisce verniciate su rampe di ingresso.

La figura 50 presenta tipiche configurazioni di tracciamento per zone di lavori in corso, che includono: a) strade a due corsie e due sensi di marcia (per 3 giorni o meno); b) strade a due corsie e due sensi di marcia (per 14 giorni o meno); c) strade a due corsie e due sensi di marcia (per più di 14 giorni); d) strade a due corsie e due sensi di marcia con forte curvatura (14 giorni o meno) con strisce centrali; e) strade a due corsie e due sensi di marcia con forte curvatura (14 giorni o meno) con RPM centrali; f) strade a più corsie e singola carreggiata; g) strade a più corsie e doppia carreggiata.

La configurazione di RPM, in zone di lavori in corso, che sembra fornire al guidatore la migliore percezione visiva sui tratti rettilinei si ha quando gli RPM, spazati di 40 ft (12 m), fanno da supporto alle strisce verniciate. E cioè ciascun RPM retroriflettente è posizionato in mezzo a due strisce, che sono ciascuna di 10 ft (3 m), come mostrato in figura 50b e 50c.

Per la sostituzione di linee tratteggiate, una serie di 4 RPM non- retroriflettenti con un RPM retroriflettente, ogni 40 ft (12.2 m), è raccomandata. Gli RPM non- retroriflettenti dovrebbero essere posizionati 3 1/3 ft (1 m) l'uno dall'altro per sembrare, di giorno, una linea tratteggiata (vedere figure 50b e 50c).

### **Collocazioni speciali**

A causa del loro elevato costo iniziale, molti Stati utilizzano gli RPM solo per localizzazioni che hanno bisogno di una delineazione aggiuntiva. Uno studio di questo aspetto è stato eseguito dall'FHWA. Essa ha condotto degli studi prima e dopo l'installazione di RPM, eseguita in un certo numero di Stati. I tipi di localizzazione studiati erano ponti stretti, strade a due corsie, in prossimità di stop, accessi diretti, strade a due corsie con una corsia di svolta a sinistra, raccordi per la presenza di ostacoli, strade a quattro o a sei corsie ed una carreggiata, strade a più corsie ad una carreggiata, e tratti di raccordo da quattro a due corsie.

Relazioni provenienti da 12 Stati furono riassunte. In molti casi i dati sugli incidenti erano insufficienti. In altri la riduzione degli incidenti, durante il periodo prima e dopo l'installazione degli RPM, non era statisticamente significativo. Molte conclusioni vennero fuori da queste relazioni.

Per ponti stretti su strade rurali a due corsie, una spaziatura degli RPM di 80 ft (24.4 m), che decresce a 40 ft (12.2 m) in prossimità del ponte, determina una significativa riduzione della velocità, di notte. Le invasioni di corsia sono ridotte significativamente. Gli RPM sono necessari sia per le strisce di centro che per quelle di margine. Gli RPM di margine sono necessari per segnalare la diminuzione della larghezza della carreggiata.

In curva, su strade rurali a due corsie, la doppia striscia centrale dovrebbe essere integrata con una fila di RPM tra le due strisce. La spaziatura degli RPM dovrebbe essere di 80 ft (24.4 m) su curve di 3 gradi. Su curve da 3 a 15 gradi, una spaziatura di 40 ft (12.2 m) o meno è l'ideale; su curve maggiori di 15° una spaziatura di 20 ft (6.1 m) è raccomandata (vedere la figura 40c come esempio di applicazione). Osservazioni visive indicano che due file di RPM possono essere necessarie per fornire un'adeguata delineazione su curve

maggiori di 20°. Mischiare RPM di margine con quelli di centro sembra creare confusione su alcune curve brusche.

Gli RPM riducono significativamente le manovre errate dei veicoli, con o senza la presenza di illuminazione. Questo effetto è specialmente evidente in corrispondenza delle "zebrature", alle uscite ed alle biforcazioni.

Gli RPM dovrebbero essere posizionati poco prima di un tratto stradale problematico per preparare il guidatore al tipo di controllo di guida che esso deve affrontare.

Gli RPM forniscono una delineazione notturna migliore se comparati alle strisce verniciate e se utilizzati insieme alle strisce verniciate.

Infine gli RPM, pur essendo un valido sistema di controllo di guida, non sono un toccasana per la riduzione dei potenziali pericoli in tutte le localizzazioni.

## **MATERIALI**

Numerosi concetti sono stati applicati per lo sviluppo di RPM duraturi e di basso costo. Gli RPM dovrebbero: 1) fornire una visibilità sia diurna che notturna al minimo uguale a quella delle strisce verniciate retroriflettenti; 2) essere altamente visibili di notte in condizioni di bagnato; 3) non essere danneggiati dall'azione degli spazzaneve o essere causa di danneggiamenti alla lama degli spazzaneve.

Gli RPM commercialmente disponibili variano in dimensione, forma e composizione e mostrano un ampio intervallo di possibilità. Nessun tipo di RPM soddisfa tutte le proprietà menzionate sopra. Dimensioni, forma, proprietà retroriflettenti e materiali utilizzati sono considerati quando si seleziona un RPM. C'è una relazione tra prestazione e costo, ma non è lineare. Da un certo punto in poi, pagare di più un RPM non produrrà un aumento significativo delle prestazioni. Gli RPM dovrebbero essere selezionati sulla base delle caratteristiche specifiche del luogo.

In aggiunta agli RPM più comunemente utilizzati, ci sono molti modelli sperimentali. La trattazione seguente mette in risalto gli RPM più comunemente utilizzati, gli RPM per usi speciali, e i modelli di RPM in fase di progetto.

### **Tipi**

Il precursore dell'RPM fu un bottone convesso, con perline sulla parte superiore per la visibilità notturna. Chiamato "Botts Dots" dal loro esecutore, questi RPM furono introdotti in California nel 1954. Essi venivano incollati alla pavimentazione con un adesivo epossidico, ognuno al centro di un salto di linea di 15 ft (4.6 metri). Questi RPM furono utilizzati come dispositivi ausiliari per fornire una delineazione durante i periodi di oscurità e tempo bagnato. La vita di servizio di questi RPM fu valutata a 20 anni su pavimentazioni in cemento.

Varianti dei bottoni convessi sono state sviluppate. Un bottone di ceramica non retroriflettente è attualmente utilizzato come alternativa alle strisce verniciate. Comunque questi dovrebbero essere utilizzati in combinazione con gli RPM retroriflettenti per la visibilità sia diurna che notturna. Un'altra variante è il bottone di ceramica con un inserto retroriflettente in vetro o in plastica. Esempi di questi "bottoni" sono mostrati in figura 51.

Gli RPM rettangolari sono stati sviluppati intorno al 1955 per migliorare la durabilità sulla pavimentazione in asfalto. Come i Botts Dots, questi primi cunei avevano una base in resina poliestere con perline, come

elementi retroriflettenti. Il cuneo era repellente all'acqua e si estendeva sopra il film di acqua che si formava durante la pioggia. È anche ammesso per una delineaazione di uno e due sensi di marcia.

Più recentemente lo sviluppo delle tecnologie dello stampaggio di precisione hanno reso possibile uno specchio retroriflettente ad angolo triedro (spigolo cubico) da utilizzare con gli RPM a forma di cuneo. In questo sistema tre superfici a specchio sono posizionate ortogonalmente l'una rispetto all'altra. Esse ricevono i raggi luminosi provenienti dai fari su uno dei tre specchi. Da qui il raggio è riflesso sulla seconda superficie a specchio, e quindi sulla terza. Ciò dà luogo ad un raggio luminoso che è rimandato esattamente nella stessa direzione ma con verso opposto rispetto a quello entrante. Le tre minuscole superfici sono disposte come mostrato in figura 52 per fornire l'unità retroriflettente dell'RPM. Approssimativamente 360 "prismi" (corner-cubes) sono contenuti nella faccia di un RPM che misura 3 5/8 x 1 in (92.1 x 25.4 mm).

Gli RPM prismatici sono disponibili per una delineaazione di un senso o due di marcia, in una qualunque combinazione dei tre colori standard. Un modello di RPM ha una superficie retroriflettente che copre l'intera faccia inclinata del cuneo. La faccia di un'altra versione è divisa in due superfici retroriflettenti legate dal materiale di base.

La differenza fra queste due versioni è la loro visibilità diurna. L'elemento con l'intera faccia retroriflettente normalmente ha un alloggiamento opaco, grigio argentato. E' più che sufficientemente visibile in entrambe le condizioni notturne, di pioggia o meno, ma quasi sparisce durante il giorno. Nel modello a due superfici retroriflettenti, ciascuna superficie copre un'area più piccola della faccia e le superfici sono incassate in una plastica bianca o gialla. Come risultato questo è visibile sia di giorno che di notte. Specifiche per gli RPM circolari ed a forma di cuneo sono date in figura 53.

#### *RPM resistenti all'azione degli spazzaneve*

L'uso degli RPM convenzionali è cresciuto enormemente nelle aree poco nevose. Il danneggiamento provocato dalle lame degli spazzaneve è stato uno dei maggiori deterrenti alla loro installazione in aree nevose. Il danneggiamento e le perdite dovuti all'azione degli spazzaneve sono costosi ed hanno indotto allo sviluppo di un RPM resistente all'azione degli spazzaneve. Tali RPM hanno un assemblaggio retroriflettente, visibile nei due sensi di marcia, sostituibile e protetto da un alloggiamento in metallo, come mostrato in figura 54.

Questi RPM sono installati in un processo a tre fasi. Primo, una doppia scanalatura è praticata sulla pavimentazione. Poi l'area scanalata è riempita con un adesivo. Infine l'alloggiamento è collocato in queste scanalature, come mostrato in figura 55.

Durante l'azione dello spazzaneve, la lama dello stesso sale e procede sopra le superfici affusolate basse dell'alloggiamento, e ciò previene danneggiamenti dell'unità retroriflettente, dell'alloggiamento o della lama dello spazzaneve. A causa del basso profilo dell'alloggiamento (6° di pendenza), la salita e discesa della lama dello spazzaneve sono distinguibili dall'operatore dello spazzaneve, se esso si muove lentamente. Un modello permette l'azione dello spazzaneve da entrambe le direzioni ed ha di solito due facce retroriflettenti che sono disponibili nei colori standard.

L'alloggiamento in ghisa dell'RPM resistente all'azione dello spazzaneve misura 9 1/4 x 5 7/8 x 1 3/4 in (235x149x44 mm). La massima proiezione sopra la strada è di 7/16 in (10 mm). L'elemento acrilico prismatico retroriflettente fornisce 1.62 in<sup>2</sup> (104.5 mm<sup>2</sup>) di superficie retroriflettente per ogni faccia.

## Adesivi e caratteristiche

La vita di servizio di ogni dispositivo di delineazione stradale è direttamente proporzionale alla forza di adesione fra il materiale e la pavimentazione. Idealmente la forza di adesione dovrà essere uguale alla resistenza al taglio della pavimentazione stessa. Le forze di legame delle resine epossidiche, utilizzate oggi, superano di gran lunga le forze di legame interne sia dei conglomerati in cemento che di quelli bituminosi. Una preparazione superficiale è spesso necessaria per un adatto legame poiché l'eluato stradale, l'efflorescenza dei conglomerati, ed altre condizioni spesso impediscono al materiale legante in resina epossidica di aver un buon contatto con la superficie della pavimentazione.

Una buona adesione è l'unico fattore più importante, determinante per la durabilità di un RPM. I maggiori fattori che influenzano l'adesione alla pavimentazione sono le proprietà dell'agente legante, il tipo di superficie dell'RPM che si lega, la temperatura, e l'attenzione nell'applicazione.

Gli adesivi epossidici sono proporzionati, miscelati ed estrusi da un'attrezzatura di mescolamento automatico. Le proprietà reologiche (viscosità) dell'adesivo alle varie temperature sono importanti non solo per il proporzionamento, miscelazione ed estrusione, ma anche per prevenire che l'adesivo fluisca da sotto l'RPM quando questo è posizionato.

Ci sono numerose formulazioni per gli agenti leganti epossidici utilizzati per attaccare gli RPM sulla pavimentazione. Queste formulazioni sono classificate in base al tempo di essiccamento. I preparati epossidici standard richiedono alcune ore per indurire, mentre i preparati epossidici rapidi possono essere pronti al traffico in 10÷15 minuti. I produttori di RPM raccomandano e forniscono resine epossidiche compatibili ai loro prodotti. Comunque alcuni Stati formulano e producono o appaltano la lavorazione del proprio adesivo.

Ci sono alcuni tipi di RPM che sono sensibili alla pressione e non richiedono l'adesivo. Questi RPM richiedono però l'applicazione di un primer prima dell'installazione. L'RPM è pronto per il traffico immediatamente. Questo tipo di RPM è utilizzato da piccoli comuni oppure per zone di lavoro, deviazioni ed altre applicazioni simili.

Le caratteristiche adesive degli RPM dipendono dal materiale base. Cioè i materiali ceramici non si legano altrettanto bene come quelli acrilici. Per questo motivo gli RPM ceramici hanno una superficie a trama per migliorare la loro adesione con la pavimentazione. Dopo aver provato differenti tipi di RPM, il Dipartimento dei Trasporti della California (Caltrans) ha selezionato la superficie a trama illustrata in figura 55. La specifica utilizzata dal Caltrans dice:

"Le parti inferiori degli RPM ceramici saranno libere da smalto o patine di grasso ed avranno un certo numero di protuberanze integralmente modellate che si proiettano di circa 0.05 in (1.27 mm) dalla superficie, in una configurazione uniforme di righe parallele.

Ciascuna protuberanza avrà una superficie piatta parallela alla parte inferiore del RPM. L'area di ciascuna faccia parallela sarà fra 0.101 e 0.065 in<sup>2</sup> (65.2 e 41.9 mm<sup>2</sup>) e l'area totale di queste facce sarà fra 2.2 e 4 in<sup>2</sup> (1419 e 2581 mm<sup>2</sup>).

Le protuberanze saranno di sezione circolare. Il numero di protuberanze non dovrà essere meno di 50 e più di 200.

Per facilitare il modellamento e lo schiacciamento, i lati di ciascuna protuberanza potranno essere rastremati e non formeranno con la perpendicolare alla parte inferiore del RPM un angolo maggiore di 15°. Gli RPM prodotti con protuberanze il cui diametro è minore di 0.15 in (3.8 mm) possono avere una rastremazione

addizionale che non eccede i 30°, rispetto alla perpendicolare alla parte inferiore dell'RPM, e che si estende a non più della metà dell'altezza totale della protuberanza.

L'altezza totale dell'RPM sarà fra 0.68 e 0.8 in (1.72 e 2.03 mm)".

I materiali per le pavimentazioni in asfalto variano considerevolmente nelle proprietà fisiche. Esse possono essere fatte da vari materiali grezzi ed ancora rispettare le specifiche. I materiali influenzeranno la forza di adesione con gli RPM, ma appena le pavimentazioni invecchiano queste differenze (fra i materiali) diminuiscono. Perciò alcune compagnie stradali attendono un certo periodo prima di installare gli RPM. Analogamente gli agenti rigeneranti (per le pavimentazioni) ammorbidiscono l'asfalto in modo che una buona "conservazione" degli RPM non può essere prevista. L'asfalto ammorbidito indurisce con il tempo, perciò si raccomanda che nessuna installazione di RPM sia eseguita per un anno, dopo l'applicazione di agenti rigeneranti.

### **Delineazione temporanea**

Per tenere il traffico in condizioni di sicurezza nelle zone di costruzione e di manutenzione, il contraente dovrebbe utilizzare una buona delineazione per mantenere normale il flusso di traffico, mentre guida il conducente nella zona del cantiere.

Un sistema di RPM è un'alternativa. Essi sono facili da installare e rimuovere e, dopo la rimozione, non lasciano delle indicazioni fuorvianti che possano confondere i conducenti. Malgrado questi apparenti benefici di sicurezza, l'alto costo degli RPM ha scoraggiato il loro uso come delineazione di cantiere. Perciò l'FHWA ha condotto uno studio per risolvere questo dilemma. I costi, la spaziatura, la facilità di applicazione e di rimozione e la capacità degli RPM a guidare il traffico e suscitare pareri favorevoli da parte degli automobilisti, sono stati gli aspetti che sono stati valutati.

Nove Stati hanno riscontrato che gli RPM sono efficienti, garantendo una buona guida diurna e notturna in entrambe le condizioni di bagnato e di asciutto. Come giustificazione ulteriore del loro utilizzo c'è la sicurezza aggiuntiva, l'attività migliorata (dei lavori che si svolgono su strada), il vandalismo ridotto e l'unanime consenso del personale pubblico, governativo e addetto ai lavori. Su base economica il costo degli RPM più le strisce verniciate era uguale o minore di quello delle sole strisce pitturate. Gli RPM tendevano a ridurre in maniera significativa gli incidenti dovuti alle deviazioni per lavori in corso.

Molti tipi di RPM temporanei sono divenuti disponibili negli ultimi anni per ridurre i costi. Questi RPM sono progettati per essere durevoli abbastanza da conservarsi per tutta la durata dei progetti di costruzione, tuttavia sono facilmente rimossi. Uno studio sulle marche specifiche di questi RPM è stato eseguito dal dipartimento dei Trasporti dell'Ohio, che ha riscontrato che due marche di RPM temporanei forniscono un'adeguata visibilità diurna e notturna. Uno di questi, però, non è sufficientemente duraturo per essere utilizzato, eccetto che per applicazioni molto brevi. Tutti gli altri RPM sperimentati erano inadeguati oppure necessitavano di essere combinati con altri tipi di RPM per essere visibili sia durante il giorno che durante la notte.

Si raccomanda che le seguenti configurazioni siano incluse negli RPM da applicare nelle zone di cantiere, per assicurare un adeguato impiego sia diurno che notturno:

- un profilo snellito;
- celle prismatiche sigillate, microscopiche e ad angolo cubico; riflesso ad angolo cubico; oppure riflettore a lenti di vetro multiple;
- l'area esposta alla normale linea visiva del conducente sia bilanciata tra lo stesso alloggiamento e l'inserito retroriflettente.

## PRESTAZIONI

Come con altri tipi di delineazione, le prestazioni degli RPM sono di solito valutate in base alla durabilità e alla visibilità. Vari RPM forniscono differenti forme di visibilità. Per esempio, gli RPM in ceramica non retroriflettenti sono usati per fornire la visibilità diurna e l'aggiunta di RPM retroriflettenti per fornire la visibilità notturna. L'RPM ad angolo cubico, retroriflettente, fornisce un'eccellente visibilità notturna, specialmente in avverse condizioni atmosferiche, ma non ha buone prestazioni in condizioni diurne. Quando combinati per visibilità diurna e notturna, questi RPM convenzionali hanno buone prestazioni dove non c'è neve oppure c'è poca neve.

Come detto prima, gli RPM convenzionali sono vulnerabili all'uso dello spazzaneve. Un RPM retroriflettente, resistente all'azione degli spazzaneve, è disponibile, consistendo in un alloggiamento in acciaio che guida la lama dello spazzaneve sopra l'unità in plastica retroriflettente. A causa delle loro differenze intrinseche, l'esperienze prestazionali per RPM convenzionali e resistenti all'azione degli spazzaneve sono discusse separatamente.

### RPM convenzionali

Le prestazioni, riportate dalle compagnie che utilizzano gli RPM, dipendono dalle variabili di delineazione. Le scoperte e le osservazioni che riguardano l'uso degli RPM non retroriflettenti in ceramica e degli RPM retroriflettenti sono messe in risalto nella sezione seguente.

#### *RPM non retroriflettenti*

- Gli RPM in ceramica di colore giallo e bianco possono essere previsti durare più di 10 anni. Sebbene essi possano bucherellarsi severamente, essi saranno ancora visibili.
- Un sistema di RPM in ceramica dà una buona visibilità diurna quando essi sono nitidi. Quando sono bagnati, si aggiungono RPM ad angolo cubico per produrre buoni risultati di notte. Da soli gli RPM in ceramica forniscono una visibilità notturna solo in condizioni asciutte.
- Durante i mesi caldi e secchi, della polvere stradale si può accumulare considerevolmente sugli RPM in ceramica. La visibilità della delineazione è minore di quella desiderata di giorno ed è inadeguata di notte. Questa condizione normalmente si corregge dopo periodi di pioggia.
- La scarsa adesione è la causa delle maggiori perdite di RPM. Il miglior modo per affrontare questo problema è quello di usare un RPM con una parte posteriore a trama, che crea una migliore adesione con la superficie della pavimentazione.

#### *RPM retroriflettenti*

- Nel giro di pochi mesi la retroriflessione degli RPM ad angolo cubico diminuisce a meno di 1/20-1/50 del suo valore originale a causa di fattori quali l'accumulo di eluato stradale e l'abrasione superficiale. Comunque la retroriflessione è adeguata e rimane costante dopo la grande perdita iniziale.
- Quando l'RPM è seriamente danneggiato, oppure quando la lente retroriflettente è oscurata dalle macchie dei pneumatici, la retroriflessione è degradata seriamente. Comunque durante condizioni di tempo piovoso la lente è coperta da un film acquoso che tende a riempire le rotture sulla superficie dell'inserito retroriflettente. La visibilità è eccellente, quasi da ¼ ad 1/3 del suo valore originale. Quindi il sistema è al suo massimo quando c'è più bisogno.
- La vita di servizio prevista per gli RPM retroriflettenti varia enormemente. Non più di un anno e mezzo può essere previsto in condizioni severe. Fino ad otto anni di vita di servizio si avranno sulle maggiori

installazioni stradali. Dieci anni possono essere ottenuti su strade rurali a bassa densità di traffico. Generalmente la lente ad angolo cubico fornirà della retroriflessione senza che la faccia della lente sia stata completamente distrutta.

Quando l'intensità specifica degli RPM diminuisce a circa 0.05, la visibilità notturna in condizioni di asciutto non è altrettanto buona come per un RPM convenzionale. Tipici valori di luminosità minima richiesta per RPM prismatici, per un angolo di osservazione di 0.2° (12'), sono i seguenti:

Colore	Angolo di entrata	
	0°	20°
Bianco	3.00	1.20
Giallo	1.50	0.60
Rosso	0.75	0.30

La tabella 7 (riportata di seguito tradotta) dà i costi di installazione degli RPM in vari Stati e l'adesivo di installazione utilizzato.

Stato	Adesivo utilizzato	Costo d'installazione unitario	
		Convenzionale	Resistente allo spazzaneve
California	Epossidico	2.50÷3.00	-----
Florida	Termoplastico o epossidico	2.50	-----
Massachusetts	Epossidico	-----	16.50
Michigan	Epossidico	-----	18.00
New Jersey	Termoplastico o butilico	-----	23.98
Pennsylvania	Butilico	-----	20.00
Texas	Bituminoso	3.20	-----

Il costo maggiore riscontrato in Texas può essere attribuito alla manodopera oppure alle attrezzature, piuttosto che al materiale. L'adesivo bituminoso è più economico di quello epossidico o termoplastico. E' ovvio che un'installazione di RPM a questi prezzi unitari può essere un proposito costoso. Questa è una delle ragioni per cui il loro uso è stato limitato a strade importanti e ad aree dove il danno dovuto all'attività degli spazzaneve non è previsto.

### RPM resistenti all'azione degli spazzaneve

Un pratico, durevole RPM compatibile con l'attività degli spazzaneve è stato in via di sviluppo sin dal 1967. Un certo numero di prototipi sono stati fabbricati e provati negli ultimi 10 anni. L'ultimo modello prodotto può essere solcato in entrambe le direzioni e rivela una lente retroriflettente sostituibile (figura 55). Dati inerenti alle prestazioni sono necessari per grosse installazioni. Tipici costi di installazione sono riportati nella tabella 7.

Valutazioni di un precedente modello furono condotte nel New Jersey, dove la caduta annua di neve varia da 15 a 20 in (381 a 508 mm). Questo RPM forniva un'eccellente delineazione notturna in condizioni di bagnato ed il mantenimento di un buon stato quando spazzaneve in acciaio erano utilizzati. In condizioni severe, quando inserti al carburo di tungsteno erano qualche volta utilizzati sulle lame degli spazzaneve, i risultati erano eterogenei. Sia gli RPM che gli inserti degli spazzaneve erano spesso danneggiati. Lo studio ha suggerito che la vita di servizio prevista dell'alloggiamento in acciaio indurito potrebbe essere valutata, in modo conservativo, a dieci anni e la vita degli inserti, costituiti da lente sostituibile, a 3 o 4 anni.

## **INSTALLAZIONE E MANUTENZIONE**

L'installazione degli RPM non è difficile. Non è richiesto né un'attrezzatura complessa né la capacità di una squadra specializzata. Comunque nuove installazioni sono comunemente una parte di un progetto di costruzione o di miglioramento. La manutenzione è di solito eseguita dal personale del Dipartimento di ciascun Stato o di compagnie stradali locali.

Le istruzioni generali e le procedure specifiche relative a ciascun tipo di RPM sono discusse nelle seguenti sezioni.

### **Istruzioni generali**

Su strade a due sensi di marcia, gli RPM dovrebbero essere installati sulla base degli stessi piani di controllo del traffico, come qualsiasi altra operazione che richiede l'esecuzione di lavori su strada. Non bisognerebbe consentire al traffico di passare lungo entrambi i lati della zona dei lavori.

Molte compagnie stradali specificano che la pavimentazione, su cui deve essere realizzata l'adesione, dovrebbe essere priva di terra, composti che induriscono, grasso, olio, umidità, strati persi o rovinati, pitture e qualsiasi altro materiale che influenzerebbe negativamente sull'interazione con l'adesivo. Pavimentazioni in cemento e quelle vecchie in asfalto dovrebbero essere pulite prima dell'applicazione del dispositivo. Le pavimentazioni nuove in asfalto non hanno bisogno di essere pulite a meno che la superficie non contenga una quantità anormale di asfalto o è contaminata da terra, grasso, pittura, olio o altro materiale.

L'adesivo dovrebbe essere applicato uniformemente sulla superficie della pavimentazione. Può anche essere applicato sulla parte posteriore dell'RPM. La quantità dovrebbe essere sufficiente da coprire interamente l'area di contatto fra l'RPM e la pavimentazione. Un piccolo eccesso dovrebbe essere presente, senza vuoti, dopo che l'RPM è stato pressato. L'RPM dovrebbe essere posizionato nel punto previsto e la pressione applicata fino a che un sicuro contatto non venga realizzato con la pavimentazione.

L'adesivo in eccesso che si trova intorno al bordo dell'RPM, sulla pavimentazione, oppure sulle superfici retroriflettenti, dovrebbe essere rimosso. Uno straccio morbido imbevuto di alcool (conformemente alla specifica federale TT-T-291) o di cherosene può essere utilizzato per rimuovere l'eccesso di adesivo. L'RPM deve essere protetto dal traffico fino a che l'adesivo non si sia indurito. Il controllo del traffico e la protezione degli RPM sono simili alle tecniche utilizzate per le operazioni di tracciamento.

Gli RPM retroriflettenti dovrebbero essere posizionati in modo tale che la loro faccia retroriflettente sia perpendicolare alla linea parallela alla striscia di mezzzeria. Gli RPM non dovrebbero essere posizionati sulle giunzioni longitudinali o trasversali della pavimentazione.

Quando gli RPM sono utilizzati in aggiunta a strisce di materiale termoplastico, essi sono generalmente deviati di 50÷75 mm rispetto al bordo della striscia. Questa deviazione permette di ripristinare la striscia senza degradare le proprietà retroriflettenti degli RPM.

### **Applicazione degli RPM autoadesivi**

L'RPM autoadesivo (figura 56) ha un appoggio butilico sensibile alla pressione che garantisce un'adesione soddisfacente con la pavimentazione. Questo tipo di RPM è adatto per l'uso sulle deviazioni. E' facile da installare e mantenere in efficienza poiché nessuna attrezzatura per l'applicazione è necessaria. L'RPM

autoadesivo è efficiente poiché richiede poco tempo per l'installazione ed è pronto per il traffico non appena è installato.

Sorprendentemente l'RPM autoadesivo è durevole in condizioni di traffico normale. Non c'è alcuna differenza significativa nella perdita di efficienza per gli RPM posizionati con le suole in materiale epossidico o butilico, quando sono utilizzati in questo modo. Si dovrebbe notare che gli RPM ceramici con appoggio butilico non si comportano altrettanto bene rispetto a quelli con la cassa acrilica. Inoltre le basse temperature, al di sotto di 50°F (10°C), sembrano ridurre la capacità di adesione degli appoggi butilici. La procedura base d'installazione è quella di marcare e spazzare il punto in cui posizionare l'RPM. Utilizzando una mascherina di cartone delle stesse dimensioni dell'RPM da applicare, un primer adesivo è applicato con un pennello su ogni punto pre-marcato. La carta che si trova sull'appoggio viene rimossa dall'RPM, che viene posizionato sul primer indurito. Un veicolo seguente, poi, sistema l'RPM posizionandosi lentamente sopra di esso. Una forza di 1500 libbre (680 kgf) per sei secondi è richiesta.

### **Adesivo epossidico**

Ci sono numerose formulazioni di agenti leganti epossidici. L'appropriato proporzionamento, mescolamento ed estrusione sono le parti più critiche delle procedure di applicazione.

Essenzialmente tutti gli epossidi a due componenti richiedono che l'operazione di mescolamento e collocazione dell'RPM sulla pavimentazione sia fatta velocemente. Sia che sia usato il mescolamento manuale sia che si usi quello automatico, la maggior parte delle classi di epossidi richiedono che l'RPM sia rivestito (di adesivo), allineato e pressato nel punto entro pochi minuti dall'inizio del mescolamento. Conseguentemente non più di un quarto di adesivo dovrebbe essere mescolato a mano in una volta.

L'adesivo a presa rapida è di solito mescolato da un apparato automatico a due componenti, uno di miscelazione e l'altro di estrusione. Per tipiche installazioni su larga scala, un operaio si trova sulla parte laterale della piattaforma del camion. L'apparato di miscelazione ed estrusione è installato vicino. Una predeterminata quantità di miscela epossidica è espulsa sulla superficie posteriore dell'RPM, che l'operatore poi posiziona sulla pavimentazione.

Per ottenere un'adatta adesione, l'adesivo dovrebbe essere utilizzato in accordo alle istruzioni del produttore. Per esempio alcuni adesivi a presa normale richiedono che la temperatura della pavimentazione e dell'aria sia sopra i 10°C. La formula a presa rapida può essere di solito applicata a temperature più basse di 30°F (-1°C). Gli RPM non dovrebbero essere collocati se l'umidità relativa è maggiore dell'80% o se la superficie della pavimentazione non è asciutta.

Gli adesivi epossidici possono causare brutte dermatiti se precauzioni opportune non sono prese. Gli operai dovrebbero usare guanti e crema protettiva per prevenire il contatto con l'adesivo. Se il contatto con la pelle avviene, l'area di contatto dovrebbe essere lavata accuratamente con sapone ed acqua il più presto possibile.

I solventi non devono essere utilizzati per rimuovere l'adesivo dalla pelle. (Toluene e simili possono essere usati per pulire gli organi di comando e l'attrezzatura).

### **Adesivo bituminoso**

Gli RPM sono i materiali da tracciamento più costosi da installare. Per questo motivo i ricercatori stanno costantemente tentando di trovare delle strade per incrementare la durabilità degli RPM, particolarmente sulle pavimentazioni in bitume più morbido. Uno studio ha esaminato l'uso di adesivi bituminosi come alternativa a quelli epossidici, che sono stati utilizzati tradizionalmente su queste pavimentazioni. Lo studio fu originato dal fatto che gli adesivi bituminosi avevano mostrato un comportamento migliore di quelli epossidici. In alcuni casi

la percentuale di conservazione dell'RPM attaccato col bitume era due volte più alta di quella dell'RPM attaccato con epossidi.

Gli RPM quasi sempre vengono persi per cedimento della pavimentazione piuttosto che per cedimento dell'adesivo o rottura dell'RPM stesso. Gli RPM persi sono spesso trovati sulla strada intatti, con una zolla di pavimentazione attaccata alla base. La perdita di un RPM non avviene come risultato di singoli carichi, cosicché si assume che la resistenza a fatica della pavimentazione sia implicata.

Lo studio ha mostrato che la resistenza a fatica delle pavimentazioni è attualmente influenzata dalle caratteristiche fisiche dell'adesivo utilizzato. In generale la resistenza a fatica massima è ottenuta dall'accoppiamento di adesivi più morbidi con pavimentazioni più morbide; pavimentazioni più dure richiedono adesivi più forti.

Lo studio ha concluso che l'uso di adesivi bituminosi è una garanzia su pavimentazioni in asfalto nuove e morbide. Non appena l'età e la durezza della pavimentazione cresce, i benefici che si ottengono da questo adesivo decrescono. Inoltre l'adesivo bituminoso generalmente non è efficiente su strade con grosso volume di traffico.

Queste ricerche indicano che eventualmente sarà possibile accoppiare le caratteristiche fisiche di un adesivo con quelle della pavimentazione, rendendo così possibile l'ottimizzazione del rapporto costo- conservazione di un RPM.

### **Manutenzione ordinaria**

La manutenzione ordinaria di un RPM è quasi sempre una funzione assolta dallo Stato o dalle compagnie stradali locali. Nessuna attrezzatura complessa o capacità degli operai è richiesta per la sostituzione degli RPM convenzionali. L'unico elemento critico implica il proporzionamento ed il mescolamento dei due componenti dell'adesivo epossidico. I contraenti normalmente installeranno gli RPM come parte di un contratto di rifacimento della superficie della pavimentazione.

La manutenzione degli RPM resistenti all'azione degli spazzaneve consiste in una semplice sostituzione della lente retroriflettente rimovibile, essendosi garantiti che l'alloggiamento sia ancora in buone condizioni e propriamente attaccato alla pavimentazione. Fino a oggi, molte installazioni di RPM resistenti all'azione degli spazzaneve sono state fatte per test sul campo e propositi dimostrativi. I dati sulla manutenzione ordinaria non sono disponibili.

Ricerche sulle procedure di manutenzione mostrano che ogni compagnia stradale ha sviluppato dei metodi che sono efficienti per i propri bisogni. Ciò che funziona bene per una compagnia stradale o una squadra di operai potrebbe non produrre gli stessi risultati per un'altra nelle stesse condizioni. L'efficienza della manutenzione è dovuta all'esperienza di ogni squadra di operai, alla familiarità con l'attrezzatura ed alle condizioni locali. Di conseguenza i manuali di manutenzione sono generali, lasciando le procedure passo per passo alla compagnia responsabile, finché esse sono dentro le limitazioni fissate dalla linea di condotta stabilita.

Ci sono due categorie di manutenzione:

- manutenzione periodica o preventiva (ordinaria);
- riparazioni immediate o d'emergenza (quando necessarie).

La manutenzione periodica è eseguita per mantenere il sistema ad un livello operativo sicuro, che è definito dalla politica stabilita o dagli standards. La manutenzione di emergenza di solito implica il ritorno da una situazione di rischio ad una condizione di sicurezza, in tempo breve, dopo che essa avviene o è identificata.

L'approccio alla manutenzione ordinaria varia fra le compagnie stradali. Se la vita di servizio viene utilizzata per programmare la sostituzione degli RPM, la storia delle prestazioni del particolare RPM e le caratteristiche dei singoli tratti di strada devono essere conosciute. Per esempio se un certo tipo di RPM, utilizzato come delimitatore di corsia, rimarrà efficiente per sei anni su lunghi tratti di un'autostrada multicorsie ad alta velocità e per tre anni in aree di continui movimenti svoltanti, allora la sostituzione degli RPM può essere programmata di conseguenza. La sostituzione non è sempre una procedura efficace anche se non richiede un'ispezione notturna. Il numero di RPM, che deve essere sostituito, può non assicurare la bontà del lavoro, oppure il sistema di RPM può essere deteriorato al di sotto dei livelli di sicurezza.

Un criterio, più comunemente usato per la sostituzione, stabilisce il numero di RPM persi che può essere tollerato senza peggiorare seriamente la visibilità dei conducenti, particolarmente in condizioni di tempo avverso. Per esempio il Caltrans (Dipartimento dei Trasporti della California) specifica che gli RPM dovrebbero essere rimpiazzati quando otto o più RPM non retroriflettenti vengono persi in un tratto di 100 ft (30 m) e quando due RPM retroriflettenti consecutivi vengono persi. La filosofia utilizzata in Florida è simile, specificando la sostituzione se otto o più RPM consecutivi vengono persi. Un altro approccio è attuato nel Massachusetts, dove tutte le strade sono ispezionate e gli RPM rimpiazzati solo se il 30% o più viene perso nel tratto ispezionato.

La determinazione di un livello di accettazione di RPM persi o danneggiati è basato sulla spaziatura, sul modello, sulla geometria della strada e se sono presenti strisce verniciate. Una volta specificato il livello, le ispezioni devono essere condotte, di solito di notte, per identificare le aree dove il numero di RPM persi eccede il livello di accettazione. Tali ispezioni notturne sono di solito programmate verso la fine della vita di servizio prevista. In alcuni casi controlli casuali sono condotti annualmente prima dell'inizio delle stagioni di tempo avverso. L'ispezione delle strisce stradali può anche essere inclusa come una parte degli inventari dei mezzi di controllo del traffico, regolarmente schedati.

Un approccio più semplice è stato adottato da alcune compagnie, come il Dipartimento dei Trasporti della Pennsylvania. La sua politica specifica che le ispezioni visive siano condotte dagli addetti alla manutenzione mentre stanno eseguendo altri lavori stradali; essi possono sostituire le lenti retroriflettenti se necessario.

### **Manutenzione immediata**

Qualche volta gli RPM devono essere rimpiazzati il prima possibile perché la delineazione stradale si è severamente deteriorata. La manutenzione immediata è importante dal punto di vista della responsabilità legale. Sebbene non avvenga spesso, i maggiori incidenti e i disastri naturali possono danneggiare o rimuovere un gran numero di RPM in un tempo molto breve. Gli esempi più comuni di queste situazioni sono nelle zone di lavori di costruzione o nella caduta di neve inattesa oppure nelle bufere di neve. In aree di normale caduta di neve stagionale, dove gli RPM sono utilizzati, l'ispezione e la manutenzione degli RPM, dopo la stagione nevosa, è di solito considerata come manutenzione ordinaria.

Inoltre le aree dove la manutenzione immediata è richiesta possono essere determinate da un'ispezione ordinaria. Una situazione potenzialmente pericolosa può essere scoperta dove la delineazione è localmente degradata al di sotto dei livelli di accettabilità, mentre l'intero tratto stradale ispezionato può essere adeguato.

Quando RPM autoadesivi sono utilizzati come delineazione temporanea su strade che attraversano zone di lavori di costruzione, oppure sono adiacenti, l'ispezione e la manutenzione sono aspetti critici riguardo la sicurezza. In particolare in zone di importanti lavori di costruzione il traffico dovrebbe essere attentamente monitorato e gli RPM persi rimpiazzati. L'ispezione degli RPM è spesso una responsabilità condivisa con il contraente; alcune compagnie tentano di renderla come responsabilità del solo contraente. I tribunali, storicamente, non sono stati indulgenti con le compagnie stradali nelle controversie legali inerenti a incidenti. Il

costo per monitorare le zone, dove la delimitazione è spesso deteriorata, è minuscolo se paragonato al costo delle cause legali per un incidente.

## Processo di sostituzione degli RPM

La sostituzione efficiente di RPM danneggiati sta diventando vitale per l'efficienza negli Stati che impiegano gli RPM. Il Caltrans è probabilmente il maggior utilizzatore di RPM negli Stati Uniti. La politica di tale Stato affida ad un mandatario un sistema di RPM per tutte le autostrade e la maggior parte delle strade secondarie. L'attività degli spazzaneve è anche un po' presente in tale Stato. Caltrans attualmente sostituisce più di 1.6 milioni di RPM retroriflettenti, e non, ogni anno.

Malgrado non siano applicabili in tutte le situazioni, i vari distretti del Caltrans hanno sviluppato molte "scorciatoie" interessanti nella sostituzione di RPM. Per esempio su alcune autostrade dove due RPM retroriflettenti consecutivi sono stati danneggiati, un altro RPM retroriflettente sarà posizionato davanti all'RPM difettoso. La sostituzione può essere realizzata velocemente poiché non è speso alcun tempo nella rimozione dell'RPM originario. Non è insolito trovare gruppi a caso di due o tre RPM retroriflettenti danneggiati allineati ad un nuovo RPM. I distretti del Caltrans programmano anche la sostituzione su lunghi tratti di strada nei week-end, la mattina presto, quando l'operazione non darà troppo disturbo al traffico. Quando possibile, la manutenzione di altre localizzazioni è programmata per lo stesso periodo, per avvantaggiarsi della chiusura della corsia e di altre azioni di protezione. La più semplice forma di operazione consiste in un operaio che cammina affianco al camion distributore dell'adesivo epossidico, indicando quali RPM sono da sostituire. Un altro lavoratore, posizionato sul "vano" del camion, attiva il distributore dell'adesivo epossidico che estrude una quantità predeterminata della miscela epossidica sul lato posteriore dell'RPM. Questo viene posizionato fermamente vicino all'RPM danneggiato oppure vicino alla posizione dove un RPM è stato perso. Un terzo operaio segue il camion e rimuove il vecchio RPM con un martello ed uno scalpello, con uno o due colpi, e lo dispone in un raccogliatore nel retro del camion. Coni o veicoli di protezione sono utilizzati se necessario, per proteggere gli operai ed gli RPM dal traffico. L'operazione di sostituzione può variare da 2 a 5 km/h, dipendentemente dal numero di RPM da rimuovere o sostituire.

Un nuovo sistema mobile per la sostituzione dei RPM persi a causa del traffico ha fatto risparmiare al Dipartimento dei Trasporti di Washington più di 2 milioni di dollari all'anno. Washington, dove più di due milioni di RPM hanno bisogno di essere sostituiti ogni anno, ovviamente ha una cospicua porzione del suo budget investita in RPM. Il prezzo contrattato per la sostituzione, in passato, è stato di 2.4 dollari per ciascuna unità.

Non appena allestito, il nuovo sistema ha dato approssimativamente come risultato un risparmio di 1.05 dollari per unità. Il precedente metodo, simile all'operazione eseguita dal Caltrans, già discussa prima, richiedeva una perdita di tempo non trascurabile, da qui il costo elevato. Gli schemi di traffico erano alterati dallo schieramento dei coni, ed ogni RPM era attaccato con un adesivo epossidico a due componenti. Le restrizioni al traffico erano effettive fino a che gli RPM non fossero posizionati e l'adesivo epossidico fosse completamente solidificato. L'operazione di installazione, in una data area, poteva durare dalle 3.5 alle 5 ore. Una squadra di sei operai veniva impiegata.

Con il nuovo sistema, una squadra di 4 operai con tre veicoli sistema la stessa area in 20÷25 minuti. L'operazione di sostituzione è eseguita tirando uno speciale rimorchio in avanti sull'area designata per i nuovi RPM. Un adesivo bituminoso a presa rapida è spruzzato sulla pavimentazione. L'operatore utilizza una bacchetta con un'area terminale di 1 mm<sup>2</sup>, che circonda un buco da cui viene applicato il vuoto, per afferrare un RPM, posizionarlo sul posto dell'adesivo, pressarlo sull'adesivo e poi sospendere il vuoto per lasciarlo andare. Il camion poi si muove verso l'RPM successivo.

Il vuoto è utilizzato per l'applicazione poiché è più economico di un mezzo meccanico che serve per afferrare gli RPM e posizionarli. Il vuoto facilita inoltre l'operatore nell'accensione e spegnimento tempestivi. Il vantaggio

di un adesivo bituminoso, rispetto ad un adesivo epossidico a due componenti, è che il primo indurisce in 7-15 secondi, permettendo una posa in opera continua. Il controllo del traffico e i lavori costosi, quali la chiusura di corsie, non sono necessari. La squadra di manutenzione non causa inconvenienti al traffico che la precedente tecnica causava.

Qualunque siano gli strumenti utilizzati per la sostituzione, un'ispezione notturna semestrale dei tratti contenenti RPM è necessaria. Le sezioni di autostrada scelte sono quelle in cui gli RPM si stanno avvicinando alla fine della vita di servizio prevista. Le ispezioni sono condotte normalmente da ingegneri della manutenzione e staff che determinano la priorità di programmazione. Il criterio, con cui gli Stati giudicano che le operazioni di sostituzione sono garantite, è trattato nella sezione sui livelli di manutenzione ordinaria.

### **Specifici problemi di manutenzione**

Quando gli RPM sono utilizzati per supportare le strisce verniciate, un problema può proporsi durante le operazioni di verniciamento. Non curanti delle posizioni degli RPM, in relazione al tracciamento, c'è il rischio potenziale di pitturare l'RPM, rendendolo inefficiente.

Molti traccialinee di grosse dimensioni hanno un dispositivo temporizzatore per tracciare linee tratteggiate. Tale dispositivo permette all'operatore di selezionare un particolare schema di tracciamento. Tale schema non sempre è efficace poiché gli schemi possono cambiare a seconda del tratto di strada oppure non sono stati selezionati perfettamente all'origine. In questi casi l'operatore deve utilizzare un interruttore off-on per attivare la pistola a spruzzo. L'operazione manuale rallenta il progetto e richiede una tale concentrazione da parte dell'operatore che più operatori addetti alla sostituzione devono essere disponibili per alternarsi dopo brevi periodi di operazione.

Nell'identificazione del problema dello schema di tracciamento, la FHWA ha iniziato un progetto di ricerca, con lo Stato della California, per sviluppare uno strumento che dovrebbe rilevare la presenza di un RPM retroriflettente e di conseguenza portare a termine la verniciatura. Un dispositivo ottico di "salto all'indietro" (Caltrans, Sacramento, CA) è stato sviluppato e successivamente testato ad una velocità superiore a 105 km/h, con un'accuratezza che è approssimativamente del 99%. L'unico inconveniente è stato che la pistola spruzzatrice non poteva operare in modo altrettanto veloce alle alte velocità.

Il dispositivo a "salto all'indietro" lavora bene sia su pavimentazioni in cemento che su quelle in asfalto. Gli RPM retroriflettenti, in condizioni scadenti, possono non essere rilevati e saranno verniciati. Da qui possono essere facilmente rilevati e sostituiti. Il dispositivo è installato facilmente su qualunque attrezzatura di tracciamento che ha un controllo della pistola spruzzatrice. La scatola rilevatrice è montata 150 mm sopra la pavimentazione ed è stata progettata per adattarsi a tipici camion adibiti alla verniciatura.

L'attrezzatura è correntemente utilizzata in California e mostra di essere in grado di garantire la diminuzione del numero di RPM verniciati.

### **Pulizia**

Durante i periodi secchi e caldi, l'eluato stradale, il grasso d'olio ed altri detriti degraderanno seriamente la retroriflessione degli RPM. Si è anche notato che le tracce dei pneumatici può macchiare gli RPM non-retroriflettenti in ceramica in modo tale da non essere più visibili durante il giorno o di notte. La maggior parte degli RPM più comunemente utilizzati sono auto-pulenti, quando umidi, fino a un certo grado. La perdita di delineazione dovuta allo sporco è quindi un problema non critico nelle aree geografiche che

normalmente sono piovose nella stagione estiva. Esso diviene significativo nelle aree calde e aride dell'Ovest e Sud-Est.

A causa di lunghe, calde e secche estati che si sono verificate in parti della California, la possibilità di pulire gli RPM è stata oggetto di indagine. La pellicola dell'RPM non è facilmente pulita con alcuno dei più comuni solventi organici, ma è pulita facilmente con un pulitore contenente un buon abrasivo, e ciò indica che la pellicola è stata originariamente strofinata dai pneumatici.

Sapendo che gli RPM erano coperti con un residuo gommoso, un'unità di lavaggio dell'RPM è stata sviluppata. L'unità consiste di una spazzola di 14 in (355 mm) di larghezza e 18 ft (5.5 m) di lunghezza con setole di nylon lunghe 4 in (100 mm) ed impregnate con un abrasivo. Il dispositivo di lavaggio è montato ad un lato di un camion di 2 tonnellate. Una soluzione acquosa detergente è portata sul camion e sostituisce la spazzola durante l'operazione di pulizia. Il dispositivo unisce tre sezioni per un trasporto più agevole. L'unità è stata utilizzata con successo in 5 distretti del Dipartimento dei Trasporti della California (Caltrans). Lo Stato ha riferito che, sebbene efficace, l'attrezzatura non era andata oltre lo stadio di sperimentazione.

### **Tabs retroriflettenti**

Di recente l'uso di RPM retroriflettenti temporanei è stato esteso. Questi RPM sono dei tabs piccoli e flessibili, rivestiti con uno strato adesivo, che sono applicati manualmente alla pavimentazione. Una piccola striscia di materiale retroriflettente è attaccata alla sommità. I vari Stati hanno cominciato a trovare questi economici tabs efficaci quanto il nastro rimovibile, per applicazioni di strisce di breve durata (meno di due settimane). Questo si applica principalmente nelle zone di costruzione e manutenzione.

### **ISPEZIONE**

L'ispezione degli RPM è semplice. La maggior parte delle compagnie stradali hanno degli ispettori che guidano di notte in un tratto autostradale e valutano soggettivamente la visibilità e contano gli RPM perduti. Alcune compagnie autostradali tengono un inventario fotografico o registrato su videoregistratore che utilizzano per ispezionare gli RPM.

## CAPITOLO 8

### ALTRI MATERIALI PER LE STRISCE STRADALI

#### INTRODUZIONE

In aggiunta alle pitture convenzionali, ai materiali termoplastici ed ai nastri preformati utilizzati come materiali per le strisce stradali, ci sono un certo numero di altri materiali, che sono molto meno utilizzati. Inoltre, recentemente, si è vista l'introduzione di un certo numero di materiali sperimentali. Questi materiali hanno avuto origine da una varietà di problemi connessi con i materiali tradizionali, che vanno dai costi eccessivamente elevati ai problemi ambientali.

Questo capitolo descrive alcuni materiali alternativi ed introduce anche un certo numero di nuovi materiali che sono stati provati. Dove è disponibile, le valutazioni dell'efficienza e l'aspetto economico di ciascun materiale è trattato.

#### IMPIEGHI

Gli impieghi di altri materiali di tracciamento sono gli stessi di quelli dei materiali tradizionali. Questi materiali possono essere più o meno adatti in un'area particolare, in base alle variabili di delineazione. Per esempio, pitture a base acquosa sono spesso non raccomandate per l'applicazione durante periodi di elevata umidità. Molti di questi problemi sono trattati per ciascun materiale.

#### TIPI

Un'ampia varietà di materiali è stata provata per le strisce stradali. Tali alternative sono state provate per molte ragioni, che vanno dai fattori ambientali al desiderio di ottenere strisce stradali durevoli all'incirca un anno. Non tutti questi tentativi hanno avuto successo. In questo capitolo si tratteranno solo di quei materiali che hanno avuto qualche successo.

#### Pitture a base di lattice

Uno dei maggiori problemi con la pittura stradale è l'impatto ambientale creato dal suo utilizzo. I composti organici volatili (VOC) sono rilasciati nell'atmosfera dai solventi delle pitture, ed i pigmenti utilizzati sono spesso a base di piombo. C'è il problema che il piombo può finire nella superficie freatica dopo che le strisce si sono consumate sulla strada.

Questi problemi ambientali sono discussi più dettagliatamente nel capitolo 4. Questi problemi ambientali sono importanti poiché la pittura stradale è di gran lunga il materiale più largamente utilizzato per il tracciamento stradale. Mentre i materiali termoplastici non causano gli stessi problemi ambientali delle pitture, essi sono però più costosi.

Un materiale largamente pubblicizzato, proposto come soluzione ai problemi ambientali connessi con l'uso delle pitture, è stata la pittura a base acquosa o a base di lattice. Questi materiali sono simili alle tradizionali pitture, nel modo di operare, ma i materiali rischiosi sono stati rimossi.

Lo studio discusso nel capitolo 4 ha indagato sulle alternative ai convenzionali pigmenti a base di piombo. Attualmente nessuna alternativa definitiva ai pigmenti a base di piombo è stata trovata. Nessun materiale

provato ha esibito l'eccellente durabilità del color giallo ottenuta dalle pitture che utilizzano pigmenti al cromo di piombo.

## **Pitture epossidiche**

Le pitture epossidiche a due componenti furono sviluppate all'inizio degli anni Settanta dal Dipartimento dei Trasporti dello Stato del Minnesota, insieme con la H.B. Fuller Company. Il loro obiettivo era di creare un materiale durevole, spruzzabile, che avrebbe dovuto aderire sia alle pavimentazioni in bitume che su quelle in cemento con un'ottima resistenza all'abrasione. I maggiori problemi, circa la formulazione del prodotto, comportavano accettabili tempi di indurimento, caratteristiche di adesione, e conservazione del colore.

Vent'anni dopo le pitture epossidiche sono diventate una delle maggiori alternative fra le tecniche di tracciamento stradale. Molte ricerche si sono indirizzate verso il loro sviluppo e la loro verifica. Una varietà di formulazioni sono sul mercato ora, i loro produttori concorrono ad essere all'avanguardia della tecnologia.

## **Solidi poliesteri**

La valutazione dei materiali di tracciamento in poliesteri fu iniziata nel 1975 dal Dipartimento dei Trasporti dell'Ohio in cooperazione con la FHWA. Il progetto fu ideato per valutare le prestazioni in termini di colore, durabilità e retroriflessione, di questo tipo di materiali, per un periodo di tre anni.

Le strisce in poliesteri non sono state utilizzate largamente in tutta la nazione. L'esperienza con tale materiale è stata limitata agli Stati del Midwest. Il Dipartimento dei Trasporti del Michigan è l'utilizzatore principale. E' raccomandato per strade in asfalto che hanno un volume di traffico medio-alto. Le compagnie stradali non hanno manifestato molto entusiasmo per i materiali in poliesteri, a causa del loro lungo tempo di essiccamento. In cooperazione con i maggiori produttori di pitture, il Dipartimento dei Trasporti del Michigan ha sviluppato un nuovo materiale che essicca al tatto in 60 secondi. Il materiale poliesteri ad essiccamento rapido dovrebbe trovare un maggiore impiego in tutta la nazione.

## **Materiali termoplastici epossidici**

Il materiale termoplastico epossidico (EPT) è un generico materiale per il tracciamento stradale composto da resine epossidiche, pigmenti, fillers e perline. Questo materiale differisce dalla maggior parte degli epossidi per il fatto che nessun indurente è utilizzato.

Due formulazioni sono state provate, in modo esteso, sul campo. Queste formulazioni variano nel rapporto fra le due resine epossidiche, una solida e l'altra liquida, utilizzate nel materiale. Un rapporto solido-liquido di 1 a 1 produce un materiale trattabile ideato per località che risentono di condizioni atmosferiche invernali da moderate a severe. Un rapporto solido-liquido di 3 a 2 è stato studiato per regioni con condizioni atmosferiche estive calde e secche. Un materiale più duro risulta, che è meno suscettibile all'attacco dell'eluato stradale.

Prove sul campo hanno mostrato che entrambe le formulazioni si comportano ugualmente bene, in condizioni invernali severe. Comunque a causa della sua abilità a resistere all'attacco dell'eluato stradale, la formula solido-liquido 3 a 2 è stata selezionata per ulteriori studi.

La specifica di una formulazione originale di un ETP bianco è data nella tabella 8 (riportata di seguito tradotta). Il peso totale mostrato nella tabella rappresenta un volume di 12.8 galloni (48.5 litri). Questo comporterà un peso per gallone di 13.1 libbre (1.57 kg/litri).

Componente	Peso (kg)
Ciba-Geigy 7097 Araldite – resina epossidica o equivalente	27
Ciba-Geigy 6010 Araldite – resina epossidica o equivalente	18
DuPont R900- Diossido di Titanio o equivalente	9
Georgia Marble Cal White pigment grade Calcium carbonate	9
Cataphote Division (Ferro Corp.) perline permiscelate retroriflettenti	13
TOTALE	76

Da quando la formulazione originale fu diffusa, molti progetti di dimostrazione dell'ETP, sponsorizzati dall'FHWA, sono stati provati. Comunque l'ETP non è stato sperimentato su larga scala a causa del suo deludente rapporto tra il costo e la vita di servizio. Secondo uno dei produttori del materiale, la Pave-Mark (Atlanta, GA), il prezzo di una delle resine epossidiche, che costituiscono l'ETP, è quasi raddoppiato poco dopo la formulazione del materiale. L'incremento del prezzo ha obbligato il prezzo di vendita del materiale al di là del limite in cui il suo utilizzo poteva essere possibilmente efficiente.

La maggior parte dei progetti di dimostrazione dell'ETP ebbero luogo dal 1980 al 1986. In termini di costo-efficacia del materiale, dato l'alto prezzo dei materiali nella formulazione, i risultati di queste prove non furono promettenti. Comunque la Pave-Mark annunciò un altro cambio nel prezzo delle resine epossidiche, utilizzate in passato per produrre il materiale, e diffuse un nuovo prodotto ETP nel 1992.

### Metil Metacrilato

Il metil- metacrilato è stato introdotto e pubblicizzato come un materiale non rischioso, reattivo, a due componenti, che indurisce a freddo. I fornitori raccomandano che il materiale sia applicato con un rapporto di mescolamento fra resina e catalizzatore pari a 4÷1. E' una formulazione solida al 100% che è miscelata in un mescolatore statico appena prima dell'applicazione. Il materiale può essere applicato sia per spruzzo sia per estrusione. La reazione di mescolamento, al momento dell'applicazione, è esotermica. Non appena il materiale si raffredda, si lega alla pavimentazione.

### Polveri di tracciamento

Un nuovo materiale è stato promosso dai venditori nell'industria del tracciamento stradale. Esso consiste in un tipo di polvere che è bruciata non appena è depositata sulla pavimentazione. Il calore ed il cambiamento di fase, associato con l'elevato calore applicato, consentono al materiale di legarsi al substrato. Questo materiale è facile da maneggiare ed applicare, ma ovviamente richiede un'attrezzatura speciale per l'installazione. Il materiale risulta essere anche economico, circa 0.08 dollari per piede lineare (0.24 dollari al metro) di tracciamento, assumendo uno spessore della striscia di 10 mil (0.25 mm). Si sostiene anche che il materiale abbia un tempo di essiccamento quasi istantaneo. Inoltre si sostiene che il materiale in polvere sia durevole quanto le pitture stradali più durevoli. Valutazioni soggettive sulle prestazioni, sul costo- efficienza, e sulla durabilità non sono ancora disponibili.

### Altri materiali

Molta della ricerca formale sui materiali di tracciamento è stata eseguita a New York. Uno studio del Dipartimento dei Trasporti di New York (NYSDOT) ha indagato su una varietà di materiali per tracciare la

pavimentazione. Lo studio era una parte dell'impegno di New York di fornire un sistema di delimitazione stradale con una durabilità all'incirca annuale. Il NYSDOT tentava di trovare un materiale da utilizzare per il tracciamento stradale che avesse una vita di servizio di 12 mesi, con un prezzo simile a quelle delle pitture convenzionali. Una formulazione di catrame di carbone e polisolfuro epossidico, fra le altre, fu provata. Fino ad oggi nessuno di questi nuovi materiali ha esibito un rapporto costo- vita di servizio favorevole, rispetto alle pitture stradali convenzionali.

## **PRESTAZIONI**

Le prestazioni sono un fattore molto importante per gli altri materiali di tracciamento. Poiché molti dei materiali discussi in questo capitolo richiedono attrezzature di installazione speciali, essi devono avere un ottimo rapporto costo- vita di servizio, oppure le compagnie stradali non saranno interessate alla loro sperimentazione.

Sebbene alcuni di questi materiali siano stati sottoposti ad un'apprezzabile ricerca formale sulle loro prestazioni, alcune caratteristiche relative alle prestazioni di ciascun tipo di materiale sono descritte nelle sezioni seguenti.

### **Pitture a base di lattice**

Fino ad oggi i risultati della ricerca riguardante le pitture a base di lattice sono stati contrastanti. Uno studio del Dipartimento dei Trasporti dello Stato di New York ha esaminato emulsioni acquose di resine sintetiche che risolvevano i problemi ambientali connessi con le pitture stradali. Lo studio ha riscontrato che l'utilizzo di pitture a base acquosa promette bene. Si sono citate le pitture a base di lattice come aventi le seguenti caratteristiche interessanti: facilità di pulizia e riciclaggio dei contenitori, minimo impatto ambientale e diminuzione dei rischi di sicurezza per i lavoratori. Lo studio della loro durabilità, tempo di essiccamento, e costi erano promettenti, ma il successo delle sperimentazioni in campo fu limitato nel periodo in cui fu condotta tale ricerca.

Uno studio condotto presso il Dipartimento dei Trasporti dello Stato della Pennsylvania (dalla struttura regionale per l'esecuzione di prove [NASHTO]) ha dato dei risultati ugualmente promettenti. La tabella 9 (riportata a fine sezione tradotta) è una comparazione tra le vite di servizio delle pitture a base di lattice rispetto a quelle di altre pitture convenzionali ed altri materiali. Queste sono date come tempo di vita media stimata, espressa in giorni. Come è mostrato sulla tabella, le formulazioni a base acquosa hanno dimostrato vite di servizio considerevolmente più lunghe di quelle di altre formulazioni di pitture stradali, nelle prove. Comunque ci si chiede del vantaggio di queste pitture nelle applicazioni attuali.

Un'indagine di ingegneri di una compagnia stradale, riportata in un recente articolo del periodico *Better Roads*, ha elencato molti problemi dell'installazione e delle prestazioni delle pitture a base di lattice. Gli ingegneri si sono lamentati del fatto che il materiale non essiccava così velocemente di come si era supposto, specialmente in presenza di nebbia ed umidità. Si è citato il giudizio di un rappresentante della compagnia stradale che ha detto che le pitture a base acquosa si staccavano dalla strada in fogli e venivano lavate via durante la prima pioggia dopo l'installazione.

Un'ulteriore ricerca è necessaria per stabilire quali fattori influenzano in maniera definitiva le prestazioni della pittura a base acquosa, e quando essa può essere utilizzata in modo efficiente.

Tipo di pittura	Arizona		Florida		Pennsylvania	
	OGAFC <sup>1</sup>	PCC <sup>2</sup>	DGAFC <sup>3</sup>	OGAFC	DGAFC	OGAFC
Pittura alchidica – bianca	163	>900	>900	101	341	390
Pittura alchidica - gialla	293	>900	>900	173	258	284
Gomma clorurata – bianca	478	>900	>900	255	444	470
Gomma clorurata – gialla	159	>900	>900	83	389	470
Pittura a base acquosa – bianca	>703	>900	>900	>900	505	823
Pittura a base acquosa – gialla	>765	>900	>900	>900	474	684
Epossidico – bianco	755	>900	>900	436	>1100	>1100
Epossidico – giallo	>900	>900	>900	400	>1100	>1100
Uretano – bianco	883	>900	>900	577	630	>1100
Uretano – giallo	617	>900	>900	607	578	>1100
Termoplastico – bianco	>900	>900	>900	824	>1100	413
Termoplastico – giallo	>900	>900	>900	420	>1100	354
Plastica a freddo – bianca	>900	>900	>900	377	386	>1100
Plastica a freddo – gialla	>765	>900	>900	625	298	365
Nastro – bianco	>900	>900	>900	>900	Non disponibile	Non disponibile
Nastro – giallo	>900	>900	>900	>836	Non disponibile	Non disponibile

### Pitture epossidiche

Nella ricerca di un materiale di delineazione a basso costo e durevole per circa un anno, il Dipartimento dei Trasporti di New York (NYSDOT) ha condotto delle prove di durabilità su pitture epossidiche. E' stato riscontrato che tale materiale è durevole, in particolari prove. Infatti queste prove sulle pitture epossidiche, condotte su strade a basso volume di traffico o su strade rurali, hanno registrato vite di servizio di 5 o più anni.

A causa di questi risultati promettenti, il NYSDOT ha condotto delle prove più estese, tracciando 3500 miglia (5635 km) di strada con materiale epossidico. Molte di queste installazioni si sono comportate bene, ma alcune di queste hanno mostrato una breve o addirittura nessuna durabilità. In molti casi gli epossidi sono apparsi meno sensibili ai fattori di applicazione rispetto ai materiali termoplastici. Questi risultati suggeriscono che il problema poteva risiedere in fattori ambientali sconosciuti oppure in pratiche di tracciamento non appropriate. Poiché l'esperienza sul campo con le pitture epossidiche è così limitata, è difficile dire cosa possa aver causato questi fallimenti prematuri.

<sup>1</sup> Conglomerato bituminoso open-graded

<sup>2</sup> Conglomerato in cemento Portland

<sup>3</sup> Conglomerato bituminoso dense-graded (con filler)

## **Poliesteri**

Osservazioni sul campo di questo prodotto hanno indicato che il materiale, generalmente, ha buone prestazioni e dovrebbe continuare ad essere durevole per molti anni. In alcune aree con volume di traffico pesante, le strisce in poliestere si sono consumate dopo un anno di servizio. In queste aree la pittura dura solo tre mesi.

Il progetto ha dimostrato che le strisce in poliestere sono più opache delle pitture applicate nelle stesse condizioni e, di giorno, si vedono meglio di due strati di pittura. La visibilità notturna delle strisce in poliestere è superiore di quella delle pitture a causa del maggior numero di perline utilizzato.

Un progetto di ricerca più recente in Pennsylvania ha testato 11 differenti campioni di materiale di tracciamento. Le vite di servizio stimate, derivate dai tracciamenti di colore bianco e giallo, sono mostrate in tabella 10 (di seguito si riportano i risultati). Questi possono essere paragonati con i valori di altre classi di materiali testati, mostrati in tabella 9.

- Per le strisce bianche le vite di servizio sono mediamente maggiori di 1100 giorni, sia su pavimentazioni in cemento che su quelle in bitume,
- Per le strisce gialle le vite di servizio sono di 608 giorni sulle pavimentazioni in bitume e 873 giorni su quelle in cemento.

## **Materiali termoplastici epossidici**

Malgrado lo sfavorevole rapporto costo- vita di servizio per l'ETP, riportato nella precedente sezione, il recente mutamento del prezzo delle resine epossidiche nella formulazione del materiale ha determinato che la Pave-Mark Corporation sia rientrata nel mercato con il prodotto ETP.

La Pave-Mark ha stimato che il nuovo materiale durerà circa 6 volte tanto quanto la convenzionale pittura alchidica, nelle stesse condizioni di traffico e di clima, ad un prezzo di contratto che è circa 4.5÷5 volte quello delle pitture standard. Se questo rapporto può essere ottenuto, il rapido tempo di essiccamento e la capacità a comportarsi ugualmente bene quasi su qualsiasi tipo di superficie rendono l'ETP nuovamente come un'allettante alternativa alle convenzionali pitture stradali.

## **Metil Metacrilato**

I fornitori citano il metil- metacrilato come un materiale durevole che è un'opzione vitale per i problemi ambientali. Essi affermano vite di servizio di 3÷10 anni a costi simili a quelli dei materiali epossidici. Inoltre il materiale è progettato per essere resistente agli oli, anticongelanti ed altri prodotti chimici comuni che si trovano sulla strada. Le esperienze attuali sono limitate.

Varie formulazioni di metil- metacrilato furono testate da studi in Pennsylvania. Le vite di servizio ottenute per questi materiali sono mostrate in tabella 11 (si aggirano intorno ai 900 giorni sia per le strisce bianche che per quelle gialle).

Gli altri materiali trattati non hanno mostrato pregi particolari, oppure l'esperienza è così limitata che i fattori prestazionali non sono trattati in questa sede.

## INSTALLAZIONE, MANUTENZIONE E RIMOZIONE

Gli aspetti riguardanti l'installazione, la manutenzione e la rimozione, per i materiali di tracciamento trattati in questo capitolo, sono quelli per le pitture stradali standard. I fattori, quali la protezione della linea tracciata, la sicurezza degli operai, la larghezza e la geometria dell'applicazione, e l'immagazzinamento e stoccaggio del materiale, sono abbastanza standard per le applicazioni di linee longitudinali. Alcuni aspetti, quali la protezione di nuove strisce, dipenderanno più dalla specifica formulazione di ciascun materiale (tempo di essiccamento) che dalla classe dei materiali cui esso appartiene. Alcune informazioni specifiche, relative alla classe dei materiali, è riportata nelle seguenti sezioni.

### **Pitture a base di lattice**

Il maneggiamento di pitture a base di lattice è più semplice di quello delle pitture standard poiché la base acquosa, in queste pitture, non è tossica.

Le pitture a base di lattice sono un'opzione particolarmente allettante poiché esse non richiedono speciali attrezzature per l'installazione. Inoltre l'attrezzatura che viene utilizzata è più facile da pulire a causa della mancanza di rischi ambientali di queste pitture. Questi fattori generalmente non sono da applicare ai materiali nuovi ed in fase di sperimentazione.

### **Pitture epossidiche**

I componenti epossidici sono forniti in entrambi i colori bianco e giallo e normalmente sono applicati con uno spessore di circa 15 mil (0.38 mm). Possono essere installati senza con dipendentemente dalla quantità di perline utilizzate. Le formulazioni meno costose, a lento indurimento, sono utilizzate per le strisce di margine. Il tempo di indurimento varia a seconda della temperatura della pavimentazione. Più è alta la temperatura, più velocemente il materiale indurisce. Può, comunque, essere applicato ad una temperatura più bassa di 35°F (2°C). Se la superficie libera dell'acqua (umidità libera) è rimossa, la pittura epossidica può essere anche applicata su pavimentazioni umide.

Per ottenere una migliore adesione, la superficie deve essere pulita. Poiché tale materiale non è influenzato dall'umidità, la superficie deve essere pulita con acqua calda, a 150°F (66°C), spruzzata ad alta pressione, 2000 psi (13800 KPa). La pistola a spruzzo dell'acqua può essere posizionata appena prima della pistola che spruzza il materiale epossidico. Fra la pistola dell'acqua e quella del materiale epossidico ci dovrebbero essere degli ugelli dell'aria per rimuovere l'acqua in eccesso. La pittura epossidica non può essere applicata su strisce di altro materiale.

### *Attrezzatura*

Le pitture epossidiche non possono essere applicate dai traccialinee comuni. Nelle prove iniziali la pittura epossidica a due componenti poteva essere applicata solamente con il traccialinee Fuller. Attualmente i contraenti che applicano tracciamenti epossidici, per i vari Dipartimenti dei Trasporti, hanno dei propri traccialinee appositamente progettati per l'applicazione di tali pitture. Questi traccialinee hanno solitamente un ugello da cui esce acqua ad alta pressione, seguito da un ugello per l'abbattimento con aria e infine da ugelli per la pittura e le perline. La pittura epossidica deve essere mescolata immediatamente prima di essere spruzzata sulla pavimentazione. Ciò richiede attrezzature aggiuntive per la separazione dei componenti della pittura prima dell'applicazione, e ugelli di miscelazione prima degli ugelli spruzzatori della pittura.

Comunque ci sono alcuni metodi per modificare i traccialinee standard. Un certo numero di compagnie stradali e contraenti modificano i propri traccialinee per andare incontro a ciò che è necessario per l'applicazione delle pitture epossidiche.

## **Poliesteri**

Il materiale in poliestere è applicato con uno spessore di 15 mil (0.38 mm) con un dosaggio di applicazione delle perline di 20 libbre per gallone (34 kg/l). Il sistema poliestere a due componenti (resina e catalizzatore) essiccherà al tatto in meno di 30 minuti, a condizione che la pavimentazione sia asciutta e la temperatura sia di minimo 60°F (13°C). Tempi di essiccamento più veloci sono ottenuti alle temperature più elevate. Tipici tempi di essiccamento variano da 8 a 12 minuti a 75°F (24°C). Poiché il meccanismo di formazione della pellicola non è un processo di evaporazione, esso può essere applicato ad una temperatura più bassa, come 0°F (-18°C), con un tempo di essiccamento proporzionalmente più lungo. Il Dipartimento dei Trasporti del Michigan ha sviluppato un materiale poliestere ad essiccamento veloce.

Questo prodotto non si lega adeguatamente alla pavimentazione in cemento e l'utilizzo indicato è per pavimentazioni in asfalto. Comunque può essere applicato sopra strisce esistenti.

Quando le strisce in poliestere sono applicate a nuove superfici in asfalto, il poliestere si squama insieme alle particelle dell'aggregato superficiale a causa della presenza di oli liberi. Questo dà luogo ad una striscia che appare piena di buchi quando esaminata da vicino. Questo effetto a gruviera non danneggia la visibilità quando la striscia è vista ad una normale distanza. Tale effetto avviene usualmente entro due mesi dall'applicazione. Dopo questo inconveniente iniziale nessun deterioramento ulteriore avviene. Il Dipartimento dei Trasporti del Michigan non applica questo poliestere, ad essiccamento veloce, su pavimentazioni in asfalto di età minore ad un anno.

La sicurezza degli operai è il primo aspetto quando si manipola ed applica il materiale poliestere. Mentre la resina non è più difficile da maneggiare rispetto alla pittura, il catalizzatore in perossido di metiletilchetone è un additivo chimico nocivo che richiede particolare attenzione nel maneggiarlo. Guanti e occhiali di protezione dovrebbero essere indossati quando si maneggia il materiale e durante l'operazione di tracciamento.

### *Attrezzatura*

Come tutti i materiali che reagiscono sul posto, le strisce in poliestere richiedono un'attrezzatura particolare per l'installazione. Un'attrezzatura montata su di un camion è consigliata. I camion di tracciamento tradizionali possono essere modificati per un costo di circa 4500÷6000 dollari. Una velocità di 8÷10 mph (13÷16 km/h) può essere mantenuta quando si applicano le strisce longitudinali.

## **Materiale termoplastico epossidico**

L'ETP è applicato tramite un processo a spruzzo a caldo, ad una temperatura di 425÷450°F (217÷232°C). Un rivestimento superiore di perline è applicato quasi simultaneamente all'operazione di spruzzo. In certe condizioni un tempo di essiccamento al tatto di 5 secondi è stato misurato sul campo. Questi veloci tempi di essiccamento al tatto richiedono che le perline post-spruzzate siano riscaldate, in modo tale da affondare ad un'opportuna profondità nella pellicola.

L'applicazione di spessori variabili da 15 a 25 mil (0.4 a 0.64 mm) si è mostrata duratura sia su pavimentazioni in asfalto che su quelle in cemento. Un primer non è richiesto per queste applicazioni.

Mentre la pressione e la temperatura di applicazione ottimali non sono state determinate, il progetto di prova dell'ETP, discusso prima, ha riscontrato che il materiale è molto sensibile a queste variabili. Se nuove formulazioni del materiale dimostreranno una certa efficacia, la ricerca dovrà stabilire più precisamente i valori ottimali di queste variabili. Sembra che, sebbene il materiale sia molto sensibile, si possano avere eccellenti risultati se le variabili di applicazione sono appropriatamente determinate e quasi controllate.

Per esempio, un progetto iniziale ha ancora riguardato l'applicazione con successo dell'ETP in condizioni di tempo gelide, variando le caratteristiche di applicazione. Per un'installazione a Denver, la temperatura di applicazione del materiale fu elevata a 485°F (251°C) ed esso fu applicato ad una superficie avente una temperatura di 22°F (-5°C). La temperatura dell'aria era di 31°F (4°C). Nessun problema fu riscontrato con quest'applicazione. Dopo un anno il luogo mostrava un'eccellente conservazione delle perline ed uno stato di usura non percepibile. Se queste prestazioni potessero essere ripetute in modo affidabile, l'intervallo delle condizioni climatiche, in cui la pavimentazione può essere tracciata, potrebbe essere significativamente esteso.

## **Metil metacrilato**

Il metil metacrilato mostra di essere promettente per facili applicazioni. Una varietà di temperature può essere tollerata ed il materiale può essere spruzzato con uno spessore di 40 mil (1 mm) oppure estruso con uno spessore di 90 mil (2.3 mm) per applicazioni di strisce trasversali. Si sostiene che il metil metacrilato si leghi bene alle pavimentazioni in cemento.

### *Attrezzatura*

Il metil metacrilato è un materiale che reagisce sul campo, che non può essere applicato utilizzando i normali traccialinee. Comunque le società che vendono il metil-metacrilato spesso vendono anche l'attrezzatura speciale per l'applicazione del materiale. Ciò è valido anche per le polveri di tracciamento. L'attrezzatura richiesta è simile a quella richiesta per le applicazioni dei materiali epossidici, ma tuttavia è specifica. Sebbene il costo iniziale, per comprare questi tipi speciali di attrezzatura, possa essere elevato, tuttavia tali costi sono ammortizzabili dalla vita del tracciamento.

## **ALTRE CONSIDERAZIONI**

Il maggior fattore che inibisce l'uso dei nuovi tipi di materiale di tracciamento stradale è "l'inerzia". Le compagnie di Stato e quelle locali sono riluttanti a cambiare i prodotti, che essi hanno utilizzato per un lungo periodo, senza essere convinti che tale cambiamento possa comportare un considerevole risparmio.

Inoltre molti di questi materiali richiedono attrezzature di installazione particolari per le prove sul campo. Come conseguenza dell'elevato investimento richiesto, le compagnie stradali sono state lente nell'adottare materiali che sembravano essere più efficaci di quelli tradizionali. Le sezioni seguenti descrivono alcuni aspetti riguardanti il costo dei materiali di tracciamento discussi in questo capitolo, ed anche delle modalità con cui alcuni di questi materiali hanno mostrato di essere promettenti, per un futuro incremento del loro utilizzo.

### **Considerazioni economiche**

Determinare il miglior materiale per il tracciamento, per una data applicazione, può essere complicato, anche se i costi esatti di ciascun possibile materiale è conosciuto. Il rapporto costo- vita di servizio è uno degli aspetti più importanti per le compagnie stradali, ed è sempre difficile prevedere quanto possa durare una striscia su una particolare strada. Inoltre le interruzioni al traffico e la sicurezza degli operai sono aspetti che devono essere considerati. Le strisce con vita di servizio molto breve non sono accettabili, anche se molto economiche, poiché la maggior parte del ciclo di durata è speso semplicemente aspettando che siano ritracciate dopo che si sono deteriorate fino ad un livello di visibilità inaccettabile.

Tenendo presente che la seguente è una trattazione alquanto superficiale di un argomento molto complesso, alcuni dei maggiori problemi di costo sono trattati nelle seguenti sezioni per ciascun materiale descritto in questo capitolo.

Il Dipartimento dei Trasporti del Minnesota ha riscontrato che un miglio di una tipica linea tratteggiata potrebbe essere pitturata cinque volte rispetto ad un'applicazione di pittura epossidica, per un costo totale di applicazione che 1.5 volte quello della pittura epossidica. Quindi se la pittura epossidica dura due anni su strade ad alto volume di traffico, che sono normalmente pitturate 3 volte l'anno, il costo più alto è giustificato. Inoltre la squadra di operai sarebbe esposta al traffico una sola volta, invece che dalle cinque alle sette volte. Ciò garantirebbe un sistema di delineazione funzionante anche durante la stagione invernale, periodo in cui non è possibile pitturare.

### *Poliesteri*

E' evidente che le strisce in materiale poliestere hanno prestazioni migliori su pavimentazioni in asfalto rispetto alle pitture tradizionali o a quelle ad essiccamento rapido e rispetto ad alcuni materiali plastici. Il costo iniziale è più alto di quello delle pitture e più basso di quello delle pitture epossidiche a due componenti. L'esperienza al Dipartimento dei Trasporti dello Stato di New York pone il prezzo dei poliesteri a circa 0.07 dollari per piede lineare (22 cents per metro lineare). Il Dipartimento di Stato del Michigan utilizzava poliestere per materiali urbani nell'area di Detroit ad un costo di 6.5 cents per piede lineare (21 cents per metro lineare).

E' ovvio che, se la vita di servizio manifestata durante lo studio condotto dal Dipartimento dei Trasporti della Pennsylvania può essere ripetuta, il materiale poliestere sarà uno dei materiali più efficienti a disposizione. (vedere tabella 10)

### *Pittura epossidica*

Una comparazione tra il costo di pitture tradizionali, pitture epossidiche e materiale termoplastico è dato nella tabella 12 (di seguito riportata tradotta). Questi costi sono presi da una revisione alla politica di tracciamento stradale del Dipartimento dei Trasporti del Kansas, eseguita nel 1988. Il costo del materiale per resine epossidiche varia fra quello del materiale termoplastico e quello delle pitture, a circa 17÷25 cents per piede lineare (54÷80 cents per metro lineare).

Costo d'installazione	Pitture	Termoplastici	Epossidi
Per metro lineare	0.13\$÷0.20\$	1.31\$÷1.97\$	1.31\$÷1.48\$
Vita di servizio (anni)	0.25÷1	3÷5	1÷2
Costo per metro lineare	0.13\$÷0.79\$	0.26\$÷0.66\$	1.31\$÷0.74\$

### *Materiali termoplastici epossidici*

La Pave-Mark ha stimato che la nuova formulazione dell'ETP, scelta nel 1992, potrebbe essere installata dal contraente per un prezzo di circa 0.18 dollari per piede lineare (0.59 dollari al metro lineare). Comunque i costi di adattamento delle attrezzature di Stato per il tracciamento, per utilizzare l'ETP, richiederebbero un investimento iniziale elevato, da parte delle compagnie stradali, nella nuova tecnologia. Comunque se i fondi sono ammortizzati durante la vita dell'attrezzatura, l'ETP può raggiungere un rapporto costo- efficienza favorevole, se comparato con le pitture tradizionali. Gli alti costi iniziali sono bilanciati da una riduzione delle operazioni di tracciamento.

A 0.17 dollari per piede lineare (0.57 dollari per metro lineare), l'ETP dovrebbe costare circa 4.5÷5 volte tanto quanto l'installazione delle pitture convenzionali. Se il materiale può essere fatto per durare 6 volte più a lungo delle pitture tradizionali, il materiale sarà efficiente. I costi di produzione e adeguamento saranno trascurabili per un utilizzo su larga scala dell'ETP.

## Potenzialità per l'utilizzo futuro

Il cambiamento di tecnologia è uno dei problemi connessi con ciascun materiale o nuovo dispositivo, progettato per risparmiare o aumentare la sicurezza sulle strade. E' sempre difficile far cambiare alle compagnie le procedure già consolidate, e l'alto investimento iniziale nelle nuove attrezzature, per le tecnologie di tracciamento alternative, scoraggiano il loro utilizzo. Le sezioni seguenti trattano delle promettenti prospettive mostrate in passato da ciascun materiale e di quelle per il futuro.

### *Pitture epossidiche*

Sebbene le pitture epossidiche ci siano dall'inizio degli anni Settanta, esse non sono state sperimentate per un impiego su larga scala. La non familiarità con le attrezzature e con le procedure per l'applicazione possono essere un motivo. La ricerca suggerisce che un sistema di tracciamento a due componenti epossidici è un'alternativa efficiente alle pitture alchidiche, anche nell'appalto dell'applicazione. Aree con stagioni invernali rigide dovrebbero particolarmente consigliare l'uso di una pittura epossidica, poiché essa è così resistente all'abrasione dovuta alla neve ed alle attività di controllo della formazione del ghiaccio.

### *Poliesteri*

L'esperienza con materiali poliesteri è limitata, e non molte informazioni circa il loro utilizzo sono state diffuse. Le vite di servizio manifestate in studi sul campo possono essere non realistiche per ottenere un riferimento regolare. E' necessario uno studio più accurato dei fattori e delle variabili di delineazione che più profondamente influenzano questo tipo di tracciamento. Quando questo studio sarà completo, un uso più esteso del materiale potrà essere fattibile.

### *Materiale termoplastico epossidico*

In aggiunta al suo breve tempo di essiccamento al tatto ed alle sue eccellenti prestazioni su tutti i tipi di pavimentazione, l'ETP ha molti altri differenti vantaggi. E' una formulazione solida al 100% ed è virtualmente senza fumo alle temperature di applicazione. Queste proprietà sono d'aiuto quando si considera l'impatto ambientale durante le operazioni di tracciamento.

L'ETP ha mostrato di essere promettente per realizzazioni su larga scala. Sforzi per incoraggiarne l'aumento dell'impiego, da parte dei Dipartimenti di Stato e di altre compagnie, sono in atto. Una specifica di composizione di un campione di ETP è stata prodotta ed il lavoro per l'adeguamento delle esistenti attrezzature di tracciamento prosegue.

## CAPITOLO 9

### DELINEATORI DI MARGINE

#### INTRODUZIONE

La delineazione diurna dei margini stradali può essere generalmente ottenuta con i tracciamenti stradali. La visibilità notturna, comunque, spesso richiede un approccio differente per fornire una delineazione a lungo raggio dell'allineamento stradale. L'altro problema è quello di garantire la visibilità durante i periodi di pioggia e neve, quando la maggior parte delle strisce stradali non è visibile. I delineatori (post-mounted delineators: PMD), di varie forme, si sono guadagnati un esteso consenso come dispositivo di delineazione stradale.

Questo capitolo descrive gli impieghi ed i tipi di delineatori retroriflettenti, come definiti sul MUTCD.

#### IMPIEGHI

Il proposito dei delineatori stradali è quello di tracciare i contorni dei margini della strada ed evidenziare le posizioni critiche. L'uso dei delineatori, come dispositivo di delineazione, è stato accettato da vari organismi degli USA come per esempio l'FHWA, l'ITE (Institute of Transportation Engineers), l'AASHTO. Perciò i delineatori sono raccomandati per l'intero sistema stradale americano.

Il MUTCD (sezione 3D-1) definisce questi dispositivi come segue: "I delineatori stradali sono dispositivi retroriflettenti montati ai lati di una strada, in serie, per indicare l'allineamento stradale".

Questi delineatori di solito sono montati su sostegni, 4ft (1.2 m) al di sopra della pavimentazione. In condizioni atmosferiche normali essi dovrebbero essere visibili ad una distanza di 1000 ft (305 m), quando illuminati dagli abbaglianti di fari standard di un'automobile. L'elemento retroriflettente dovrebbe avere una dimensione minima di 3 in (76 mm).

Il MUTCD stabilisce inoltre che "i delineatori saranno posizionati sul lato destro della carreggiata stradale e su almeno un lato delle rampe di svincolo". Essi sono anche raccomandati per l'impiego su alcuni incroci sopraelevati, su corsie di accelerazione e decelerazione, ed in situazioni di transizione.

Uno studio ha riscontrato che i guidatori reagiscono favorevolmente ai delineatori, su curve di 7 gradi o meno. Per curve più brusche altre forme di ulteriore delineazione dovrebbero essere utilizzate, come i delineatori modulari di curva (Chevron signs).

Negli svincoli di strade ben illuminate i delineatori sono opzionali. L'illuminazione aerea fissa tende ad annullare la retroriflessione dei delineatori, rendendoli inefficienti di notte.

Larghe piastrine con faccia bianca sono state utilizzate sui delineatori, dove un'indicazione diurna della strada è necessaria. Dove i delineatori sono richiesti in vicinanza di un guardrail, per esempio in curva, la disposizione dovrebbe continuare ininterrotta nel tratto del guardrail. I delineatori dovrebbero essere posizionati dietro il guardrail. In questi casi i catadiottri del guardrail possono essere eliminati.

In ogni caso il colore dei delineatori deve essere conforme al colore delle linee di margine stabilito nella sezione 3B-6 del MUTCD. Il MUTCD standardizza certe caratteristiche, quali: l'altezza del supporto; il numero, la spaziatura, ed il colore dei catadiottri; i criteri per gli elementi retroriflettenti; e dove posizionarli. Non vengono specificate le caratteristiche fisiche. I tipi di sostegni utilizzati e altre caratteristiche funzionali sono

determinate dalle compagnie di Stato o locali. Nonostante ciò il MUTCD dovrebbe essere consultato per assicurare l'uniformità e la conformità nell'impiego.

Nella pratica attuale sembra esserci poca conformità nell'utilizzo dei delineatori. Requisiti quali l'altezza e la posizione rispetto al margine stradale sono normalizzati. Molte incompatibilità si riscontrano nelle dimensioni, forma e colore dell'unità retroriflettente, nella spaziatura fra i delineatori, nelle garanzie per l'installazione. Poiché il MUTCD è relativamente permissivo riguardo tali caratteristiche, i tracciamenti con i delineatori variano non solo da Stato a Stato, ma fra distretto e distretto ed anche negli stessi distretti.

Sebbene i delineatori siano di provata sicurezza, la standardizzazione del loro impiego è una cosa improbabile in questo periodo di scarsi investimenti. I bilanci devono essere fatti quando si seleziona una tecnica di delineazione che dia il miglior risultato ad un certo costo. In questo contesto l'importanza di una delineazione a lungo raggio e di una visibilità notturna, conseguite con i delineatori, dovrebbe essere riconosciuta. Questo è specialmente vero considerando il basso rapporto costo- vita di servizio di questi dispositivi.

## **MATERIALI**

Un delineatore di solito consiste di un elemento retroriflettente, il supporto e possibilmente una piastra di supporto. Una varietà di materiali è disponibile per ciascuno di questi componenti. I componenti fondamentali e le loro caratteristiche fisiche sono descritte di seguito.

### **Elementi retroriflettenti**

I dispositivi retroriflettenti più comuni impiegano sia una pellicola impregnata di perline, sia un'unità prismatica ad angolo cubico, per fornire la retroriflessione. In entrambi i casi gli elementi ottici sono inclusi e sigillati in un alloggiamento o involucro di plastica (figura 57), per conservare le proprietà retroriflettenti quando sono esposti alla pioggia. Le unità prismatiche sono più lucenti delle pellicole retroriflettenti; i catadiottri bianchi di ciascun tipo sono più lucenti di quelli gialli. Una varietà di elementi ottici sono utilizzati dai produttori per ottenere una retroriflessione grandangolare (campo angolare generalmente maggiore di 80°).

Gli inserti retroriflettenti per delineatori sono disponibili come dischi sensibili alla pressione oppure sono incastonati dentro un alloggiamento in alluminio. Una versione di questo dispositivo è caratterizzata da un disegno a nido d'api. Essa fornisce uno spazio d'aria tra la superficie superiore e lo strato imperlato.

Il tipico catadiotro prismatico consiste in una faccia chiara e di plastica trasparente che copre, approssimativamente, una superficie di 7 in<sup>2</sup> (4516 mm<sup>2</sup>) di area retroriflettente. Un lamina di supporto metallica, rivestita in plastica, è fusa dal calore e dalla pressione alla superficie retroriflettente. L'intera unità, compresa la rondella di 3/16 in (4.8 mm) per il montaggio centrale, è permanentemente sigillata alla polvere e all'umidità.

Un nuovo tipo di delineatore, che utilizza pellicole retroriflettenti, sta guadagnando popolarità. Consiste di una pellicola rettangolare attaccata direttamente al sostegno flessibile del delineatore. Un tipico sostegno del delineatore è illustrato nella figura 58. Questi delineatori sono utilizzati largamente, a causa della loro facilità di manutenzione ed alla loro capacità a resistere a più di un impatto da parte dei veicoli.

### **Sostegni**

I materiali dell'elemento di supporto del delineatore sono stati tradizionalmente limitati a sostegni in ferro (di solito galvanizzato) a forma ad U da 3.5 in (90 mm), a tubi standard neri da 0.75 in (19 mm), a sostegni in legno di sezione 2x2 in (50x50 mm), preferibilmente cedro o sequoia. Poiché questi sono vicino alla strada, i

veicoli spesso urtano i delineatori. Questi abbattimenti comportano problemi di manutenzione costosi e sono pericolosi per il veicolo che impatta.

Per queste ragioni il delineatore flessibile menzionato sta diventando il più largamente utilizzato. Questi nuovi sostegni riducono il pericolo connesso con l'impatto dei veicoli come pure i costi di sostituzione. Gli approcci più promettenti includono i sostegni flessibili resistenti all'impatto, un sistema flessibile che rimarrà giù dopo l'impatto, e i sostegni colorati che aiutano a prevenire gli impatti.

L'impiego di delineatori flessibili è cresciuto poiché il costo di sostituzione spesso raggiungeva livelli inaccettabili. Alla fine degli anni Settanta, per esempio, lo Stato della California aveva approssimativamente 600000 delineatori collocati che richiedevano 300000 riparazioni annuali. Molti delineatori erano abbattuti diverse volte in un anno. Nel 1978 la California stanziò 1.6 milioni di dollari per la manutenzione del sistema di delineatori. Il costo di sostituzione variava dai 6 agli 8 dollari ciascuno.

Poiché il costo di manutenzione dei delineatori cominciava ad essere così esorbitante, il Dipartimento dei Trasporti della California (Caltrans) testò un certo numero di sostegni, commercialmente sviluppati in plastica, di due tipi fondamentali: trascinabile e non trascinabile. Il sostegno trascinabile è forzato nel terreno come un sostegno metallico e richiede un lavoro e un tempo per l'installazione considerevolmente minori rispetto al sostegno non trascinabile. I sostegni non trascinabili sono di due tipi: quelli che richiedono materiale di riempimento all'interno e intorno all'esterno del sostegno e quelli che non lo richiedono. Le unità flessibili sono equipaggiate con pellicole retroriflettenti piuttosto che con bottoni prismatici. Questo aiuta a prevenire i danneggiamenti dell'unità retroriflettente all'impatto.

Ciascun sostegno era soggetto fino a 10 impatti di veicoli che viaggiavano a 55 mph (89 km/h). Sebbene alcuni sostegni reagissero meglio di altri, il programma delle prove dimostrò, in conclusione, che i sostegni di plastica, resistente all'impatto, dei delineatori sono una possibile alternativa ai rigidi sostegni in acciaio.

Dopo lo studio del 1978, Caltrans raccomandò i sostegni flessibili laddove la vita di un sostegno metallico è minore di un anno. I tratti con bassi raggi di curvatura e ad elevata velocità giustificano anche la loro installazione.

Sin dalle prime prove della Caltrans, molti modelli commerciali di delineatori flessibili sono diventati disponibili. Molti Stati utilizzano questi delineatori ed alcuni hanno creato dei propri modelli. Uno studio fatto in Colorado ha provato sei differenti modelli di delineatori flessibili assoggettandoli a prove di impatto, sia in condizioni di tempo caldo che freddo, così come ad una valutazione di un anno su strada. I risultati furono utilizzati per determinare un indice di costo per ogni impatto, basato sui costi iniziali del delineatore e di sostituzione. Una specifica per l'impiego in Colorado è stata proposta per l'esecuzione di prove e la prequalificazione dei sostegni dei delineatori flessibili.

Il Dipartimento Stradale del Wyoming, in cooperazione con l'FHWA, ha sviluppato un sostegno per delineatori costituito da due parti, che non ha rinculo e rimane giù dopo l'impatto. L'ancoraggio è una triplice presa che consiste in un'asta e "zampe" stabilizzatrici per tenerlo rigido sul terreno. Il sostegno, che si infila nell'ancoraggio, può essere un tubo metallico sottile di diametro esterno pari a 1.5 in (37.5 mm) oppure un tubo di polietilene ad alta densità di diametro interno pari a 1.5 in (37.5 mm) installato sopra un tubo metallico di 24 in (610 mm).

Tre buchi sono ricavati nel tubo, a 4 in (102 mm) dalla parte inferiore, per assicurarsi che esso rimarrà disteso quando urtato. Una piccola porzione di tubo è piegata piuttosto che rotta, la quale tiene i pezzi tutti insieme ed evita che essi si spargano per l'aria dopo l'impatto.

Il tubo metallico può essere riutilizzato fino a tre volte quando installato in aree con limiti di velocità di 40 mph (65 km/h) o meno. L'estremità rotta è semplicemente tagliata, nuovi buchi sono punzonati, e il sostegno è reinserito nell'ancoraggio. L'assemblaggio in polietilene può essere riutilizzato un certo numero di volte sostituendo il tubo metallico da 24 in (610 mm).

Il Dipartimento dei Trasporti del Wyoming ha stimato un costo unitario di 3.25 dollari per il sostegno con tubo metallico e 4.25 dollari per quello in polietilene. Inclusa la manodopera il costo totale dovrebbe essere di circa 4.5 e 5.75 dollari rispettivamente. Il costo di sostituzione, includendo la manodopera, è previsto essere meno di 2 dollari per unità. Il Dipartimento Stradale del Wyoming ha raccomandato alle altre compagnie stradali di considerare l'implementazione di questo sistema come un'alternativa sicura ed efficiente al sostegno in acciaio.

## **PRESTAZIONI**

Se valutati per la visibilità e la durabilità, la maggior parte dei delineatori danno ottimi risultati in entrambe le valutazioni. Il catadiottero fornisce maggiore lucentezza notturna rispetto alle pellicole retroriflettenti, ma entrambi forniscono un'adeguata delineazione a lungo- raggio. L'utilità dei delineatori è particolarmente evidente in condizioni di tempo avverse e di bassa visibilità. Essi non sono efficienti in aree con un livello, da moderato ad elevato, di illuminazione ambientale; non è raccomandabile il loro impiego con l'illuminazione stradale fissa.

Un piano stradale sterrato ha un effetto rilevante sulle prestazioni dei delineatori. Uno studio sul campo condotto in Australia ha mostrato che l'accumulo di terra e l'invecchiamento potrebbero ridurre la visibilità notturna da circa 1000 ft (305 m) a 100 ft (30.5 m), utilizzando anabbaglianti. Questa non è una condizione permanente; il lavaggio dei retroriflettori è possibile. Anche la pioggia li pulirà fino ad un certo grado.

I delineatori hanno lunghe vite di servizio a condizione che siano tenuti puliti e non siano danneggiati dai veicoli. Si può prevedere di ottenere un delineatore con una vita di servizio di circa dieci anni se rotture o atti vandalici non avvengono.

## **INSTALLAZIONE E MANUTENZIONE**

I delineatori possono essere efficienti se essi sono installati e mantenuti correttamente. Questa sezione descriverà alcune procedure per queste operazioni.

### **Spaziatura e posizionamento**

Nei tratti rettilinei i delineatori dovrebbero essere disposti, separati tra loro da 200 a 500 ft (61 a 153 m), secondo una linea continua a non meno di 2 ft (0.6 m) o più di 8 ft (2.4 m) dal bordo del margine stradale utilizzabile. I delineatori dovrebbero essere posizionati sull'estradosso di curve con raggio di 1000 ft (305 m) o meno, inclusi gli spartitraffico sulle curve delle rampe di strade ed autostrade a doppia carreggiata. La spaziatura raccomandata per le curve è data nella tabella 13 (di seguito tradotta). Tre delineatori dovrebbero essere posizionati prima della curva e tre dopo la curva. La spaziatura dei delineatori in curva dovrebbe essere tale che tre delineatori siano sempre visibili al guidatore. La spaziatura dei delineatori in curva non dovrebbe superare 300 ft (90 m) oppure essere meno di 20 ft (6 m). una tipica installazione è mostrata in figura 59.

Raggio di curvatura, R	Spaziatura in curva, S <sup>1</sup>	1 PMD prima e dopo la curva, 2S	2 PMD prima e dopo la curva, 3S	3 PMD prima e dopo la curva, 6S
50 ft (15 m)	20 ft (6 m)	40 ft (12 m)	60 ft (18 m)	120 ft (37 m)
150 ft (46 m)	30 ft (9 m)	60 ft (18 m)	90 ft (27 m)	180 ft (55 m)
200 ft (61 m)	35 ft (11 m)	70 ft (21 m)	105 ft (32 m)	210 ft (64 m)
250 ft (76 m)	40 ft (12 m)	80 ft (24 m)	120 ft (37 m)	240 ft (73 m)
300 ft (92 m)	50 ft (15 m)	100 ft (31 m)	150 ft (46 m)	300 ft (92 m)
400 ft (122 m)	55 ft (17 m)	110 ft (34 m)	165 ft (50 m)	300 ft (92 m)
500 ft (153 m)	65 ft (20 m)	130 ft (40 m)	195 ft (59 m)	300 ft (92 m)
600 ft (183 m)	70 ft (21 m)	140 ft (43 m)	210 ft (64 m)	300 ft (92 m)
700 ft (214 m)	75 ft (23 m)	150 ft (46 m)	225 ft (69 m)	300 ft (92 m)
800 ft (244 m)	80 ft (24 m)	160 ft (49 m)	240 ft (73 m)	300 ft (92 m)
900 ft (275 m)	85 ft (26 m)	170 ft (52 m)	255 ft (78 m)	300 ft (92 m)
1000 ft (305 m)	90 ft (27 m)	180 ft (54 m)	270 ft (82 m)	300 ft (92 m)

Recentemente un'ottimizzazione analitica dell'altezza, spaziatura e posizione laterale dei delineatori, per tratti rettilinei ed in curva su strade a due e a quattro corsie, è stata sviluppata in Ohio. Il progetto includeva una dimostrazione e valutazione in campo, su scala piccola. Lo studio ha concluso che i delineatori con 18 in<sup>2</sup> (116 cm<sup>2</sup>) di pellicola con lenti incapsulate, con un'intensità specifica per unità di area (SIA) di 309 cd/ft – cd · ft<sup>2</sup>, dovrebbero essere posizionati ogni 275 ft (84 m) lungo il tratto rettilineo di un'autostrada a doppia carreggiata e quattro corsie. I delineatori con pellicole prismatiche aventi un SIA di 825 e di 1483 cd/ft – cd · ft<sup>2</sup> dovrebbero essere posizionati ogni 350 e 400 ft (107 e 122 m). Questi valori di SIA devono essere misurati ad un angolo di entrata di -4° e un angolo di osservazione di 0.2° (12').

Lo studio presenta delle relazioni matematiche da cui la spaziatura ottimale può essere calcolata per curve di qualsiasi raggio e strade a due ed a quattro corsie. Queste sono riportate nella tabella 14. Gli effetti dell'altezza e della posizione laterale sulla visibilità sono trascurabili per le tipiche disposizioni dei delineatori.

### Installazione di elementi retroriflettenti

I convenzionali delineatori di margine sono concepiti apponendo un bottone retroriflettente di 3 in (75 mm) sulla faccia di un sostegno del delineatore di 4 ft (1.2 m). I bottoni retroriflettenti possono anche essere posizionati su piatti metallici di 8÷24 in (203÷610 mm). Il piatto dovrebbe avere uno, due o tre buchi fatti per fissare il retroriflettore al piatto con chiodi di alluminio.

Se l'unità retroriflettente montata centralmente deve essere incassata in un alloggiamento in alluminio, il retroriflettore è infilato nell'orlo dell'alloggiamento e fatto scattare per un bloccaggio permanente.

Il disco di pellicola di plastica retroriflettente, circolare, a nido d'api è sensibile alla pressione ed è applicato semplicemente rimuovendo la carta che l'avvolge e premendolo nell'alloggiamento ricavato sul supporto (figura 60).

### Installazione e manutenzione dei delineatori

Un'attrezzatura speciale è disponibile per guidare meccanicamente il sostegno in acciaio nel terreno. Questa è un'attrezzatura costosa, di solito utilizzata per grosse installazioni. Normalmente le squadre di manutenzione installeranno i sostegni con un martello e una testa guidante oppure con una qualche forma di testa guidante caricata superiormente, che ha impugnature su ciascun lato per esercitare la necessaria forza verso il basso.

<sup>1</sup>  $S = 3 \cdot \sqrt{R - 50}$

I sostegni sono di solito guidati 2 ft (0.6 m) al di sotto della superficie, con 4 ft (1.2 m) che rimangono sopra la pavimentazione fino all'estremità sporgente. Nella figura 61 è mostrato uno schema di collocazione dei delineatori, in presenza o meno di marciapiedi.

## **Sostituzione**

I delineatori sono altamente suscettibili agli atterramenti, agli atti di vandalismo, e ai furti. I delineatori incurvati o persi, che ovviamente hanno bisogno di attenzione, dovrebbero essere riparati istantaneamente. Questo è urgente quando il sostegno piegato o atterrato sporge sulla o vicino la carreggiata.

La lunga vita di servizio dei delineatori qualche volta comporta che le compagnie trascurino la loro manutenzione. La sostituzione pronta dei sostegni persi o danneggiati dei delineatori è importante per evitare costi futuri. In condizioni di tempo estreme, i delineatori spesso sono il solo mezzo di guida visiva disponibile al guidatore. Questi dispositivi hanno un'elevata priorità per l'installazione; perciò uno stato di conservazione efficiente dovrebbe essere mantenuto.

## **Pulizia**

La polvere ed il "film" stradale possono degradare la visibilità dei delineatori. Questo accade anche alle unità che hanno buone prestazioni quando sono pulite. Alcune compagnie stradali hanno sviluppato metodi per lavare questi retroriflettori durante i periodi secchi. Queste tecniche variano dalla semplice bagnatura sotto pressione al dispositivo a spazzola rotante.

## **Manutenzione invernale**

I delineatori sono vulnerabili anche ai danni provocati dagli alti cumuli di neve, dagli spazzaneve ed da altri veicoli adibiti alla manutenzione stradale. Le squadre di manutenzione dovrebbero riparare i sostegni che sono colpiti inavvertitamente dalla attrezzatura che svolge altre attività di manutenzione.

In aree ad elevata caduta di neve, la condizione dei delineatori dovrebbe essere controllata alla fine della stagione nevosa. La sostituzione e la manutenzione dovrebbe essere programmata per i delineatori danneggiati.

Prima della stagione nevosa alcune compagnie stradali installano i palini (snow poles) che si estendono sopra la parte superiore dei cumuli di neve previsti. L'attacco del palino è una semplice procedura. Esso è fatto con due staffe e con i loro bulloni e rondelle, che si adattano ai buchi esistenti. La rimozione dei palini, in primavera, può essere combinata con la pulizia, la sostituzione o altra manutenzione dei delineatori.

## **Numero e sicurezza degli operai**

La manutenzione dei delineatori non richiede né tanti operai né un'attrezzatura complessa. Poiché i delineatori sono posizionati leggermente all'infuori del margine stradale, alcuni operai tendono a dimenticare le procedure di sicurezza durante l'esecuzione del lavoro. Laddove la chiusura della corsia o i coni possono non essere richiesti, in tutti i casi i lavoratori dovrebbero essere protetti da segnali o da veicoli di servizio posizionati strategicamente. I veicoli che invadono il margine dovrebbero essere propriamente segnalati con dispositivi che indicano i lavori in corso.

## Sostegni colorati

E' ovvio che sia i rischi alla sicurezza che i costi di sostituzione, associati con la riparazione dei sostegni abbattuti, dovrebbero essere eliminati se il sostegno non fosse, in primo luogo, colpito. Avendo in mente questo fatto, molte compagnie stradali hanno sperimentato l'uso di sostegni colorati nel tentativo di prevenire gli abbattimenti.

Prove sui sostegni dei segnali, condotte a Houston, Texas, hanno indicato un incremento del 49% nella distanza di visibilità diurna ed un incremento del 30% di notte. Gli abbattimenti sono diminuiti da 24 a 10 nell'arco di venti mesi tra l'inizio e la fine della ricerca. Studi successivi, in differenti luoghi del Texas, hanno riscontrato una riduzione del 50% negli abbattimenti. Dopo un anno di prove, i sostegni gialli dei segnali e dei delineatori sono divenuti una cosa normale nel Texas e hanno attirato l'interesse nazionale.

## Rimozione

La rimozione dei delineatori di solito non è necessaria. Normalmente le unità retroriflettenti sono normalmente sostituite ed i sostegni lasciati sul posto. La rimozione avviene solo quando il sostegno è colpito da un veicolo. Se il progetto di costruzione o altri programmi richiedono la rimozione di un delineatore, i normali delineatori con sostegni in acciaio rendono l'operazione di rimozione difficoltosa. La rimozione di questi delineatori richiederà un'attrezzatura e può essere costosa.

Il costo di rimozione è un'altra ragione per cui il delineatore con sostegno flessibile sta diventando popolare. Molti di questi dispositivi sono montati su buchi già predisposti nel terreno al lato della pavimentazione. La rimozione consiste in una semplice rotazione manuale del sostegno, di un quarto di giro, e nello sfilamento dello stesso dal buco.

## CAPITOLO 10

### ALTRI DISPOSITIVI DI DELINEAZIONE STRADALE

#### INTRODUZIONE

Altri tipi di dispositivi di delineaazione stradale sono utilizzati per supportare i tracciamenti stradali convenzionali. Questo capitolo è indirizzato ai segnalatori di oggetti, ai segnali di avviso, ai delineatori di barriere ed ai simboli sulla pavimentazione.

#### USI

I segnalatori di oggetti, i segnali di avviso e i delineatori di barriera danno avvertimenti e sono utilizzati dove le strisce stradali da sole non forniscono sufficienti informazioni sull'allineamento della strada o sulle caratteristiche del bordo stradale, affinché il guidatore superi un tratto di strada o eviti ostacoli. I simboli sulla pavimentazione sono utilizzati per rinforzare la regolazione del traffico, avvisare i guidatori e fornire un'informazione di guida.

#### Segnalatori di oggetti

I segnalatori di oggetti identificano gli ostacoli all'interno o adiacenti alla carreggiata. I tre tipi di segnalatori d'oggetti sono illustrati nella figura 62. Quando utilizzati questi segnali dovrebbero essere disposti in una o più di queste tre configurazioni.

*Tipo 1:* Ciascun segnalatore consiste di 9 catadiottri gialli, ciascuno avente una dimensione minima di circa 3 in (76 mm), montati simmetricamente su un pannello, 18 x 18 in (457 x 457 mm), giallo o nero a forma di diamante; oppure consiste in un pannello giallo tutto retroriflettente a forma di diamante e delle stesse dimensioni. Il Tipo 1 può essere più grosso se le condizioni lo richiedono.

*Tipo 2:* Ciascun segnalatore consiste di 3 catadiottri gialli, ciascuno con una dimensione minima di circa 3 in (76 mm), disposti sia orizzontalmente che verticalmente; oppure un pannello giallo tutto retroriflettente di dimensioni 6 x 12 (150x300 mm). Il Tipo 2 può essere più grosso se le condizioni lo richiedono.

*Tipo 3:* Un segnalatore che consiste di un rettangolo verticale di circa 1 x 3 ft (0.3 x 0.9 m) di dimensione, con strisce nere alternate a strisce gialle retroriflettenti che pendono verso il basso, con un angolo di 45°, verso il lato dell'ostacolo che è consentito al passaggio del traffico. La larghezza minima delle strisce gialle dovrebbe essere di 3 in (76 mm). Una migliore visione può essere ottenuta se le strisce nere sono più larghe di quelle gialle.

Segnalatori di oggetti a sinistra (OM-3L) hanno le strisce oblique che hanno l'estremità superiore a sinistra e pendono verso l'estremità inferiore destra. Le strisce di un segnalatore di oggetti a destra (OM-3R) hanno l'estremità superiore a destra e pendono verso l'estremità inferiore sinistra.

#### *Ostacoli nella carreggiata*

Gli ostacoli nella carreggiata dovrebbero essere segnalati con un segnalatore di oggetti di Tipo 1 o 3. Una larga superficie, come il pilastro di un ponte, può essere pitturata con strisce diagonali, 12 in (300 mm) o più di larghezza, in modo simile al segnalatore di ostacoli di Tipo 3. Le strisce retroriflettenti alternate, gialle e nere,

dovrebbero essere inclinate verso il basso, con un angolo di 45°, verso il lato dell'ostacolo che è consentito al traffico.

Segnali appropriati (MUTCD sezioni 2B-25 e 2C-33), per far confluire il traffico verso uno od entrambi i lati dell'ostacolo, possono essere utilizzati al posto del segnalatore di oggetti. In aggiunta ai tracciamenti sulla superficie di un ostacolo nella carreggiata, un avvertimento in prossimità dell'ostacolo dovrebbe essere dato mediante appropriati tracciamenti sulla pavimentazione (MUTCD sezione 3B-13).

Dove lo spazio libero (in altezza) di una struttura sopraelevata eccede di meno 1 ft (0.3 m) la massima altezza "legale" di un veicolo, tale spazio dovrebbe essere chiaramente indicato sulla struttura (MUTCD sezione 2C-34).

### *Oggetti adiacenti alla carreggiata*

Oggetti non posizionati sulla carreggiata possono essere così vicini al margine della strada da aver bisogno di un segnalatore che ne indichi la presenza. Tali oggetti includono banchine di sottopassaggio, spalle di ponti, parapetti, e muri di caduta di canali sotterranei. In alcuni casi ci può non essere alcun oggetto fisico coinvolto, ma altre condizioni del margine stradale, come margini stretti, isole a raso, e bruschi cambi dell'allineamento della carreggiata, possono renderla indesiderabile al conducente. I segnalatori di oggetti di Tipo 2 o 3 possono essere utilizzati in queste situazioni. Il bordo interno del segnalatore dovrebbe essere in linea col bordo interno dell'oggetto.

Anche i segnali standard di avviso (MUTCD sezione 2C) dovrebbero essere utilizzati dove sono adatti.

### *Fine di una carreggiata*

Quando si è stabilito che segnalatori di oggetti dovrebbero essere posizionati alla fine di una carreggiata, dove non c'è alcun percorso alternativo per i veicoli, dovrebbe essere utilizzato o un segnalatore che consiste di nove catadiottri rossi, ognuno con una dimensione minima di 3 in (76 mm), montati simmetricamente su un pannello a forma di diamante, rosso o nero, di 18 in (457 mm); oppure un pannello di 18 in (457 mm) a forma di diamante, rosso e retroriflettente. Più di un segnalatore oppure un segnalatore più largo possono essere utilizzati alla fine della carreggiata dove le condizioni lo giustificano. Precedenti segnali di avviso dovrebbero essere utilizzati.

## **Segnali di avviso**

I segnali di avviso supportano le strisce stradali e consistono nella serie di segnalazioni del tracciato stradale, nel cartello indicatore della velocità consigliata (Advisory Speed Plate), nelle frecce di direzione obbligata (Large Arrow Signs) e nei delineatori modulari di curva (Chevron Signs). La figura 63 mostra la serie di segnali di avviso del tracciato stradale.

### *Segnale di svolta (Turn Sign) (W1-1)*

Il segnale di svolta (W1-1R o W1-1L) è utilizzato dove le indagini tecniche delle condizioni della carreggiata, geometriche ed operative mostrano che la velocità raccomandata in una curva sia di 30 miglia all'ora (48 km/h) o meno (svolta), e questa velocità raccomandata è uguale o minore del limite di velocità stabilito da leggi o regolamentazioni per quel tratto di strada. Dove un segnale di svolta è previsto, un segnale di direzione obbligata (Large Arrow Sign) può essere utilizzato all'uscita della svolta. Un'ulteriore sicurezza può essere fornita dall'uso di un cartello indicatore della velocità consigliata (Advisory Speed Plate).

### *Segnale di curva (Curve Sign) (W1-2)*

Il segnale di curva (W1-2R o W1-2L) può essere utilizzato dove le indagini tecniche sulle condizioni della carreggiata, geometriche e operative mostrano che la velocità raccomandata in curva sia maggiore di 30 miglia all'ora (48 km/h) e sia uguale o minore di quella stabilita da leggi e regolamentazioni per quel tratto di strada. Un'ulteriore sicurezza è fornita dall'impiego di un cartello indicatore di velocità.

### *Segnale di svolte opposte (Reverse Turn Sign) (W1-3)*

Tale segnale è utilizzato per segnalare due svolte, oppure una curva ed una svolta successive, in direzioni opposte, come definito dalle indicazioni del MUTCD per i segnali di svolte e curve, che sono separate da un tratto rettilineo minore di 600 ft (183 m). Se la prima svolta è a destra, un segnale di svolte opposte destro (W1-3R) deve essere utilizzato; se la prima svolta è a sinistra un segnale di svolte opposte sinistro (W1-3L) deve essere utilizzato. Per un'ulteriore sicurezza un cartello indicatore di velocità può essere utilizzato.

### *Segnale di curve opposte (Reverse Curve Sign) (W1-4)*

Tale segnale è usato per segnalare due curve in direzione opposta, come definito nelle indicazioni del MUTCD per i segnali di curve, che sono separate da un tratto rettilineo minore di 600 ft (183 m). Se la prima curva è a destra un segnale di curve opposte destro (W1-4R) è utilizzato, se la prima curva è a sinistra un segnale di curve opposte sinistro (W1-4L) è utilizzato.

### *Segnale di strada tortuosa (Winding Road Sign) (W1-5)*

Il segnale di strada tortuosa è utilizzato dove ci sono tre o più svolte o curve, come definito dalle indicazioni del MUTCD, che sono separate da tratti rettilinei di lunghezza minore di 600 ft (183 m). Il segnale di strada tortuosa deve essere disposto prima della prima curva o svolta. Dove le tre o più curve o svolte si estendono su di un tratto di un miglio (1.6 km) o più, un cartello aggiuntivo, che indica "le prossime X miglia", può essere installato sotto il cartello di strada tortuosa. Un avvertimento aggiuntivo può essere fornito dall'installazione di inserti stradali (RPM) e dall'uso di un cartello indicatore di velocità.

### *Cartelli indicatori di velocità consigliata (Advisory Speed Plate) (W13-1)*

Il cartello indicatore di velocità consigliata (mostrato in figura 63) è usato per supportare i segnali di avviso. Le dimensioni standard di tali cartelli sono 18 x 18 in (457 x 457 mm). Cartelli indicatori di velocità, utilizzati con segnali di avviso di 36 in (914 mm) o più, dovrebbero essere di 24 x 24 in (610 x 610 mm).

Cartelli indicatori di velocità dovrebbero indicare la velocità con lettere nere su sfondo giallo (MUTCD sezione 3B-34). Quando utilizzati per zone di lavori in corso, il valore di velocità è scritto con lettere nere su sfondo arancione. La velocità segnalata deve essere un multiplo di 5 miglia all'ora (8 km/h). Il cartello può essere utilizzato insieme a qualsiasi segnale di avviso giallo per indicare la massima velocità raccomandata in curva o in zone rischiose. Non dovrebbe essere utilizzato insieme a qualsiasi altro segnale che non sia un segnale di avviso e neppure da solo. Dovrebbe essere montato sullo stesso supporto del segnale di avviso e normalmente al di sotto di esso. Eccetto che per motivi di emergenza o in zone di lavori in corso, dove la situazione che richiede un cartello indicatore di velocità è temporanea, il cartello indicatore di velocità non dovrebbe essere messo fino a che la velocità raccomandata non sia determinata da procedure consolidate di studio del traffico. Poiché cambiamenti nelle caratteristiche superficiali, nella distanza di visibilità ed altri fattori possono alterare i valori della velocità raccomandata, ogni luogo dovrebbe essere periodicamente controllato ed il relativo cartello indicatore corretto se necessario.

### *Segnale di direzione obbligata (Large Arrow Sign) (W1-6, W1-7)*

Tale segnale è impiegato per dare notizia di un rapido cambiamento del tracciato nella direzione del percorso. Non deve essere impiegato dove non c'è alcun cambiamento nella direzione del percorso (alla fine di uno spartitraffico, banchine centrali). Tale segnale dovrebbe essere un rettangolo orizzontale con dimensioni standard di 48 x 24 in (1220 x 610 mm), avente una grossa freccia o una doppia freccia. Dovrebbe avere uno sfondo giallo con il simbolo nero. La figura 64 mostra il segnale di direzione obbligata. Esso dovrebbe essere posizionato all'esterno di una curva oppure sul lato opposto di un incrocio, in linea oppure perpendicolarmente al traffico che si avvicina.

Il segnale di direzione obbligata dovrebbe essere visibile al minimo da 500 ft (153 metri). Una serie di tentativi, condotti di giorno e di notte, possono essere consigliabili per determinarne la collocazione finale.

### *Delineatore Modulare di Curva o segnale Chevron (Chevron Sign) (W1-8)*

Un segnale Chevron (figura 64) può essere utilizzato come alternativa o integrazione ai delineatori standard e ai segnali di direzione obbligata. Il segnale Chevron è utilizzato per dare notizia di un brusco cambiamento dell'allineamento stradale. Il segnale Chevron fornisce un'ulteriore evidenza e guida ai conducenti per quanto riguarda i cambiamenti nell'allineamento orizzontale della carreggiata.

Il segnale Chevron dovrebbe essere un rettangolo verticale con una dimensione minima di 12÷18 in (305÷457 mm). Dovrebbe avere uno sfondo giallo con il simbolo chevron in nero. La dimensione del segnale utilizzato sarà determinata da indagini tecniche.

Il segnale Chevron è eretto all'esterno di una curva, una svolta brusca, o sul lato opposto di un'intersezione, allineato o ad angolo retto rispetto al traffico sopraggiungente. I segnali dovrebbero essere distanziati in modo che due dei segnali saranno sempre visibili al conducente, fino a quando non c'è più bisogno della segnalazione del cambiamento di allineamento. I segnali Chevron dovrebbero essere visibili da almeno 500 ft (153 m); una serie di tentativi, condotti di giorno e di notte, sono consigliabili per determinarne la posizione finale.

### **Delineatori di barriera**

I delineatori di barriera sono unità retroriflettenti che si montano sui guardrails, barriere in calcestruzzo, e parapetti di ponte. Essi sono bianchi o ambra per conformarsi alle strisce che essi integrano. La figura 65 mostra esempi di delineatori di barriera. Le unità retroriflettenti sono fatte di fogli retroriflettenti ad alta intensità o catadiottri prismatici. I delineatori di barriera non dovrebbero prendere il posto dei delineatori di margine standard.

### **Simboli della pavimentazione**

I tracciamenti di parole e simboli sulla pavimentazione guidano, avvertono e regolano il traffico. Essi dovrebbero essere limitati a non più di tre tratti di informazione. Essi saranno bianchi e, se utilizzati di notte, dovrebbero essere retroriflettenti. Essi consistono in strisce pedonali, strisce di parcheggio, frecce direzionali, simboli, strisce sul marciapiede per limitazioni al parcheggio, frecce di direzione errata, strisce di corsia preferenziale, indicazione dei limiti di velocità, strisce di attraversamento ferroviario, strisce di pista ciclabile, ed altre strisce.

### *Strisce pedonali*

Le strisce pedonali, agli incroci "segnalati" (con semafori), e in prossimità di incroci non "segnalati", in cui ci sono segnali di stop del traffico, servono per guidare i pedoni nel proprio percorso. Le strisce pedonali, che attraversano strade in cui il traffico non è controllato da semafori o segnali di stop, avvisano anche i conducenti della presenza di un punto di attraversamento pedonale. In tratti dove non ci sono incroci, tali strisce stabiliscono legalmente l'attraversamento pedonale.

Le strisce pedonali saranno di colore bianco uniforme, tracciando entrambi i margini del passaggio pedonale. Esse dovrebbero essere larghe non meno di 6 in (152 mm) e dovrebbero essere distanziate fra loro non meno di 6 ft (1.8 m). In particolari condizioni, dove non c'è un segnale di stop, o dove la velocità eccede le 35 mph (56 km/h), o dove le strisce pedonali sono inattese, è forse consigliabile incrementare la larghezza della striscia a 24 in (610 mm). Strisce pedonali sono mostrate in figura 66.

I passaggi pedonali dovrebbero essere tracciati in tutti gli incroci dove è sistematico il contrasto fra il movimento veicolare e quello pedonale. I passaggi pedonali tracciati dovrebbero essere previsti anche in altri punti dove c'è concentrazione di pedoni, come salvagenti o dove i pedoni non potrebbero in qualche modo riconoscere il luogo appropriato di attraversamento.

Le strisce pedonali non dovrebbero essere utilizzate indiscriminatamente. Un studio tecnico dovrebbe essere eseguito prima della loro installazione in luoghi lontani dai semafori e dai segnali di stop.

Poiché gli attraversamenti pedonali non posizionati agli incroci sono imprevedibili per il conducente, segnali di avviso dovrebbero essere installati e un'adeguata visibilità fornita dal divieto di parcheggio.

Per una migliore visibilità l'area di attraversamento pedonale può essere tracciata con strisce bianche diagonali che formano un angolo di 45° o con strisce longitudinali che formano un angolo di 90° rispetto alle linee che delimitano l'area pedonale. Queste strisce dovrebbero essere larghe da 12 a 24 in (305 a 610 mm) e distanziate fra loro di 12÷24 in (305÷610 mm). Quando strisce diagonali o longitudinali sono utilizzate per tracciare l'attraversamento pedonale, le linee trasversali possono essere omesse. Questo tipo di tracciamento è utilizzato nei luoghi dove un sostanziale numero di pedoni attraversa la strada senza alcun dispositivo di controllo del traffico, nei luoghi in cui le condizioni fisiche sono tali che una migliore visibilità è desiderata, oppure dove un attraversamento pedonale è improvviso.

Quando un semaforo esclusivamente pedonale, che permette l'attraversamento in diagonale, è installato in un incrocio, un'unica striscia può essere utilizzata per l'attraversamento (figura 67).

### *Strisce di parcheggio*

Le strisce che limitano le aree di parcheggio sulle strade urbane servono per ordinare e rendere efficiente l'utilizzo degli spazi di parcheggio. Esse tendono a prevenire l'invasione delle zone dove sono posizionati idranti, delle fermate dei autobus, delle zone in prossimità di incroci, delle zone di carico, degli spazi fra salvagenti, ed altre zone dove il parcheggio è vietato. Le strisce di parcheggio dovrebbero essere bianche. Tipiche strisce di parcheggio sono mostrate in figura 68.

### *Frecce direzionali*

Le frecce direzionali servono per comunicare messaggi di guida o di direzione obbligatoria. Comunque dove le frecce sono utilizzate per comunicare movimenti obbligatori, il tracciamento della freccia nella corsia abilitata dovrebbe essere fatto e dovrebbe essere accompagnato da segnali standard e dalla parola "ONLY". Le frecce direzionali possono essere utilizzate nelle corsie a doppio senso di marcia per la svolta a sinistra ed in tutte le

corsie "abilitate" alla svolta a sinistra e a destra. I segnali e le frecce dovrebbero essere ripetute prima delle corsie di svolta obbligatoria quando è necessario prevenire ingorghi e aiutare i guidatori a selezionare l'appropriata corsia prima di raggiungere la fine della fila di veicoli.

### *Lettere e numeri sulla pavimentazione*

Tutte le lettere, i numeri ed i simboli dovrebbero essere conformi allo "*Standard Alphabets for Highway Signs and Pavement Markings*". Si utilizzano lettere e numeri di 8 ft (2.4 m) o più in altezza. Se il messaggio consiste di più parole, esso dovrebbe essere letto verso l'alto; e cioè la prima parola dovrebbe essere più vicina al guidatore. Messaggi in simboli sono preferibili a quelli in parole.

Dove le velocità sono basse, le dimensioni delle lettere, dei numeri e dei simboli possono essere ridotte di un terzo. Lo spazio longitudinale fra parole, simboli, incluse le frecce, dovrebbe essere al minimo 4 volte l'altezza del carattere, per strade a bassa velocità, ma non più di 10 volte l'altezza del carattere in altre condizioni. Esempi di tracciamenti di parole e frecce sono mostrati nelle figure da 70 a 72.

Poiché un utilizzo incontrollato del tracciamento stradale può confondere i guidatori, il numero di parole e di simboli differenti dovrebbe essere minimizzato.

La parola "STOP" non dovrebbe essere utilizzata senza essere accompagnata o dal segnale di stop o dalla linea di stop.

Eccetto che per il messaggio "SCHOOL", i messaggi non dovrebbero essere più larghi di una corsia.

### *Tracciamenti del bordo stradale per le restrizioni al parcheggio*

Poiché le strisce del bordo stradale, in giallo e bianco, sono utilizzate per la delineazione e la visibilità, è di solito consigliabile stabilire delle regolamentazioni al parcheggio attraverso l'installazione di segnali standard. Comunque quando le autorità locali prescrivono colori speciali per le strisce dei bordi stradali, come integrazione ai segnali standard, essi (i colori) possono essere utilizzati. Quando i segnali non sono utilizzati, il significato inteso dal colore dovrebbe essere stampigliato sul marciapiede. I segnali dovrebbero essere sempre utilizzati con il tracciamento dei bordi in quelle aree dove le strisce sono frequentemente coperte dall'accumulo di neve e ghiaccio.

### *Tracciamenti delle corsie preferenziali*

I tracciamenti delle corsie preferenziali comunicano una restrizione ad una classe o più classi di veicoli cui è permesso l'utilizzo della corsia, ed esse integrano segnali che comunicano la specifica restrizione. I segnali dovrebbero essere utilizzati con le strisce di corsia preferenziale.

Quando una corsia è assegnata a tempo pieno o part-time ad una particolare classe o a varie classi di veicoli, le strisce di corsia preferenziale dovrebbero essere impiegate. Le corsie preferenziali possono essere tali solo per un certo periodo del giorno e possono occupare un tratto di strada non normalmente progettato a tale proposito. In questi casi le strisce devono essere conformi al proposito cui la corsia si presta per la maggior parte del tempo. Bisogna vedere se è necessario utilizzare dispositivi integrativi, come i cordoli, i coni e le luci lampeggianti.

Le strisce di corsia preferenziale dovrebbero essere a forma di diamante allungato come dettagliato nello "*Standard Alphabets for Highway Signs and Pavement Markings*". Il diamante dovrebbe essere costituito da strisce bianche larghe minimo 6 in (152 mm). La forma del diamante dovrebbe essere larga minimo 2.5 ft

(0.76 m) e lunga 12 ft (3.7 m), e dovrebbe essere posizionata coincidente con il centro longitudinale di ogni corsia preferenziale.

La frequenza con cui il tracciamento è posizionato è una questione di natura tecnica basata sulla velocità prevalente, lunghezza del tratto, distanza dagli incroci, ed altre considerazioni necessarie per un'adeguata comunicazione al guidatore. Una spaziatura di 80 ft (24 m) può essere appropriata per una strada di città, mentre una spaziatura di 1000 ft (305 m) può essere appropriata per un'autostrada.

Il tracciamento di parole può integrare, ma non sostituire, le linee di corsia preferenziale.

#### *Tracciamento dei limiti di velocità*

I tracciamenti dei limiti di velocità sono trasversali e posizionati sulla pavimentazione per rimarcare i limiti di velocità. Essi dovrebbero essere bianchi, e di larghezza non maggiore di 24 in (610 mm). Esse si possono estendere a circa 2 ft (0.6 m), da entrambi i lati delle linee di mezzzeria o di margine delle strade, ad intervalli di 0.25 miglia (0.8 km) per più di 1 miglio (1.6 km) di tratto stradale. Cartelli indicatori di velocità possono essere utilizzati insieme a questi tracciamenti.

#### *Strisce di attraversamento ferroviario*

Simboli sulla pavimentazione prima di un attraversamento ferroviario dovrebbero consistere di una "X", delle lettere "RR", di una striscia di divieto di passaggio (strade a due corsie), e di strisce trasversali. Strisce identiche dovrebbero essere posizionate su ciascuna corsia che si approssima agli attraversamenti ferroviari, dove segnali di attraversamento o barre automatiche sono posizionate, ed in tutti gli altri attraversamenti ferroviari dove la velocità del traffico prevalente è di 40 mph (64 km/h) o più. Una parte del simbolo dovrebbe essere direttamente di fronte al precedente segnale di avviso. Se necessario tracciamenti supplementari possono essere posizionati fra il precedente segnale di avviso e il passaggio dei binari.

Il tracciamento dovrebbe anche essere posizionato in prossimità dell'attraversamento dei binari dove i pareri tecnici indicano che c'è un potenziale conflitto fra i veicoli e i treni. In attraversamenti più piccoli oppure in aree urbane questi tracciamenti possono essere omessi, se il parere tecnico indica che altri dispositivi installati forniscono un adeguato controllo.

Il modello di tracciamento per l'attraversamento ferroviario dovrebbe essere come illustrato in figura 73. I simboli e le lettere sono allungate per tener conto del basso angolo con cui sono viste. Tutti i tracciamenti dovrebbero essere di un bianco retroriflettente, eccetto per le strisce di non passaggio che dovrebbero essere di un giallo retroriflettente. La figura 74 mostra il segno X e le lettere RR.

#### *Strisce per le biciclette*

Le strisce sono importanti su carreggiate che hanno una corsia per le biciclette. Tali strisce determinano la separazione delle corsie delle automobili e quelle delle biciclette, assistono i ciclisti indicando i percorsi di guida assegnati, e possono fornire in anticipo informazioni sulle manovre di svolta ed attraversamento.

#### *Principi generali*

Sebbene le biciclette non siano dotate di forti luci, è consigliabile aumentare la visibilità con l'uso di strisce retroriflettenti anche nelle piste ciclabili. Le strisce dovrebbero essere retroriflettenti sia nelle piste ciclabili sia nelle corsie riservate ai motocicli ed alle biciclette. Le linee guida per il riconoscimento delle corsie riservate ai ciclisti dovrebbero essere utilizzate quando si tracciano le strisce per una corsia ciclabile su una strada.

L'uso frequente di simboli e parole stampigliate nelle corsie ciclabili è un metodo consigliabile per supportare i segnali di messaggio. Le figure da 75 a 77 sono degli esempi dell'applicazione di strisce, messaggi scritti e simboli progettati per le corsie ciclabili con o senza parcheggio per le auto. Se un percorso specifico, per l'attraversamento di un incrocio da parte di un ciclista, deve essere progettato, una striscia tratteggiata potrebbe essere utilizzata per definire tale percorso.

### *Requisiti delle strisce e dei colori*

Il colore ed il tipo di striscia utilizzati per tracciare le piste ciclabili sono definiti nella sezione 3A-7 del MUTCD. Normalmente le linee di mezzzeria non sono richieste nelle piste ciclabili. Dove le condizioni rendono consigliabile la separazione delle direzioni opposte di marcia, in particolari localizzazioni, una doppia striscia continua gialla dovrebbe essere utilizzata per indicare il divieto di superamento della striscia e di percorso sul lato sinistro della striscia.

Dove i percorsi ciclabili sono abbastanza larghi da progettare due corsie aventi una larghezza minima, linee tratteggiate possono essere utilizzate per separare le due direzioni di marcia.

Le linee tratteggiate utilizzate per le strisce ciclabili dovrebbero avere il normale rapporto fra l'intervallo delle linee e le linee di  $3\div 1$ . Per evitare degli intervalli troppo lunghi, strisce di 3 ft (1 m) potrebbero essere alternate ogni 9 ft (3 m). Dove i ciclisti ed i pedoni utilizzano la stessa corsia, può essere consigliabile separare i due flussi di traffico. Si può utilizzare un tracciamento uniforme bianco per marcare tale separazione. Il segnale R9-7 del MUTCD può essere utilizzato per integrare le strisce di separazione.

### *Tracciamento delle piste ciclabili*

Il simbolo a forma di diamante per le corsie preferenziali è utilizzato sulle carreggiate dove ci sono delle corsie che sono riservate esclusivamente a determinate classi di veicoli. Le piste ciclabili sono considerate come un tipo di corsia preferenziale e dovrebbero avere il simbolo della corsia preferenziale come tracciamento, con le appropriate segnalazioni (sezione 9B-8 del MUTCD). I simboli tracciati sulla pavimentazione dovrebbero essere bianchi e dovrebbero essere utilizzati appena prima di un incrocio per informare i conducenti della restrizione della corsia. Se il simbolo di corsia preferenziale fosse utilizzato insieme ad altri messaggi a parole o a simboli, esso dovrebbe precedere tali messaggi. I simboli e le parole supplementari possono essere utilizzati come mostrato nelle figure da 75÷77.

### *Messaggi con parole e simboli*

Dove dei messaggi sono da applicare sulla pavimentazione, lettere più piccole possono essere utilizzate sulle piste ciclabili rispetto a quelle utilizzate sulle corsie di traffico normale. Si utilizzano frecce di dimensioni dimezzate, dove è richiesto l'uso di frecce (sezione 3B-17 del MUTCD). Tracciamenti di simboli e parole appropriati, con il simbolo di corsia preferenziale, sono mostrate in figura 77. Alfabeti standard di lettere e simboli sono stati preparati.

### *Segnalatori di oggetti sulle piste ciclabili*

Ci possono essere oggetti pericolosi posizionati vicino alle piste ciclabili che, se visibili ai ciclisti, possono essere evitati senza troppa difficoltà. Tali oggetti dovrebbero essere demarcati con tracciamenti altamente visibili per rendere il pericolo, che essi rappresentano, più facilmente percepibile. Attenzione dovrebbe essere presa per evitare che tali segnalatori di oggetti non diventino essi stessi degli oggetti pericolosi. Gli spigoli dei segnalatori di oggetti, a livello di progetto, dovrebbero essere arrotondati per prevenirne la pericolosità. Tutti i segnalatori di oggetti dovrebbero essere progettati utilizzando materiali o coperture retroriflettenti. Dove è possibile, i segnalatori, quali quelli suddetti, dovrebbero essere utilizzati.

## *Inserzioni, grate ed altri pericoli*

Dove un tombino non può essere eliminato, può essere reso visibile al ciclista mediante una striscia bianca applicata come in figura 78.

## **PRESTAZIONI**

I simboli sulla pavimentazione ed gli altri dispositivi di delineazione hanno la stessa visibilità e durabilità degli altri tracciamenti stradali. Ciò vuol dire che i segnalatori di oggetti ed i segnali possono perdere la propria retroriflessione e la loro visibilità notturna sarà ridotta considerevolmente. I precedenti capitoli hanno descritto le prestazioni di specifici materiali utilizzati nella delineazione stradale.

## **INSTALLAZIONE, MANUTENZIONE E RIMOZIONE**

Le tecniche di installazione, manutenzione e rimozione per gli altri dispositivi di delineazione variano enormemente, dipendentemente dalla classe del dispositivo. Le sezioni seguenti trattano i maggiori aspetti per i segnalatori di oggetti, i segnali di avviso, i delineatori di barriera ed i simboli sulla pavimentazione.

### **Segnalatori di oggetti**

I segnalatori di oggetti vengono ispezionati in base al deterioramento e al vandalismo. Inoltre la retroriflessione dei catadiottri può essere controllata utilizzando dei fari anabbaglianti standard di automobile per la distanza di adeguata visibilità.

Quando utilizzati per segnalare oggetti in strada a 8 ft (2.4 m) o meno dal margine o dal marciapiede, l'altezza del supporto al di sotto del segnalatore di oggetti dovrebbe essere di 4 ft (1.2 m) al di sopra della superficie della corsia più vicina. Quando utilizzato per segnalare oggetti a più di 8 ft (2.4 m) dal margine o dal marciapiede, l'altezza del supporto al di sotto del segnalatore di oggetti può essere 4 ft (1.2 m) al di sopra del terreno.

Quando i segnalatori di oggetti sono applicati ad oggetti pericolosi, che per la loro natura richiedono un supporto più o meno alto, l'altezza del supporto verticale può variare a seconda delle necessità.

### **Segnali di avviso**

I segnali di avviso dovrebbero essere eretti in accordo ai requisiti per la posizione dei segnali come mostrato in figura 79.

La determinazione della particolare curva da segnalare dipende dalla velocità con cui la curva può essere attraversata con sicurezza. Questa velocità di sicurezza può essere determinata mediante tre metodi.

Il primo metodo consiste in una tecnica grafica. Conoscendo il raggio di curvatura e il tasso di sopraelevazione, la velocità di sicurezza raccomandata può essere ottenuta dal grafico in figura 80. Si entra sull'asse verticale del grafico al raggio R. Ci si muove orizzontalmente verso la curva che rappresenta la sopraelevazione E. Quindi ci si muove verso il basso per leggere sull'asse orizzontale la velocità di sicurezza.

Il secondo metodo impiega un dispositivo meccanico, un indicatore di inclinazione trasversale a palla (ball bank indicator). Tale indicatore (figura 81) è montato dentro un veicolo a quattro ruote e la velocità di sicurezza è determinata attraverso una serie di corse. La lettura dell'indicatore mostrerà gli effetti combinati dell'angolo di rollio del corpo, della forza centrifuga e dell'angolo di sopraelevazione. Il veicolo è guidato, in

una serie di prove di collaudo, in entrambe le direzioni, parallele alla linea di mezzzeria della curva. La curva non dovrebbe essere "tagliata", portando il margine interno verso il centro della curva.

Il primo collaudo è fatto ad una velocità che è piuttosto al di sotto della massima velocità di sicurezza prevista. Le prove seguenti sono condotte incrementando la velocità di 5 mph (8 km/h) alla volta. Se una lettura di 14° o più viene fatta ad una velocità di 20 mph (32 km/h) o meno, allora la velocità di sicurezza è al di sotto i 20 mph (32 km/h). La curva dovrebbe essere segnalata per 10÷15 mph (16÷24 km/h), laddove una lettura di 14° viene presa. Per velocità di sicurezza di 20, 25 30 mph (32, 40, 48 km/h) è richiesta una lettura di 12°. Per una velocità di 35 mph (56 km/h) o più, è richiesta una lettura di 10° per indicare quella come velocità di sicurezza.

Bisogna valutare le curve in entrambe le direzioni quando si utilizza tale metodo. Molte volte è preferibile utilizzare la condizione di velocità più bassa per segnalare l'approccio della curva in entrambe le direzioni.

Mentre alcune compagnie utilizzano il sistema dei 14°, 12°, 10° per segnalare le curve, altre utilizzano dei criteri più conservativi. In alcuni Stati per esempio una lettura di 10° a qualsiasi velocità indica la massima velocità di sicurezza. Prima di utilizzare la procedura dell'indicatore di inclinazione trasversale a palla, controllare il criterio di accettazione per l'area in questione.

Il sistema di acquisizione dei dati (mostrato in figura 82) è una versione elettronica dell'indicatore di inclinazione trasversale a palla. È montato nel veicolo di prova ed è messo in funzione dal guidatore collaudatore. Il sistema di acquisizione dei dati è utilizzato per stabilire la velocità segnalata sulle curve di autostrade. L'unità fornisce una lettura stampata delle curve a sinistra ed a destra; registrazioni della distanza, velocità ed angoli della zona testata; registrazioni della pendenza trasversale; registrazioni delle informazioni riguardo alla prova; e fornisce i dati ed il tempo delle prove. È anche compatibile con il PC.

Un terzo metodo per la determinazione del limite di velocità di una curva è l'applicazione della seguente formula:

$$V^2=15 R (E+F)$$

Dove:

$$\begin{aligned} V &= \text{velocità in mph (km/h)} \\ R &= \text{raggio di curvatura in ft (m)} \\ E &= \text{sopraelevazione in ft/ft (m/m)} \\ F &= \text{coefficiente di sicurezza dell'attrito} \end{aligned}$$

La velocità raccomandata è determinata da uno dei metodi di cui sopra, che alternativamente determinano se applicare un segnale di svolta o di curva.

Poiché i segnali di avviso sono principalmente a beneficio del conducente che è poco esperto della strada, è importante posizionare i segnali con attenzione. I segnali di avviso dovrebbero fornire al conducente un adeguato tempo per percepire, identificare, decidere ed eseguire qualsiasi manovra necessaria. Questo intervallo di tempo, per percepire e completare la reazione al segnale, è la somma di intervalli di tempo necessari per la percezione, identificazione/comprendimento, sensibilità/decisione di cosa fare, volontà/esecuzione della decisione, ed è riferito come tempo PIEV. Tale intervallo di tempo può variare da circa tre secondi, per segnali di avviso generali, a 10 secondi, per segnali di avviso utilizzati in aree che richiedono una decisione più importante del guidatore.

La tabella 15 elenca le distanze minime suggerite per la collocazione dei segnali che possono utilizzarsi per le tre seguenti condizioni:

1. *Condizione A*: il guidatore avrà bisogno di un tempo extra per prendere ed eseguire una decisione a causa di un complesso di situazioni di guida ;
2. *Condizione B*: al guidatore sarà richiesto presumibilmente di fermarsi;
3. *Condizione C*: al guidatore sarà richiesto presumibilmente di decelerare ad una velocità specifica.

La tabella 15 è d'aiuto per determinare la posizione dei segnali di avviso. I valori sulla tabella sono solo di guida e dovrebbero essere applicati con una certa attenzione. La collocazione di segnali di avviso temporanei, utilizzati nei lavori di costruzione e manutenzione stradale, è contemplata nella parte 6 del MUTCD. Le minime distanze di collocazione del segnale, date nella tabella 15, possono non applicarsi a quel gruppo di segnali.

L'efficacia del posizionamento di ciascun segnale di avviso dovrebbe essere provata periodicamente, sia di notte che di giorno. Linee guida per l'ispezione e la manutenzione dei segnali sono presentate in un report della FHWA di Mc Gee e Mace. L'ispezione dovrebbe includere i seguenti aspetti:

- Condizione di rottura del segnale, di comparsa di rigonfiamenti o perdita del messaggio, visibile dalla strada;
- Orientazione e stabilità strutturale del supporto;
- Scolorimento, rigatura o deperimento del segnale;
- Visibilità del segnale dalla strada per la presenza di piante o nuove strutture che coprono il segnale;
- Sporco od altre sostanze sul segnale;
- Vandalismo o incidenti che hanno danneggiato il segnale;
- Scarsa retroriflessione.

Tutti i segnali diminuiscono la propria retroriflessione nel tempo. Il deterioramento è il risultato dell'azione dei raggi solari, umidità, inquinanti ed anche delle reazioni chimiche tra la pellicola ed il supporto. La perdita di retroriflessione avviene anche per colpi di armi da fuoco, graffiti e impatti di veicoli. La figura 83 mostra segnali danneggiati da atti vandalici.

Tecniche per valutare la perdita di retroriflessione variano dalla semplice osservazione visiva all'uso di dispositivi ottici ed elettronici complessi. Il metodo più semplice è quello di guidare di notte e constatare ovviamente la deficienza di retroriflessione. Un ispettore esperto può determinare quando un segnale è inefficiente.

Anche procedure per l'ispezione diurna esistono. Un proiettore di 200000 candele è puntato verso il segnale mentre il veicolo si muove sulla strada. Il raggio, dal proiettore tenuto in mano, alimentato dalla batteria del veicolo, è puntato verso il segnale dal guidatore o dal passeggero. Con un po' di addestramento l'ispettore può scoprire i segnali inefficienti. La figura 84 mostra il proiettore, che viene alimentato tramite l'accendisigaro della macchina, ed un'applicazione del suo impiego diurno per controllare la retroriflessione del segnale.

La figura 85 mostra un esempio di segnale di avviso con retroriflessione deteriorata. Il proiettore ad alta potenza, che illumina il segnale, evidenzia che quello più vecchio, il segnale deteriorato sulla sinistra, esibisce una scarsa retroriflessione. Il segnale più nuovo, sulla destra, è brillante e sembra incandescente.

Il metodo più accurato è utilizzare un retroriflettometro portatile per misurare la retroriflessione di un segnale sul campo. La procedura richiede una certa perdita di tempo e dovrebbe essere limitata ai segnali in questione, scoperti da un'ispezione visiva, o per quei segnali identificati, per una possibile sostituzione, da un inventario dei segnali. Nella figura 86 la retroriflessione di un segnale è controllata con un retroriflettometro portatile.

L'FHWA ha sviluppato un'unità mobile per misurare la retroriflessione di un segnale. Il TSE (traffic sign evaluator: valutatore dei segnali di traffico) è montato in un furgone e registra la retroriflessione del segnale mentre il furgone viaggia lungo la strada durante le ore diurne. Il dispositivo è adatto ai programmi di gestione dei segnali di una compagnia stradale.

Sivak e Olson hanno trovato che la media geometrica del valore di luminanza raccomandato per la sostituzione, in altri sette studi di ricerca, è stato di  $0.23 \text{ cd/ft}^2$  ( $2.4 \text{ cd/m}^2$ ). Questo è il valore suggerito per la sostituzione del segnale. Questo dovrebbe essere applicato a iscrizioni chiare su sfondi scuri (verde, blu, rosso e marrone) fino a  $0.04 \text{ cd/ft}^2$  ( $0.4 \text{ cd/m}^2$ ), ed a sfondi chiari (bianco, giallo e arancione) con iscrizioni scure. Assumendo una luminanza ottimale del segnale di  $7 \text{ cd/ft}^2$  ( $75 \text{ cd/m}^2$ ), essi suggeriscono i seguenti valori del coefficiente di retroriflessione per le seguenti quattro posizioni del segnale (vedere tabella 10):

- Sul lato sinistro:  $90 \text{ cd/lux m}^2$ ;
- Montato sopra la strada:  $114 \text{ cd/lux m}^2$ ;
- Sul lato destro:  $24 \text{ cd/lux m}^2$ ;
- Segnali di guida montati sul terreno:  $27 \text{ cd/lux m}^2$ .

L'utilizzo di un valore medio di  $0.23 \text{ cd/ft}^2$  ( $2.4 \text{ cd/m}^2$ ) si riferisce ad un percentile di sostituzione del solo 50%. Vari fattori, che suggeriscono un aggiustamento verso l'alto, includono i sistemi di fari che utilizzano l'anabbagliante di tipo europeo, l'alta luminanza dell'ambiente circostante, l'abbagliamento ambientale, l'età del conducente, l'angolo di osservazione dei camionisti, conducenti sotto l'effetto dell'alcool o di altre sostanze, segnali sporchi, e fari sporchi o non allineati.

La manutenzione del segnale è importante per tenere la retroriflessione a livelli accettabili. I segnali dovrebbero essere controllati per i danni e per la pulizia, durante le regolari ispezioni. I segnali danneggiati possono essere riparati utilizzando tecniche di copertura. I segnali piccoli possono essere riciclati spogliando la faccia del segnale e applicando una nuova pellicola.

La maggior parte dei segnali di avviso permanenti non hanno bisogno di essere lavati. Comunque in alcuni luoghi una soluzione non detergente media può essere utilizzata, se è necessario, per rimuovere lo sporco. Altri metodi esistono per particolari problemi di pulizia.

## **Delineatori di barriera**

I delineatori di barriera attualmente comprendono una varietà di differenti tecniche di montaggio o attacco dell'elemento retroriflettente alle barriere portatili in cemento. In questo modo le tecniche di installazione utilizzate possono variare di molto fra una marca di delineatore e l'altra. Inoltre le compagnie stradali devono decidere se i delineatori di barriera devono essere montati sulla parte superiore o a lato della barriera e quanto devono essere spazati fra loro.

I delineatori di barriera sono simili agli inserti stradali (RPM) in quello che è il principale problema connesso con il loro utilizzo, e cioè come essi si sporcano velocemente. Quando sporchi le prestazioni dei delineatori di barriera possono degradare al punto che essi non sono più considerati efficienti. I delineatori montati a lato della barriera aggravano questo problema poiché, essendo più vicino alla superficie della strada, hanno la tendenza ad accumulare più sporco e gli spruzzi dei veicoli che passano.

I delineatori di barriera montati superiormente mitigano alquanto il problema connesso con gli spruzzi provenienti dalla strada, ma la loro efficienza decresce, rispetto a quella dei delineatori montati di lato, in presenza dell'abbagliamento dei fari dei veicoli che procedono in direzione opposta. Ovviamente qualche compromesso deve essere fatto fra questi due fattori contrastanti.

Anche quando i delineatori sono montati superiormente la pulizia resta un problema. Uno studio di ricerca condotto dall'Istituto dei Trasporti del Texas (TTI), da parte di Ullman, Dudek e Allen, ha concluso che i delineatori sono efficienti nel migliorare le prestazioni dei conducenti, ma essi devono essere puliti per essere più efficienti. Essi hanno condotto un'indagine in tutti i distretti del Dipartimento dei Trasporti del Texas, nel tentativo di identificare come queste attività (di pulizia) erano realizzate. Al tempo della ricerca (1988), nessun metodo proficuo era stato utilizzato al posto della pulizia manuale, che era il metodo più utilizzato.

La pulizia manuale dei delineatori di barriera è laboriosa e di solito implica un elevato livello di esposizione al pericolo per gli operai coinvolti. Lo studio del TTI esaminò metodi alternativi e più sicuri di pulizia dei delineatori. Tre dei più promettenti sono presentati nello studio, che include un sistema di spazzole rotanti auto- alimentato, un sistema a testa a spazzola montato su di un camion ed uno spruzzatore di acqua ad alta pressione. I ricercatori hanno trovato che i dati delle prestazioni erano inconcludenti al momento, e che un'ulteriore ricerca era necessaria nel campo della fabbricazione e prova di questi sistemi.

I delineatori di barriera sono simili ai delineatori di margine (PMD) nel fatto che essi non sono normalmente rimossi durante la loro vita di servizio. I delineatori di barriera non sono neanche soggetti direttamente all'usura del traffico, cosicché gli abbattimenti non sono una preoccupazione come per i PMD. La manutenzione e la pulizia delle facce retroriflettenti è di solito il primo aspetto.

### **Simboli della pavimentazione**

Poiché i simboli sulla pavimentazione sono una forma di tracciamento stradale, la loro installazione, manutenzione e rimozione seguono linee guida diverse, a seconda del tipo particolare di materiale. Vedere il capitolo appropriato (relativo ai materiali) per dettagli più specifici.

# CAPITOLO 11

## GESTIONE DELLA DELINEAZIONE STRADALE

### INTRODUZIONE

Un sistema efficiente di gestione della delineaazione stradale è necessario per ottenere una delineaazione sicura ed efficiente. Programmi devono essere approntati per monitorare e registrare le prestazioni dei sistemi di delineaazione installati.

Questo capitolo descriverà alcuni approcci che sono stati adottati per tale proposito. Inoltre alcune raccomandazioni identificheranno una gestione efficiente basata sulle ultime tecniche e ricerche.

### SICUREZZA E MANUTENZIONE ANNUALE

Per ottenere un sistema di delineaazione il più sicuro possibile, la gestione della delineaazione stradale deve essere un programma annuale strettamente rispettato. La gestione da parte delle compagnie stradali del sistema segnaletico consiste nelle seguenti responsabilità:

- Definire un sistema da cui le correnti tecniche, per misurare le prestazioni della delineaazione stradale, siano obiettivamente valutate;
- Istituire un sistema per inventariare i segnali, la loro condizione e le loro prestazioni passate;
- Controllare la collezione di informazioni per la risultante banca dati;
- Creare delle specifiche che normalizzino le procedure approvate e le attrezzature per la collezione dei dati;
- Preparare e certificare ispettori sul campo.

### RETRORIFLESSIONE MINIMA

La retroriflessione è il metodo più comunemente utilizzato per valutare le prestazioni delle tecniche di delineaazione. La ricerca ha stabilito che le proprietà di retroriflessione notturna, di una tecnica di delineaazione, sono direttamente relazionate alla sua efficienza soggettiva. Uno studio di questo genere è stato effettuato dall'università della North Carolina. Lo studio ha mostrato che se una striscia stradale è efficiente di notte (ha buone proprietà di retroriflessione), essa avrà probabilmente buone prestazioni di giorno.

In questo capitolo ci si concentra sull'impiego di un livello minimo di retroriflessione per stabilire l'efficienza della delineaazione. La stessa ricerca, menzionata sopra, ha anche tentato di stabilire un valore minimo di retroriflessione per un'adeguata visibilità. A causa delle difficoltà connesse con le tecniche di misura, questi valori spesso non corrispondono esattamente fra loro utilizzando differenti strumenti di misura (tabella 17).

Recentemente la correlazione fra gli strumenti è migliorata, poiché molti costruttori di strumenti hanno cominciato a produrre strumenti dotati di una geometria fine, con grande somiglianza nella misurazione di angoli ed aree. Con una adatta calibrazione questi strumenti possono normalmente fare assegnamento su una correlazione entro il 10% circa di accuratezza. Molti diversi gruppi di ricercatori sono arrivati ad un valore di circa 100 mcd/lux x m<sup>2</sup> come valore minimo per il coefficiente di luminanza retroriflesso,  $R_L$ , per strisce stradali.

In generale la compagnia stradale media non ha bisogno di occuparsi dei problemi nella definizione degli standards. Essa dovrebbe focalizzare la sua attenzione nella selezione di un appropriato strumento e utilizzare quello strumento in modo consistente per ottenere valori reali.

## INVENTARIO

Ogni staff gestionale di una compagnia stradale dovrebbe stabilire un sistema per inventariare tutta la segnaletica stradale applicata nella giurisdizione della stessa compagnia. In questo modo la compagnia può monitorare ogni tratto di strada e determinare quali tecniche e trattamenti sembrano essere i più efficienti tale tratto. Inoltre un regolare sistema di inventario stradale aiuterà la compagnia stradale ad identificare situazioni e luoghi che stanno diventando pericolosi.

### Informatizzazione

Banche dati computerizzate, che registrano ogni informazione sulla delineaazione, costituiscono un metodo per inventariare le strade. Questi sistemi consistono di un computer che registra qualsiasi caratteristica per l'applicazione della delineaazione e qualsiasi informazione vitale. Qualsiasi immissione nel database potrebbe consistere in un particolare progetto di tracciamento. Alternativamente il sistema stradale potrebbe essere diviso in sezioni, ciascuna delle quali viene monitorata separatamente. Le informazioni incluse potrebbero essere il tipo di dispositivo segnaletico, i materiali utilizzati, la posizione e lo stato corrente dei dispositivi. Questi sistemi faranno normalmente affidamento su valutazioni notturne soggettive della retroriflessione o sulla lettura di valori presi con uno strumento portatile. La sezione seguente descrive come queste valutazioni soggettive dovrebbero essere eseguite.

### Registrazione fotografica

Il concetto di inventario per registrazione fotografica può essere illustrato con un esempio. Uno studio effettuato in Texas ha proposto un sistema per valutare l'efficienza degli inserti stradali (RPM). La procedura ha quattro possibili punti: creazione di un inventario fotografico, valutazione in sito dell'efficienza degli RPM, utilizzo di fotografie di manutenzione, e decisione degli interventi appropriati.

1. *Inventario fotografico*: I siti che devono essere valutati dovrebbero essere inventariati fotograficamente da un veicolo. La composizione dell'appropriata macchina fotografica dovrebbe essere o un otturatore da 1/60 di secondo e posiziatore di apertura 1.4, oppure otturatore da 1/30 di secondo e posiziatore di apertura 1.8. Una pellicola ad alta velocità da 35 mm, come l'ASA 400, oppure una pellicola night B-mm, come Type G ,dovrebbero essere utilizzate.
2. *Valutazione del sito*: Un gruppo di esperti di cinque, sette o nove individui, selezionato dal personale del distretto dovrebbe esaminare le foto del sito che deve essere valutato. Questo gruppo non è così numeroso, in modo tale da far effettuare la valutazione tutti insieme tenendo conto dei rispettivi programmi. Il numero dispari serve per prevenire le parità.

Il sito in questione sarà valutato in base all'efficienza degli RPM in esso posizionati. Una regola empirica accettata è quella per cui se il 50% degli RPM è perso, il sistema è inefficiente. Un sistema è semi-efficiente quando il 20÷30% degli RPM è perso. Gli RPM diventano inefficienti quando la loro intensità specifica è 0.05 cd/ft-cd o meno, per il 75% degli RPM rimanenti. Un sistema è semi- efficiente quando il 75% degli RPM rimanenti hanno un'intensità specifica fra 0.2 e 0.4 cd/ft-cd. Durante il periodo in cui è stato condotto questo studio il solo modo per determinare l'intensità specifica degli RPM era sia rimuovere molti RPM casualmente selezionati per l'analisi in laboratorio, sia utilizzare un camion fotometrico.

3. *Fotografie di manutenzione*: Quando il gruppo di esperti non può decidere sull'efficienza degli RPM in base alle loro proprietà fisiche, una serie di diapositive di manutenzione dovrebbe essere utilizzata. Una procedura suggerita è che ogni membro del gruppo di esperti osservi individualmente la diapositiva del

sito in questione e consideri la serie di standard di manutenzione. Dopo che ciascun membro ha selezionato lo standard più opportuno, il gruppo di esperti dovrebbe riunirsi nuovamente. Una decisione dovrebbe essere raggiunta utilizzando la serie standard di fotografie.

4. *Interventi appropriati*: Se un luogo è giudicato essere semi- efficiente o inefficiente, la decisione appropriata dovrebbe essere presa e l'attività di manutenzione, decisa dalla valutazione del gruppo di esperti, dovrebbe cominciare.

I membri del gruppo di esperti dovrebbe valutare l'efficienza del sito in base alle seguenti linee guida:

*Efficiente*: Un sito dovrebbe essere giudicato efficiente se, nella mente di chi valuta, il sistema di RPM garantisce l'informazione sufficiente ai conducenti senza che alcuna manutenzione sia necessaria al sito. Chi valuta dovrebbe giudicare l'efficienza in base al numero di RPM persi, alla visibilità degli RPM rimanenti, alle condizioni di prova, al colore degli RPM, alla spaziatura degli RPM ed alla funzione che si vuole realizzare con l'impiego degli RPM.

*Semi- efficiente*: Un sito dovrebbe essere semi- efficiente se dovesse aver bisogno di manutenzione entro i prossimi 6÷12 mesi per ritenerlo efficiente. Il completamento della necessaria manutenzione dovrebbe dipendere dalla disponibilità dei fondi e dalla posizione del sito nel programma di manutenzione. I sistemi semi- efficienti sono quelli che, nel periodo in cui la localizzazione è stata valutata, i conducenti hanno considerato gli RPM fornire informazioni sufficienti solo marginalmente.

*Inefficiente*: Un sito è inefficiente se gli RPM non forniscono una sufficiente informazione visiva al conducente e una manutenzione immediata è richiesta. Nessun altro trattamento, eccetto la manutenzione totale del sito, può essere impiegato per fornire il percorso sicuro di guida necessario ai conducenti.

Il sistema, qui illustrato, potrebbe essere applicato facilmente ad un programma di gestione globale della manutenzione per progetti di delineazione di una compagnia stradale.

## Altre tecniche

Ci sono alcuni nuovi metodi per inventariare le strade. Uno combina la registrazione video di tutte le strade appartenenti ad una compagnia stradale e la catalogazione delle registrazioni su di un sistema computerizzato. In passato questo sistema è stato utilizzato per conservare le registrazioni video di tutte le strade e dovrebbe essere utilizzato principalmente durante il progetto di nuove costruzioni. Comunque una volta che il sistema è stato creato, l'applicazione della tecnica ad altri dipartimenti di una compagnia stradale, come gestione della delineazione, dovrebbe essere semplice.

Un programma come questo è cominciato nello Stato del Connecticut ed è discusso in un articolo della FHWA sulle tecniche innovative per i dispositivi del controllo del traffico.

## ISPEZIONE

L'ispezione è importante per quelle compagnie stradali che non conservano un inventario di tutte le strade. Le compagnie stradali dovrebbero istituire una politica per l'ispezione periodica di tutti i progetti di delineazione, dopo la loro installazione e per tutta la durata della loro vita di servizio. Alcuni metodi raccomandati per l'ispezione della delineazione sono descritti nelle sezioni seguenti.

### Ispezione diurna

Le ispezioni diurne della delineazione consistono normalmente in prove che richiedono la presenza di un ispettore sulla strada oppure di condizioni ben illuminate per una buona visibilità dello stesso materiale. Queste includono l'esecuzione di prove sulla percentuale di materiali rimanenti, sulla durabilità del colore, sulla

pulizia degli RPM e di altri dispositivi retroriflettenti. Il metodo per determinare la percentuale del materiale rimanente è presentata nel capitolo 5. La durabilità del colore è testata utilizzando una guida di confronto con i colori stradali standard.

Alcune volte anche la retroriflessione sarà testata durante il giorno. Per le strisce stradali ciò può essere fatto manualmente con la tecnica luce-ombra o utilizzando un microscopio tascabile oppure un retroriflettometro portatile. Con la tecnica luce-ombra la striscia è vista ad un'angolazione tale che l'ombra della testa dell'esaminatore sia direttamente sulla striscia (come mostrato in figura 87). Da questa posizione la luce proveniente dal sole sarà diretta dietro all'esaminatore, facendo brillare la striscia. Utilizzando questo metodo un ispettore esperto può fare una stima attendibile dell'efficienza notturna della striscia.

## **Ispezione notturna**

La ricerca ha stabilito che la visibilità notturna ridotta è normalmente il primo segnale di un deterioramento del dispositivo di delineazione. Per questo motivo la retroriflessione è testata molto spesso mediante semplici ispezioni notturne di lucentezza del dispositivo e distanza di visibilità. Queste ispezioni spesso sono fatte semplicemente utilizzando i fari di un'automobile per l'illuminazione. Le compagnie stradali spesso stabiliscono delle linee guida formali per le distanze di visibilità minima notturna dei dispositivi di delineazione. I dispositivi che non soddisfano il requisito della distanza di visibilità sono identificati per la riparazione, la pulizia oppure la sostituzione.

Una certa cautela deve essere presa nell'utilizzo di questa pratica. La maggior parte delle guide notturne avviene con l'uso di anabbaglianti. Molti dei conducenti non utilizzano gli abbaglianti a meno che il traffico sopraggiungente dall'altra direzione non scenda al di sotto di un veicolo ogni due minuti. Alcune compagnie stradali, comunque, hanno utilizzato gli abbaglianti di notte per valutare la visibilità notturna. Questa pratica è stata dissuasata dall'FHWA poiché non rappresenta la situazione di guida media.

## **Attrezzatura e risorse**

Uno dei vantaggi dei metodi descritti precedentemente è che l'attrezzatura e le risorse richieste sono minime. Per le ispezioni notturne del tipo discusso, solo un'automobile ed un ispettore sono necessari. Alcune delle ispezioni diurne richiedono strumenti per la misurazione. Questi strumenti sono trattati nella sezione successiva.

## **PROVE SUL CAMPO**

Molte delle tecniche di ispezione discusse richiedono alcuni tipi di prove sul campo della segnaletica installata. Questa sezione descriverà gli strumenti e le procedure in relazione alla conduzione delle prove sul campo.

### **Strumenti**

Una varietà di strumenti possono essere utilizzati sul campo per testare la retroriflessione. Questi dispositivi variano nel prezzo, da alcuni dollari, per un microscopio tascabile, a 10000-15000 dollari per un retroriflettometro portatile.

#### *Microscopio*

Un microscopio tascabile (figura 88) può essere utilizzato per valutare la distribuzione, la quantità e l'immersione delle perline nella striscia stradale. Il microscopio tascabile è un apparato piccolo, economico, avente lenti con un potere di ingrandimento sufficiente all'ispettore ad individuare le singole perline.

Le perline dovrebbero apparire uniformemente distribuite sulla striscia, densamente incassate per dare una buona retroriflessione. Esse non dovrebbero essere incassate troppo vicino tra loro da oscurare la superficie dello strato pigmentato. L'immersione dovrebbe essere di circa il 55÷60% del diametro delle perline.

### *Retroriflettometro*

Una varietà di strumenti elettronici per testare la retroriflessione delle strisce stradali sono ora disponibili commercialmente. Molti di quelli utilizzati sono unità piccole e portatili. Questi strumenti sono semplicemente dei piccoli apparati, simili ad una scatola, con un dispositivo ottico montato nella loro parte inferiore. L'unità è posizionata sopra la striscia da testare, lo strumento emette un fascio di luce su un'area campione e poi misura la percentuale di luce che ritorna. Molti di questi strumenti sono calibrati per leggere le misure in unità di mcd/lux x m<sup>2</sup> (millicandele per lux su m<sup>2</sup>).

### **Attrezzatura portatile**

I retroriflettometri portatili sono utilizzati per ottenere una stima delle prestazioni mediante le misure della retroriflessione.

Questi strumenti sono di solito classificati a geometria "fine" e "grossolana". Gli strumenti a geometria fine simulano da vicino gli angoli di incidenza e osservazione, mentre quella grossolana non lo fanno. Perciò gli strumenti a geometria fine sono migliori nella predizione delle valutazioni soggettive dell'efficienza.

Questi sono spesso utilizzati come criteri di valutazione, come discusso nella sezione sulla sicurezza e sulla manutenzione annuale. Alcune caratteristiche delle attrezzature più comuni sono date di seguito.

### *Mirolux 12*

Molte ricerche utilizzano il retroriflettometro Mirolux 12 (figura 89) nel tentativo di stabilire gli standards di retroriflessione minima. Esso è uno strumento a geometria fine con angoli di illuminazione e di osservazione di 86.5° e 1.5° rispettivamente. La procedura raccomandata per l'uso consiste delle seguenti fasi:

- Calibrazione dello zero e dello strumento;
- Controllo del voltaggio della batteria;
- Acquisizione delle misure. Tre letture devono essere prese per ogni localizzazione. Ciascuna lettura dovrebbe scostarsi al massimo del 10% dal valore medio. Se nessuna delle letture lo è, più letture devono essere prese.

Lo strumento è prodotto dalla MiroBran Assemblers, Inc. (Clifton, NJ). Il prezzo è di circa 4500 dollari. È considerato uno dei più efficienti strumenti portatili.

### *Altri strumenti*

Un certo numero di altri strumenti a geometria fine, costruiti all'estero, sono utilizzati negli Stati Uniti. Questi includono i marchi Ecolux, Erichsen e Optronik. Sono stati fatti dei tentativi per stabilire delle correlazioni fra le letture di questi strumenti l'un con l'altro, con altri strumenti e con le valutazioni soggettive del gruppo di esperti. In generale gli strumenti a geometria fine si correlano l'un con l'altro e con le valutazioni soggettive meglio degli strumenti a geometria grossolana. Quando gli strumenti sono appropriatamente calibrati, i retroriflettometri a geometria fine di solito si correlano entro il 10% rispetto ad altri strumenti a geometria fine (tabella 17).

## Attrezzatura mobile

Una delle limitazioni con gli strumenti a geometria fissa è stata la loro mancanza di flessibilità. Per la maggior parte di questi strumenti ci sono stati sempre dei problemi dovuti alla geometria fissa dello strumento, all'area campione, ed alla sensibilità alla luce di fondo e ad altre interferenze ambientali. Un nuovo retroriflettometro a laser correggerà alcune di queste deficienze. La Advanced Retro Technology (La Mesa, CA) ha sviluppato un tale dispositivo in cooperazione con la Potters Industries (Parsippany, NJ); esso è descritto in un studio sviluppato da J.J. Rennilson.

La figura 90 mostra uno schema del retroriflettometro a laser. Con lo scopo di bloccare la luce ambientale e permettere la misurazione della retroriflessione diurna/notturna, questo nuovo dispositivo fa uso di una specifica lunghezza d'onda della luce del laser e di un filtro passa-banda. Il filtro blocca la ricezione dal fotoricettore di tutte le altre lunghezze d'onda della luce. Perciò rende possibile le misurazioni della retroriflessione a geometria variabile diurna/notturna, in condizioni asciutte/bagnate.

La figura 91 mostra il retroriflettometro a laser montato su un camion. Il raggio laser esce attraverso la lente più in basso ed è puntato in modo tale, al livello del suolo, da colpire la striscia stradale ad una distanza di 33 ft (12 m). La luce retroriflessa dalla striscia entra nel dispositivo attraverso la lente superiore. Il veicolo adibito alla prova può viaggiare a velocità normale mentre registra i dati. Una video camera posizionata sul sedile è puntata sulla striscia che è valutata. L'allineamento del retroriflettometro è mostrato in un monitor ed è utilizzato dall'operatore per guidare il veicolo. I dati registrati in un computer portatile, montato sul sedile del passeggero, sono dopo analizzati.

Le prove iniziali con tale dispositivo hanno riscosso un elevato successo. I risultati delle letture prese sul campo, in condizioni diurne e notturne, per lo stesso materiale di delineazione sono state comparate per ciascun materiale testato, con una correlazione entro il 2.5%. La correlazione dei risultati del retroriflettometro a laser, per un nastro stradale, è mostrata in figura 92.

Piani sono stati fatti per commercializzare tale dispositivo fra le compagnie stradali. In questo momento revisioni e miglioramenti si stanno facendo per la parte sia hardware che software del computer, per facilitare la collezione dei dati del sistema.

Quando disponibile, questo dispositivo dovrebbe essere un aiuto per le compagnie stradali per la determinazione della qualità delle strisce. Il dispositivo produce ottimi risultati per la retroriflessione; è facilmente montabile su piccoli camion o furgoni e può essere utilizzato durante il giorno, a normale velocità, senza la necessità di controllare il traffico per facilitare le operazioni di misurazione.

Il dispositivo può anche essere utilizzato per fare una scansione della retroriflessione sulla superficie della striscia per misurare l'uniformità delle sue proprietà retroriflettenti. Questo suo aspetto lo può rendere idoneo ad un impiego su un tracciamento, come metodo di controllo di qualità del processo di tracciamento.

## RESPONSABILITA' DEL DANNO

Le richieste di risarcimento sono aumentate drammaticamente negli ultimi anni. A causa degli enormi riconoscimenti che ne sono risultati, quando sono state inoltrate contro le compagnie stradali, molte di queste compagnie stanno cercando un modo per limitare la propria responsabilità. Uno dei metodi più efficaci, a disposizione delle compagnie stradali, per ridurre l'esposizione alle richieste di risarcimento, in relazione alla delineazione, è quello di un sistema di gestione della segnaletica stradale che sia efficiente e globale. Questo sistema definisce un ragionevole standard di attenzione per le attività della compagnia stradale. Se una compagnia stradale ha una politica di gestione della segnaletica approvata dall'FHWA, seguendo tale politica assume la forza di uno statuto che governa il modo di operare della compagnia.

Questo non vuol dire che seguendo un programma di gestione e di inventario della delineazione la compagnia sarà immune dalle accuse. Ogni tribunale darà un giudizio basato sugli specifici aspetti del caso. Il sistema di gestione dovrebbe essere utilizzato per fornire delle strade il più possibile sicure, dal momento che si definisce come aspetto dominante della compagnia quello della sicurezza stradale.

## CAPITOLO 12

### ASPETTI AMMINISTRATIVI E LEGALI DELLA DELINEAZIONE

#### INTRODUZIONE

Il progetto, l'applicazione e la manutenzione di un sistema segnaletico stradale efficiente richiede una completa conoscenza delle necessità dei conducenti. Gli aspetti generali sono importanti, così come quelli dettati dalle caratteristiche geometriche e del traffico di una particolare strada. Gli standards, le garanzie e le implicazioni legali della responsabilità di una compagnia, per mantenere la strada in una ragionevole condizione di sicurezza, rendono difficile l'amministrazione di un sistema segnaletico sicuro. Il compito è reso più complicato dall'assortimento delle tecniche e delle tecnologie della delineaazione. Se la responsabilità deve essere evitata, il metodo migliore deve essere selezionato per una particolare situazione. È spesso difficile determinare il livello di visibilità per la delineaazione che sarà adeguato a tutte le necessità dei conducenti, su una specifica strada.

Se i fondi fossero illimitati, sarebbe relativamente semplice mantenere le strade sicure. La tecnologia può affrontare la sfida, le compagnie stradali hanno le capacità di cui hanno bisogno e la ricerca è continua e lo stato dell'arte migliora. Sfortunatamente i fondi non sono illimitati. In realtà l'efficienza economica di alternative di delineaazione è tanto importante quanto le prestazioni globali. Un delicato equilibrio esiste fra il bisogno di una parsimonia globale e l'uso di misure estreme, dove esse necessitano. Di conseguenza il ruolo di un'amministrazione e di una gestione diviene più impegnativo e complesso.

Questo capitolo focalizza alcuni degli aspetti amministrativi associati con la delineaazione stradale. Questi includono l'implicazione di responsabilità legali, la disponibilità di fondi, le procedure per l'approvvigionamento, l'impiego delle forze di una compagnia stradale nei confronti di contratti di lavoro e speciali trattamenti associati al campo della delineaazione stradale.

#### CONSIDERAZIONI LEGALI

In passato le entità governative erano tutte immuni dalle azioni legali in base alla teoria della "immunità sovrana", derivata dal diritto inglese. Con la dottrina dell'immunità sovrana un'entità governativa può essere citata in giudizio solo se prima acconsente all'azione legale. Durante gli ultimi 30÷40 anni questa situazione è mutata completamente. L'immunità sovrana è stata erosa attraverso le azioni di tribunali e/o di legislature. Di conseguenza molte compagnie stradali di Stato sono diventate vulnerabili alle azioni legali per i danni risultanti da incidenti stradali.

A causa di questi cambiamenti nella dottrina legale, il personale di una compagnia stradale è sempre più coinvolto nelle cause legali, che erano precedentemente di interesse solo per i procuratori. Oggi è necessario che il personale di una compagnia stradale di Stato o locale sia a conoscenza delle correnti pratiche legali stradali. Perciò le considerazioni su base legale coinvolte nelle pratiche di delineaazione stradale sono state qui incluse per fornire una conoscenza base del proposito, intenzione e direzione dell'attuale responsabilità civile.

Questa trattazione è solo una breve digressione di un argomento molto complesso. Non vuole né interpretare le leggi né stabilire delle linee guida. Intende solo aiutare le compagnie stradali a riconoscere le possibili conseguenze derivanti dalla mancanza di manutenzione e sicurezza delle proprie strade.

## Definizione di responsabilità del torto

Le responsabilità legali di una compagnia stradale derivano dai principi del codice civile. Questa sezione definisce alcuni termini fondamentali.

Un "danno" è uno sbaglio civile, oltre che la rottura di un contratto, per cui un tribunale prevederà un rimedio nella forma di un'azione per il risarcimento in danaro. Il danno può essere sia intenzionale (aggressione, sequestro di persona, infrazione e furto) e sia non intenzionale (negligenza). I danni richiesti per negligenza sono i più comuni per le compagnie stradali.

La "responsabilità" significa l'obbligo legale di chi commette il danno (la parte negligente) a pagare i danni alla vittima. Più di una persona o organizzazione può essere responsabile dei danni che derivano dallo stesso evento. Nel caso di condotta negligente di un lavoratore dipendente, sia il lavoratore che il datore di lavoro possono essere ritenuti responsabili del danno, anche quando il datore di lavoro è un ente pubblico.

"Negligenza" è definita come la mancanza nel fare qualcosa che una persona ragionevole dovrebbe ordinariamente fare, oppure il fare qualcosa che una ragionevole e prudente persona non dovrebbe fare. La condotta negligente crea un rischio di danno a chi ha rispettato l'obbligo di prestare attenzione.

"Negligenza comparativa" è una alterazione moderna della regola del concorso di colpa che i tribunali recuperano dalla parte civile negligente. Nel sistema moderno l'imputato è responsabile per quella porzione di danno che la sua negligenza causa. Perciò se un incidente è giudicato essere per il 40% dovuto alla negligenza della parte civile e per il 60% alla negligenza dell'imputato, e la parte civile ha subito danni per 10000 dollari, la parte civile dovrebbe ricevere dall'imputato 10000 dollari meno il 40%, e cioè 6000 dollari. In una giurisdizione che non ha adottato la procedura del concorso di colpa, la parte civile non recupererebbe niente.

La "persona ragionevole" è utilizzata per stabilire il livello di attenzione che è giudicato essere negligente. In effetti questa definizione impone un test di negligenza su cosa sia la mancanza di prestare una normale attenzione. Questo è un test che viene utilizzato molto spesso per determinare la responsabilità. In questo contesto un ingegnere dovrebbe essere trovato negligente se il suo modo di procedere non è stato della stessa misura di quello di un ipotetico ingegnere che agisce in modo ragionevolmente prudente ed attento nelle stesse condizioni.

Il "dovere" nel codice civile è un obbligo per agire in un modo che proteggerà gli altri da rischi "irragionevoli". La negligenza è una violazione del dovere ad esercitare una ragionevole attenzione verso quelle persone cui il dovere si applica. In questo contesto una compagnia stradale ha un dovere verso tutti i conducenti nelle sue strade. Il dovere della compagnia stradale è evitare la creazione di rischi irragionevoli per i conducenti e soddisfare gli standard di attenzione imposti a quella particolare compagnia stradale.

Lo "standard di attenzione" per ciascuna persona è fissato da molti fattori. Al minimo assoluto, tutte le persone sono obbligate ad evitare la creazione di rischi irragionevoli, dove possibile. Inoltre leggi e regolamentazioni aiutano a definire lo standard di attenzione da cui il comportamento è giudicato. Per esempio la mancanza di osservare un segnale di stop non solo è un'infrazione, ma anche una mancanza di osservazione dello standard di attenzione che fissa i confini della responsabilità. La violazione di una legge di sicurezza è considerata essere una negligenza in se stessa.

Infine gli standards e le procedure accettate di una professione, di un'industria e di un'attività commerciale definiscono anche lo standard di attenzione da cui la condotta è giudicata. Inclusi nella definizione di "standards e procedure accettate" è il MUTCD ed altri documenti simili. In generale una violazione di una legge o regolamentazione uniforme può essere l'evidenza di negligenza o può costituire negligenza di per sé.

Nell'Atto di Sicurezza sulle Strade del 1966, il MUTCD fu adottato come uno standard nazionale di ingegneria. Sebbene sia una regolamentazione Federale, e non uno Statuto, gli standards del MUTCD sono stati adottati da molti Stati come legge propria, dando loro la piena forza di uno Statuto. Una mancanza del personale di una agenzia stradale rispetto ai requisiti del MUTCD dovrebbe essere probabilmente sufficiente a stabilire la negligenza, se l'incidente ha luogo a causa di tale mancanza.

Per collocare tali concetti nella giusta prospettiva, è necessario riconoscere molte caratteristiche della responsabilità del torto. Primo, il torto più comune è la negligenza, che è la mancanza di prestare una ragionevole attenzione nelle azioni che si compiono. Poi, le decisioni del tribunale nelle cause civili, sono basate sul concetto di esistenza di "persona ragionevolmente prudente" che esercita "attenzione ordinaria". Infine la negligenza è stabilita dalla mancanza di soddisfare il comportamento stabilito dall'ipotetica "persona ragionevole" che presta "un'ordinaria attenzione"

In effetti la parte civile offesa che intenta la causa deve provare le seguenti cose in un caso di negligenza che deriva da un incidente stradale:

- L'imputato (la compagnia stradale o un suo agente) aveva un dovere legale nell'esercitare l'attenzione ragionevole verso la parte civile (vittima);
- L'imputato è stato negligente (il comportamento dell'imputato è mancato nel rispettare lo standard di ragionevole e ordinaria attenzione), poiché ha violato quel dovere;
- I danni della parte civile (ferite, danni materiali, dolore e sofferenza, o perdita di reddito) sono stati causati dalla violazione di quel dovere (negligenza dell'imputato), ed sono stati il risultato prevedibile di quella violazione;
- La parte civile non deve avere il concorso di colpa per recuperare tutti i danni sofferti.

### **Dovere e responsabilità legale**

Il personale di una compagnia stradale ha degli obblighi definiti verso l'utenza. Questi doveri sono imposti specificatamente o genericamente dalla legge. Fondamentalmente il loro dovere è quello di mantenere la strada in condizioni di ragionevole sicurezza. Questo implica ispezione, anticipazione di anomalie e conformità agli standards e procedure generalmente accettate. Non c'è alcun requisito riguardo alle condizioni di perfetta riparazione o alle azioni oltre i limiti dell'ingenuità umana.

Per capire l'applicazione del concetto di dovere legale, è necessario riconoscere la distinzione fra atti discrezionali ed atti non- discrezionali (ministeriali). Molti Stati, che non conservano più da lungo tempo la dottrina della immunità sovrana, hanno emanato degli Atti di Risarcimento Danni, che prescrivono le condizioni sotto cui gli Stati, le loro compagnie ed i loro dipendenti possono essere ritenuti responsabili dei loro torti. Questi atti includono alcuni esoneri da responsabilità durante l'esecuzione di attività per così dire discrezionali.

Il termine discrezionale si riferisce al fare una scelta fra un numero di alternative; richiede considerazione e giudizio indipendente per scegliere una linea di azione. Dall'altra parte i doveri ministeriali implicano incarichi obbligatori che richiedono poco giudizio personale. La differenza fra funzioni discrezionali e ministeriali è molto importante nelle richieste di risarcimento danni contro le pubbliche amministrazioni. In generale una pubblica amministrazione ed i propri dipendenti non sono responsabili di negligenza nell'esecuzione di attività discrezionali. Comunque i tribunali costantemente revisionano la legge in quest'area. La classificazione di un'attività che sia discrezionale o ministeriale è soggetta ad interpretazioni legali che mutano costantemente.

Inoltre i limitati esoneri da responsabilità per le attività discrezionali non forniscono un'assoluta protezione dalle responsabilità legali. Se la discrezionalità è abusata, i tribunali possono sostituire la propria discrezionalità a quella dell'imputato per raggiungere un verdetto in un caso particolare.

I tribunali normalmente considerano il progetto di una strada essere una funzione governativa discrezionale, poiché implica un'attività di pianificazione ad alto livello e una valutazione di politiche, alternative concorrenti ed altri fattori. Molte decisioni avvallano questo, ritenendo che il progetto sia quasi legislativo nelle caratteristiche e sia protetto dal "second guessing" di tribunali inesperti. Senza che ci sia un abuso della discrezionalità, che giustifica un tribunale a ricorrere al "second guessing", la maggior parte dei problemi di progettazione stradale rimane entro il controllo del personale delle compagnie stradali. Per aiutare a proteggere le compagnie stradali ed i loro dipendenti dalla responsabilità del danno, alcune legislature hanno promosso statuti di immunità del progetto. I progetti che sono stati propriamente approvati sono in più isolati da possibili richieste di risarcimento danni.

### **Avviso della presenza di un difetto**

La compagnia stradale ha il dovere di correggere una condizione rischiosa quando riceve la segnalazione della presenza di un inconveniente. Molti tribunali stabiliscono che uno Stato deve avere avuto un avviso del rischio in un tempo sufficiente per fornirgli una ragionevole possibilità di porre riparo alla condizione oppure prendere delle precauzioni contro il pericolo. Quando una situazione di rischio è il risultato della negligenza dello Stato, il requisito dell'avviso non si applica. Lo Stato non ha bisogno di un avviso di errori nella costruzione, manutenzione e riparazione delle sue strade, poiché lo Stato dovrebbe conoscere le proprie azioni. Comunque se la situazione di pericolo non fosse dovuta a causa della negligenza dell'amministrazione pubblica, essa deve eseguire le riparazioni una volta avuto l'avviso dell'inconveniente.

Le leggi possono richiedere che una compagnia stradale abbia avviso della situazione per un periodo di tempo specifico. Se il periodo di avviso è di cinque giorni, e un incidente è causato da un inconveniente che si è originato lo stesso giorno dell'incidente, il periodo d'avviso prescritto non dovrebbe essere soddisfatto e la compagnia stradale non avrebbe avuto un'opportunità ragionevole per fare riparazioni. L'avviso deve essere del particolare difetto che causa l'incidente, non delle condizioni che possono produrre il difetto. In questo esempio il periodo prescritto poteva essere considerato soddisfatto se lo Stato avesse avuto conoscenza della condizione di non- sicurezza.

Infine è possibile che una condizione sia esistita per un tempo tale e sia di natura tale che lo Stato dovrebbe avere scoperto la condizione attraverso una diligenza ragionevole. In questo caso l'avviso è ritenuto essere costruttivo e la conoscenza dello Stato circa la condizione è implicata. I tribunali possono considerare se il difetto sia difficile da scoprire. Cioè il tribunale considererà la natura del difetto, la sua locazione e durata, la quantità di traffico che la strada riceve e se il difetto possa essere stato facilmente percepito. Questo aiuterà il tribunale a decidere se lo Stato abbia avuto un avviso ragionevole.

### **Manutenzione di un sistema di delineazione**

L'espressione del MUTCD suggerisce alcune implicazioni legali della manutenzione della delineazione. Si richiede solo che il sistema interstatale abbia dei tracciamenti di delineazione. In molti casi il MUTCD non stabilisce specificamente il tipo di tracciamento richiesto. Sembra che si lasci la decisione a discrezione delle singole compagnie stradali.

I doveri delle compagnie stradali riguardo i tracciamenti stradali sono riassunti di seguito:

- In assenza di uno statuto, è stato ritenuto che non ci sia un dovere generale da parte di uno Stato od di un'altra unità governativa ad installare o fornire segnali, luci o strisce stradali;
- Comunque il dovere di fornire avvertimenti, luci o strisce può aumentare dove la particolare strada presenta una condizione inusuale e pericolosa;

- Sebbene non ci sia il dovere di installare avvertimenti, segnali o strisce in un primo momento, una volta che sono installati, c'è il dovere di mantenerli in buone condizioni di servizio.

### **Implicazioni della responsabilità del torto**

Le controversie legali, specialmente i casi di codice civile, sono accresciute enormemente negli ultimi dieci anni. Questo è il logico risultato della tendenza verso larghi riconoscimenti ai contendenti. Un articolo del 6 giugno del 1977 del *Business Week* ha evidenziato che i casi civili del tribunale Federale erano accresciuti del 84% negli ultimi dieci anni. Un articolo del 20 febbraio del 1978 del *Time* ha valutato, non appena il primo milione di dollari fu assegnato in una causa civile nel 1962, 59 o più cause tra il 1962 e 1972. Altre 145 cause simili furono registrate in un periodo quinquennale fra il 1972 ed il 1977. Questi fatti, insieme alla perdita dell'immunità sovrana per le compagnie governative, sollevano dei problemi critici per i dipartimenti stradali. Lo Stato della California ha esperienza in questo senso.

Lo Stato della California perse la sua immunità sovrana in una legge del 1961 della Corte di Stato Suprema. In quel tempo c'era un procuratore assegnato a tempo pieno ad occuparsi delle cause di risarcimento danni per il Dipartimento dei Trasporti dello Stato della California (Caltrans). Nell'anno 1960-61 ci furono 193 cause per un totale di 10 milioni di dollari. Queste cause incrementarono in seguito all'approvazione dell'Atto sulle Cause di Responsabilità della California del 1963. Entro il 1976 il Caltrans impiegò 40 procuratori a tempo pieno e 18 investigatori. Agli inizi del 1978, Caltrans aveva 65 procuratori assegnati ad occuparsi delle cause di responsabilità civile del dipartimento. Ci furono 1048 cause legali pendenti, che rappresentavano cause di risarcimento danni per un totale di 981 milioni di dollari. Un'indagine dell'Associazione Americana dei Funzionari di Stato Stradali e dei Trasporti ha riportato più di 8000 cause di risarcimento danni contro tutte le Compagnie Stradali di Stato per un totale di 2.4 miliardi di dollari.

Questa tendenza verso l'aumento delle cause di risarcimento danni non ha mostrato alcun segnale di cessazione, oppure di decremento. Una ricerca presentata al 71° meeting annuale del Comitato di Ricerca dei Trasporti ha valutato il numero totale di cause di risarcimento danni, delle compagnie stradali, durante il 1990 essere da 33000 a 35000. Il rapporto non dà l'ammontare totale delle cause, ma si stima che l'ammontare totale perso per le cause, più quello speso per la ricerca e la difesa contro tali cause, sia di più di 1.5 miliardi di dollari.

L'incremento delle cause e dei risarcimenti è anche risultata in un incremento nel costo dell'assicurazione sulla responsabilità, laddove non era stata revocata apertamente. Le trattenute sono aumentate a livelli di molti milioni di dollari in alcuni casi, ed alcuni Stati hanno dovuto auto- assicurarsi.

Ovviamente gli Stati dovrebbero spendere i fondi pubblici per una adeguata manutenzione delle strade piuttosto che nel risarcimento dei danni. Gli Stati dovrebbero perciò rivedere le procedure di manutenzione per limitare l'esposizione alla responsabilità civile. Gli impiegati delle compagnie stradali coinvolti in tali attività dovrebbero essere ben informati delle implicazioni legali delle loro funzioni.

### **LE SORGENTI DEI FINANZIAMENTI**

Una delle maggiori preoccupazioni che affliggono le compagnie stradali è ottenere un adeguato finanziamento per i loro programmi. Mentre i tribunali sono veloci a puntualizzare le inefficienze esprimendo dei giudizi contro le compagnie stradali, questi problemi spesso si originano da una mancanza di adeguati finanziamenti piuttosto che dalla mancata attenzione alle pratiche standard di ingegneria. In molti casi semplicemente non c'è abbastanza denaro disponibile a supportare tutti i programmi desiderati.

Nel riconoscimento di questo problema su scala nazionale, i fondi federali sono stati disponibili per molti anni ad assistere gli Stati in vari programmi. Questi fondi si erano aggiunti ai finanziamenti federali per la ricerca e

lo sviluppo. Un significativo programma federale, che ha garantito finanziamenti per le attività relative alla segnaletica, è stato l'Atto di Sicurezza Stradale del 1973. L'Atto enfatizzò il miglioramento della sicurezza sulle strade rurali, dove circa i due terzi degli incidenti più gravi avveniva.

Nella sezione 205 del Programma dimostrativo di segnaletica stradale dell'Atto di sicurezza del 1973, il 100% dei fondi federali erano stati resi disponibili per la verniciatura delle strisce di mezzzeria e quelle di margine delle strade. Tale programma usò i fondi federali per incoraggiare un'applicazione più estesa delle strisce stradali. L'installazione di tali strisce stradali ha chiaramente ridotto le vittime e i feriti da incidenti.

In aggiunta alle strisce pitturate e di margine e di mezzzeria, altri tipi e forme di tracciamento stradale erano idonei per il programma. Queste includevano le strisce in materiale termoplastico e gli RPM; RPM prima di un attraversamento ferroviario; delineatori di margine; aree di scuola, attraversamenti pedonali e strisce di stop. In accordo al report annuale del 1979 sul programma per il miglioramento della sicurezza stradale del Ministro dei Trasporti, circa il 25% dei fondi del Programma dimostrativo di segnaletica furono utilizzati per questi articoli.

Un significativo cambiamento fu fatto al programma di aiuti federali da altri Atti legislativi per utilizzare i fondi per il rifornimento e la sostituzione di segnali stradali e strisce stradali che avevano ecceduto la loro vita di servizio e non erano più efficienti.

## **TUTELA NELL'APPROVVIGIONAMENTO**

Procedure standard per l'approvvigionamento dei materiali sono state utilizzate per anni, spesso senza alcuna periodica revisione. Inoltre le politiche di approvvigionamento non sono state aggiornate per rispecchiare il cambiamento delle condizioni. Questa sezione tratta di alcuni aspetti della fornitura di materiali e dell'utilizzo di un gran numero di contraenti.

### **Acquisto di materiale**

Quando si acquista del materiale, come pitture, termoplastici, RPM oppure delineatori, sconti sulla quantità sono generalmente possibili da parte dei fornitori. Per esempio un markers retroriflettente, da usarsi per un solo senso di marcia, potrebbe costare 1.75 dollari al pezzo quando fornito in quantità da 1 a 99. Quando fornito in lotti di 5000 pezzi, il prezzo unitario potrebbe essere ridotto a circa 1.25 dollari, risultando un risparmio di 2500 dollari. Quindi le forniture su larga scala dovrebbero ridurre il costo unitario anche di più.

Molti Stati negoziano con i fornitori in modo che le compagnie stradali locali possano comprare materiali ad un prezzo basato sulla quantità e quotato per lo Stato. Questo contratto d'acquisto richiede una stima della quantità necessaria e l'accettazione dei materiali da parte dello Stato.

Forniture tra compagnie è un altro metodo utilizzato dallo Stato e dalle compagnie stradali locali per ottenere un prezzo unitario più basso. In questo caso lo Stato prepara le specifiche, prova i materiali, e seleziona il contraente. Le compagnie stradali locali hanno poi il permesso di comprare il materiale direttamente dallo Stato. C'è frequentemente un piccolo sovrapprezzo per coprire le spese amministrative dello Stato.

Lo Stato del Wisconsin permette alle compagnie stradali cittadine e di contea di fornire i materiali che sono distribuiti dai magazzini di Stato per un costo maggiorato del 5%. Lo Stato di New York consente alle compagnie stradali locali di ordinare attraverso lo Stato senza alcun sovrapprezzo. Quando lo Stato non fa alcuna provvista di materiale, le compagnie stradali locali possono unirsi insieme per acquistare materiale in quantità elevate.

Anche se una piccola compagnia stradale locale acquista direttamente dal fornitore, è meglio comperare materiali di lunga durata in quantità sufficiente per ottenere uno sconto sul prezzo unitario. Problemi di stoccaggio possono accrescere utilizzando questo metodo. Le piccole compagnie stradali locali possono acquistare una fornitura di molti anni di pittura (dipendente dalla durata) da essere utilizzata nel momento specifico per tutta la durata del periodo. Poiché il materiale può essere danneggiato o può deteriorarsi nello stoccaggio, il risparmio nel costo unitario deve essere bilanciato a fronte di un rifiuto potenziale (in altre parole l'acquisto di grosse quantità di materiali pone dei problemi in fase di stoccaggio poiché il deterioramento del materiale genera dei costi sul suo smaltimento come rifiuto, quindi il risparmio ottenuto prima si annulla).

Un'altra cosa che influenza il costo dei materiali è il loro imballaggio. Piccoli sacchi, barattoli, o cartoni possono dimostrarsi più semplici da maneggiare e conservare ma possono costare troppo per giustificare il loro utilizzo.

### **Inventario e registrazione**

Una buona pratica di commercio richiede il mantenimento di un inventario di fornitori e materiali, che richiede una propria pianificazione e programmazione. La carenza può interferire con le attività di manutenzione programmata e/o richiede forniture di emergenza a prezzi gonfiati. In pratica il volume anticipato di materiali è stabilito nelle attività di preparazione del budget. Sfortunatamente l'articolo è spesso preventivato in base ad alcune regole empiriche, come l'utilizzo nell'ultimo anno più una percentuale di incremento. Dove registrazioni "storiche" sono disponibili come base, questa pratica può essere sufficiente.

La valutazione dei costi futuri accuratamente basati sull'utilizzo negli anni precedenti è difficile. Inoltre i budgets stradali più piccoli incoraggiano le compagnie stradali a classificare l'importanza di singoli progetti di tracciamento allo scopo di selezionare le opzioni più accessibili. I benefici derivanti dal pianificare, programmare e contabilizzare con attenzione l'inventario dei materiali necessari normalmente, compenserà la fatica profusa.

### **L'utilizzo di norme modello**

L'AASHTO, l'ASTM, l'ITE e le singole compagnie stradali hanno speso un bel po' di tempo e fatica nello sviluppare delle norme per la fornitura di varie categorie di materiali ed attrezzature. Le norme sono disponibili per i dispositivi ed i componenti più comunemente utilizzati. Queste norme riflettono una ricerca intensa ed esperienze sul campo e possono essere facilmente adattate all'uso locale.

Le compagnie stradali di Stato fanno di solito circolare delle copie dei loro standards fra le varie compagnie stradali locali. Ciò di solito fa risparmiare del tempo al personale e di solito produce delle specifiche tecniche più comprensive e complete. Inoltre tale pratica incoraggia l'uniformità nelle procedure di tracciamento entro lo Stato.

Il problema più critico nella preparazione delle specifiche tecniche è la scelta fra una specifica di composizione (formulazione) o una specifica funzionale (di prestazioni).

### **L'utilizzo di imprenditori**

L'utilizzo di contraenti privati per la delineazione, invece che delle risorse della compagnia stradale, è un'altra considerazione significativa nel processo di approvvigionamento. I contraenti sono tipicamente utilizzati nelle seguenti circostanze:

- L'installazione della delineazione stradale è una parte di un progetto sotto contratto più esteso ed è più economico ed efficiente che il contraente sia responsabile dell'intero lavoro;

- L'installazione richiede un'attrezzatura speciale e una competenza professionale non disponibile all'interno della compagnia stradale;
- L'importanza e l'immediatezza del lavoro è al di là delle risorse della compagnia stradale.

Il costo dei servizi è molto importante nel decidere la migliore linea di azione. Comunque dovrebbe essere messo in risalto il fatto che altri fattori possono giocare un ruolo importante nella decisione. Per esempio alcune tecniche di delineazione richiedono procedure d'installazione allo scopo di eseguire quanto richiesto. Sotto contratto le garanzie delle prestazioni proteggeranno le compagnie stradali contro cedimenti prematuri e possono essere più economiche a lungo andare. Inoltre i produttori, che provvedono all'installazione da contratto, faranno probabilmente bene ad applicare il proprio prodotto.

Comunque c'è il piccolo dubbio che il personale di Stato o della compagnia stradale possa eseguire il lavoro in modo meno costoso se essi avessero l'adeguata attrezzatura. Essi hanno più familiarità con le condizioni e le caratteristiche delle strade da tracciare e spesso possono adattare le procedure di applicazione al bisogno specifico di un'area. Non è insolito per una squadra di manutenzione, per esempio, aggiustare la quantità di perline applicata per fornire una retroriflessione più alta in un'area critica. L'esperienza degli operai in campo è spesso trascurata a livello amministrativo; in più, è una risorsa preziosa che non può essere fornita sotto contratto.

Ad un livello di pianificazione più alto, il costo di equipaggiamento ed assemblaggio delle risorse interne, per fornire tutti i servizi necessari di manutenzione ed installazione, devono essere valutati rispetto al costo di impiego di un contraente. I chilometri di strade, il tempo disponibile per le attività di tracciamento, altre attività di manutenzione che devono essere realizzate, e l'ammontare del personale e dell'attrezzatura esistente, devono essere tutte considerate nella fattibilità del processo.

## **COORDINAMENTO DELLE ATTIVITA'**

Le attività delle varie compagnie stradali e dei vari dipartimenti all'interno di una stessa compagnia stradale hanno bisogno di essere coordinati per evitare conflitti. Per esempio dove la manutenzione è programmata, come il riverniciamento, una sezione potrebbe essere accidentalmente tracciata appena prima di un altro lavoro che può distruggere le strisce.

L'installazione di dispositivi di delineazione a lungo termine, quali gli RPM o le strisce in materiale termoplastico, è giustificabile solo sulla base della durabilità, sicurezza e vita di servizio. Questi benefici vengono meno se tali tipi di tracciamento stradale sono posizionati su strade programmate per un rifacimento superficiale. Questo accade troppo spesso, di solito per la mancanza di comunicazione dipartimentale. Questo inoltre avviene quando le attività stradali di imprese di servizi pubblici non sono conosciute dalle forze di manutenzione.

Ci sono dei vantaggi nella programmazione dei lavori di delineazione con altri lavori stradali che richiedono la protezione delle squadre di operai. Questo richiede un coordinamento fra le attività, specialmente se l'altro lavoro è gestito da qualcun'altro.

## **CONSIDERAZIONI DI COSTO**

Gli amministratori ed i managers responsabili del sistema di delineazione stradale si interessano specialmente dell'incremento dei costi della segnaletica e della diminuzione dei budgets. Appena altri programmi e funzioni gareggiano per i fondi disponibili, è vitale giustificare la spesa in termini di costi e benefici delle attività pianificate.

Molti studi hanno provato a determinare l'efficienza delle varie tecniche di delineazione. Altri studi hanno tentato di quantificare i benefici dalla riduzione di incidenti. Inoltre altri studi hanno provato a trovare dei modi per ridurre i costi di impiego di materiali comuni, attrezzature e procedure.

È stato difficile prevedere i costi associati con l'applicazione delle strisce stradali. I fondi spesi da una compagnia stradale sono dissimili da quelli utilizzati per la stessa applicazione da una diversa compagnia. Non solo i costi dei materiali e della manodopera variano in differenti regioni del paese, ma anche la valutazione di procedure e politiche varia.

Per essere realistici, il costo dovrebbe essere basato non solo sulla spesa iniziale, ma sul costo totale ammortizzato durante la vita della striscia. Comunque a causa delle numerose variabili dipendenti dal sito, c'è poca intesa sulla vita di servizio di una particolare tecnica di delineazione.

Inoltre un problema sorge quando si cerca di quantificare i benefici. Ai benefici sono assegnati un valore in dollari basato sulla riduzione degli incidenti. I sistemi di registrazione degli incidenti sono aggiornati costantemente per fornire l'informazione necessaria a tali studi, ma fin qui i dati sugli incidenti rimangono imprecisi. È difficile identificare con precisione i miglioramenti associati con la delineazione basandosi sui dati degli incidenti. Nel migliore dei casi le cifre sono solo approssimate.

Si spera che il Federal Pavement Marking Demonstration Program fornirà informazioni aggiuntive nella determinazione dei costi e dei benefici dei sistemi di delineazione. Quando tutti i progetti di questo programma saranno documentati, migliori valutazioni saranno possibili. Nel frattempo ci sono tecniche di analisi statistica disponibili per l'uso. Ci sono anche dei modelli di analisi economica sviluppati per valutare i costi ed i benefici e l'efficienza delle singole tecniche di delineazione.

La ricerca ha tentato di fornire qualche lume sull'effetto della delineazione sugli incidenti. Le maggiori scoperte sono riassunte nel seguito.

## **Strisce stradali**

Le strisce pitturate sono il tipo di delineazione più comune. Uno dei primi punti cui si è rivolti nel programma di ricerca è stato il bisogno di strisce. Sebbene non ci sia dubbio su tale bisogno, specialmente per quelle di mezzzeria, ci sono molti chilometri di strade a due corsie a bassa densità di traffico senza alcun tracciamento.

Studi sul comportamento dei conducenti hanno mostrato che l'aggiunta di strisce di mezzzeria a strade precedentemente non tracciate ha ridotto il livello di rischio, previsto per le strade, di quasi il 50%. Questo implica che le strisce di mezzzeria dovrebbero essere utilizzate ogni volta che una strada ha una superficie pavimentata, che conserverà le strisce e sia abbastanza larga da contenere due sensi di marcia.

Sebbene la loro efficienza sia dubbia, le strisce di margine sono generalmente una pratica accettata sulle maggiori strade. L'analisi sugli incidenti ha mostrato che le strisce di margine hanno migliorato la sicurezza, ma questo miglioramento è stato maggiore sulle strade rettilinee rispetto a quelle tortuose. Questa scoperta è stata inaspettata. Sembra palesare l'importanza dello stress sull'attenzione del conducente. Un conducente è meno attento sulle strade rettilinee e sembra fare affidamento sulle strisce di margine. Sulle strade tortuose, dove un conducente è sotto stress e presta attenzione sulla condotta di guida, le linee di margine non sembrano avere una tale importanza.

Si può concludere che le linee di margine sono importanti per un sistema segnaletico stradale e dovrebbero essere utilizzate sulle maggiori strade che sono più larghe di 20 ft (6 m). Se la sicurezza del traffico è il solo aspetto, un volume di traffico medio giornaliero di 1000 veicoli è necessario per rendere le linee di margine efficaci. Se altri fattori sono presi in considerazione, come i costi ridotti per la manutenzione del margine della

strada, le linee di margine possono essere giustificate anche su strade che hanno un volume di traffico medio giornaliero più basso di 1000 veicoli.

Il MUTCD richiede un rapporto di 3:1 tra l'intervallo fra i segmenti di linea e la lunghezza della linea, sia per le linee di mezzzeria che per quelle di corsia. Sebbene tale rapporto sia normalmente adeguato, situazioni dove la visibilità in avanti è ridotta possono richiedere un rapporto più basso. Su strade di montagna, o dove le condizioni climatiche limitano la visibilità, il rapporto di 3:1 dovrebbe essere supportato dalla presenza di RPM.

### **Inserti stradali catarifrangenti (markers o RPM)**

Gli RPM hanno fondamentalmente sostituito le strisce di mezzzeria e di corsia pitturate. Tipicamente 4 RPM non- retroriflettenti ed uno retroriflettente sono utilizzati al posto di ciascun segmento di striscia. In altri casi gli RPM sono utilizzati per mostrare l'allineamento stradale e per supportare le strisce esistenti.

L'utilizzo di RPM come linee di corsia riduce la frequenza di cambiamenti di corsia e scoraggia l'invasione delle corsie adiacenti. C'è un effetto rumoroso prodotto dal passaggio sull'RPM. Studi hanno mostrato che gli RPM riducono gli spostamenti laterali e diminuiscono lo stress durante la guida notturna in condizioni di bagnato.

Studi sull'analisi degli incidenti hanno mostrato che quando le strisce di mezzzeria sono state sostituite dagli RPM, c'è stata una riduzione di approssimativamente 0.03 incidenti per milione/chilometro di veicoli. Per un'area non nevosa, l'impiego di RPM comporta benefici in termini di costo per un volume di traffico giornaliero di 3000 veicoli. Si assume che questi RPM abbiano un vita di servizio al minimo di cinque anni e che il costo di installazione sia minore di 2500 dollari al chilometro.

A causa dell'elevato costo iniziale degli RPM, specialmente i tipi resistenti all'azione degli spazzaneve, le compagnie stradali hanno integrato le linee di mezzzeria e di corsia verniciate con RPM posizionati ogni 80 ft (25 m), per sviluppare un sistema segnaletico efficace in qualsiasi condizione atmosferica, ad un costo basso. Il costo di tale sistema di integrazione, 620÷930 dollari per chilometro di corsia, è considerevolmente più basso del costo di una completa sostituzione. In studi sui fattori umani e sulle prestazioni di traffico, i rischi sono ridotti di 30÷40% con tale tipo di trattamento.

Gli studi sulle prestazioni del traffico hanno indicato che gli RPM sono più efficaci dei delineatori su curve orizzontali isolate. L'indicazione degli RPM è vicina al conducente mentre è compiuta la manovra, sebbene essi forniscano anche una visibilità a lungo raggio che è necessaria per individuare i cambiamenti dell'allineamento stradale. Inoltre gli RPM forniscono una migliore comprensione della situazione di guida al conducente, rispetto a quella fornita dalle maggiori forme di delineazione supplementare.

### **Delineatori**

I delineatori di varie forme, colori e caratteristiche di retroriflessione sono utilizzati largamente in ogni parte degli Stati Uniti. I delineatori sono specialmente efficaci di notte ed in avverse condizioni meteorologiche, quando le normali strisce sono coperte da ghiaccio, neve o acqua. Questi forniscono al guidatore un'anticipazione della direzione della strada, ma non forniscono alcuna informazione sulla condotta di guida, a causa della loro localizzazione secondaria (cioè all'esterno).

Il tasso incidentale è più basso laddove i delineatori sono utilizzati. Una riduzione approssimativamente di 0.6 incidenti per milione/chilometro di veicoli è stata dimostrata. Se la sicurezza è l'unico beneficio considerato, i delineatori (con un qualsiasi rapporto costo- vita di servizio) sono efficienti per volumi di traffico medio giornaliero che eccedono i 1000 veicoli. In molti casi, dipendentemente dalle specifiche locali, tali trattamenti possono essere giustificati per volumi di traffico medio giornaliero di 500 veicoli.

Come per gli RPM, l'uso selezionato dei delineatori è efficiente per tutte le condizioni atmosferiche. Le prestazioni di guida migliorano significativamente con l'uso di delineatori in curva. Le analisi degli incidenti dimostrano un più basso tasso incidentale su curve orizzontali isolate, laddove i delineatori hanno integrato le normali strisce verniciate. Comunque il campionamento era troppo piccolo per trarre delle conclusioni definitive.

## Segnali

L'uso di segnali, quali i delineatori modulari di curva (segnali chevron), di direzione obbligata, di svolta e di curva, per integrare altri dispositivi di delineazione, è stato attuato soprattutto per quei tratti di strada che sono giudicati essere particolarmente rischiosi, o per quei luoghi ad alto tasso incidentale. Questi sono utilizzati generalmente per informare il conducente di una condizione di potenziale pericolo, che può essere non ovvia tramite un'osservazione casuale.

Un manuale sul trattamento di luoghi ad alto tasso incidentale, per il Dipartimento dei Trasporti dello stato del Missouri, ha raccolto i risultati di una varietà di studi sugli incidenti. Il manuale deriva la riduzione del tasso incidentale per una varietà di trattamenti di contromisura, includendo l'uso di segnali di avviso e di regolamentazione.

I dati presentati nel manuale dimostrano che il tasso incidentale può essere ridotto di circa il 30% rispetto alle condizioni di non segnalazione, quando si utilizzano segnali di avviso prima di una curva. Una riduzione incidentale sopra il 40% può essere ragionevolmente auspicata, quando segnali di avviso sono utilizzati prima di incroci fra strade di campagna.

Il manuale non deriva relazioni di efficienza in termini di traffico medio giornaliero. Comunque i segnali di avviso hanno un costo di installazione relativamente basso, richiedono una manutenzione semplice e una sostituzione non frequente. Da queste considerazioni sembrerebbe che l'uso di segnali di avviso sia efficiente laddove il loro utilizzo è appropriato.

## Condizioni per applicazioni efficienti

Il sistema di delineazione più efficiente sarà ottenuto considerando attentamente le variabili di delineazione e applicando i requisiti di buona tecnica per ciascun progetto. In altre parole è importante considerare tutti gli aspetti di un'area da delineare, e non già il tipo di strada o i dintorni vicini.

Per esempio, se una curva orizzontale su una strada di campagna a due corsie è stata identificata come luogo altamente incidentale, molti fattori devono essere considerati prima che il trattamento di delineazione sia determinato. Una delle prime considerazioni, in questo caso, è il tipo di incidente che avviene. Se, per esempio, la maggior parte degli incidenti sono quelli dell'uscita fuori strada, ed essi avvengono la maggior parte delle volte di notte durante condizioni di pioggia, allora è ovvio che la delineazione esistente non è abbastanza luminosa in queste condizioni di visibilità avversa. Gli RPM possono essere una soluzione efficace nelle aree dove le attività di manutenzione invernale non sono un'operazione primaria. In aree nevose i delineatori oppure i segnali di avviso, del tipo chevron, possono essere una tecnica molto efficiente.

La tecnica di analisi dei costi e dei benefici, presentata in appendice A, è un metodo quantitativo per esaminare le alternative di delineazione per ottenere l'efficienza. Comunque la chiave per ottimizzare il rapporto costo- benefici, per differenti tipi di progetti di delineazione è la combinazione di fattori di costo con i pareri tecnici. Solo i pareri tecnici meditati e la pratica comune assicureranno delle valutazioni accurate circa le vite di servizio da utilizzarsi nei calcoli sui costi- benefici. Il trattamento fondamentale delle variabili di delineazione nel capitolo 3 dà una visione di insieme di come queste ed altre variabili devono essere

considerate in un progetto di delineazione. Tutte le variabili pertinenti devono essere considerate per ottenere la migliore durabilità per la delineazione, e da qui il più alto livello di efficienza.

## **ISPEZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE**

Uno dei metodi più efficaci per diminuire il rischio di responsabilità del danno è un programma globale di ispezione della pavimentazione. Questo è discusso in qualche modo nel capitolo 11. In questo capitolo si focalizzerà l'attenzione sulla parte amministrativa per implementare tale programma.

### **Tirocinio dell'ispettore e certificazione**

Ciascun Stato dovrebbe avere un suo programma per certificare gli ispettori. Questo è spesso fatto attraverso una serie di sessioni di tirocinio e seminari, per gli ispettori, sugli aspetti più importanti connessi con l'ispezione della tracciamento stradale. Alcune organizzazioni, quali la ATSSA, hanno sviluppato dei videotapes di tirocinio per dare un aiuto in quest'opera. Alcuni Stati, come l'Ohio, ha prodotto dei propri videotapes che sono specifici degli aspetti locali.

### **Fonti delle specifiche dei campioni**

Inoltre un certo numero di organizzazioni ha sviluppato delle specifiche sulla composizione e prestazioni del campione, per i materiali di tracciamento stradale. Queste possono essere utilizzate nelle compagnie stradali di Stato o locali per sviluppare dei propri standards. Spesso uno Stato adotta o un set oppure una combinazione delle specifiche prodotte da queste fonti indipendenti e le modifica a seconda dei propri propositi. Le compagnie stradali locali possono poi adottare gli standards dello stato, che si applicano più da vicino alle condizioni sperimentate all'interno delle giurisdizioni locali. Alcune organizzazioni che producono delle norme sono l'ASTM, l'AASHTO, l'FHWA e la GSA.

## APPENDICE A

### TECNICHE SULL'ANALISI DEI COSTI

#### ANALISI STATISTICA

Questo elemento di ricerca è stato progettato per valutare l'effetto di trattamenti di delineazione alternativi su esperienze di incidenti, in varie situazioni di strada e condizioni ambientali variabili. Per raggiungere questo obiettivo più di 500 siti da testare sono stati selezionati in 10 stati, e dati di incidenti, geometrici, di traffico e ambientali per questi siti sono stati raccolti. Questi dati poi sono stati statisticamente analizzati per identificare i parametri importanti che alterano gli effetti della delineazione, quando si verifica un incidente, e valutare la riduzione di incidenti associata ai vari trattamenti.

Nell'effettuare questa analisi sia le procedure di ipotesi di prova che quelle di valutazione sono state utilizzate. Le procedure di ipotesi di prova sono state utilizzate per valutare se le variazioni del numero di incidenti, risultanti da variazioni dei trattamenti di delineazione in sito, sono stati statisticamente significativi. Queste procedure hanno utilizzato il t-test, l'analisi one-way di varianza, l'analisi di varianza two-way e higher-order, e l'analisi della covarianza. Il t-test e l'analisi di varianza one-way hanno fornito uno strumento per fare sondaggi sulle differenze statistiche nel tasso medio di incidenti sotto differenti categorie di trattamenti. L'analisi two-way e higher-order di varianza e covarianza forniscono uno strumento per studiare come queste differenze sono state influenzate da altre variabili quali le geometrie delle strade, le operazioni di traffico, e parametri climatici. Le procedure di valutazione includevano il t-test e l'analisi di regressione per quantificare le variazioni nel tasso di incidenti, risultanti da differenti trattamenti di delineazione, dalla variazione nella geometria e dalle condizioni di traffico operativo.

All'interno di questo studio due tipi di siti stradali sono stati utilizzati. I primi, definiti siti "matching-control", erano quelli per cui il trattamento di delineazione rimaneva inalterato durante il periodo di analisi. I secondi, definiti siti "before-and-after", erano quelli per cui i dati di incidenti erano disponibili sia prima che dopo l'installazione di un trattamento di delineazione prova.

I risultati generali che venivano fuori da queste prove statistiche utilizzando siti "matching-control" ed il tasso d'incidenti come variabile dipendente furono i seguenti:

- Per tratti rettilinei e/o tortuosi;
  - Le carreggiate con linee di centro hanno meno incidenti di quelle con nessun trattamento;
  - Le carreggiate con RPM hanno meno incidenti di quelle con strisce centrali pitturate;
  - Le strisce di margine sembrano non avere alcun effetto significativo sugli incidenti;
  - Le carreggiate con delineatori hanno meno incidenti di quelle senza delineatori;
- Per tratti in curva;
  - C'è una lieve indicazione che tratti con delineatori hanno meno incidenti rispetto a quelle senza delineatori;
  - Il tasso d'incidenti sembra essere in qualche modo più basso per tratti di curva con strisce centrali rispetto a tratti di curva con nessun trattamento di delineazione.

L'analisi su siti "before-and-after" non ha portato ad alcun risultato significativo per tutte le prove .

## Modelli di analisi economica

Questo elemento di studio ha implicato lo sviluppo di due modelli economici che potrebbero essere utilizzati per valutare i trattamenti di delimitazione stradale. Il primo, un modello di costo- benefici, è stato sviluppato per comparare le maggiori applicazioni di un trattamento di delimitazione. Il secondo, un modello di costo- analisi, è stato sviluppato per valutare i trattamenti per i quali i benefici sono assunti costanti ed indipendenti dalle minori variazioni del trattamento, per esempio pitture vs. termoplastici.

I parametri geometrici, di traffico e climatici non sono entrati direttamente in entrambi modelli, ma queste variabili influiscono sugli incidenti e sul costo e la vita di servizio dei trattamenti considerati. I due modelli sono anche supportati da procedure di costo dell'installazione, sviluppate per fornire una base uniforme per computare i costi dell'installazione dei trattamenti.

L'espressioni matematiche per i due modelli sono:

- Modello costo- benefici

$$PWB = \frac{AADT(365)}{10^6} \sum_{n=0}^N [RAR \times CA \times \frac{1+v}{1+i}]$$

$$PWC = \sum_{n=0}^N [\frac{(TIC)_n}{(1+i)^n} + \frac{(MC)_n}{(1+i)^n}] + \frac{TC}{(1+i)^N}$$

- Modello analisi- costo

$$PWC = \sum_{n=0}^N [\frac{(TIC)_n}{(1+i)^n} + \frac{(MC)_n}{(1+i)^n}] + \frac{TC}{(1+i)^N}$$

dove:

NPW= valore presente netto

PWB= valore presente nuovo del beneficio

PWC= valore presente del costo

AADT= traffico medio giornaliero nell'anno di riferimento

RAR= riduzione stimata del tasso di incidenti nell'anno di riferimento

CA= costo di un incidente

v= incremento percentuale annuo del volume di traffico

i= tasso di sconto

N= durata dell'analisi

(TIC)<sub>n</sub>= costo di installazione nell'anno n

TC= costo terminale alla fine della durata dell'analisi

(MC)<sub>n</sub>= costo di manutenzione nell'anno n

Il diagramma a blocchi mostrato nella figura 93 indica la procedura da seguire per l'esecuzione del modello. Primo, la situazione della carreggiata ed il trattamento da impiegare sono identificati. Secondo, i dati appropriati sono compilati per il trattamento scelto: sia il modello costo- benefici che quello costo- analisi è poi utilizzato per valutare il NPW oppure PWC (appropriato). NPW e PWC sono degli indici della desiderabilità economica e sono interpretati come segue:

Trattamenti con NPW zero sono tutti economicamente desiderabili; la desiderabilità economica cresce con l'incremento del valore di NPW;

- Il trattamento col minore PWC è il più economico.

### **Linee guida di delineaazione**

Questo elemento di ricerca ha implicato l'applicazione del modello costo- benefici ad un gruppo di situazioni di delineaazione per determinare la desiderabilità di trattamenti sicuri applicati in specifiche condizioni di strada e di traffico. Lo scopo dei calcoli di costo- benefici hanno incluso le applicazioni di delineaazione continua sia su tratti rettilinei che su quelli tortuosi, così come miglioramenti sporadici a due tratti di curva. I tipi di trattamento considerati sono riportati in tabella 18.

I calcoli di costo- benefici vengono fuori parametricamente dove gli intervalli di valori per tutti i costi, vite di servizio, eccetera, sono stati scelti per ciascuna applicazione del trattamento di delineaazione. L'aspetto economico è la sola base per valutare i vari trattamenti per la riduzione degli incidenti che è la sola misura dei benefici che sono derivati dai sistemi segnaletici. Una lacuna in questa procedura è l'incertezza associata col modello di incidente selezionato. Se il modello di incidente è discutibile, allora il modello costo- benefici deve similmente dar luogo a risultati discutibili. Utilizzando un modello costo- benefici, una serie di calcoli sono stati eseguiti per sviluppare i costi ed i benefici per ciascuna combinazione dei parametri per ciascun tipo di trattamento. Alcune conclusioni generali basate sui calcoli sono:

- Una striscia di mezzzeria aggiunta ai tratti rettilinei ed a quelli tortuosi, con nessun precedente trattamento, era più vantaggiosa per tutti i valori di costo, vita di servizio e traffico medio giornaliero considerato;
- Gli RPM di centro erano più efficienti delle strisce di mezzzeria, dove una vita di servizio di cinque o più anni è stimata per gli RPM e il TGM eccede i 3000 veicoli al giorno;
- I delineaatori erano più efficienti per tutti i valori di TGM sopra i 1000 veicoli al giorno, e nella maggior parte delle combinazioni fra costi di installazione e vite di servizio per TGM di meno di 500 veicoli al giorno;
- Le linee di margine con vita di servizio di cinque anni o più erano efficienti per molte strade con un TGM di 500 o più veicoli al giorno. Se il costo di installazione è minore di 1.65 dollari al miglio, l'efficienza è migliore con vite di servizio di 2 anni. Se il TGM eccede i 1000 veicoli al giorno, esse sono quasi più efficienti con una vita di servizio di un anno.

### **COMMENTI SULLA RICERCA**

Sebbene questa sia un'analisi estesa e globale del costo- efficienza di vari trattamenti di delineaazione, è importante riconoscere che i risultati di questa ricerca sono stati ottenuti attraverso un'analisi statistica sui dati di incidenti e perciò sono soggetti a tutti gli inconvenienti che un'analisi statistica comporta. Di particolare interesse è l'insufficienza di un'analisi statistica basata sui dati di incidenti. I dati di incidenti richiedono un lungo periodo per essere accumulati. Durante questo periodo le caratteristiche ambientali di una strada possono cambiare, la quantità di traffico può essere diversa e le regolamentazioni del traffico possono essere modificate. In aggiunta a tali cambiamenti nessuna coppia di siti di una carreggiata è esattamente uguale, a causa della variazione di dati da sito a sito. Queste variazioni rendono estremamente difficile improntare uno studio controllato, e dar luogo ad un presupposto per ottimi risultati statistici. Altri problemi sono stati incontrati nell'analisi statistica sui dati di incidenti, in relazione alla variazione delle procedure di registrazione degli incidenti da Stato a Stato e da Contea a Contea, alle anomalie nei database e dal tempo e costo coinvolto nella selezione dei tratti stradali con caratteristiche specifiche.

Da qui è importante che i risultati statistici siano utilizzati con particolare attenzione. I risultati del t-test stimano una riduzione media negli incidenti per un particolare trattamento di delineaazione, ma questi risultati non tengono conto delle geometrie della carreggiata, delle condizioni operative e delle condizioni climatiche.

I modelli di regressione, come il modello t-test, valutano anche la riduzione degli incidenti associata con i vari trattamenti di delimitazione, ma, a differenza del t-test, essi forniscono una stima dipendente da altre caratteristiche di carreggiata e parametri climatici. È importante ricordare, comunque, che sebbene il modello di regressione fornisca una stima del tasso medio di incidenti su un particolare tratto di carreggiata, l'applicazione di questi modelli ad un unico tratto stradale può essere soggetta a variazioni piuttosto marcate e dovrebbe essere utilizzata solo come guida generale.

Le raccomandazioni generali sull'utilizzo dei risultati di questa ricerca di modellizzazione degli incidenti sono:

- Se l'obiettivo da raggiungere è stimare la riduzione globale degli incidenti dovuta all'installazione di un particolare trattamento di delimitazione senza considerare le caratteristiche stradali, allora i risultati del t-test potrebbero essere applicati;
- Se l'effetto di un trattamento di delimitazione deve essere valutato per date caratteristiche geometriche, di carreggiata e operative, allora il modello di regressione dovrebbe essere considerato;
- Fra i modelli di regressione disponibili, una preferenza dovrebbe essere data a quello che meglio riflette le caratteristiche ambientali della strada. Per esempio, se l'obiettivo è valutare l'effetto della delimitazione sulle strade della California, i modelli sviluppati per gli stati dell'ovest sono i più appropriati.

I modelli economici, sviluppati per valutare i vari trattamenti di delimitazione stradale, includono tutte le variabili importanti che devono essere considerate e sembrano fornire un'ottima base per computare i costi e i benefici di differenti sistemi. Quando migliori modelli di incidenti saranno sviluppati, i modelli economici possono diventare migliori strumenti di pianificazione e ricerca per valutare le differenti forme di trattamenti di delimitazione.