

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile – Infrastrutture di Trasporto

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale



ANALISI SPERIMENTALE SU SEGNALETICA ORIZZONTALE INNOVATIVA
PER INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI

Relatore: Prof. Ing. Maurizio Crispino

Correlatore: Prof. Ing. Federico Fiori

Tesi di Laurea di:

Cassandra Barbiano di Belgiojoso matricola 798856

Alessandro Bianchi matricola 799296

Anno Accademico 2013-2014

Milano 3 Ottobre 2014

Vorremmo innanzitutto ringraziare il Prof. Ing. Maurizio Crispino ed il Prof. Ing. Federico Fiori per la supervisione e l'aiuto fornitoci durante i mesi di preparazione e redazione del presente lavoro di tesi.

Ringraziamo inoltre i tecnici della Potters che ci hanno seguito e consigliato durante le fasi di sperimentazione su campo. In particolare la nostra gratitudine è rivolta all'Ing. Ines Scaldaferrì, all'Ing. Thomas Guenther ed all'Ing. Gonçalo Grilo.

Sentiti ringraziamenti vanno anche ai rappresentanti della S.E.A. che, con pazienza e disponibilità, ci hanno accompagnato durante l'intero sviluppo della ricerca. Un grazie sentito al Geom. Giordano Paracchini, all'Ing. Stefano Dolci, all'Ing. Marco Scip ed ai tecnici del reparto manutenzione.

Un ulteriore ringraziamento è rivolto all'Impresa Segnaletica Conselvana che ci ha dedicato numerose notti di lavoro. In particolare si ringraziano i Sig. Paolo e Giuseppe Destro.

Ringraziamo infine tutti coloro che non sono stati nominati direttamente, ma che hanno contribuito alla realizzazione di questo progetto.

INDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUZIONE..... | 8 |
| 1. INQUADRAMENTO..... | 19 |
| 1.1. Segnaletica orizzontale di pista..... | 21 |
| 1.2. Segnaletica orizzontale delle vie di circolazione..... | 23 |
| 1.3. Segnaletica orizzontale dei piazzali..... | 25 |
| 2. MATERIALI IMPIEGATI..... | 25 |
| 2.1. Pitture | 27 |
| 2.1.1. Tipologie | 27 |
| 2.1.1.1. Pitture ad acqua | 28 |
| 2.1.1.2. Pitture a solvente | 29 |
| 2.1.2. Preparazione della superficie | 30 |
| 2.1.3. Stesa delle pitture..... | 36 |
| 2.1.3.1. Sistemi pneumatici | 36 |
| 2.1.3.2. Sistemi airless | 37 |
| 2.2. Prodotti termoplastici..... | 38 |
| 2.3. Microsfere di vetro | 39 |
| 2.3.1. Tipologie di microsfere | 41 |
| 2.3.2. Principali requisiti delle microsfere | 43 |
| 2.3.3. Modalità di applicazione delle microsfere | 45 |
| 2.3.4. Metodologie per l'applicazione di microsfere postspruzzate | 48 |
| 2.3.4.1. Applicazione a pressione | 48 |
| 2.3.4.2. Applicazione a gravità | 49 |
| 2.3.4.3. Applicazione manuale | 50 |
| 2.3.5. Controlli sull'applicazione delle microsfere | 51 |
| 2.3.5.1. Controlli visivi relativi al grado di affondamento ed alla densità | 53 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 2.3.5.2. | Controlli relativi al grado di retroriflettenza | 55 |
| 2.3.5.3. | Controlli relativi al grado di resistenza al derapaggio | 60 |
| 2.3.5.4. | Controlli relativi al coefficiente di luminanza con illuminazione diffusa | 63 |
| 3. | STATO DELL'ARTE..... | 64 |
| 3.1. | International Civil Aviation Organization | 66 |
| 3.2. | Federal Aviation Administration | 68 |
| 3.3. | Ente Nazionale per l'Aviazione Civile | 71 |
| 3.4. | Ente Nazionale Italiano di Unificazione | 73 |
| 3.5. | Articoli scientifici | 79 |
| 3.5.1. | Ambito aeroportuale | 80 |
| 3.5.2. | Ambito stradale | 87 |
| 4. | PIANO SPERIMENTALE | 102 |
| 4.1. | Aeroporto di Milano Malpensa..... | 104 |
| 4.1.1. | Determinazione dei siti di prova..... | 107 |
| 4.1.1.1. | Zone di test per la segnaletica bianca | 109 |
| 4.1.1.2. | Zone di test per la segnaletica gialla | 113 |
| 4.2. | Materiali utilizzati durante le prove..... | 116 |
| 4.2.1. | Materiali impiegati a Malpensa | 117 |
| 4.2.2. | Materiali proposti dalla Potters Industries..... | 121 |
| 4.3. | Attrezzature utilizzate durante le prove | 125 |
| 4.3.1. | Macchina traccialinee | 126 |
| 4.3.2. | Retroriflettometro | 128 |
| 4.3.3. | British Pendulum Skid Resistance Tester..... | 130 |
| 4.3.4. | Termometro laser a infrarossi | 133 |
| 4.3.5. | Strumentazione per la prova di altezza in sabbia..... | 134 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4.4. | Metodologia sperimentale | 136 |
| 4.4.1. | Settaggio dei macchinari di stesa | 136 |
| 4.4.2. | Applicazione dei sistemi segnaletici | 146 |
| 4.4.2.1. | Sistemi segnaletici bianchi | 147 |
| 4.4.2.2. | Sistemi segnaletici gialli..... | 152 |
| 4.4.2.3. | Considerazioni e problematiche relative alle applicazioni..... | 160 |
| 4.4.3. | Raccolta dati | 165 |
| 5. | PRESENTAZIONE ED ANALISI DEI RISULTATI | 170 |
| 5.1. | Dati di SRT | 170 |
| 5.2. | Dati di R_L e Q_d | 179 |
| 5.2.1. | Segnaletica bianca nella zona Cargo Sud..... | 180 |
| 5.2.2. | Segnaletica bianca nella pista 35L | 190 |
| 5.2.3. | Segnaletica gialla nella zona Cargo Sud | 203 |
| 5.2.4. | Segnaletica gialla sul raccordo Charlie-Alfa..... | 216 |
| 5.2.5. | Segnaletica gialla sulle piazzole di sosta..... | 228 |
| 5.3. | Dati di macrorugosità..... | 235 |
| 5.4. | Dati di R_L in presenza di spessori idrici controllati | 241 |
| | CONCLUSIONI..... | 246 |
| | BIBLIOGRAFIA..... | 253 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|-----|
| Figura 1.1: Segnaletica orizzontale di pista in condizioni di ridotta visibilità. | 20 |
| Figura 1.2: Contorno nero per segnaletica gialla su pavimentazione in calcestruzzo. | 20 |
| Figura 1.3: Markings di soglia, asse pista, bordo pista e TDZ. | 23 |
| Figura 1.4: Segnaletica orizzontale relativa ad una posizione di attesa. | 24 |
| Figura 2.1: Deterioramento provocato dalla sovrapposizione di numerosi strati di pittura. | 31 |
| Figura 2.2: Asportazione del prodotto segnaletico a causa della presenza di composto solidificante. | 31 |
| Figura 2.3: Oscuramento della segnaletica provocato da residui di gomma. | 32 |
| Figura 2.4: Oscuramento della segnaletica orizzontale ad opera di muschi e funghi. | 33 |
| Figura 2.5: Accentuata presenza di ruggine su un marking di pista. | 33 |
| Figura 2.6: Sversamento d'olio sulla pavimentazione e sulla segnaletica orizzontale. | 34 |
| Figura 2.7: Sistema pneumatico per l'applicazione di pitture da segnaletica orizzontale. | 37 |
| Figura 2.8: Sistema airless per l'applicazione di pitture da segnaletica orizzontale. | 38 |
| Figura 2.9: Fenomeno della retroriflettenza. | 40 |
| Figura 2.10: Differenza nell'ampiezza del cono di luce retroriflessa tra microsfere con IOR pari a 1,5 e 1,9. | 42 |
| Figura 2.11: Ingrandimento al microscopio rispettivamente, da sinistra a destra, di microsfere premiscelate, microsfere postspruzzate ed una combinazione dei due metodi. | 46 |
| Figura 2.12: Microsfere di differenti dimensioni inglobate nel prodotto segnaletico. | 47 |
| Figura 2.13: Applicazione a pressione di microsfere di vetro postspruzzate. | 49 |
| Figura 2.14: Applicazione a gravità di microsfere di vetro postspruzzate. | 49 |
| Figura 2.15: Disuniformità della distribuzione di microsfere causata da un'applicazione di tipo manuale. | 50 |
| Figura 2.16: Distribuzione di microsfere a) uniforme, b) insufficiente, c) centrale e d) laterale. | 55 |
| Figura 2.17: Geometria impiegata nelle misure di retroriflettenza. | 56 |
| Figura 3.1: Esempio della grande variabilità delle dimensioni degli aeromobili. | 80 |
| Figura 3.2: Center line di taxiway realizzata con microsfere Type I e Type III. | 86 |
| Figura 3.3: Confronto tra condizioni asciutte e di bagnato per l'operatività delle microsfere. | 97 |
| Figura 4.1: Vista aerea dell'aeroporto di Milano Malpensa. | 106 |
| Figura 4.2: Segnaletica quasi completamente oscurata dal deposito di gomma, sulla testata della pista 35L di Malpensa. | 110 |
| Figura 4.3: Siti di test per la segnaletica bianca. | 113 |
| Figura 4.4: Siti di test per la segnaletica gialla. | 116 |
| Figura 4.5: Macchina traccialinee CMC L90ITP. | 126 |
| Figura 4.6: Retroriflettometro Zehntner ZRM 6013. | 129 |
| Figura 4.7: British Pendulum Skid Resistance Tester. | 131 |
| Figura 4.8: British Pendulum Skid Resistance Tester Controls 48-B0190. | 132 |
| Figura 4.9: Termometro laser Smart Sensor AR882. | 134 |
| Figura 4.10: Strumentazione per l'effettuazione della prova di altezza in sabbia. | 135 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.11: Definizione del corretto posizionamento delle pistole di stesa..... | 137 |
| Figura 4.12: Fase di stesa della vernice su un cartoncino di peso noto..... | 139 |
| Figura 4.13: Determinazione del peso della pittura applicata sul cartoncino di peso noto. | 139 |
| Figura 4.14: Posizionamento del sacchetto di raccolta delle microsfere erogate su 1 m ² di superficie..... | 141 |
| Figura 4.15: Determinazione del quantitativo di microsfere erogate su 1 m ² di superficie. | 142 |
| Figura 4.16: Verifica di inglobamento delle microsfere a) Type I e b) Type III mediante lente di ingrandimento. | 146 |
| Figura 4.17: Verifica di inglobamento delle microsfere ICAO mediante lente di ingrandimento..... | 146 |
| Figura 4.18: Viabilità ordinaria realizzata con microsfere Type I e pittura ad acqua bianca nella zona Cargo Sud..... | 147 |
| Figura 4.19: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere Type I e pittura ad acqua bianca sulla testata della pista 35L. | 148 |
| Figura 4.20: Viabilità ordinaria realizzata con microsfere Type III e pittura ad acqua bianca nella zona Cargo Sud..... | 149 |
| Figura 4.21: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere Type III e pittura ad acqua bianca sulla testata della pista 35L. | 149 |
| Figura 4.22: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere ICAO e pittura ad acqua bianca sulla testata della pista 35L. | 150 |
| Figura 4.23: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere Type I e pittura a solvente bianca sulla testata della pista 35L. | 151 |
| Figura 4.24: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere Type III e pittura a solvente bianca sulla testata della pista 35L. | 151 |
| Figura 4.25: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere ICAO e pittura a solvente bianca sulla testata della pista 35L. | 152 |
| Figura 4.26: Centerline di taxiway realizzata con microsfere Type I e pittura ad acqua gialla nella zona Cargo Sud..... | 153 |
| Figura 4.27: Linea tratteggiata di stop bar realizzata con vernice ad acqua gialla e microsfere Type I..... | 153 |
| Figura 4.28: Porzione di linea di lead in della piazzola 863 realizzata con vernice ad acqua gialla e microsfere Type I, su superficie in calcestruzzo..... | 154 |
| Figura 4.29: Centerline di taxiway realizzata con microsfere Type III e pittura ad acqua gialla nella zona Cargo Sud... | 155 |
| Figura 4.30: Linea tratteggiata di stop bar realizzata con vernice ad acqua gialla e microsfere Type III..... | 155 |
| Figura 4.31: Porzione di linea di lead in della piazzola 863 realizzata con vernice ad acqua gialla e microsfere Type III, su superficie in calcestruzzo..... | 156 |
| Figura 4.32: Linea continua di stop bar realizzata con vernice ad acqua gialla e microsfere ICAO. | 156 |
| Figura 4.33: Linea continua di stop bar realizzata con vernice a solvente gialla e microsfere Type I. | 157 |
| Figura 4.34: Linea continua di stop bar realizzata con vernice a solvente gialla e microsfere Type III. | 158 |
| Figura 4.35: Linea continua di stop bar realizzata con vernice ad solvente gialla e microsfere ICAO. | 158 |
| Figura 4.36: Centerline di taxiway realizzata rispettivamente da sinistra verso destra con miscela antiskid, microsfere ICAO e sola pittura ad acqua gialla nella zona Cargo Sud..... | 159 |
| Figura 4.37: Spessore non uniforme della stesa di pittura. | 161 |
| Figura 4.38: Affiancamento delle stese non perfettamente eseguito. | 161 |
| Figura 4.39: Sovrapposizione delle stese adiacenti al bordo del segnale orizzontale. | 162 |
| Figura 4.40: Introduzione della pittura impiegata all'interno del serbatoio del macchinario di stesa. | 163 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.41: Copertura dei fuochi di pista prima del passaggio del macchinario di stesa. | 163 |
| Figura 4.42: Dispersione delle microsfere di vetro nell'area adiacente alla stesa della segnaletica orizzontale. | 164 |
| Figura 4.43: Corretto posizionamento del righello distanziatore. | 167 |
| Figura 4.44: Fasi per l'esecuzione del metodo di altezza in sabbia: a) versamento della sabbia, b) spargimento in forma circolare e c) misura dei diametri dell'impronta. | 169 |
| Figura 5.1: Segnaletica realizzata con pittura ad acqua bianca e a) microsfere Type I e b) microsfere Type III nella zona Cargo Sud. | 180 |
| Figura 5.2: Punto di stacco tra microsfere Type I e microsfere Type III sulla viabilità ordinaria della zona Cargo Sud. | 188 |
| Figura 5.3: Aspetto della segnaletica realizzata nella zona cargo Sud con a) microsfere Type I e b) microsfere Type III in condizioni di illuminazione diffusa. | 189 |
| Figura 5.4: Punto di passaggio tra microsfere Type I e Type III su pittura ad acqua bianca nella zona Cargo Sud. | 190 |
| Figura 5.5: Segnaletica realizzata con pittura ad acqua bianca e a) microsfere Type I, b) microsfere Type III, c) microsfere ICAO e con pittura a solvente bianca e d) microsfere Type I, e) microsfere Type III, f) microsfere ICAO sulla pista 35L. | 191 |
| Figura 5.6: Schema ideale di rilevamento dei parametri R_L e Q_d su un generico fazzoletto di TDZ posto sulla pista 35L. | 192 |
| Figura 5.7: Schema effettivo di rilevamento dei parametri R_L e Q_d su un generico fazzoletto di TDZ posto sulla pista 35L. | 192 |
| Figura 5.8: Aspetto della segnaletica orizzontale realizzata nella pista 35L mediante a) pittura all'acqua e b) pittura a solvente unite rispettivamente, da sinistra verso destra, a microsfere Type I, Type III ed ICAO. | 202 |
| Figura 5.9: Segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e a) microsfere Type I e b) microsfere Type III nella zona Cargo Sud. | 204 |
| Figura 5.10: Punto di stacco tra microsfere Type I e microsfere Type III sulla centerline di taxiway della zona Cargo Sud. | 211 |
| Figura 5.11: Punto di stacco tra microsfere Type III e miscela antiskid sulla centerline di taxiway della zona Cargo Sud. | 216 |
| Figura 5.12: Segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e a) microsfere Type I, b) microsfere Type III, c) microsfere ICAO e con pittura a solvente gialla e d) microsfere Type I, e) microsfere Type III, f) microsfere ICAO sulla pista 35L. | 217 |
| Figura 5.13: Configurazione per la simulazione della visibilità da cockpit. | 226 |
| Figura 5.14: Visione da altezza cockpit rispettivamente a) della stop bar pattern B e b) della stop bar pattern A. | 227 |
| Figura 5.15: a) pavimentazione della zona Cargo Sud e b) pavimentazione del raccordo Charlie-Alfa. | 235 |
| Figura 5.16: Scarso inglobamento delle microsfere rilevato sul raccordo Charlie-Alfa. | 240 |
| Figura 5.17: Retroriflettometro posizionato all'interno dell'area di test delimitata dal cordolo in silicone. | 242 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|-----|
| Tabella 1.1: Dimensioni, distanze reciproche e numero di strisce costituenti la segnaletica orizzontale d'asse pista e di soglia..... | 22 |
| Tabella 1.2: Posizione e dimensioni degli Aiming Points. | 22 |
| Tabella 1.3: Numero di coppie costituenti la segnaletica di TDZ, in funzione della LDA o della distanza tra le soglie..... | 23 |
| Tabella 2.1: Valori di riferimento per la valutazione della resistenza al derapaggio in ambito aeroportuale..... | 61 |
| Tabella 2.2: Valori di aderenza valutati in funzione del tipo di pavimentazione e del tipo di microsfere..... | 63 |
| Tabella 2.3: Classi di Q_d per segnaletica orizzontale asciutta. | 64 |
| Tabella 3.1: Specifiche per l'impiego di bordature nere e microsfere di vetro. | 70 |
| Tabella 3.2: Quantitativo di pittura e di microsfere necessario per una corretta realizzazione della segnaletica orizzontale, sulla base della tipologia adottata. | 71 |
| Tabella 3.3: Classi di R_L per segnaletica orizzontale asciutta. | 74 |
| Tabella 3.4: Classi di R_L per segnaletica orizzontale in condizioni di bagnato. | 75 |
| Tabella 3.5: Classi di R_L per segnaletica orizzontale in condizioni di pioggia. | 75 |
| Tabella 3.6: Indicazioni relative al massimo contenuto di microsfere da postspruzzare difettose. | 76 |
| Tabella 3.7: Indicazioni relative al massimo contenuto di microsfere da premiscelare difettose..... | 78 |
| Tabella 3.8: Valori di retroriflettenza valutati inizialmente e dopo 8 mesi. | 82 |
| Tabella 3.9: Valori di R_L iniziali e finali su pavimentazione in calcestruzzo ed in conglomerato bituminoso. | 84 |
| Tabella 4.1: Composizione della pittura a solvente impiegata nella realizzazione della segnaletica orizzontale bianca. | 118 |
| Tabella 4.2: Granulometria delle microsfere premiscelate nella pittura a solvente. | 118 |
| Tabella 4.3: Densità, viscosità e tempo di essiccazione in condizioni standard della pittura a solvente. | 119 |
| Tabella 4.4: Composizione della pittura a solvente impiegata nella realizzazione della segnaletica orizzontale gialla. | 119 |
| Tabella 4.5: Composizione chimica del diluente per vernici impiegato. | 120 |
| Tabella 4.6: Composizione chimica delle microsfere di vetro attualmente impiegate nell'aeroporto di Milano Malpensa. | 121 |
| Tabella 4.7: Granulometria delle microsfere di vetro postspruzzate sulla pittura a solvente..... | 121 |
| Tabella 4.8: Componenti non pericolose della pittura ad acqua impiegata nella realizzazione della segnaletica orizzontale bianca..... | 123 |
| Tabella 4.9: Componenti pericolose della pittura ad acqua impiegata nella realizzazione della segnaletica orizzontale bianca. | 123 |
| Tabella 4.10: Granulometria delle microsfere di vetro Type III postspruzzate su pittura sia all'acqua sia a solvente. ... | 123 |
| Tabella 4.11: Proprietà fisiche e chimiche delle microsfere Type III fornite dalla Potters Ind. | 124 |
| Tabella 4.12: Granulometria degli elementi antiderapanti. | 125 |
| Tabella 4.13: Specifiche tecniche della macchina traccialinee CMC LP90ITP. | 127 |
| Tabella 4.14: Specifiche tecniche del retroriflettometro Zehntner ZRM 6013..... | 130 |
| Tabella 4.15: Specifiche tecniche del termometro laser Smart Sensor AR882..... | 134 |

| | |
|---|-----|
| Tabella 4.16: Quantitativi di pittura consigliati dalla Potters Industries, in funzione del tipo di microsfera adottata... | 138 |
| Tabella 4.17: Quantitativi di microsfere consigliati dalla Potters Industries, in funzione della tipologia adottata. | 141 |
| Tabella 4.18: Pressione e quantitativo delle microsfere Type I associate alla pittura ad acqua. | 142 |
| Tabella 4.19: Pressione e quantitativo delle microsfere Type III associate alla pittura ad acqua. | 143 |
| Tabella 4.20: Pressione e quantitativo delle microsfere ICAO associate alla pittura ad acqua. | 143 |
| Tabella 4.21: Pressione e quantitativo delle microsfere Type I associate alla pittura a solvente. | 144 |
| Tabella 4.22: Pressione e quantitativo delle microsfere Type III associate alla pittura a solvente. | 144 |
| Tabella 4.23: Pressione e quantitativo delle microsfere ICAO associate alla pittura a solvente. | 144 |
| Tabella 4.24: Pressione e quantitativo delle microsfere Type III e dei granuli antiskid associati alla pittura ad acqua. | 145 |
| Tabella 4.25: Tempi di stesa dei markings di TDZ presenti sulla testata della pista 35L. | 165 |
| Tabella 5.1: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type I realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 171 |
| Tabella 5.2: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type I realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 172 |
| Tabella 5.3: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type III realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 172 |
| Tabella 5.4: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type III realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 172 |
| Tabella 5.5: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere ICAO realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 173 |
| Tabella 5.6: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere ICAO realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 173 |
| Tabella 5.7: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico privo di microsfere realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 174 |
| Tabella 5.8: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico privo di microsfere realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 174 |
| Tabella 5.9: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type III e granuli antiderapanti realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 175 |
| Tabella 5.10: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type III e granuli antiderapanti realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso. | 176 |
| Tabella 5.11: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su una superficie in conglomerato bituminoso priva di sistemi segnaletici. | 176 |
| Tabella 5.12: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su una superficie in conglomerato bituminoso priva di sistemi segnaletici. | 177 |
| Tabella 5.13: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type I realizzato su una superficie in calcestruzzo. | 177 |
| Tabella 5.14: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type I realizzato su una superficie in calcestruzzo. | 178 |

| | |
|--|-----|
| Tabella 5.15: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type III realizzato su una superficie in calcestruzzo..... | 178 |
| Tabella 5.16: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type III realizzato su una superficie in calcestruzzo. | 178 |
| Tabella 5.17: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su una superficie in calcestruzzo priva di sistemi segnaletici. | 179 |
| Tabella 5.18: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate una superficie in calcestruzzo priva di sistemi segnaletici. | 179 |
| Tabella 5.19: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type I nella zona Cargo Sud..... | 181 |
| Tabella 5.20: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type I nella zona Cargo Sud..... | 181 |
| Tabella 5.21: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type III nella zona Cargo Sud..... | 181 |
| Tabella 5.22: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type III nella zona Cargo Sud..... | 182 |
| Tabella 5.23: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua bianca e microsfere Type I nella zona Cargo Sud. | 183 |
| Tabella 5.24: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua bianca e microsfere Type III nella zona Cargo Sud. | 183 |
| Tabella 5.25: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type I sulla pista 35L..... | 193 |
| Tabella 5.26: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type III sulla pista 35L..... | 193 |
| Tabella 5.27: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere ICAO sulla pista 35L..... | 194 |
| Tabella 5.28: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente bianca e microsfere Type I sulla pista 35L..... | 198 |
| Tabella 5.29: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente bianca e microsfere Type III sulla pista 35L..... | 198 |
| Tabella 5.30: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente bianca e microsfere Type III sulla pista 35L..... | 199 |
| Tabella 5.31: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud..... | 204 |
| Tabella 5.32: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud..... | 205 |
| Tabella 5.33: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud..... | 205 |

| | |
|---|-----|
| Tabella 5.34: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud..... | 206 |
| Tabella 5.35: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud..... | 207 |
| Tabella 5.36: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud..... | 207 |
| Tabella 5.37: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III unite a granuli antiskid nella zona Cargo Sud..... | 212 |
| Tabella 5.38: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III unite a granuli antiskid nella zona Cargo Sud..... | 212 |
| Tabella 5.39: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III unite a granuli antiskid nella zona Cargo Sud..... | 213 |
| Tabella 5.40: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I sul raccordo CA..... | 218 |
| Tabella 5.41: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III sul raccordo CA..... | 218 |
| Tabella 5.42: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere ICAO sul raccordo CA..... | 219 |
| Tabella 5.43: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente gialla e microsfere Type I sul raccordo CA..... | 222 |
| Tabella 5.44: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente gialla e microsfere Type III sul raccordo CA..... | 222 |
| Tabella 5.45: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente gialla e microsfere ICAO sul raccordo CA..... | 223 |
| Tabella 5.46: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I su piazzola di sosta..... | 229 |
| Tabella 5.47: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I su piazzola di sosta..... | 229 |
| Tabella 5.48: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III su piazzola di sosta..... | 230 |
| Tabella 5.49: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III su piazzola di sosta..... | 230 |
| Tabella 5.50: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud..... | 231 |
| Tabella 5.51: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud..... | 231 |
| Tabella 5.52: Altezza in sabbia relativa alla segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud..... | 236 |

| | |
|---|-----|
| Tabella 5.53: Altezza in sabbia relativa alla segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e microsferi Type III nella zona Cargo Sud. | 236 |
| Tabella 5.54: Altezza in sabbia relativa alla segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e microsferi Type I nel raccordo CA. | 237 |
| Tabella 5.55: Altezza in sabbia relativa alla segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e microsferi Type III nel raccordo CA. | 237 |
| Tabella 5.56: Valori di altezza in sabbia e retroriflettenza in corrispondenza dei sistemi segnaletici realizzati con microsferi Type I. | 238 |
| Tabella 5.57: Valori di altezza in sabbia e retroriflettenza in corrispondenza dei sistemi segnaletici realizzati con microsferi Type III. | 238 |
| Tabella 5.58: Corrispondenza tra valori di altezza del velo idrico simulato e del parametro R_L bagnato. | 242 |
| Tabella 5.59: Corrispondenza tra valori di altezza del velo idrico simulato e del parametro R_L bagnato. | 243 |
| Tabella 5.60: Corrispondenza tra valori di altezza del velo idrico simulato e del parametro R_L bagnato. | 243 |

INDICE DEI GRAFICI

| | |
|---|-----|
| Grafico 2.1: Percentuale di microsfere che rotolano misurata all'aumentare della velocità di stesa. | 52 |
| Grafico 2.2: Riduzione della retroriflettenza misurata all'aumentare della velocità di stesa..... | 53 |
| Grafico 3.1: Costo cumulato nell'arco di 8 anni relativo alla vita utile di microsfere Type I e Type III. | 83 |
| Grafico 3.2: Tempo di recupero della retroriflettenza per pavimentazioni in conglomerato bituminoso. | 85 |
| Grafico 3.3: Tempo di recupero della retroriflettenza per pavimentazioni in calcestruzzo. | 85 |
| Grafico 3.4: Legame tempo-retroriflettenza durante le prime fasi di vita della segnaletica orizzontale. | 94 |
| Grafico 3.5: Legame tempo-retroriflettenza durante le fasi finali di vita della segnaletica orizzontale..... | 94 |
| Grafico 3.6: Variazione della legge tempo-retroriflettenza causata da un ripristino della segnaletica o da interventi di rimozione della neve. | 95 |
| Grafico 3.7: Confronto tra "Standard Beads" e "Large Beads" in condizioni di pioggia e di bagnato. | 98 |
| Grafico 3.8: Relazione logaritmica tra retroriflettenza e distanza di visibilità..... | 99 |
| Grafico 3.9: Confronto tra risultati teorici e sperimentali relativi a valori di retroriflettenza valutati in funzione dell'affondamento delle microsfere. | 100 |
| Grafico 4.1: Diagramma di correzione del parametro SRT in funzione della temperatura della pavimentazione. | 132 |
| Grafico 5.1: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud. | 184 |
| Grafico 5.2: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud. | 185 |
| Grafico 5.3: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud. | 186 |
| Grafico 5.4: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud. | 187 |
| Grafico 5.5: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L. | 195 |
| Grafico 5.6: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L. | 196 |
| Grafico 5.7: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L. | 197 |
| Grafico 5.8: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L. | 197 |
| Grafico 5.9: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura a solvente bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L. | 199 |
| Grafico 5.10: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura a solvente bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L. | 200 |
| Grafico 5.11: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura a solvente bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L. | 201 |

| | |
|---|-----|
| Grafico 5.12: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura a solvente bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L. | 201 |
| Grafico 5.13: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud. | 208 |
| Grafico 5.14: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud. | 209 |
| Grafico 5.15: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud. | 210 |
| Grafico 5.16: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud. | 210 |
| Grafico 5.17: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type III e miscela antiskid nella zona Cargo Sud..... | 213 |
| Grafico 5.18: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type III e miscela antiskid nella zona Cargo Sud..... | 214 |
| Grafico 5.19: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type III e miscela antiskid nella zona Cargo Sud..... | 215 |
| Grafico 5.20: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type III e miscela antiskid nella zona Cargo Sud. | 215 |
| Grafico 5.21: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA. | 220 |
| Grafico 5.22: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA. | 220 |
| Grafico 5.23: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA. | 221 |
| Grafico 5.24: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA. | 221 |
| Grafico 5.25: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura a solvente gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA. | 223 |
| Grafico 5.26: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura a solvente gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA. | 224 |
| Grafico 5.27: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura a solvente gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA. | 225 |
| Grafico 5.28: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura a solvente gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA. | 225 |
| Grafico 5.29: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla con microsfere Type I su calcestruzzo e su conglomerato. | 232 |
| Grafico 5.30: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla con microsfere Type I su calcestruzzo e su conglomerato. | 233 |

| | |
|--|-----|
| Grafico 5.31: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla con microsfere Type III su calcestruzzo e su conglomerato. | 234 |
| Grafico 5.32: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla con microsfere Type III su calcestruzzo e su conglomerato. | 234 |
| Grafico 5.33: Legame tra macrorugosità e parametro R_L asciutto per microsfere Type I e Type III..... | 239 |
| Grafico 5.34: Legame tra macrorugosità e parametro R_L bagnato per microsfere Type I e Type III. | 239 |
| Grafico 5.35: Legami tra spessore del velo idrico e parametro R_L per microsfere Type I, Type III e ICAO. | 244 |

Introduzione

Nell'ambito specifico delle infrastrutture aeroportuali molteplici sono i fattori che concorrono all'ottenimento delle condizioni minime ed indispensabili di sicurezza.

Imprescindibile è la funzione di guida fornita dagli aiuti visivi luminosi presenti, nonché l'azione svolta dalla torre di controllo al fine di gestire e coordinare, in modo ottimale e sicuro, gli spostamenti dei velivoli e dei mezzi stradali in transito all'interno del sedime aeroportuale.

Tuttavia, un ruolo fondamentale viene rivestito anche dalla segnaletica orizzontale, la quale si configura come il più economico tra i sistemi di ausilio atti a guidare ed indirizzare non solo i piloti degli aeromobili, ma anche i conducenti dei numerosi veicoli che quotidianamente interessano le zone di transito. In particolare la funzione che essa ricopre non è limitata alle sole ore diurne, ma si estende anche a quelle notturne, grazie alla particolare tecnologia con cui viene realizzata ed agli specifici materiali impiegati.

Il lavoro di tesi qui presentato si concentra su quest'ultimo aspetto, proponendosi di analizzare materiali innovativi in grado di rendere più facilmente percepibile la segnaletica orizzontale, specialmente in condizioni di scarsa visibilità, come quelle offerte dal buio notturno o da avverse condizioni meteorologiche.

Inoltre lo studio tratta non solo i prodotti impiegati nella realizzazione della segnaletica orizzontale, ma anche le modalità secondo cui vengono generalmente stese le applicazioni e i metodi attualmente in uso per l'indagine delle performance fornite.

La ricerca infatti nasce dall'esigenza di introdurre indicazioni specificatamente aeroportuali relative ai diversi aspetti che riguardano la realizzazione ed il monitoraggio delle prestazioni degli impianti segnaletici, in quanto attualmente le normative vigenti si riferiscono essenzialmente al contesto stradale. Tale situazione risulta limitante in quanto la percezione visiva che si ottiene dall'interno di un veicolo stradale necessariamente non può essere la medesima di quella che si ottiene da un aeromobile, a causa delle evidenti differenze, geometriche e non, presenti.

La trattazione è stata condotta, grazie al supporto ed all'intervento della società Potters quale principale fornitrice dei materiali impiegati per la sperimentazione, dell'impresa Segnaletica Conselvana quale ente incaricato delle applicazioni, della Società Esercizi Aeroportuali quale coordinatore delle operazioni all'interno dell'aeroporto internazionale di Milano Malpensa e del Politecnico di Milano.

La sperimentazione su segnaletica orizzontale innovativa si è svolta secondo un iter di scelta e definizione dei materiali e delle procedure di applicazione, di monitoraggio delle proprietà visive dei sistemi segnaletici eseguiti e di analisi dei dati ricavati dalle campagne di prova eseguite.

Oltre all'impiego di prodotti non ancora diffusi sul mercato italiano e di materiali ancora in fase di definizione e progettazione, l'aspetto innovativo del lavoro svolto risiede anche nella peculiarità dell'ambito di applicazione, raramente e scarsamente indagato in precedenza.

Duplica è stata pertanto l'utilità della ricerca condotta, in quanto ha permesso, da una parte, all'azienda produttrice di testare e sperimentare su campo prodotti innovativi e non ancora immessi sul mercato mondiale; dall'altra ha favorito un approfondimento delle conoscenze teoriche e prestazionali dei sistemi segnaletici quali applicazioni volte all'incremento della sicurezza nel particolare contesto aeroportuale, sostanzialmente differente sotto molteplici aspetti da quello stradale, più noto e storicamente più indagato.

In particolare lo studio condotto si è focalizzato sull'analisi dei valori del coefficiente di luminanza retro riflessa, raccolti facendo riferimento ad impianti segnaletici differenti tra loro per quanto riguarda i materiali costitutivi e simulando condizioni sia di asciutto sia di bagnato.

Sono state inoltre condotte prove volte alla valutazione della resistenza al derapaggio offerta dalla superficie segnaletica, in modo tale da non perdere di vista questo ulteriore parametro essenziale ai fini della sicurezza.

Infine, per completezza di indagine, sono stati raccolti dati recanti informazioni relativamente alla visibilità diurna, o comunque in condizioni di illuminazione diffusa, della segnaletica orizzontale realizzata.

L'elaborazione, l'analisi ed il confronto tra i dati raccolti hanno coronato la ricerca, portando gli autori ad individuare le principali problematiche o carenze relative all'attuale stato dell'arte inerente i sistemi segnaletici orizzontali e, dove i dati raccolti si sono dimostrati sufficienti in quantità e qualità, a fornire possibili soluzioni ed accorgimenti da attuare al fine di garantire un adeguato livello prestazionale in termini di visibilità notturna, senza però compromettere altri requisiti fondamentali quali, ad esempio, la presenza di una idonea resistenza al derapaggio.

Lo studio inoltre ha messo in luce problematiche alle quali non è stato possibile trovare soluzione, in quanto relative a dettagli che solo tramite uno specifico focus ed un adeguato affinamento della ricerca possono essere pienamente indagati.

La tesi, oltre a configurarsi come lavoro di ricerca e sperimentazione, costituisce pertanto anche il punto di inizio per lo sviluppo di futuri approfondimenti relativi all'ambito della segnaletica orizzontale aeroportuale, oggi non ancora adeguatamente conosciuto.

1. Inquadramento

Il lavoro di tesi svolto e qui riportato si colloca nell'ambito aeroportuale e, in particolare, si inserisce all'interno del tema relativo alla segnaletica orizzontale utilizzata in tale contesto.

Risulta pertanto opportuno, prima di procedere alla focalizzazione dell'argomento specificamente trattato, fornire un inquadramento di massima in relazione alle caratteristiche proprie della segnaletica impiegata negli aeroporti [1], [2]. In prima istanza occorre precisare che ogni singolo segnale è caratterizzato da una localizzazione prestabilita e da una particolare tipologia di simbolo che lo contraddistingue. La segnaletica viene tracciata sulle pavimentazioni delle aree di movimento al fine di fornire informazioni prospettiche che siano di ausilio per i piloti, sia di aeromobili sia di veicoli. In particolare funge da guida per l'allineamento e la posizione del velivolo e facilita l'individuazione della pista e della relativa soglia, costituendo l'unico aiuto visivo di tipo continuo [3].

Il segnalamento orizzontale svolge quindi un ruolo fondamentale di ausilio e supporto al pilota durante tutte le manovre svolte a terra, oltre che durante la fase di avvicinamento alla pista nello svolgimento dell'operazione di atterraggio.

La mancanza di chiarezza della segnaletica orizzontale può risultare molto pericolosa, inducendo confusione nel pilota e causando quindi una riduzione di sicurezza che può contribuire pertanto all'insorgere di incidenti. Risulta dunque opportuno garantire sempre al pilota un'adeguata percezione dei markings, soprattutto durante le operazioni notturne o in presenza di condizioni atmosferiche avverse, come nel caso di nebbia o pioggia. Sono proprio queste infatti le situazioni in cui, come messo in evidenza in Figura 1.1, la visibilità raggiunge i livelli minimi e la segnaletica orizzontale svolge quindi un ruolo di fondamentale ausilio al pilota.

Chiaramente anche la segnaletica orizzontale è caratterizzata da alcuni punti deboli, descritti brevemente nel seguito:

- diminuzione progressiva del rapporto di contrasto con il manto superficiale della pavimentazione che provoca quindi una riduzione della visibilità diurna del segnale;
- riduzione graduale dei dispositivi che consentono la visibilità notturna dei segnali orizzontali;
- attenuazione dell'attrito dei pneumatici del velivolo sul segnale orizzontale rispetto alla limitrofa pavimentazione.

Al fine di garantire in ogni situazione una qualità sufficientemente elevata della segnaletica orizzontale, l'ente gestore dello scalo aeroportuale deve costantemente monitorare tali parametri, programmando adeguate campagne di intervento a scopo manutentivo.



Figura 1.1: Segnaletica orizzontale di pista in condizioni di ridotta visibilità.

A seconda della zona in cui vengono tracciati e quindi della tipologia di informazioni che devono trasmettere ai piloti degli aeromobili, i markings possono assumere differenti colorazioni: essi sono generalmente bianchi sulle runways, gialli sulle taxiways, rossi nelle piazzole di sosta.

Nel caso in cui il contrasto tra il segnale e la pavimentazione non sia sufficiente a garantirne una buona percezione, è possibile adottare contorni neri per la segnaletica bianca e gialla stesa su pavimentazioni chiare in calcestruzzo (Figura 1.2), oppure contorni bianchi per la segnaletica rossa tracciata sullo sfondo scuro di pavimentazioni in conglomerato bituminoso.



Figura 1.2: Contorno nero per segnaletica gialla su pavimentazione in calcestruzzo.

1.1. Segnaletica orizzontale di pista

Per quanto riguarda i markings di pista, questi sono generalmente di colore bianco e constano principalmente di segnaletica di asse pista e strisce di bordo pista, le quali vengono poste sulle piste con avvicinamento di precisione e su tutte quelle in cui non vi è sufficiente contrasto con le banchine laterali. Sono costituite da due strisce parallele poste simmetricamente lungo i bordi della pista, in modo tale che il loro margine esterno ne delimiti la larghezza dichiarata. Esse si estendono lungo tutta la lunghezza della runway compresa tra i due markings di soglia, interrompendosi solo in corrispondenza delle intersezioni tra più piste (non lungo gli innesti delle taxiways).

La segnaletica di asse pista si sviluppa tra le due soglie e consiste in tratti di lunghezza minima pari a 30 m, distanziati uniformemente l'uno dall'altro con intervalli di lunghezza non superiori a quella dei tratti stessi. In corrispondenza di intersezioni tra più runways, la center line della pista secondaria subisce un'interruzione, mentre quella della pista principale si mantiene continua.

Sono inoltre presenti, presso ogni soglia, i markings di designazione della pista. Essi sono composti da due cifre ed eventualmente una lettera nel caso di piste parallele, aventi altezza dei caratteri dipendente dall'ampiezza della pista e dal fatto che essa sia o meno strumentale, secondo le prescrizioni imposte dall'ENAC [4], [20].

I markings di soglia pista, denominati solitamente "pettine", sono costituiti da una serie di strisce parallele lunghe almeno 30 m, disposte simmetricamente rispetto all'asse pista e con origine a 6 m dall'inizio del tratto utile per l'atterraggio. Le dimensioni, le distanze reciproche ed il numero di strisce vengono stabiliti in base all'ampiezza della pista ed a seconda che essa sia o meno strumentale, secondo quanto riportato in Tabella 1.1.

| Larghezza pista [m] | MARKINGS D'ASSE PISTA | | | MARKINGS DI SOGLIA E DESIGNAZIONE PISTA | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------|------|---|----|-----------------------------|-----------------------------|-----|----------------------------------|------|---------------------------|----|
| | Lunghezza minima di ogni tratto [m] | Larghezza del tratto [m] | | Numero di strisce | | Lunghezza delle strisce [m] | Distanza tra le strisce [m] | | Larghezza del varco centrale [m] | | Altezza dei caratteri [m] | |
| | | P/NP | NS | P/NP | NS | | P/NP | NS | P/NP | NS | P/NP | NS |
| 60 | 30 | 0,9 | - | 16 | - | 30 | 1,8 | - | 3,6 | - | 15 | - |
| 45 | 30 | 0,9 | 0,45 | 12 | 6 | 30 | 1,8 | 1,8 | 3,6 | 22,5 | 15 | 15 |
| 30 | 30 | 0,9 | 0,45 | 8 | 6 | 30 | 1,8 | 0,9 | 3,6 | 20 | 15 | 12 |
| 23 | 30 | 0,45 | 0,3 | 6 | 6 | 30 | 1,8 | 0,6 | 3,6 | 16 | 12 | 9 |
| 18 | 30 | 0,45 | 0,3 | 4 | 4 | 30 | 1,8 | 0,3 | 3,6 | 15 | 12 | 9 |

P = pista per avvicinamento strumentale di precisione

NP = pista per avvicinamento strumentale non di precisione

NS = pista per avvicinamento non strumentale

Tabella 1.1: Dimensioni, distanze reciproche e numero di strisce costituenti la segnaletica orizzontale d'asse pista e di soglia.

Su tutte le piste con avvicinamenti strumentali devono inoltre essere presenti i cosiddetti Aiming Points, i quali svolgono l'importante funzione di individuare la zona in cui le traiettorie di avvicinamento incontrano la pista. Essi sono costituiti da due strisce rettangolari piene la cui dimensione e posizione sono correlate alla LDA della pista, come si nota da Tabella 1.2.

| Posizione e dimensioni | Distanza disponibile di atterraggio (LDA) | | | |
|--|---|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | LDA < 800 m | 800 m ≤ LDA < 1200 m | 1200 m ≤ LDA < 2400 m | LDA ≥ 2400 m |
| Distanza tra la soglia e l'inizio del marking ^(d) | 150 m | 250 m | 300 m | 400 m |
| Lunghezza della striscia ^(a) | 30 - 45 m | 30 - 45 m | 45 - 60 m | 45 - 60 m |
| Larghezza della striscia | 4 m | 4 - 6 m | 4 - 10 m ^(b) | 6 - 10 m ^(b) |
| Separazione laterale interna tra le strisce | 6 m | 9 m | 18 - 22,5 m ^(c, e) | 18 - 22,5 m ^(c, e) |

a: La dimensione maggiore si utilizza quando è necessario un maggiore risalto del marking

b: La dimensione di 6 m si impiega per piste di larghezza inferiore a 45 m, quella di 10 m per piste di larghezza pari o superiore a 45 m

c: La separazione laterale può variare entro tali valori per diminuire la contaminazione da depositi di gomma

d: In presenza di IOPA l'inizio marking coincide con l'origine del sentiero di discesa

e: Per piste di larghezza fino a 30 m la separazione laterale è compresa tra 6 e 9 m, con un distacco di almeno 1 m rispetto alla striscia di bordo pista

Tabella 1.2: Posizione e dimensioni degli Aiming Points.

Sono infine presenti i markings relativi alla touch down zone, ovvero la zona di contatto, i quali possono essere realizzati secondo due differenti tipologie di schema:

- coppie di strisce singole ripetute;
- coppie doppie di tre, due ed una striscia.

Quest'ultima configurazione permette di fornire al pilota un'indicazione della distanza progressiva dalla soglia pista.

Il numero di coppie della segnaletica componente la TDZ viene specificato in base alla LDA o alla distanza tra le soglie, nel caso in cui la pista venga utilizzata in entrambe le direzioni. Si riportano i valori di riferimento in Tabella 1.3.

| LDA o distanza tra le soglie | Coppia/e di markings |
|------------------------------|----------------------|
| Meno di 900 m | 1 |
| Tra 900 e 1199 m | 2 |
| Tra 1200 e 1499 m | 3 |
| Tra 1500 e 2399 m | 4 |
| 2400 m ed oltre | 6 |

Tabella 1.3: Numero di coppie costituenti la segnaletica di TDZ, in funzione della LDA o della distanza tra le soglie.



Figura 1.3: Markings di soglia, asse pista, bordo pista e TDZ.

1.2. Segnaletica orizzontale delle vie di circolazione

Lungo le taxiway generalmente la segnaletica presenta la colorazione gialla e consta di linea d'asse ed eventualmente di linee di bordo, adottate in particolare nei casi in cui occorra distinguere con

chiarezza il confine tra taxiway e banchine, piazzole d'attesa o piazzali. La linea d'asse è realizzata mediante una striscia continua che presenta delle interruzioni in corrispondenza dei markings di posizione d'attesa, a contatto con la striscia di bordo pista nei pressi del pettine di soglia e ad una distanza di $0,75\text{ m} \pm 0,15\text{ m}$ dall'asse della pista alla quale si raccorda.

Inoltre presso ciascuna posizione d'attesa pista deve essere tracciata la relativa segnaletica orizzontale, un esempio della quale viene mostrato in Figura 1.4.



Figura 1.4: Segnaletica orizzontale relativa ad una posizione di attesa.

Esistono poi markings appositi per identificare le zone non idonee al rullaggio o interdette. Tali informazioni vengono trasmesse utilizzando una o più croci, eventualmente delimitate da bordi neri nel caso in cui la pavimentazione non fornisca sufficiente contrasto.

Altri segnali tipici che è possibile individuare sono rappresentati dai markings con istruzioni d'obbligo, i quali, escluso quello di "no entry", devono essere tracciati a sinistra dell'asse della taxiway, secondo il verso di rullaggio e comunque mai ubicati su una pista, escluso il caso in cui ciò sia espressamente richiesto da uno specifico requisito operativo. Tali segnali di prescrizione riproducono l'analogo segnale verticale impiegando caratteri di colorazione bianca posti su fondo rosso, eventualmente bordati tramite colore nero o bianco per garantire un maggior contrasto con la sottostante pavimentazione.

Per quanto riguarda i markings a carattere informativo, questi sono costituiti da un'iscrizione a carattere giallo nel caso in cui indichino una posizione, a carattere nero se invece viene segnalata una direzione o una destinazione. Nel caso in cui vi sia insufficiente contrasto tra segnale e superficie della pavimentazione si dovrà adottare uno sfondo nero per i caratteri gialli ed uno sfondo giallo per i caratteri neri. I segnali di informazione trovano di norma ubicazione a sinistra

dell'asse della taxiway o, nel caso in cui siano particolarmente estesi, sovrapposti ad esso in maniera simmetrica.

1.3. Segnaletica orizzontale dei piazzali

Infine, all'interno dei piazzali, le aree di sosta vengono identificate mediante specifici markings che garantiscano il mantenimento delle distanze di sicurezza [5]. Essi comprendono la linea di accesso (lead-in), la barra di virata (turn-bar), la linea di virata, la barra di allineamento, la linea di stop e la linea di uscita (lead-out). Inoltre ciascuna piazzola di sosta deve presentare una propria denominazione numerica, posizionata in modo tale da sovrapporsi alla linea di lead-in subito dopo l'inizio di quest'ultima. L'altezza dei caratteri deve essere tale da garantire una loro facile lettura da parte del pilota posto nel cockpit dell'aeromobile.

In particolare le linee di lead-in, lead-out e virata risultano generalmente continue, a meno che non vi siano più configurazioni di stand sovrapposte. In questo caso le linee relative all'aeromobile presente con maggior frequenza vengono tracciate in maniera continua, mentre quelle relative agli altri velivoli risultano tratteggiate. Tali linee, nel caso in cui l'aeromobile debba procedere in un'unica direzione, vengono dotate di apposite frecce direzionali.

La barra di virata deve essere realizzata ortogonalmente alla linea di lead-in, dal lato del pilota, e deve essere dotata di una freccia all'estremità, atta ad indicare la direzione di virata.

La barra di allineamento viene ubicata in modo tale da coincidere con il prolungamento dell'asse dell'aeromobile nella particolare posizione di parcheggio considerata. La linea di arresto viene tracciata ortogonalmente alla barra di allineamento, in modo da identificare la posizione destinata alla fermata del velivolo.

Al fine di salvaguardare reciprocamente i movimenti degli aeromobili e dei mezzi di servizio effettuati sul piazzale, occorre adottare idonee linee di sicurezza che garantiscano un'adeguata separazione tra i due tipi di traffico. Tali linee sono generalmente rosse e a tratto continuo e devono comprendere elementi quali le linee di franco tra la sagoma del velivolo e le linee di confine dei percorsi veicolari di servizio sul piazzale, in funzione delle configurazioni di parcheggio e delle attrezzature impiegate a terra.

2. Materiali impiegati

Nell'ambito della segnaletica aeroportuale vengono chiaramente impiegate differenti tipologie di materiali, dalla cui unione è possibile realizzare un prodotto che garantisca l'ottenimento dei requisiti minimi richiesti.

La segnaletica orizzontale viene oggi considerata come un sistema completo composto da tre elementi indissociabili: si tratta del prodotto di base (costituito dalla sola pittura o da un composto che presenta anche microsferi premiscelate) e del prodotto da postspruzzare (spesso unicamente microsferi di vetro, talvolta miscele che comprendono anche aggregati antiscivolo), ai quali è necessario aggiungere una sapiente tecnica di applicazione di tali componenti. Sebbene infatti l'utilizzo dei materiali più adatti alla realizzazione del singolo intervento sia di fondamentale importanza, è anche noto e riconosciuto che altrettanto importante è l'impiego di una corretta ed adeguata modalità di applicazione del prodotto segnaletico.

In generale le prestazioni della segnaletica orizzontale vengono valutate in base a due fondamentali criteri: durabilità e visibilità. È importante sottolineare che l'utilizzo di materiali differenti per i sistemi segnaletici fornisce diversi valori relativi a tali parametri.

La scelta dei giusti materiali si configura dunque come uno degli obiettivi principali da perseguire ed è necessario che tenga debito conto del contesto in cui è situato l'aeroporto, della quantità di traffico ivi presente, degli standard di sicurezza richiesti, dei tipi di pavimentazione presenti nelle differenti aree dell'aeroporto, ed eventualmente dei materiali utilizzati nel corso delle precedenti stesure relative alla segnaletica orizzontale [41].

Il ricorso ai prodotti più idonei alla realizzazione dell'intervento può talvolta comportare un incremento non trascurabile dei costi iniziali, ma può condurre all'ottenimento di minori costi effettivi nel corso dell'intera vita utile della segnaletica orizzontale, oltre a garantire una maggiore sicurezza nell'effettuazione delle differenti operazioni di manovra [6].

Purtroppo però questo importante aspetto viene sovente trascurato, o quantomeno posto in secondo piano, a causa delle ridotte possibilità di spesa di cui dispongono gli enti gestori delle infrastrutture aeroportuali. I vincoli di budget condizionano spesso anche le decisioni dei produttori, i quali vedono premiate le scelte per l'acquisto dei materiali e per i contratti di appalto in funzione unicamente del prezzo più basso. Ciò porta ad una penalizzazione di chi intende qualificare i prodotti ed inibisce pertanto lo sviluppo di materiali ad elevate prestazioni per segnaletica orizzontale.

Nel seguito verranno descritte le principali tipologie di materiali impiegate in ambito aeroportuale, la cui unione permette la realizzazione di un prodotto segnaletico che soddisfi gli standard di sicurezza richiesti.

2.1. Pitture

Le pitture sono definite secondo la Normativa Europea come prodotti liquidi contenenti in sospensione del materiale solido in un solvente organico o in acqua. Esse possono essere fornite come mono o multi componenti e vengono applicate mediante pennello, rullo o a spruzzo, a seconda del tipo di prodotto specifico che si intende utilizzare.

Sono generalmente composte dalle seguenti materie prime:

- una parte inorganica o minerale costituita da pigmenti, ovvero gli elementi che forniscono la colorazione, e da cariche che regolano i tempi d'evaporazione dei solventi, o dell'acqua, e contrastano la risalita in superficie dei pigmenti;
- una parte inorganica aggiuntiva, importante per la funzionalità del prodotto una volta steso, composta da microsfere di vetro che garantiscono la visibilità notturna e costituiscono l'armatura del prodotto segnaletico steso ed eventualmente da granulati antiscivolo che garantiscono una sufficiente aderenza;
- una parte organica, costituita da resine e solventi, che permette una buona applicazione del prodotto, l'inglobamento nella massa di tutte le materie prime e l'adesione al supporto;
- una parte chimica costituita da vari additivi atti a migliorare le caratteristiche e le prestazioni del prodotto.

Il processo di presa delle pitture prevede dapprima una fase di evaporazione del solvente o dell'acqua contenuti all'interno della miscela adottata, in seguito alla quale si produce una pellicola coesiva, atta poi ad ospitare l'eventuale aggiunta di ulteriori microsfere postspruzzate [7].

2.1.1. Tipologie

In ambito aeroportuale è possibile realizzare la necessaria segnaletica orizzontale impiegando differenti tipologie di pitture. Queste possono essere generalmente classificate secondo due distinti criteri:

- **composizione:**
le pitture possono essere a base di oli, a base di solvente, a base di acqua e altri additivi specifici, atti ad aumentare alcune caratteristiche prestazionali o a rendere più semplice l'operazione di stesa;
- **tempo di asciugatura:**
è possibile individuare le pitture tradizionali, che richiedono circa 7 minuti, le pitture ad asciugamento rapido, per le quali la tempistica richiesta è compresa tra i 30 secondi ed i 7 minuti, e le pitture ad asciugamento istantaneo per le quali sono sufficienti meno di 30 secondi.

Per applicazioni realizzate in specifici contesti, come aree particolarmente fredde, umide o soggette ad attacchi da parte di microorganismi, risulta necessario impiegare pitture recanti opportune caratteristiche di resistenza ed adesione, da valutare a seconda del caso oggetto di analisi.

Come già specificato precedentemente, le pitture impiegate nell'ambito della segnaletica orizzontale possono avere differente natura. Nel seguito verranno trattate le principali tipologie utilizzate nel contesto aeroportuale, seguendo una classificazione basata sulla loro composizione.

2.1.1.1. Pitture ad acqua

Le pitture ad acqua presentano una dispersione di minuscole particelle di polimero (di dimensione circa 0,2 μm) le quali costituiscono il legante, in grado di essiccare tramite processi fisici anziché chimici. Inizialmente parte dell'acqua contenuta nella pittura evapora, rendendo asciutto il segnale al tatto e resistente al transito delle ruote dei veicoli. In questa fase però la pittura risulta ancora soffice internamente e non resistente a pioggia ed usura. In una seconda fase, a seguito di un ulteriore essiccamento, la vernice si indurisce grazie all'aggregazione delle particelle di polimero, raggiungendo la completa resistenza ai fenomeni atmosferici e meccanici. Dal momento che l'indurimento delle pitture ad acqua dipende da una combinazione di essiccamento e coalescenza, il tempo di presa di tale materiale dipende da svariati parametri:

- temperatura della pittura;
- temperatura della pavimentazione;
- umidità;
- velocità del vento;

- spessore della pittura.

L'uso delle pitture ad acqua comporta numerosi benefici [6]: in particolare, è possibile evitare il ricorso ad agenti tossici per effettuare la pulizia della segnaletica eseguita con tale materiale, in quanto, a tal fine, risulta sufficiente l'impiego della sola acqua. Inoltre la natura stessa della pittura la rende un materiale non pericoloso per la salute umana, aumentando quindi la sicurezza durante le operazioni di trasporto e travaso, oltre a limitare i danni nel caso di incidente e sversamento.

I principali svantaggi legati alle tradizionali pitture ad acqua sono relativi alla tendenza del materiale ad assumere la consistenza di un gel durante i lunghi periodi di stoccaggio e agli elevati tempi di asciugatura che la caratterizzano, oltre ad un ulteriore rallentamento del fenomeno nel caso in cui sia presente una forte umidità ambientale.

Attualmente sono però presenti in commercio vernici che contengono speciali leganti polimerici che accelerano il processo di asciugatura, permettendo quindi di eliminare uno dei principali svantaggi che, storicamente, ha reso le pitture a solvente più competitive.

2.1.1.2. Pitture a solvente

Le pitture a solvente contengono generalmente resine alchidiche, acriliche e composti organici volatili (toluolo, eptano, ecc.). La prima fase consiste nell'evaporazione del solvente che comporta una riduzione del volume e dello spessore dello strato steso, che arriva ad essere generalmente inferiore ai 400 μm . Contemporaneamente si ha l'attivazione dei processi di natura chimica che portano all'indurimento del film con la formazione della pellicola che avviene, nel caso delle resine alchiliche, attraverso l'assorbimento dell'ossigeno atmosferico da parte degli oli siccativi presenti nel legante, che se ne appropriano per fissarlo nella struttura con l'aiuto di appositi catalizzatori. Il processo di indurimento, per natura molto lento, può essere accelerato tramite l'introduzione di una miscela di solventi caratterizzati da un diverso grado di vaporabilità, che permette una riduzione della durata del fenomeno.

La presenza di umidità ambientale può ostacolare il processo in quanto la trasformazione in vapore dei solventi avviene tramite assorbimento di calore. In particolari condizioni climatiche (elevata umidità relativa e assenza di ventilazione), quando la temperatura dello strato di pittura risulta minore di quella dell'aria, si condensa sulla superficie un velo di umidità che rallenta il processo di essiccamento del film.

Molto più rapidi sono invece i tempi di essiccamento dei composti con resine acriliche che filmano per semplice evaporazione dei solventi [7].

2.1.2. Preparazione della superficie

Affinché la segnaletica orizzontale garantisca le prestazioni desiderate, essa deve aderire adeguatamente alla pavimentazione, requisito fondamentale per l'ottenimento di una elevata durabilità. Per questo motivo, prima di effettuare l'applicazione del prodotto segnaletico, occorre preparare con cura la superficie di posa, rimuovendo tutto ciò che può costituire un elemento di disturbo alla realizzazione della nuova stesa.

La procedura da seguire prevede l'asportazione degli eventuali contaminanti mediante differenti metodologie, al fine di garantire un forte legame tra la nuova applicazione di materiale e la superficie esistente.

In seguito vengono trattati nel dettaglio i principali elementi, riscontrabili in ambito aeroportuale, che devono essere opportunamente eliminati al fine di garantire performance ottimali [6]:

- vecchia segnaletica:
di fondamentale importanza risulta la rimozione del prodotto segnaletico posizionato nel corso degli anni precedenti, in quanto, quando la stesa del nuovo materiale avviene senza previa pulitura della superficie, si formano strati multipli di pittura che possono rompersi causando così non solo un deterioramento prematuro dell'applicazione, come mostrato in Figura 2.1, ma anche un aumento della scivolosità della porzione di pavimentazione interessata dalla stesa e la possibilità che il materiale si trasformi in FOD (Foreign Object Debris).
Il problema dello sfogliamento degli strati di segnaletica è caratteristico specialmente di quelle aree in cui, a causa del ridotto traffico di velivoli presente, non si ha un'usura uniforme;



Figura 2.1: Deterioramento provocato dalla sovrapposizione di numerosi strati di pittura.

- composto solidificante:

tale prodotto viene solitamente spruzzato sul calcestruzzo appena steso al fine di realizzare una membrana resistente all'umidità, la quale viene asportata generalmente durante il corso di un anno, in funzione del traffico presente. Se la segnaletica orizzontale viene applicata sopra tale composto, essa può sfaldarsi ed essere rimossa insieme al composto solidificante precedentemente spruzzato, come si mostrato in Figura 2.2;

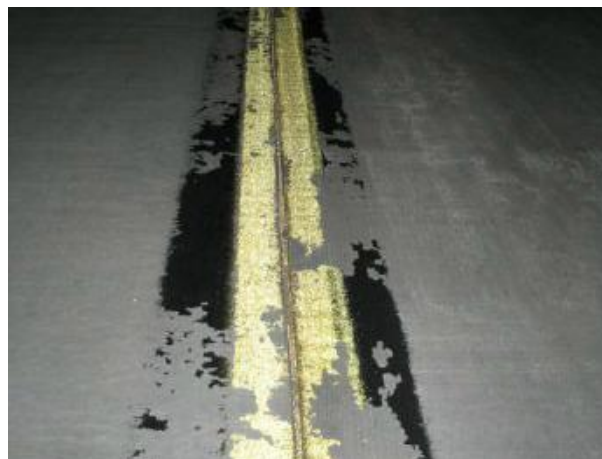


Figura 2.2: Asportazione del prodotto segnaletico a causa della presenza di composto solidificante.

- deposito di gomma:

la gomma si deposita soprattutto in corrispondenza della zona di toccata a causa del fenomeno per cui, durante l'atterraggio, gli pneumatici passano istantaneamente da una velocità nulla alla velocità di atterraggio dell'aeroplano, strisciando e generando quindi un elevato calore che comporta la fusione di parte della gomma di cui sono composte le ruote

dell'aeromobile. La gomma si diffonde sulla pavimentazione andando gradualmente a riempire la microtessitura, e talvolta anche la macrotessitura, della pavimentazione stessa, una volta raffreddata fino all'indurimento. Tale deposito, come visibile in Figura 2.3, oscura la segnaletica presente sulla pista rendendo necessarie frequenti sgommature, la cui cadenza specifica deve essere definita in funzione del traffico presente [18];

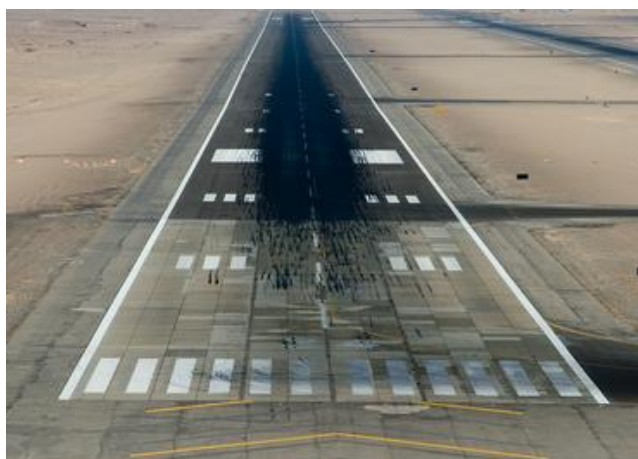


Figura 2.3: Oscuramento della segnaletica provocato da residui di gomma.

- muschi e funghi:

i muschi ed i funghi crescono in presenza di ambienti caldi ed umidi, interessando in particolare le pavimentazioni aeroportuali soggette a basso traffico. Essi, durante la loro crescita, coprono la segnaletica rendendola grigia o nera e quindi meno visibile ai piloti degli aeromobili, come è possibile notare in Figura 2.4.

Se la nuova stesa viene effettuata sopra una superficie coperta da muschi, il legame che si forma tra la pittura ed il sottofondo risulta molto debole e pertanto non accettabile.

Vengono generalmente utilizzati due metodi per distinguere le crescite microbiologiche dal comune sporco dell'aeroporto:

- spruzzando candeggina sulla porzione di area in cui la segnaletica appare sbiadita: se la colorazione risulta più chiara, si tratta di funghi o muschi, diversamente, se la colorazione non varia, si tratta di sporco;
- spruzzando acqua sulla superficie interessata dall'ispezione: se quest'ultima presenta un effetto di "inverdimento" si tratta di muschi o funghi;



Figura 2.4: Oscuramento della segnaletica orizzontale ad opera di muschi e funghi.

- ruggine:

la formazione di ruggine in ambito aeroportuale è dovuta ai contaminanti ferrosi che vengono trasportati sulla superficie della pavimentazione a causa della pioggia. Questo può essere particolarmente problematico laddove si sia fatto utilizzo di pitture ad acqua, le quali, essendo generalmente porose, tendono ad assorbire il contaminante, soprattutto in corrispondenza dei bordi del segnale.

Inoltre, laddove la pavimentazione presenta scanalature, l'acqua piovana si raccoglie, generando quindi depositi di ruggine molto accentuati, visibili in Figura 2.5.



Figura 2.5: Accentuata presenza di ruggine su un marking di pista.

Talvolta, in presenza di un sottosuolo caratterizzato da un elevato contenuto ferroso, le macchie di ruggine si manifestano in corrispondenza della parte centrale del segnale, a causa della risalita di acqua attraverso fessure presenti all'interno della pavimentazione.

Una corretta procedura di applicazione del nuovo strato di segnaletica orizzontale deve prevedere la rimozione della ruggine presente sul segnale da ricoprire, affinché il contaminante non risalga attraverso le crepe andando ad inficiare il nuovo segnale nel giro di pochi mesi.

Occorre prestare particolare attenzione agli agenti chimici utilizzati per rimuovere le macchie di ruggine poiché, a volte, essi possono arrecare danno alle microsfere di vetro, rendendole inefficaci durante le ore notturne;

- oli, residui di jet-blast e sostanze simili:

gli oli, coprendo la pavimentazione e la segnaletica presente, a causa ad esempio di sversamenti accidentali (Figura 2.6), rendono impossibile la stesa di un nuovo strato di pittura, in quanto risulta completamente impedita l'adesione di quest'ultimo al sottofondo. Pertanto, prima dell'effettuazione della fase di stesa, è necessario rimuovere tali sostanze mediante macchinari che impiegano acqua in pressione e appositi detergenti.



Figura 2.6: Sversamento d'olio sulla pavimentazione e sulla segnaletica orizzontale.

Per quanto riguarda i residui di jet-blast, questi si accumulano generalmente in corrispondenza delle soglie di pista e nelle aree in cui gli aeromobili effettuano i test dei motori. Anche questa tipologia di contaminante viene rimossa mediante macchinari che sfruttano i benefici di getti di acqua pressurizzata.

Per la preparazione della superficie prima della stesa del prodotto segnaletico, è possibile ricorrere all'impiego di differenti tipologie di macchinari, a seconda delle esigenze specifiche del caso:

- idropulitrice:

Le idropultrici sono macchinari che sfruttano acqua in pressione per effettuare la pulizia delle superfici pavimentate e si differenziano in svariate tipologie in funzione della pressione e della portata d'acqua che sono in grado di fornire. In particolare la variabilità delle pressioni è compresa tra circa 100 bar e 3500 bar mentre, per quanto riguarda le portate utilizzate, queste risultano variabili tra 15 litri al minuto e 95 litri al minuto.

La scelta del tipo di idropulitrice da impiegare viene effettuata in base all'ampiezza dell'area da pulire, ai tempi previsti per effettuare l'operazione e alle disponibilità dell'ente gestore dello scalo aeroportuale;

- pallinatrice:

La pallinatrice è un macchinario in grado di operare la pulizia della pavimentazione mediante la proiezione di sfere d'acciaio, o altri elementi abrasivi, sulla superficie della pavimentazione stessa.

Tale procedura risulta poco indicata per le superfici che presentano scanalature eseguite al fine di ridurre il fenomeno dell'acquaplaning, in quanto gli elementi in acciaio possono rimanervi incastrati e permanere quindi sulle piste arrugginandovi e trasformandosi in potenziale FOD. Al fine di ridurre tale problematica si è soliti adottare l'impiego di una barra magnetizzata, al passaggio della quale vengono richiamate e quindi asportate le sfere metalliche residue;

- fresatrice:

Le fresatrici sono equipaggiate con tamburi rotanti in direzione verticale, orizzontale o entrambe. Ogni tamburo è corredato da punte in acciaio, o realizzate in altro materiale abrasivo, in grado di scarificare la superficie.

Questi macchinari, se correttamente adoperati, sono in grado non solo di rimuovere lo strato di pavimentazione più superficiale ma possono anche essere utilizzati al fine di asportare materiale segnaletico invecchiato e sfaldato.

Al termine dell'operazione di scarificazione risulta necessario asportare ogni residuo tramite acqua o aria compressa;

- sabbiatrice:

la sabbiatrice viene impiegata ormai da molti anni, al fine di preparare la superficie di stesa e rimuovere la segnaletica orizzontale obsoleta. Questo metodo risulta infatti efficace e molto utile benché presenti l'inconveniente di rendere poco agevole l'area di lavoro a causa dello spargimento di sabbia. Generalmente la sabbiatrice viene noleggiata a caldo, ovvero insieme al macchinario viene fornito anche personale adeguatamente addestrato all'utilizzo della strumentazione in condizioni di sicurezza, poiché la silice contenuta nella sabbia può risultare dannosa per la salute dei lavoratori. Pertanto talvolta è possibile ricorrere, al posto della sabbia, ad altri materiali non contenenti sostanze dannose;

- spazzatrici, aspirapolveri e compressori ad aria:

spazzatrici e aspirapolveri vengono generalmente impiegate per effettuare la rimozione di detriti, sporco ed altri materiali presenti sulla superficie, prodotti dai metodi di preparazione della superficie precedentemente descritti.

I compressori ad aria vengono solitamente utilizzati per rimuovere particelle estranee o foglie dalle aree successivamente interessate dalla stesa dei prodotti segnaletici.

2.1.3. Stesa delle pitture

Dopo aver adeguatamente preparato la superficie oggetto della nuova applicazione, rimuovendo accuratamente gli eventuali contaminanti presenti, descritti nei precedenti paragrafi, è possibile stendere la pittura assicurandosi che essa risulti uniforme e che presenti contorni rettilinei e ben definiti.

Per effettuare tale operazione in maniera ottimale, è possibile ricorrere all'impiego di differenti macchinari di stesa della segnaletica orizzontale, i quali possono essere raggruppati in due grandi categorie: sistemi pneumatici e sistemi che non impiegano il processo di nebulizzazione dell'aria (airless). Entrambe le tipologie possono essere utilizzate con macchinari manuali di ridotte dimensioni, oppure installate su camion, pick-up, piccoli trattori o altri veicoli, a seconda delle disponibilità e delle esigenze delle singole imprese operanti nello specifico aerodromo considerato.

2.1.3.1. Sistemi pneumatici

I sistemi pneumatici sono macchinari che sfruttano appositi compressori al fine di nebulizzare il materiale contenuto all'interno dei serbatoi e applicarlo sulla pavimentazione mediante pistole dotate di ugelli. Nello specifico tale tecnologia prevede l'immissione di aria compressa all'interno della pittura, al fine di separarne le particelle, forzandole ad uscire attraverso gli ugelli delle pistole secondo una modalità a ventaglio, come si può notare in Figura 2.7.



Figura 2.7: Sistema pneumatico per l'applicazione di pitture da segnaletica orizzontale.

Tali strumenti sono adatti all'impiego sia di pitture a solvente sia di pitture a base d'acqua, avendo cura, in quest'ultimo caso, di utilizzare serbatoi realizzati in acciaio inossidabile, al fine di evitare reazioni indesiderate tra la pittura ed il metallo del contenitore, generando quindi depositi di ruggine.

Uno dei principali vantaggi garantiti dai sistemi pneumatici consiste nella possibilità di utilizzare contenitori per i materiali non pressurizzati, che pertanto risultano meno pesanti e più sicuri da trasportare e maneggiare. Inoltre questo sistema di applicazione della pittura, presentando ugelli di dimensioni relativamente elevate rispetto a quelli dei sistemi airless, risulta meno soggetto all'intasamento delle aperture delle pistole.

Il volume di materiale spruzzato attraverso gli ugelli delle pistole può essere controllato tramite la variazione di pressione applicata all'aria immessa nella pittura mediante i compressori di cui è dotato il macchinario. In particolare, un incremento di pressione riduce il flusso del materiale, viceversa, qualora si voglia aumentare il flusso, sarà necessario diminuire la pressione.

2.1.3.2. Sistemi airless

Il termine airless si riferisce al fatto che tale macchinario adotta un sistema di pompaggio in grado di applicare alla pittura una pressione compresa tra 100 bar e 230 bar, senza la necessità di introdurre aria in pressione.

Come già accennato, le pistole airless, mostrate in Figura 2.8, presentano ugelli di dimensioni ridotte che risultano pertanto soggette alla problematica data dall'intasamento. In particolare il volume di pittura applicabile e lo spessore della linea vengono influenzati dalla specifica dimensione delle aperture, dalla velocità di avanzamento del macchinario di stesa e dalla pressione fornita dall'impianto di pompaggio.

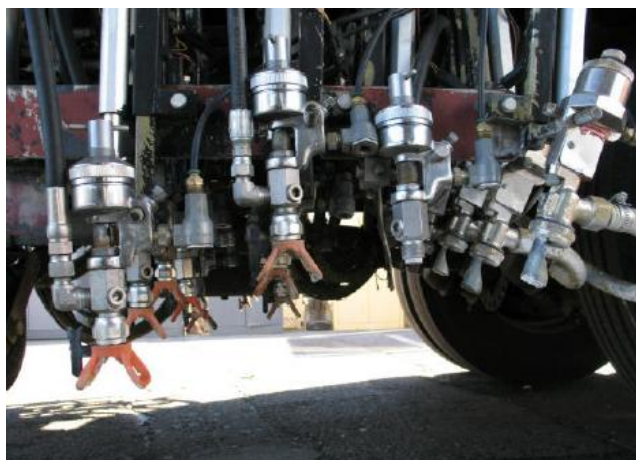


Figura 2.8: Sistema airless per l'applicazione di pitture da segnaletica orizzontale.

2.2. Prodotti termoplastici

I prodotti termoplastici sono costituiti da una miscela di ingredienti solidi (resine, pigmenti e filler) priva di solventi, generalmente fornita sotto forma di blocchi granulari o in polvere. Il materiale passa allo stato liquido in presenza di temperature comprese tra i 150°C e i 220°C, a seconda del tipo di resine impiegate, e viene quindi steso tramite un apposito applicatore manuale o meccanico, per poi tornare nuovamente allo stato solido una volta che il composto si è raffreddato.

Tali materiali possono essere applicati tramite due differenti metodi:

- applicazione a spruzzo (o materiali termospruzzati):
questo metodo offre una maggiore velocità di applicazione, pari a circa 20 km/h, a discapito però dello spessore, che assume valori compresi tra 1 mm e 2 mm;
- applicazione per estrusione (o materiali termocolati):

con questa metodologia si hanno velocità molto ridotte rispetto al caso precedente, pari a circa 5 km/h, ma spessori maggiori che garantiscono una maggiore durabilità, caratterizzati da valori compresi tra 2 mm e 3 mm.

Nei materiali termocolati è presente una maggiore concentrazione di pigmenti e cariche rispetto alla percentuale di legante e ciò comporta l'inconveniente della possibile ostruzione nel caso si abbia a che fare con pavimentazioni aperte.

Inoltre i materiali termoplastici, indipendentemente dalla tecnica di stesa impiegata, sono classificati come materiali duri. Ciò comporta da una parte un vantaggio, specialmente nel caso di aree soggette ad elevato traffico e quindi ad una rapida usura, mentre dall'altra parte tale caratteristica rende difficoltosa e costosa la rimozione dei markings diventati obsoleti.

Un'ulteriore problematica è relativa all'applicazione su conglomerato bituminoso, in quanto l'elevata temperatura del materiale durante l'operazione di stesa può provocare la fusione del bitume [7].

A causa del loro ridotto utilizzo in ambito aeroportuale, dovuto principalmente all'elevato costo di applicazione che li caratterizza, i prodotti termoplastici non saranno oggetto dell'analisi svolta nel seguito.

2.3. Microsfere di vetro

La possibilità di individuare correttamente la segnaletica orizzontale durante le operazioni notturne è basata sulle caratteristiche di retroriflettenza proprie dei segnali stessi. Con retroriflettenza si intende il termine tecnico che definisce il fenomeno fisico per cui la maggior parte della luce incidente su una superficie viene inviata nuovamente nella direzione di provenienza. Tale caratteristica della segnaletica è garantita dall'utilizzo delle microsfere di vetro (unità catadiottriche).

Questo prodotto è costituito da sfere, realizzate mediante l'impiego di vetro vergine o riciclato, che vengono incorporate all'interno della pittura.

Tali particelle sferiche possono essere definite mediante cinque caratteristiche, ovvero l'indice di rifrazione, la percentuale massima ponderata di microsfere di vetro difettose, la granulometria, il contenuto di sostanze pericolose e la resistenza agli agenti chimici [43], come verrà trattato con un maggior dettaglio nel seguito, in funzione della loro influenza sul grado di retroriflettenza.

L'operazione di applicazione delle microsfere di vetro risulta essere particolarmente delicata poiché è necessario garantire un adeguato inserimento delle microsfere, evitando situazioni in cui esse risultino eccessivamente o non sufficientemente immerse nella pittura, provocando così una minor visibilità durante le ore notturne. Nello specifico, il grado di affondamento nel prodotto segnaletico deve essere compreso tra il 55% ed il 60% del loro diametro. Un affondamento inferiore al 55%, pur consentendo in parte la retroriflessione, espone il sistema ottico ad una più rapida asportazione da parte dei veicoli, mentre un affondamento superiore al 60% conduce ad una limitazione della retroriflettenza, la quale risulta completamente compromessa nel caso in cui l'affondamento superi l'85% [7].

Il fenomeno considerato viene adeguatamente spiegato osservando che la superficie attiva della microsfera, ovvero la superficie che consente la retroriflessione, è limitata alla parte immersa, che costituisce l'interfaccia tra il vetro ed il prodotto che circonda la parte emisferica della microsfera e che funge da superficie riflettente.

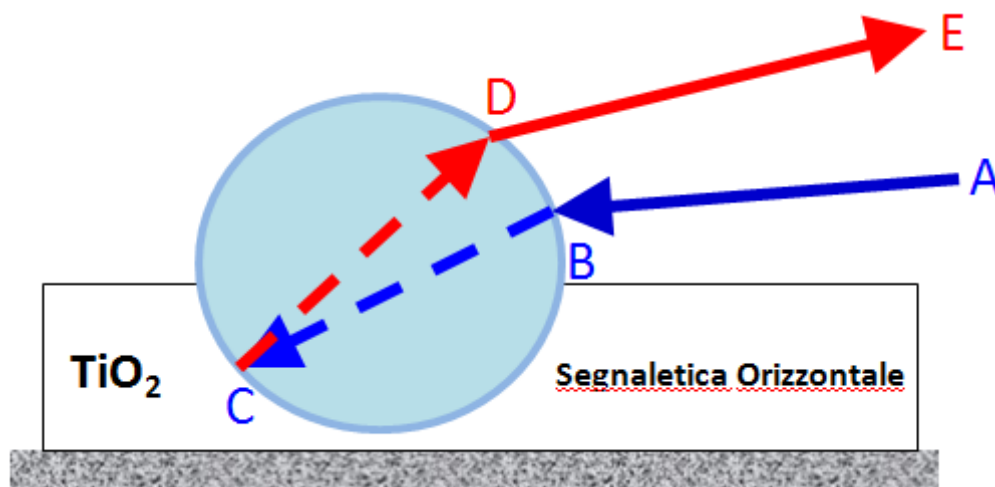


Figura 2.9: Fenomeno della retroriflettenza.

Il processo di retroriflessione può essere descritto facendo riferimento a Figura 2.9 [10], nella quale il raggio A, proveniente dalla sorgente luminosa, incontra la superficie della microsfera nel punto B e viene deviato a causa della differenza nell'indice di rifrazione (IOR) tra la microsfera e l'aria esterna ad essa. Il raggio viene successivamente riflesso in corrispondenza del punto C ed abbandona la microsfera nel punto D, ritornando nella direzione della sorgente E.

Maggiore risulta il valore dello IOR, minore sarà l'angolo di rifrazione (\widehat{BCD}) e pertanto migliore sarà la percezione della retroriflettenza, grazie ad una minore dispersione dei raggi luminosi lungo il percorso di ritorno verso la sorgente emittente.

È fondamentale sottolineare che le microsfere di vetro non riflettono la luce emessa dai fari del veicolo, bensì la rifrangono all'interno del prodotto segnaletico che contiene dei pigmenti coloranti.

Pertanto la resa della retroriflessione viene condizionata dalla qualità e dalla quantità del pigmento nobile presente all'interno delle pitture (biossido di titanio), dall'indice di rifrazione e, come già detto, dall'affondamento delle microsfere di vetro, il quale dipende da molteplici fattori:

- modalità di stesa (microsfere premiscelate o postspruzzate);
- granulometria;
- viscosità del prodotto in cui sono immerse;
- fenomeni di tensione superficiale che si innescano tra la superficie della sfera ed il prodotto segnaletico, specialmente nei casi in cui le sfere abbiano subito trattamenti per aumentare l'aderenza e per impedirne l'affondamento.

2.3.1. Tipologie di microsfere

Esistono fondamentalmente due differenti tipologie di microsfere, caratterizzate da un indice di rifrazione pari a 1,5 se prodotte da vetro riciclato e pari a 1,9 se derivanti da vetro vergine. Ad un maggiore indice di rifrazione corrisponde una maggior retroriflettenza, in quanto il cono di luce riflessa nella direzione della sorgente risulta più ristretto, aumentando quindi la concentrazione dei raggi luminosi che ritornano alla fonte, come evidenziato in Figura 2.10.

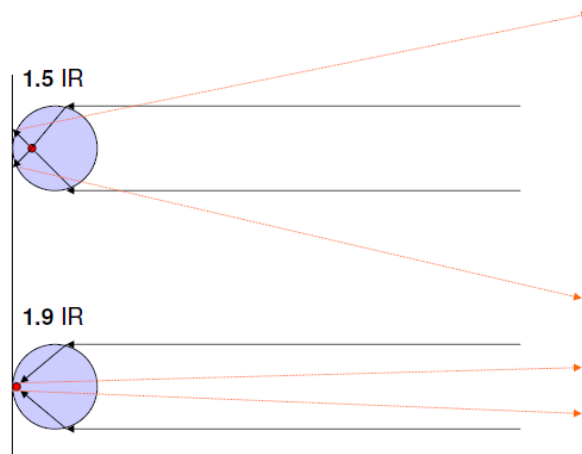


Figura 2.10: Differenza nell'ampiezza del cono di luce retroriflessa tra microsfere con IOR pari a 1,5 e 1,9.

In particolare la Federal Aviation Administration identifica 4 differenti tipologie di microsfere di vetro [8]:

- Type I: realizzate tramite vetro riciclato, sono dette sfere a basso indice in quanto presentano un IOR pari a 1,5. Grazie al loro ridotto diametro sono adatte ad ogni tipo di pittura, garantendo sempre, purché correttamente inserite, una sufficiente immersione. Durante la prima fase di vita utile del segnalamento orizzontale, prima che esso sia affetto da un progressivo degrado, questa tipologia di microsfere garantisce valori di retroriflettenza variabili tra 300 e 450 $\text{mcd/m}^2/\text{lux}$, considerando condizioni ottimali di stesa e l'impiego di pittura di colore bianco.
- Type II: non più utilizzate.
- Type III: realizzate a partire da vetro vergine, garantiscono un IOR rispetto alle precedenti microsfere, pari nello specifico a 1,9, e pertanto sono anche dette microsfere ad alto indice di rifrazione. Grazie a questa caratteristica, considerando ottimali condizioni di stesa e l'impiego di pittura di colore bianco, offrono valori di retroriflettenza compresi tra 600 e 1300 $\text{mcd/m}^2/\text{lux}$, nel primo periodo successivo alla loro applicazione, e permettono inoltre di avvistare il segnalamento orizzontale ad una distanza maggiore. Oltre a presentare il più alto potenziale di retroriflettenza tra tutte le tipologie di microsfere prodotte, le Type III sono raccomandate quando siano richieste elevate prestazioni anche a lungo termine. Risultano inoltre adatte ad ogni tipologia di pittura in quanto, benché presentino un diametro lievemente maggiore rispetto alle Type I sono comunque caratterizzate da dimensioni sufficientemente ridotte.

- Type IV: sono dette microsfere a basso indice di rifrazione, in quanto, come le Type I, presentano un IOR pari ad 1,5, pur derivando sia da vetro riciclato sia da fusione diretta. Questa tipologia presenta un diametro maggiore rispetto alle altre e pertanto risulta più appropriata per quelle pitture (generalmente acriliche) che presentano uno spessore caratterizzato da un valore pari almeno a 0,6-0,8 mm. All'applicazione, considerando pittura bianca e ottimali condizioni di posa in opera, le letture di retroriflettenza riportano valori compresi tra 350 e 500 mcd/m²/lux.

Le microsfere di dimensioni elevate risultano particolarmente efficienti quando la pavimentazione presenta uno strato d'acqua superficiale, in quanto, avendo un diametro 2 o 3 volte maggiore rispetto alle altre tipologie, rendono trascurabili i tipici spessori idrici che generalmente si presentano sulla superficie della pavimentazione.

I valori di retroriflettenza relativi a tutte le tipologie di microsfere subiscono una notevole riduzione nel caso in cui venga impiegata una pittura di colore giallo.

2.3.2. Principali requisiti delle microsfere

Oltre alle dimensioni e allo IOR, vi sono altre caratteristiche delle microsfere che influenzano la capacità da parte della segnaletica orizzontale di retroriflettere in maniera opportuna un fascio di luce [9]:

- sfericità:
tale proprietà riveste una particolare importanza in quanto una superficie sferica risulta più efficiente nella deviazione del raggio luminoso verso il materiale nel quale la microsfera è immersa. La percentuale di elementi sferici applicati alla segnaletica deve essere tipicamente compresa tra il 70% e l'80% del totale [12];
- trasparenza:
la necessità di tale caratteristica può essere spiegata tenendo conto che, se sono presenti particelle o bolle d'aria all'interno della microsfera o se vi sono abrasioni sulla sua superficie, viene compromesso il quantitativo di luce che la microsfera è in grado di trasmettere [13];
- trattamenti di rivestimento:

tali procedure vengono svolte al fine di incrementare l'adesione al legante, l'affondamento e la retroriflettenza delle microsfere. Esistono quattro principali tipologie di trattamento superficiale:

- rivestimento per la resistenza all'umidità:

esso può risultare di grande utilità in quegli ambienti particolarmente umidi in cui risulta difficile applicare le microsfere alla pittura poiché esse si aggregano nella tramoggia della macchina di posa.

È da notare che questo tipo di rivestimento riduce le problematiche legate all'applicazione, ma non è progettato per incrementare la visibilità della segnaletica in presenza di condizioni di bagnato o di pioggia;

- rivestimento per migliorare l'adesione:

tale trattamento, impiegato soprattutto nel caso in cui si utilizzino elementi caratterizzati da dimensioni elevate, permette una maggior durabilità della retroriflettenza della segnaletica in quanto le microsfere risultano di più difficile asportazione. Questo infatti è garantito da un rafforzamento del legame tra microsfere e pittura, tale da permettere un distacco solo a causa di una rottura interna nella pittura stessa;

- rivestimento per il galleggiamento:

applicato alle microsfere sia di piccolo sia di grande diametro, garantisce che esse galleggino nella pittura fresca anziché affondarvi completamente. Ciò permette di ottenere un segnale più visibile, ma al contempo porta anche ad una maggiore facilità di asportazione degli elementi e pertanto viene impiegato quando la durabilità a lungo termine risulta essere meno importante rispetto all'iniziale valore di retroriflettenza richiesto [14];

- rivestimento doppio:

spesso raccomandato per le pitture ad acqua, promuove sia l'adesione sia la flottazione delle microsfere, garantendo lo sfruttamento dei vantaggi di entrambi i trattamenti.

In particolare la necessità di avere microsfere trasparenti e rotonde può essere spiegata esaminando il percorso seguito da un raggio di luce che penetra nella microsfere opportunamente inglobata nella pittura. L'elemento deve infatti essere trasparente affinché il raggio luminoso

possa passarvi all'interno, mentre una superficie perfettamente sferica della microsfera permette che esso venga opportunamente deviato e riflesso.

La granulometria e il dosaggio delle microsfere sono ulteriori fattori che influenzano la visibilità e la durata del prodotto segnaletico.

2.3.3. Modalità di applicazione delle microsfere

Una prima tipologia di prodotto che può essere impiegata per la realizzazione della segnaletica orizzontale è quello caratterizzato dalla presenza di microsfere di vetro premiscelate [7], nel quale quindi tali elementi sono annoverati tra le materie prime costituenti la parte inorganica della miscela. Questa modalità di applicazione prevede l'utilizzo di microsfere con granulometria molto fine che possono essere completamente affondate nella pittura. Pertanto gli iniziali valori di retro riflettanza risultano molto bassi, rendendo quindi necessaria una prima fase di abrasione superficiale della segnaletica, in quanto, affinché la retroriflettanza abbia effettivamente luogo, occorre che la pellicola di prodotto che ricopre la superficie delle microsfere venga asportata.

Questa circostanza può rappresentare una non trascurabile problematica in corrispondenza di quei tratti di segnaletica non particolarmente soggetti ad elevato traffico, il quale costituisce la principale causa della rimozione del film che riveste le microsfere.

Proprio per questo motivo tale metodologia viene impiegata quasi unicamente in campo stradale, anche a causa del fatto che le microsfere di vetro che è possibile premiscelare presentano un ridotto diametro, offrendo valori di retroriflettanza poco consistenti e quindi non adatti al contesto aeroportuale.

Tra i principali inconvenienti generalmente associati all'utilizzo delle microsfere premiscelate si ha la tendenza alla sedimentazione degli elementi durante i periodi di stoccaggio e la rapida usura delle pistole dalle quali viene spruzzata la vernice. Mentre per la prima problematica è possibile adottare adeguati agenti in grado di garantire la sospensione delle microsfere, non c'è soluzione per il degrado accelerato delle pistole [14].

Viceversa, in ambiti particolarmente trafficati, può essere vantaggioso ricorrere a microsfere premiscelate in quanto questa tipologia garantisce una maggiore durabilità della segnaletica orizzontale. Inoltre le microsfere di vetro premiscelate, comportandosi come un cuscinetto utile per ottenere un'applicazione più scorrevole, migliorano la spruzzabilità della vernice, garantendone una più semplice e corretta stesa.

Le dimensioni delle microsfere premiscelate sono limitate a causa delle pistole per la spruzzatura della vernice, dotate di ugelli che non consentono il transito di componenti di dimensioni superiori generalmente ai 250 μm .

Ad ogni modo sarebbe sempre opportuno, sia nel caso di utilizzo di prodotti già contenenti microsfere sia nel caso in cui vengano adottati composti realizzati senza microsfere premiscelate, ricorrere ad una fase di postspruzzatura delle microsfere direttamente sulla pittura fresca appena stesa, al fine di garantire buoni valori di retroriflettenza della segnaletica orizzontale fin dall'applicazione. Chiaramente tale procedimento assume un'importanza fondamentale in quelle aree in cui, a causa del ridotto traffico, l'asportazione del film di pittura superficiale richiederebbe tempi molto lunghi. In Figura 2.11 si può apprezzare la differenza tra le diverse tecnologie adottabili.

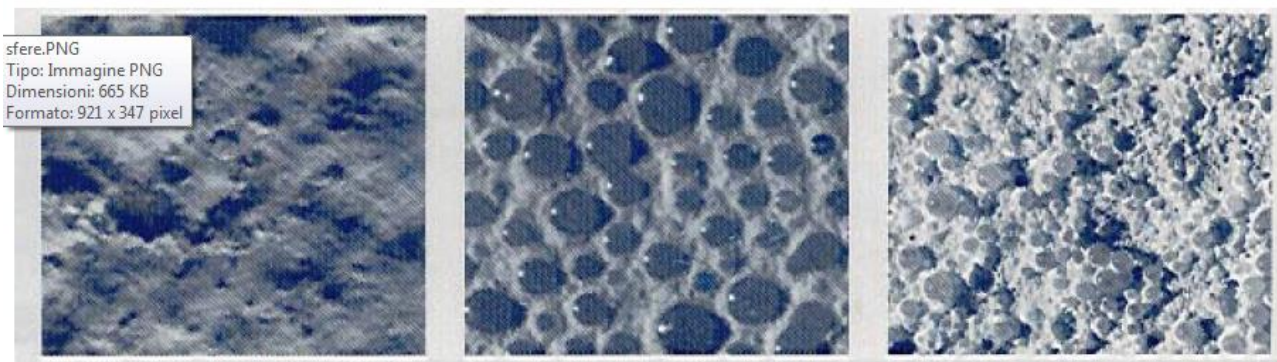


Figura 2.11: Ingrandimento al microscopio rispettivamente, da sinistra a destra, di microsfere premiscelate, microsfere postspruzzate ed una combinazione dei due metodi.

Sia per quanto riguarda le microsfere premiscelate sia per quelle postspruzzate, risulta di particolare importanza il controllo del loro dosaggio e della loro granulometria.

Nello specifico occorre garantire che sia applicato il corretto quantitativo di microsfere, calibrando, per quanto riguarda la postspruzzatura degli elementi, ciascuna pistola e verificando che ognuna di esse sia tarata per applicare le microsfere sulla medesima larghezza.

Riveste inoltre un ruolo fondamentale il controllo del dosaggio della pittura, in quanto è necessario garantire uno strato di materiale di spessore adeguato ad inglobare al meglio le microsfere postspruzzate, anche in funzione della granulometria adottata.

Infatti, nel caso in cui si consideri una composizione granulometrica in cui le microsfere siano di piccolo diametro, o comunque con dimensioni inferiori rispetto allo spessore medio del prodotto segnaletico steso, esse tenderanno ad essere completamente inglobate nella pittura e appariranno quindi totalmente invisibili al pilota dell'aeromobile, non garantendo quindi, almeno

per la prima fase del ciclo di vita della segnaletica, le adeguate caratteristiche di retroriflettenza. L'impiego invece di microsfere caratterizzate da un diametro maggiore condurrà all'ottenimento di una retroriflessione iniziale sicuramente superiore alla minima richiesta, ma la presenza di microsfere con affondamenti modesti non è in grado di garantire il mantenimento di tali valori a lungo termine, a causa dell'azione meccanica di sfregamento degli pneumatici dei velivoli, che determina l'asportazione progressiva dei dispositivi catadiottrici.

Risulta pertanto necessario prevedere granulometrie e dosaggi, sia di microsfere sia di pittura, compatibili tra loro, al fine di evitare gli inconvenienti precedentemente descritti. In particolare, nella scelta della granulometria, è necessario tenere conto del fatto che un giusto equilibrio di microsfere di dimensioni piccole, medie e grandi, come mostrato in Figura 2.12, incrementa notevolmente la durabilità del prodotto. Infatti le sfere più grosse, essendo le prime che vengono asportate, "proteggono" quelle di dimensioni minori, mentre le microsfere, nella loro totalità, proteggono il prodotto segnaletico dall'usura dovuta al traffico.

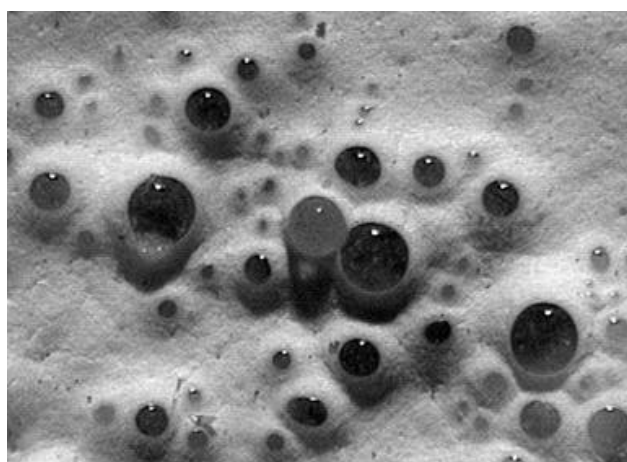


Figura 2.12: Microsfere di differenti dimensioni inglobate nel prodotto segnaletico.

Un'ulteriore caratteristica da ricercare consiste nell'ottenimento di uno spessore uniforme della pittura stesa al fine di evitare differenti gradi di affondamento delle microsfere. Tale obiettivo può essere raggiunto calibrando in maniera opportuna le ampiezze di spruzzatura delle pistole dei macchinari di stesa della segnaletica, andando ad evitare eccessive sovrapposizioni alle estremità delle zone di spruzzatura di ogni singolo ugello.

Come accennato precedentemente, all'interno dell'ambito aeroportuale vengono impiegate quasi esclusivamente microsfere di tipo postspruzzato, motivo per il quale nel seguito si analizzerà unicamente tale tipologia.

2.3.4. Metodologie per l'applicazione di microsfere postspruzzate

Per quanto riguarda le microsfere di vetro postspruzzate, queste devono essere applicate immediatamente al di sopra della pittura appena stesa, con particolare celerità nel caso di pitture ad asciugamento istantaneo, al fine di ottenere un'adeguata adesione ed un opportuno affondamento.

Il corretto utilizzo delle microsfere di vetro postspruzzate permette di prolungare la durabilità del sistema segnaletico applicato, in quanto esse provocano un aumento dello spessore sistema segnaletico nel suo complesso e proteggono la pittura dall'usura provocata dal traffico. Inoltre, calibrando correttamente la granulometria delle microsfere aggiunte in superficie, è possibile ottenere valori di antiscivolo più elevati rispetto a quelli che si avrebbero in totale assenza delle microsfere o in presenza dei soli elementi premiscelati [22].

Nell'esecuzione di tale operazione è possibile affidarsi a differenti metodologie che possono prevedere l'utilizzo di macchinari appositi, oppure il cospargimento manuale delle microsfere stesse.

2.3.4.1. Applicazione a pressione

Il macchinario utilizzato risulta dotato di ugelli a pressione per l'applicazione delle microsfere, i quali vengono azionati automaticamente non appena si attivano le pistole destinate alla spruzzatura della pittura, in modo tale da garantire adeguati tempi di posa.

Tale sistema è in grado di garantire una stesa uniforme di microsfere, come mostrato in Figura 2.13, pervenendo quindi a risultati ottimali per quanto riguarda la resa della retroriflettenza del segnale.

Il principale problema relativo all'utilizzo del macchinario qui considerato, è dato dall'elevata sensibilità all'umidità che si può formare all'interno del serbatoio contenente le microsfere di vetro.

Come già specificato nei paragrafi precedenti, tale condizione può risultare particolarmente gravosa in quanto gli elementi di vetro tendono ad aggregarsi, formando grumi che rendono difficoltoso il passaggio attraverso gli ugelli.

Una serie di sifoni posti lungo il sistema di condotta dell'aria pressurizzata può essere utilizzata al fine di mantenere l'aria libera dall'umidità, mentre una piccola quantità di amido di mais, posta

all'interno del contenitore delle microsfere di vetro, rivestendone la superficie, previene la loro aggregazione.



Figura 2.13: Applicazione a pressione di microsfere di vetro postspruzzate.

2.3.4.2. Applicazione a gravità

Analogamente a quanto visto per i sistemi a pressione, anche per quelli che applicano le microsfere per gravità risulta necessario attivare le pistole per la posa degli elementi simultaneamente a quelle demandate alla stesa della pittura.

Le microsfere, non risultando miscelate ad aria compressa, non presentano la problematica relativa all'aggregazione, descritta nell'analisi dei macchinari funzionanti a pressione.

Un problema caratteristico dei macchinari a gravità consiste però nella forma circolare degli applicatori che, come mostrato dalla Figura 2.14, non sempre sono in grado di garantire un risultato ottimale.

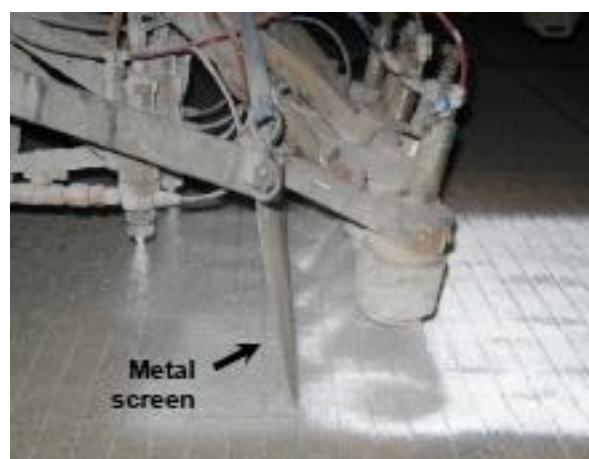


Figura 2.14: Applicazione a gravità di microsfere di vetro postspruzzate.

Al fine di contenere la dispersione delle microsfere provocata dalle turbolenze dovute all'operazione di spruzzatura della vernice, che avviene tramite le pistole adiacenti agli ugelli di applicazione delle microsfere stesse, vengono talvolta previste delle schermature metalliche.

2.3.4.3. Applicazione manuale

Oltre alle tecniche descritte nei precedenti paragrafi, è possibile applicare anche manualmente le microsfere di vetro al di sopra dello strato di pittura appena steso. Ciò nonostante è bene evitare tale pratica in tutti quei casi in cui non rappresenti l'unica possibilità a disposizione, a causa di una serie di inconvenienti che questo metodo può comportare.

Nello specifico, l'applicazione manuale presenta tre rilevanti problematiche che la rendono, malgrado l'economicità data dall'assenza di appositi mezzi d'opera, il metodo meno indicato per l'esecuzione dell'operazione di stesa delle microsfere:

- mancanza di omogeneità: la casualità intrinseca nella stesa manuale comporta una distribuzione delle microsfere assolutamente non uniforme, e quindi una resa ottica non ottimale, come evidenziato in Figura 2.15;



Figura 2.15: Disuniformità della distribuzione di microsfere causata da un'applicazione di tipo manuale.

- scarso affondamento: spesso le microsfere vengono gettate sopra la stesa di pittura troppo tardi, ovvero solo dopo che quest'ultima ha già creato il film protettivo che la riveste nella fase iniziale, prima che indurisca completamente. Tale ritardo comporta un affondamento ridotto, rispetto a quello adeguato a garantire una buona solidarizzazione tra i due

materiali componenti la miscela, e quindi rende molto più semplice l'asportazione delle microsfere a causa del traffico aereo. La durabilità della segnaletica orizzontale subisce pertanto una drastica riduzione;

- dispersione nell'area circostante: la ridotta precisione con cui viene eseguita l'applicazione delle microsfere di vetro comporta una distribuzione di queste ultime anche sulla pavimentazione circostante il tratto di segnaletica interessato dall'operazione di stesa. Ciò va quindi a costituire un rischio di scivolamento per i lavoratori operanti nella zona, oltre a rendere necessarie apposite operazioni di pulizia che rimuovano le microsfere in eccesso.

2.3.5. Controlli sull'applicazione delle microsfere

Al termine dell'applicazione delle microsfere occorre controllare alcune proprietà relative alla qualità del lavoro eseguito, al fine di garantire successivamente la massima resa del prodotto segnaletico.

Tra i principali controlli da eseguire sul campo, si annoverano la valutazione del grado di affondamento e della densità delle microsfere all'interno della striscia di pittura stesa sulla pavimentazione aeroportuale. Entrambe le caratteristiche sono fortemente influenzate da numerosi parametri quali:

- quantitativo di microsfere postspruzzate nell'unità di tempo;
- velocità di avanzamento del mezzo di stesa;
- distanziamento tra gli applicatori della pittura e delle microsfere;
- temperatura dell'ambiente;
- viscosità della pittura.

Un'ulteriore caratteristica di fondamentale importanza, che è necessario valutare al termine dell'operazione di realizzazione della nuova segnaletica, oltre che durante tutto il corso della sua vita utile, è data dal valore di retroriflettenza garantito dalle microsfere applicate. A tal proposito un parametro che è utile determinare è rappresentato dalla direzione di avanzamento del macchinario che effettua la stesa del prodotto segnaletico. Tale caratteristica infatti ha un significativo impatto sulla retroriflettenza della segnaletica, soprattutto in ambito stradale, in quanto i valori di questo parametro risultano incrementati fino a 60-70 mcd/lux/m² se valutati nella direzione di applicazione [15]. La differenza di retroriflettenza in base alla direzione di misurazione può essere spiegata considerando il fatto che il veicolo trasferisce parzialmente la

propria velocità di avanzamento alle microsfere, le quali quindi tenderanno a rotolare o penetrare all'interno della pittura ancora fresca. Nel primo caso la pittura non ancora indurita le rivestirà di uno strato di materiale, riducendo quindi, in entrambe le direzioni, la quantità di luce che la microsfera sarà in grado di riflettere. Nel caso invece in cui le microsfere penetrino all'interno dello spessore di pittura, si verificherà una perdita di retroriflettenza nella sola direzione opposta a quella di stesa.

Inoltre occorre tenere in considerazione anche il valore della velocità di avanzamento del veicolo di applicazione, in quanto maggiore sarà tale parametro, maggiore risulterà la probabilità che le microsfere rotolino o penetrino all'interno dello spessore di pittura.

A titolo di esempio si riportano nei Grafici 3.1 e 3.2 i valori ottenuti a seguito di uno studio appositamente condotto, volto proprio a valutare la riduzione di retroriflettenza correlata alla velocità del macchinario di stesa [15].

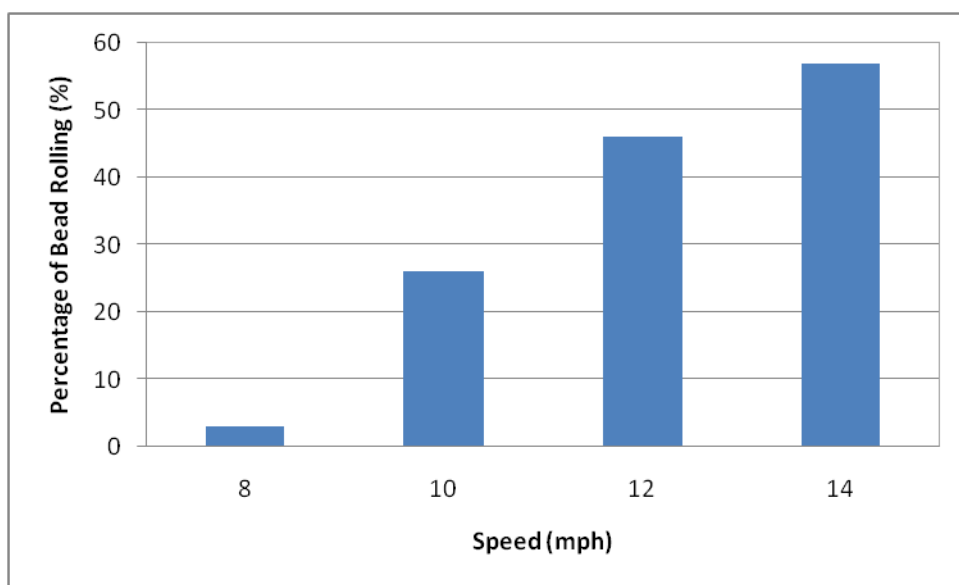


Grafico 2.1: Percentuale di microsfere che rotolano misurata all'aumentare della velocità di stesa.

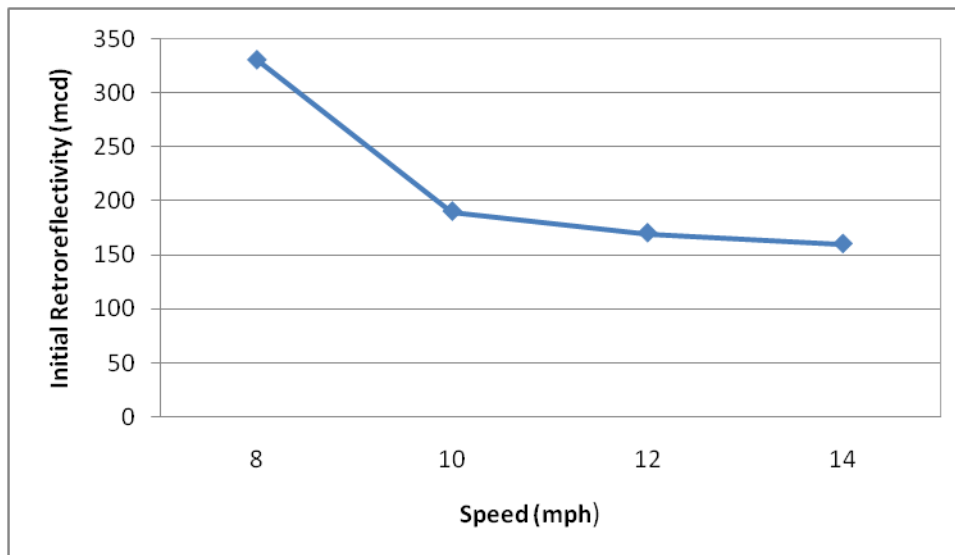


Grafico 2.2: Riduzione della retroriflettenza misurata all'aumentare della velocità di stesa.

Dal punto di vista puramente teorico, al fine di ottenere un inglobamento appropriato delle microsfere, sarebbe opportuno procedere alla loro applicazione a velocità nulla.

2.3.5.1. Controlli visivi relativi al grado di affondamento ed alla densità

Tramite l'impiego di una lente di ingrandimento, è possibile determinare visivamente il grado di affondamento delle microsfere all'interno dello strato di pittura steso e valutare quindi la resistenza che i singoli elementi ottici offrono al processo meccanico di asportazione.

Inoltre tale controllo è utile al fine di verificare che l'affondamento ottenuto sia ottimale a garantire, fin dalle prime fasi di vita della segnaletica orizzontale, adeguati valori di retroriflettenza.

Di seguito sono riportate le principali condizioni negative relative al grado di affondamento delle microsfere che è possibile riscontrare [16]:

- le microsfere appaiono scarsamente ancorate al prodotto segnaletico a causa di un insufficiente spessore della pittura o di un cattivo trattamento superficiale. Tale situazione conduce ad una notevole riduzione della durabilità della segnaletica in quanto le microsfere risultano particolarmente sensibili alle sollecitazioni meccaniche che ne provocano l'asportazione. Ciò chiaramente accelera il processo di degrado del segnale, sulla cui superficie si manifesta una rapida riduzione del quantitativo di microsfere presenti, causando un conseguente abbassamento dei valori di retroriflettenza riscontrati.

Inoltre, anche trascurando l'effetto della perdita delle microsfere, la retroriflettenza risente comunque di una cospicua riduzione di intensità, rispetto a quella che si otterrebbe con microsfere opportunamente inglobate nella pittura, poiché parte della luce entrante nell'elemento ne esce senza essere rifratta dal substrato contenente il biossido di titanio;

- Le microsfere risultano, per la maggior parte, completamente affondate nel prodotto segnaletico a causa di un eccessivo spessore della pittura o un cattivo trattamento superficiale. Questa situazione, benché la segnaletica risulti sufficientemente durevole grazie all'ancoraggio delle microsfere all'interno della pittura, non è ottimale poiché i valori di retroriflettenza iniziali non garantiscono il rispetto dei limiti imposti dalla normativa. Tramite l'usura del segnale, causata dal passaggio dei mezzi, col tempo si raggiungono adeguati valori di retroriflettenza, in seguito ad un'emersione delle microsfere pari almeno al 60%. Perciò risulta preferibile un'applicazione di microsfere eccessivamente affondate nella pittura anziché insufficientemente ancorate in essa e spesso è proprio la condizione che si verifica in quanto dal punto di vista pratico risulta difficile garantire fin dal principio un adeguato inglobamento di tutti gli elementi. Infatti generalmente la condizione più diffusa presenta mediamente il 70% delle microsfere completamente inglobate all'interno dello spessore della pittura, mentre la rimanente parte risulta ancorata solo superficialmente, garantendo quindi una sufficiente retroriflettenza nelle prime fasi di vita del segnale [17];
- le microsfere, per una parte consistente, risultano esterne alla pittura stesa a causa di fattori quali vento, turbolenze generate dalle pistole per la pittura, ecc.

Come appare chiaro da quanto appena enunciato, è necessario che la suddetta verifica venga sempre preceduta da una fase di ispezione relativa allo spessore della pittura, che viene eseguita tramite un apposito strumento dotato di piccole scanalature caratterizzate da differenti profondità, in grado, una volta posizionato lo strumento perpendicolarmente alla superficie ricoperta, di definire lo spessore dello strato di pittura.

L'utilizzo della lente di ingrandimento risulta utile non solo per definire l'affondamento, ma anche per evidenziare altri eventuali problemi come un eccessivo rivestimento di pittura sulla superficie esterna della microsfera, condizione che evidentemente riduce la capacità retroriflettente dei singoli elementi.

È inoltre di fondamentale importanza l'applicazione delle microsfere nel giusto quantitativo al fine di ottenere un'adeguata copertura ed un opportuno affondamento degli elementi sferici.

Un'adeguata applicazione dovrebbe presentare microsfere omogeneamente distribuite su tutta la superficie del marking (Figura 2.16a), condizione ottenibile tramite la calibrazione ed il controllo del corretto funzionamento delle pistole per lo spruzzo delle microsfere, al fine di evitare distribuzioni insufficienti (Figura 2.16b) o irregolari (Figure 2.16c e 2.16d) degli elementi catadiottrici.

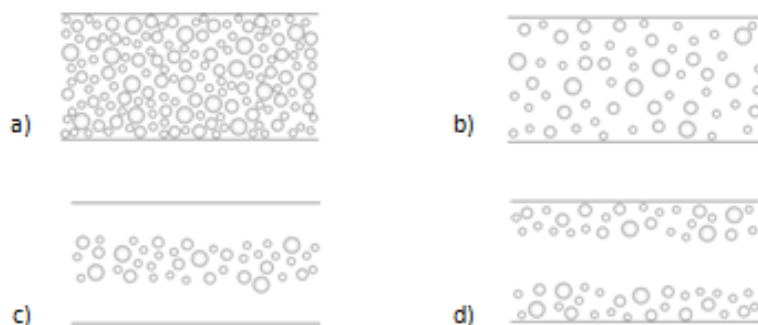


Figura 2.16:Distribuzione di microsfere **a)** uniforme, **b)** insufficiente, **c)** centrale e **d)** laterale.

Anche per quanto riguarda la valutazione visiva della distribuzione delle microsfere è possibile ricorrere all'impiego di una lente di ingrandimento, avendo cura di posizionarla a 45° rispetto alla segnaletica oggetto dell'analisi, e di avere una fonte luminosa di fronte all'osservatore.

Si sottolinea infine che la valutazione dei due parametri qui analizzati è propedeutica alla determinazione della durabilità del sistema segnaletico. Infatti, al fine di incrementarne la vita utile, risulta conveniente aumentare lo spessore del prodotto applicato, non semplicemente utilizzando un maggior quantitativo di pittura (pratica resa impossibile da limiti meccanici quali la velocità di applicazione del macchinario e limiti fisici quali il grado di viscosità del prodotto), ma anche utilizzando un opportuno quantitativo di microsfere, le quali, affondando all'interno della pittura, aumentano lo spessore totale del sistema segnaletico [21].

2.3.5.2. Controlli relativi al grado di retroriflettenza

La retroriflessione, definita anche riflessione catadiottrica, costituisce la riflessione prodotta dal rinvio dei raggi luminosi nel verso opposto alla direzione di provenienza, la cui intensità viene identificata mediante il coefficiente di luminanza retroriflessa R_L che rappresenta il quoziente tra la luminanza della superficie retroriflettente nella direzione di osservazione e l'illuminamento

ricevuto attraverso un piano passante per il centro del retroriflettore e perpendicolare alla direzione della luce incidente. Il parametro così descritto è un indice della visibilità notturna della segnaletica orizzontale offerta al pilota grazie all'ausilio dell'illuminazione artificiale fornita dai proiettori del velivolo.

La misura sul campo della retroriflettenza offerta dalla segnaletica orizzontale viene effettuata mediante uno strumento opportunamente calibrato, noto con il nome di retroriflettometro.

Tale strumento è stato sviluppato in ambito stradale, in particolar modo per applicazioni nel contesto relativo alle autostrade, e pertanto è tarato su una geometria che considera una distanza di visibilità pari a 30 m. Questa geometria è rappresentativa delle modalità di visualizzazione di un segnale retroriflettente da parte di un utente alla guida di un veicolo di medie dimensioni, secondo quanto mostrato in Figura 2.17.

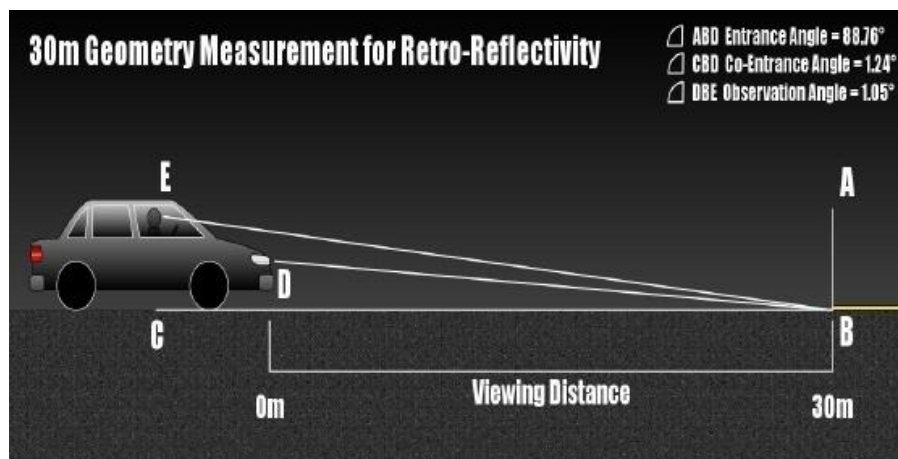


Figura 2.17: Geometria impiegata nelle misure di retroriflettenza.

L'attrezzatura impiegata per la valutazione del coefficiente di luminanza retroriflessa R_L si compone di un sistema di illuminazione (generalmente una lampada alogena al tungsteno), un fotometro (sistema costituito da una lente e da un dispositivo per inviare la luce), strumenti predisposti alla definizione di un piano di riferimento orizzontale con un centro di riferimento e da un sistema di captazione, lettura e calcolo del flusso retroriflesso. Le strumentazioni vengono generalmente tarate considerando misurazioni precedentemente svolte in laboratorio, mentre il piano ed il centro di riferimento vengono definiti mediante una procedura di allineamento.

In particolare, il sistema di illuminazione irraggia un campo del piano di riferimento localizzato in prossimità del centro di riferimento, di cui il fotometro misura l'indice R_L . I campi vengono disposti secondo due differenti metodi, a seconda che la porzione di superficie illuminata contenga il

campo misurato o viceversa. L'area di misurazione viene definita come l'ampiezza del minore dei due campi e deve essere pari almeno a 50 cm^2 .

È possibile definire la direzione di osservazione come la direzione centrale di tutti i raggi provenienti dall'area misurata e che giungono al fotometro, mentre l'angolo di osservazione \widehat{CBE} , risulta essere quello compreso tra la direzione di osservazione ed il piano di riferimento.

Inoltre è possibile identificare un altro angolo noto con il nome di angolo di illuminazione (\widehat{CBD}) che risulta compreso tra la direzione di illuminazione ed il piano di riferimento.

In condizioni di misurazione normalizzata, l'angolo \widehat{CBE} presenta un valore pari a $2,29^\circ \pm 0,05^\circ$, mentre l'angolo \widehat{CBD} deve avere un valore pari a $1,24^\circ \pm 0,05^\circ$, valori concepiti al fine di simulare una distanza visiva di 30 m per il conducente di un veicolo per trasporto passeggeri, con un'altezza dell'occhio pari a 1,2 m e proiettori montanti ad un'altezza di 0,65 m rispetto alla superficie stradale.

La misura può essere eseguita sia mediante strumenti portatili sia mediante strumenti montati su veicoli in grado di operare le misurazioni dei valori di R_L muovendosi alla velocità del traffico. In particolare, tali strumenti posizionati su veicoli dovrebbero, in linea di principio, essere conformi agli stessi requisiti degli strumenti portatili, benché non esista ancora una specifica standardizzazione riconosciuta a livello normativo.

Gli strumenti portatili possono essere utilizzati anche in condizioni di piena luce diurna e pertanto devono essere realizzati in modo tale che le letture non siano influenzate dalla luce presente nell'ambiente di misurazione. Generalmente infatti si è soliti impiegare panni neri o altri dispositivi di ostruzione, adeguatamente posti sullo strumento. Anche i macchinari che operano in maniera continua possono essere utilizzati durante le ore diurne in quanto la sorgente luminosa di cui sono dotati è in grado di inviare un raggio luminoso sufficientemente potente da annullare gli effetti della luce solare.

Qualora la superficie della segnaletica orizzontale sia interessata da rilievi, curvature, presenza di particelle estranee e profilature, risulta possibile variare inclinazione ed altezza degli strumenti portatili.

Le misure di retroriflettenza che è necessario effettuare prevedono la valutazione del parametro R_L in tre differenti condizioni:

- condizioni di asciutto:
la misurazione viene svolta sulla pavimentazione asciutta senza necessità di particolari accorgimenti aggiuntivi rispetto alla metodologia descritta precedentemente.

- condizioni di bagnato:

la misurazione deve essere effettuata creando opportune condizioni di bagnato, ovvero versando acqua pulita da un secchio posizionato ad una quota pari a circa 0,3 m dalla superficie analizzata e di capienza pari ad almeno 3 litri. L'acqua deve essere sversata in maniera il più possibile uniforme su tutto il campo di prova, in modo tale che esso venga temporaneamente sommerso da un'ondata d'acqua. La valutazione del parametro R_L viene svolta ad una distanza temporale pari a 60 ± 5 secondi a partire dal momento di sversamento dell'acqua.

Si noti che la condizione di prova qui descritta non è applicabile alla segnaletica appena stesa, ovvero quando la superficie risulta idrorepellente al punto tale da formare delle pozzanghere.

Inoltre, in presenza di climi particolarmente caldi e soleggiati, può essere d'aiuto versare più volte l'acqua sulla superficie della pavimentazione, al fine di raffreddarla ed evitare quindi una rapida evaporazione. Può in aggiunta risultare necessario aspettare qualche tempo affinché l'attrezzatura portatile, considerata inizialmente fredda, assuma una temperatura sufficientemente elevata da non creare condensa sugli strumenti ottici che la compongono, a causa del contatto con la pavimentazione rovente.

- condizioni di pioggia:

la misurazione deve essere effettuata utilizzando acqua pulita che simuli una cascata di intensità media pari a 20 ± 2 mm/h agente su un'area 2 volte più larga di quella di misura e di lunghezza non inferiore a 0,3 m e comunque incrementata almeno del 25% rispetto alla lunghezza del campo di misura. In particolare sarà necessario verificare successivamente che il rapporto tra l'intensità massima e l'intensità minima della cascata sia compresa tra 1 e 1,7. In particolare l'intensità della pioggia può essere determinata misurando il volume dell'acqua raccolta all'interno di sei vassoi piatti in un tempo specificato.

Particolare attenzione dovrà essere posta nell'evitare interferenze eventuali del vento e condizioni che possano generare foschia o nebbia durante il getto del flusso d'acqua, al fine di non inficiare le successive misure.

La valutazione del coefficiente di luminanza retroriflessa R_L in condizioni di pioggia deve essere effettuata dopo 5 minuti di pioggia simulata continua.

Anche in questo caso la misurazione non può essere effettuata su segnaletica appena stesa a causa delle sue elevate caratteristiche di idrorepellenza [19].

Misure specifiche in condizioni di pioggia si rendono necessarie in quanto la visibilità notturna della segnaletica orizzontale subisce una notevole riduzione. Infatti il segnale, coperto anche da un sottile strato d'acqua, funziona come uno specchio, provocando la riflessione della luce dei fari in direzione opposta rispetto all'occhio del conducente. Per evitare questo effetto risulta opportuno disporre microsferi di vetro caratterizzate da un diametro sufficientemente elevato da emergere dal velo idrico e garantire quindi un'adeguata retroriflessione. Tale soluzione, oltre a richiedere la stesa di maggiori spessori di pittura, tende anche a presentare un effetto dannoso sul valore di SRT (Skid Resistance Test), rendendo quindi necessaria l'introduzione di miscele da postspruzzare contenenti anche aggregati antiscivolo (generalmente 75% di microsferi di vetro e 25% di aggregati). Una problematica che può derivare dall'impiego di questi aggregati è data dal fatto che essi presentino caratteristiche di elevata fragilità, la quale può condurre alla loro frantumazione in conseguenza già del transito dei primi aeromobili. Inoltre in corrispondenza dell'utilizzo degli aggregati antiscivolo il valore di R_L tende a diminuire, mentre il grado di annerimento della segnaletica aumenta in quanto questi elementi trattengono con maggiore facilità lo sporco, la polvere, i residui di gomma ed i vari agenti inquinanti abitualmente presenti sulla superficie. Per questo motivo oggi risulta sempre più raccomandato un aggregato di nuova concezione composto da frammenti di vetro frantumato chiamati "grani di vetro". Essi, oltre a prevedere trattamenti superficiali simili a quelli impiegati nella produzione delle microsferi di vetro, presentano numerosi altri vantaggi quali la trasparenza e un'elevata resistenza all'abrasione [22].

Come si evince chiaramente dalla trattazione appena effettuata, la calibrazione del retroriflettometro, eseguita secondo le prescrizioni della normativa di riferimento, si basa su una prospettiva geometrica tipica dell'ambito stradale, risultando pertanto totalmente differente da quella presente in ambito aeroportuale. Infatti si possono riscontrare le seguenti fondamentali differenze:

- Maggiore distanza di visibilità necessaria:
come già accennato, le notevoli velocità assunte dai velivoli richiedono maggiori distanze di visibilità, anche in considerazione del fatto che le informazioni fornite dalla segnaletica orizzontale possono risultare di ausilio al pilota non solo durante le movimentazioni a terra ma anche in fase di atterraggio.
- Maggiore distanza tra sorgente luminosa e occhio del pilota:
un velivolo è strutturato in modo tale che il fanale di navigazione sia posizionato in corrispondenza della gamba di forza anteriore, presentando quindi una notevole distanza

tra la fonte di luce che irradia la segnaletica orizzontale e l'occhio del pilota che la percepisce. Ciò comporta una non validità dello schema geometrico considerato per l'effettuazione della retroriflettenza, nel quale la distanza tra fonte e recettore risulta essere molto ridotta.

- Maggiore intensità luminosa della sorgente:
i fanali che gli aeromobili utilizzano durante la fase di atterraggio e le movimentazioni a terra presentano un'intensità luminosa molto più elevata rispetto a quella fornita dai fanali dei veicoli stradali. Tale condizione permette quindi di offrire al pilota una maggiore profondità di visualizzazione.
- Maggiore velocità del velivolo:
in ambito aeroportuale i mezzi considerati viaggiano a velocità considerevolmente superiori rispetto a quelle caratterizzanti il traffico stradale. Tale situazione quindi comporta minori tempi disponibili al pilota per percepire ed interpretare i segnali, rendendo quindi necessarie maggiori distanze di visibilità della segnaletica orizzontale.

2.3.5.3. Controlli relativi al grado di resistenza al derapaggio

Un parametro essenziale richiesto per garantire la movimentazione dei velivoli in condizioni di sicurezza è costituito dal grado di resistenza al derapaggio presentato dalla pavimentazione aeroportuale.

Nello specifico adeguate caratteristiche di aderenza della pavimentazione vengono richieste per tre differenti motivi:

- favorire l'operazione di decelerazione di un aeromobile in seguito alla fase di atterraggio;
- mantenere il controllo direzionale durante le operazioni di rullaggio a terra, specialmente in presenza di vento avverso, potenza asimmetrica dei motori o malfunzionamenti tecnici;
- garantire, il prima possibile, il rotolamento delle ruote durante la fase di atterraggio.

I valori di resistenza al derapaggio dipendono sostanzialmente dalla superficie a contatto con la ruota, ovvero dai valori di macrotestitura e microtestitura che la caratterizzano e che permettono un rapido smaltimento delle acque superficiali. Tali caratteristiche della pavimentazione sono influenzate da un elevato numero di fattori come la presenza di contaminanti (particolare importanza rivestono i depositi di gomma), della segnaletica orizzontale e dell'acqua, nonché dallo spessore con cui essi si presentano.

Risulta pertanto necessario verificare le caratteristiche di aderenza della pista anche in condizioni di pavimentazione bagnata, al fine di verificare la scivolosità della superficie e di determinare gli effetti sulla resistenza al derapaggio derivanti da una scarsa capacità drenante.

La misurazione delle caratteristiche di aderenza di una pista deve essere effettuata periodicamente mediante un'attrezzatura di misurazione continua dotata di sistema autobagnante, effettuando le rilevazioni per ciascun terzo di pista.

In genere vengono specificati tre diversi livelli di aderenza:

- design level: stabilisce il minimo valore di aderenza per una pista di nuova costruzione o ripavimentata;
- maintenance level: al di sotto di questo valore risultano necessari interventi manutentivi correttivi;
- minimum level: al di sotto di questo valore la pavimentazione, in condizioni di bagnato risulta scivolosa, rendendo necessari opportuni interventi.

La Tabella 2.1 mostra i tre valori dei livelli sopra elencati contemplati a livello normativo per tutti gli aeroporti aperti al traffico commerciale, in riferimento alle diverse tipologie di dispositivi utilizzati per le misurazioni ed ai relativi parametri d'impiego quali velocità del mezzo, spessore dello strato d'acqua, tipo e pressione del pneumatico di prova [18] [44].

| Test equipment | Test tire | | Test speed (km/h) | Test water depth (mm) | Design objective for new surface | Maintenance planning level | Minimum friction level |
|------------------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|------------------------------|
| | Type | Pressure (kPa) | | | | | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | |
| Mu-meter Trailer | A | 70 | 65 | 1.0 | 0.72 | 0.52 | 0.42 |
| | A | 70 | 95 | 1.0 | 0.66 | 0.38 | 0.26 |
| Skiddometer Trailer | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.82 | 0.60 | 0.50 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.74 | 0.47 | 0.34 |
| Surface Friction Tester Vehicle | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.82 | 0.60 | 0.50 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.74 | 0.47 | 0.34 |
| Runway Friction Tester Vehicle | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.82 | 0.60 | 0.50 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.74 | 0.54 | 0.41 |
| TATRA Friction Tester Vehicle | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.76 | 0.57 | 0.48 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.67 | 0.52 | 0.42 |
| RUNAR Trailer | B | 210 | 65 | 1.0 | 0.69 | 0.52 | 0.45 |
| | B | 210 | 95 | 1.0 | 0.63 | 0.42 | 0.32 |
| GRIPTESTER Trailer | C | 140 | 65 | 1.0 | 0.74 | 0.53 | 0.43 |
| | C | 140 | 95 | 1.0 | 0.64 | 0.36 | 0.24 |

Tabella 2.1: Valori di riferimento per la valutazione della resistenza al derapaggio in ambito aeroportuale.

I test devono essere condotti periodicamente sulle pavimentazioni esistenti al fine di evitare che i valori di aderenza crollino al di sotto di minimi livelli specificati. Qualora venisse verificata tale condizione, anche solo in una zona della pista, sarà necessario procedere, senza alcun ulteriore ritardo, all'applicazione di azioni di manutenzione in grado di ripristinare i livelli di aderenza richiesti.

In particolare la frequenza delle misurazioni deve essere tale da garantire l'individuazione delle piste che necessitano di opportuni interventi, prima che le loro condizioni diventino tali da compromettere la sicurezza. L'intervallo di tempo che intercorre tra due campagne di misurazione viene stabilito in base al tipo di flotta aeronautica presente, alle condizioni climatiche, al tipo di pavimentazione ed ai requisiti prestazionali richiesti [2].

La valutazione di questo parametro risulta di particolare interesse anche in relazione alla differenza di valori che si riscontra in corrispondenza di segnaletica orizzontale. La normativa, come già citato, impone i medesimi limiti di aderenza su tutte le zone della pista, comprese quindi alcune aree critiche quali quelle in cui i segnali presentano notevoli dimensioni (TDZ, Aiming Points, ecc.).

Numerose fonti affermano che la presenza di microsfere postspruzzate sulla superficie delle pitture permette di incrementare il valore ottenuto dall'esecuzione dello Skid Test, rispetto al caso in cui vengano impiegate le sole vernici [6] [22].

Un'ulteriore ricerca condotta in tale ambito riporta risultati più dettagliati, differenziati in base alla tipologia di microsfere impiegate ed al materiale di cui è costituita la pavimentazione su cui è applicata la segnaletica orizzontale. In particolare tale studio ha effettuato misurazioni relative all'influenza di microsfere di differente diametro postspruzzate su una pittura ad acqua, applicata a sua volta sia su una pavimentazione in calcestruzzo, sia su una pavimentazione in conglomerato bituminoso. Nello specifico è emerso che, per quanto riguarda la superficie in calcestruzzo, la presenza di microsfere comporta una riduzione dell'aderenza rispetto al valore associato alla sola pittura. Inoltre appare evidente una maggiore riduzione di tale parametro all'aumentare del diametro delle microsfere impiegate. Per quanto concerne invece la pavimentazione in conglomerato bituminoso si nota un effetto benefico, in termini di aderenza, nell'utilizzo di markings con microsfere anziché privi di tali elementi, registrando comunque un incremento della scivolosità della superficie corrispondente ad un aumento delle dimensioni delle microsfere impiegate [45].

I risultati numerici relativi a tali considerazioni vengono riportati in Tabella 2.2.

| Surface Material | | Beads Type | | | |
|-------------------|------------------------|------------|--------|----------|---------|
| | | No Beads | Type I | Type III | Type IV |
| Concrete Pavement | Average Friction Value | 0,63 | 0,5 | 0,5 | 0,43 |
| Asphalt Pavement | | 0,57 | 0,64 | 0,6 | 0,59 |

Tabella 2.2: Valori di aderenza valutati in funzione del tipo di pavimentazione e del tipo di microsfere.

Nonostante la variabilità dei risultati presentati, la presenza della segnaletica orizzontale (sia con sia senza microsfere) resta comunque fonte di numerose problematiche, in quanto comporta una riduzione dell'aderenza rispetto a quella fornita dalla sola pavimentazione. Pertanto risulta necessario approfondire il rapporto tra la presenza di diverse tipologie di microsfere di vetro e di valori di resistenza al derapaggio, al fine di adeguare la quantità di prodotto postspruzzato alle esigenze di aderenza che risultano notevolmente più influenti in relazione alla sicurezza della movimentazione aeroportuale.

Alla luce delle problematiche qui sollevate, appare opportuno richiamare anche la possibilità di utilizzare appositi aggregati atti ad aumentare il valore di antiscivolo del sistema segnaletico.

2.3.5.4. Controlli relativi al coefficiente di luminanza con illuminazione diffusa

Definito come il quoziente tra la luminanza nel campo di misurazione del segnale orizzontale nella direzione data e l'illuminazione del campo di misurazione, il coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa viene indicato con la sigla Q_d ed espresso in mcd/lux/m^2 .

Il parametro misura la luminosità della segnaletica orizzontale come viene percepita dagli utenti alla luce del giorno o in presenza di illuminazione artificiale di tipo diffuso.

Il coefficiente Q_d , conformemente a quanto riportato nella UNI EN 1436 alla quale rimanda il regolamento ENAC, deve rispettare i valori minimi richiesti, differenziati per colore del segnale orizzontale e tipo di manto stradale, come riportato in Tabella 2.3.

| Colore del segnale orizzontale | Tipo di manto stradale | Classe | Coefficiente di luminanza minimo in condizioni di illuminazione diffusa Q_d in $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ |
|--------------------------------|------------------------|----------------------|--|
| Bianco | Asfalto | Q0 Q2 Q3 Q4 | Nessuna prestazione determinata $Q_d \geq 100$ $Q_d \geq 130$ $Q_d \geq 160$ |
| | Cemento | Q0 Q3 Q4 Q5 | Nessuna prestazione determinata $Q_d \geq 130$ $Q_d \geq 160$ $Q_d \geq 200$ |
| Giallo | | Q0 Q1 Q2 Q3 | Nessuna prestazione determinata $Q_d \geq 80$ $Q_d \geq 100$ $Q_d \geq 130$ |

Tabella 2.3: Classi di Q_d per segnaletica orizzontale asciutta.

L'attrezzatura necessaria alla misurazione del coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa si compone generalmente di un sistema di illuminazione, di un fotometro e di mezzi atti alla definizione di un piano di riferimento orizzontale ed un centro di riferimento.

Gli strumenti portatili destinati alla misurazione di tale parametro spesso coincidono con quelli adottati per la determinazione del coefficiente di luminanza retro riflessa R_L .

Esistono altresì strumenti idonei alla misurazione dei valori di Q_d della segnaletica orizzontale montati su veicoli, in grado di muoversi alla velocità del traffico, utilizzati soprattutto qualora l'impiego delle attrezzature portatili richieda precauzioni di sicurezza estreme, come nel caso di autostrade.

In linea di principio, le strumentazioni montate sui veicoli dovrebbero essere conformi agli stessi requisiti degli strumenti portatili e dovrebbero essere in grado di sopportare i movimenti del veicolo e le mutevoli condizioni della luce del giorno. Tuttavia il funzionamento in velocità può causare difficoltà alla misurazione e comportare quindi differenze rispetto ai valori determinati mediante sistemi statici.

3. Stato dell'arte

Come già specificato in precedenza, l'oggetto del lavoro di tesi qui presentato si inserisce nel quadro relativo alla segnaletica orizzontale aeroportuale, con particolare riferimento alle sue proprietà di retroriflettenza.

L'argomento analizzato viene ampiamente trattato all'interno della normativa stradale, mentre esigui sono gli accenni specifici propri del campo di applicazione dell'aviazione.

Nei prossimi paragrafi verranno richiamate tutte le indicazioni presenti all'interno delle normative aeroportuali vigenti, non solo a livello italiano, ma anche internazionale. Esse forniscono indicazioni generali relative a modalità e tecnologie di applicazione della segnaletica orizzontale, quale dispositivo di sicurezza idoneo a guidare ed informare i piloti degli aeromobili.

La trattazione qui presentata intende soffermarsi solo su alcuni aspetti specifici dell'argomento studiato, inerenti alle caratteristiche di retroriflettenza del prodotto segnaletico. In particolare si richiameranno quegli estratti di normativa riguardanti le proprietà dei materiali aventi influenza sul coefficiente di luminanza retroriflessa R_L , alle modalità di misurazione di tale parametro e ai valori minimi richiesti al fine di garantire un adeguato livello prestazionale del prodotto segnaletico nella sua completezza.

In seguito verranno elencate anche le prescrizioni riportate all'interno delle principali norme stradali, le quali presentano un maggior grado di specificità relativamente all'argomento trattato.

In particolare verranno richiamate le indicazioni che riguardano le prove di caratterizzazione dei principali materiali aventi un ruolo fondamentale nella determinazione del grado di retroriflessione, ovvero le pitture e, soprattutto, le microsfere impiegate.

In questo contesto saranno inoltre descritti i macchinari riconosciuti ed approvati a livello normativo per la valutazione dei parametri caratteristici delle singole materie prime impiegate, sui quali si basa la determinazione del grado di visibilità notturna fornito dal sistema segnaletico.

Si evidenzia che, per quanto riguarda la problematica delle retroriflettenza, la normativa aeroportuale risulta incompleta affidandosi sovente alle prescrizioni adottate nel contesto stradale. Questo può essere compreso considerando che l'introduzione delle microsfere di vetro per la segnaletica stradale risale agli anni '30, mentre l'applicazione di tali elementi nell'ambito delle infrastrutture aeroportuali non fu mai raccomandata fino agli anni '90, a causa della credenza che essi comportassero un potenziale danno alle caratteristiche di aderenza della segnaletica.

Uno studio intrapreso dalla Federal Aviation Administration nel 1994 smentì questa credenza permettendo quindi, nel 1996, l'introduzione dell'utilizzo delle microsfere di vetro anche per la realizzazione dei markings aeroportuali.

Inoltre, la maggior parte delle ricerche svolte al fine di migliorare le performances della segnaletica orizzontale si sono concentrate nel contesto della viabilità stradale, mentre gli aeroporti hanno

adottato gli standard autostradali, non tenendo in considerazione le evidenti e numerose differenze che intercorrono tra i due campi di impiego del sistema segnaletico orizzontale.

Infine, la ricerca dello stato di conoscenza attuale riguardo alle microsfere di vetro e alla retroriflettenza ha condotto alla raccolta di articoli scientifici incentrati sullo studio di tale argomento. Anche in questo contesto è stata riscontrata una carenza nelle analisi di carattere aeroportuale, mentre è risultata molto più cospicua la documentazione relativa agli studi stradali. Si è reputato comunque utile riportare i risultati ottenuti in ambito stradale poiché, benché chiaramente presentino alcune limitazioni per una trasposizione diretta al campo aeroportuale, rappresentano un fondamentale punto di partenza per la piena comprensione del fenomeno della retroriflettenza e delle sue implicazioni sulla sicurezza degli utenti anche delle infrastrutture aeroportuali.

Nonostante la gran parte delle ricerche condotte sia stata effettuata in collaborazione con enti stradali, vi sono anche casi di studio incentrati sulle applicazioni caratteristiche del contesto aeronautico.

In seguito si riporta una panoramica delle normative attualmente vigenti e dei risultati degli svariati progetti di ricerca che sono stati condotti al fine di valutare la retroriflettenza e l'influenza dei parametri che la governano.

3.1. International Civil Aviation Organization



L'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile, nota con la sigla ICAO, è un'agenzia autonoma delle Nazioni Unite fondata il 5 marzo 1947. Essa ha sede a Montreal, in Canada, e ha lo scopo di promuovere e sviluppare le tecniche ed i principi della navigazione aerea internazionale, delle rotte e degli aeroporti, favorendo la progettazione e la crescita del trasporto aereo internazionale secondo canoni di sicurezza e efficienza.

Le funzioni dell'ICAO sono di tipo tecnico, economico e normativo, mentre i suoi poteri sono di tipo informativo, di intervento, di cooperazione assistenziale e di decisione sulla conformità delle avioilinee alla Convenzione.

L'ICAO coopera con 191 stati firmatari della Convenzione e con organizzazioni mondiali operanti nel settore del trasporto, al fine di sviluppare standard internazionali e pratiche raccomandate, adottati poi dagli stati membri in sede di sviluppo delle normative nazionali.

A livello mondiale essa si articola su otto uffici regionali che identificano altrettante regioni di navigazione aerea (NAM, NAT, CAR, FAM, EUR, AFI, MID/ASIA, PAC).

L'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile ha emanato 18 allegati tecnici, comunemente detti annessi, con lo scopo di regolare in modo organico l'esercizio del trasporto aereo internazionale, al fine di garantirne soprattutto la sicurezza. Gli annessi contengono le "norme" (standards), ovvero prescrizioni la cui applicazione risulta necessaria per la sicurezza e la regolarità della navigazione aerea, e le "pratiche raccomandate" (recommended practices), ovvero le prescrizioni la cui applicazione è desiderabile per la sicurezza della navigazione aerea [3], [A].

L'allegato tecnico di maggiore interesse per chi si occupa di progettazione e gestione in ambito aeroportuale è il numero 14, il quale si sofferma sulla trattazione dei requisiti essenziali inerenti alla segnaletica orizzontale, rimandando all'Aerodrome Design Manual Part 4 per quanto riguarda le raccomandazioni relative ai materiali retroriflettenti [2].

All'interno di tale documento si trovano molteplici indicazioni riguardanti selezione, applicazione e rimozione dei segnali orizzontali, con particolare attenzione anche alla trattazione di pitture e microsferi di vetro impiegate nello specifico contesto aeroportuale.

Si riportano le prime caratteristiche delle microsferi da considerare durante il processo di selezione dei materiali da utilizzare all'interno degli aerodromi:

- composizione;
- indice di rifrazione (IOR);
- granulometria;
- eventuale presenza di imperfezioni.

In particolare si è riscontrato che la tipologia di microsferi più adatta all'ambito aeroportuale presenta una composizione chimica in cui risulta assente il piombo, un indice di rifrazione pari almeno ad 1.9, un diametro compreso tra 0,4 e 1,3 mm e meno del 33% di imperfezioni.

Le microsferi che presentano un IOR pari a 1,5, benché siano meno efficienti di quelle con un più elevato indice di rifrazione, possono essere comunque impiegate in determinate circostanze senza inficiare i valori minimi di retroriflettenza richiesti.

A causa della limitata abrasione che si verifica sulle piste e sulle vie di circolazione, è sconsigliato utilizzare pitture che presentino microsferi premiscelate, ma appare di maggiore efficacia l'applicazione degli elementi catadiottrici tramite spruzzatura sulla pittura ancora fresca.

Per ottenere una buona resa occorre utilizzare macchinari per la stesa delle pitture che siano adeguati al tipo di microsferi che si intende applicare successivamente, in quanto risulta di

fondamentale importanza ottenere uno spessore di pittura sufficiente ad accogliere ed inglobare in maniera ottimale le microsfere di vetro.

La posa di questi elementi deve essere effettuata in modo tale che essi si presentino con una distribuzione uniforme sulla superficie del materiale segnaletico, condizione che può essere ottenuta controllando con accuratezza il quantitativo, la velocità di avanzamento ed eventualmente la pressione di spruzzo con cui le microsfere di vetro vengono poste in opera. In particolare, la quantità di elementi ritenuta ottimale per la realizzazione di una segnaletica orizzontale dotata di buone caratteristiche di retroriflettenza si attesta in un range variabile tra 0,7 kg e 1,2 kg per ogni litro di pittura stesa.

Non appena il materiale risulta sufficientemente indurito da permettere il transito pedonale, si rende opportuno procedere con specifiche ispezioni, atte a controllare le caratteristiche del prodotto segnaletico finale.

Con questo si esauriscono le prescrizioni relative alla retroriflettenza della segnaletica orizzontale, fornite dall'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile.

All'interno del documento analizzato viene inoltre riportata una nota che induce a porsi delle domande relativamente all'effettiva utilità che deriva dall'impiego dei dispositivi retroriflettenti adottati in ambito aeroportuale [11]:

'The performance of retroreflective materials is sensitive to the geometry of the illumination source and the viewpoint of the pilot. The performance is optimized when the taxi-light on an aircraft is located closed to the position of the pilot.'

Tale condizione non appare assolutamente verificata nella realtà aeroportuale, in cui la distanza tra sorgente luminosa ed occhio del pilota risulta pari anche a diversi metri.

Proprio da questo nasce la necessità di fornire prescrizioni più adeguate, studiate appositamente per un contesto completamente differente ed indipendente da quello stradale.

3.2. Federal Aviation Administration



Creata nel 1958 come Federal Aviation Agency, a seguito dell'emanazione del Federal Aviation Act, assume l'attuale nome nel 1967 e si configura come l'agenzia del Dipartimento dei Trasporti

statunitense incaricata di regolare e sovrintendere ad ogni aspetto riguardante l'aviazione civile [B].

La rilevanza internazionale della FAA viene riconosciuta anche a livello mondiale come derivante dalla capacità, sviluppata nel tempo, di gestire il settore aereo americano, estremamente complesso in considerazione anche della sua entità geografica [C].

La struttura della FAA prevede quattro "lines of business" (LOB), ciascuna delle quali svolge un ruolo specifico all'interno dell'organizzazione:

- Airports (ARP): pianifica e sviluppa progetti relativi agli aeroporti rivestendo una funzione di supervisione sulla loro costruzione e sulle operazioni che vi si svolgono;
- Air Traffic Organization (ATO): riveste un ruolo relativo alla gestione del traffico aereo in condizioni di sicurezza ed efficienza all'interno del sistema aereo nazionale (NAS);
- Aviation Safety (AVS): è responsabile della certificazione aeronautica del personale e della flotta aerea.
- Commercial Space Transportation (CST): assicura la protezione dei beni durante tutte le fasi del trasporto aereo.

Tra le pubblicazioni di maggiore interesse editate dalla FAA spicca il cosiddetto Airport Safety Program, appositamente studiato per trattare in modo completo tutti gli aspetti relativi alla sicurezza nel contesto aeroportuale.

Per quanto riguarda lo specifico ambito trattato nel presente lavoro di tesi, si fa essenzialmente riferimento alle Advisory Circulars, all'interno delle quali vengono fornite linee guida e standards per i markings aeroportuali applicati sulle piste, sulle vie di circolazione e sui piazzali.

In particolare, contenute in tali documenti, si trovano indicazioni riguardanti le specifiche relative alle differenti tipologie di materiale impiegabile in ambito aeroportuale per la stesura della segnaletica orizzontale ed alle modalità realizzative ritenute ottimali al fine di garantire prestazioni sufficientemente elevate.

Nel dettaglio vengono fornite raccomandazioni finalizzate all'incremento della visibilità della segnaletica orizzontale in particolari situazioni considerate svantaggiose per un'adeguata percezione visiva delle indicazioni: condizioni notturne e segnaletica posta su pavimentazioni chiare non in grado di fornire un adeguato contrasto con i markings. La FAA identifica due diverse tecniche per il miglioramento della visibilità in tali condizioni: l'utilizzo di bordi neri che delineino il segnale orizzontale e l'impiego di microsfere sulla superficie dello strato di pittura steso, con l'accortezza di non porle in corrispondenza dell'eventuale bordatura. Le due procedure, volte ad

evidenziare la segnaletica orizzontale, possono essere adottate separatamente o congiuntamente, in funzione del tipo di marking a cui vengono applicate, secondo quanto riportato in Tabella 3.1 [23].

| MARKING | BLACK BORDER | GLASS BEADS |
|---|---------------------|--------------------|
| Runway centerline marking | Required | Required |
| Runway threshold marking | Required | Required |
| Runway displaced threshold marking | Required | Required |
| Runway threshold bar marking | Required | Required |
| Runway aiming point marking | Required | Required |
| Runway landing designator marking | Required | Required |
| Runway touchdown zone markings | Required | Required |
| Runway edge marking | | Recommended |
| Runway demarcation bar marking | | Recommended |
| All holding position markings | Required | Required |
| Intermediate holding position marking for taxiway intersections | Required | |
| Taxiway centerline markings | Recommended | Required |
| All taxiway centerline marking on taxi routes designated as surface movement guidance and control system (SMGCS) routes | Required | Required |
| Enhanced taxiway centerline markings | Required | Required |
| Taxiway edge marking | | Recommended |
| Geographic position marking | Required | Required |
| Surface painted signs for holding position signs, taxiway direction signs, taxiway location signs, gate destination signs and apron entrance points signs | Required | Required |
| Non-movement area boundary marking | Required | Required |
| All other markings not listed | Recommended | |

Tabella 3.1: Specifiche per l'impiego di bordature nere e microsfere di vetro.

In particolare i materiali impiegati per le applicazioni indicate devono essere conformi alle specifiche riportate all'interno dell'Item P-620 dell'Advisory Circular 150/5370-10F.

Tale paragrafo del documento in questione, oltre a fornire indicazioni sulle caratteristiche tecniche delle pitture da adottare per la realizzazione della segnaletica orizzontale, individua i quantitativi di materiale catadiottrico reputato opportuno in base al tipo ed al colore della pittura utilizzata, secondo quanto riportato in Tabella 3.2.

| Paint Type | Paint Sq ft per gallon, ft ² /gal. (Sq m per liter, m ² /l) | Glass Beads, Type I, Gradation A Pounds per gallon of paint-lb./gal. (Km per liter of paint- kg/l) | Glass Beads, Type III Pounds per gallon of paint-lb./gal. (Km per liter of paint- kg/l) | Glass Beads, Type IV Pounds per gallon of paint-lb./gal. (Km per liter of paint- kg/l) |
|--------------|---|---|--|---|
| Waterborne | 115 ft ² /gal. max (2.8 m ² /l) | 7 lb./gal. min (0.85 kg/l) | 10 lb./gal. min (1.2 kg/l) | -- |
| Waterborne | 90 ft ² /gal. max (2.2 m ² /l) | -- | -- | 8 lb./gal. min (1.0 kg/l) |
| Solvent Base | 115 ft ² /gal. max (2.8 m ² /l) | 7 lb./gal. min (0.85 kg/l) | 10 lb./gal. min (1.2 kg/l) | -- |
| Solvent Base | 90 ft ² /gal. max (2.2 m ² /l) | -- | -- | 8 lb./gal. min (1.0 kg/l) |
| Epoxy | 90 ft ² /gal. max (2.2 m ² /l) | 10 lb./gal. min (1.2 kg/l) | 15 lb./gal. min (1.8 kg/l) | 10 lb./gal. min (1.2 kg/l) |
| Methacrylate | 45 ft ² /gal. max (1.1 m ² /l) | 14 lb./gal. min (1.7 kg/l) | 20 lb./gal. min (2.4 kg/l) | 15 lb./gal. min (1.8 kg/l) |

Tabella 3.2: Quantitativo di pittura e di microsfere necessario per una corretta realizzazione della segnaletica orizzontale, sulla base della tipologia adottata.

Viene inoltre aggiunto che il quantitativo di microsfere di vetro sopra indicato debba essere ridotto di 0,24 kg/l per le Type I e per le Type IV nel caso di applicazione a pitture rossa, mentre le Type III non trovano utilizzo congiuntamente a vernici caratterizzate da tale colorazione [24].

Si sottolinea che la Federal Aviation Administration raccomanda l'utilizzo di microsfere Type III o Type IV, in accordo con le necessità e le disponibilità dell'operatore aeroportuale, avendo cura, con particolare riferimento alle Type IV, le quali presentano maggiori dimensioni, che lo spessore di pittura precedentemente applicato sia sufficiente ad ottenere un affondamento delle microsfere pari a circa il 50% del loro diametro.

Un'ulteriore raccomandazione fornita sconsiglia la miscelazione di tipologie di microsfere differenti in quanto, in questi casi, non sono fornite tabelle relative all'opportuno quantitativo di elementi catadiottrici da impiegare.

Infine viene fornito un elenco di test, sia di laboratorio sia da eseguire in situ, volti alla verifica delle corrette caratteristiche delle materie di base e del prodotto segnaletico finito.

3.3. Ente Nazionale per l'Aviazione Civile



L'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC), istituito il 25 luglio 1997 con sede legale a Roma, costituisce l'autorità italiana con compiti di regolamentazione tecnica, certificazione e vigilanza nel settore dell'aviazione civile.

Esso è sottoposto al controllo del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e si configura come un ente pubblico non economico dotato di autonomia regolamentare, organizzativa, amministrativa, patrimoniale, contabile e finanziaria.

La struttura dell'ENAC si articola su tre differenti livelli:

- 1 struttura centrale a competenza generale;
- 5 direzioni/uffici operazioni con sede nelle principali città;
- 21 strutture periferiche a competenza territoriale (Direzioni Aeroportuali).

In particolare l'organizzazione si occupa dei molteplici aspetti relativi alla regolazione dell'aviazione civile, al controllo e vigilanza sull'applicazione delle norme adottate e alla disciplina degli aspetti amministrativo-economici del sistema del trasporto aereo.

L'ENAC rappresenta lo Stato Italiano nelle maggiori organizzazioni internazionali dell'aviazione civile, come ad esempio l'ICAO, con le quali intrattiene continui rapporti di confronto e collaborazione e all'interno delle quali ricopre posizioni di leadership.

L'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile ha sviluppato le cosiddette Circolari, ovvero documenti che integrano il quadro regolamentare del settore dell'aviazione civile, al fine di migliorare la comprensione delle regole emanate. Il contenuto tipico delle Circolari è costituito da:

- materiale interpretativo che indirizzi ad una ottimale comprensione dei requisiti;
- criteri e modalità accettabili per dimostrare la rispondenza alle norme;
- aspetti procedurali di ausilio all'utenza per una efficiente gestione delle procedure di approvazione, certificazione, autorizzazione, ecc.

In particolare, ai fini dello studio qui condotto, risulta di interesse l'analisi della Serie Aeroporti (APT), la quale tratta materie tecniche degli aeroporti o comunque afferenti la sicurezza e l'operatività aeroportuale, incluse le organizzazioni che operano in tale settore [C].

Nello specifico le Circolari trattano anche le caratteristiche necessarie affinché la segnaletica orizzontale svolga la sua funzione di ausilio alla movimentazione degli aeromobili, con particolare attenzione alla progettazione ed alla realizzazione dei markings di piazzale (apron). Infatti l'esperienza acquisita nel corso dell'approvazione di numerosi progetti di segnaletica aeroportuale, nonché le ispezioni compiute presso gli aeroporti ad opera dei vari teams incaricati di procedere alle verifiche connesse con la certificazione delle infrastrutture, hanno condotto

l'ENAC a rilevare la necessità di adottare criteri chiari ed univoci per il tracciamento dei segnali appartenenti ai piazzali. Questo probabilmente risulta dovuto alla scarsità di informazioni previste all'interno sia del Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Aeroporti sia dell'Annesso 14 dell'ICAO relativamente alle specifiche caratteristiche della segnaletica di piazzale [5].

Per quanto riguarda la visibilità notturna, anche in condizioni di pioggia e di bagnato, sia l'APT24, relativo allo specifico ambito della segnaletica di piazzale, sia l'APT13A, generica per tutte le tipologie di markings, impongono il rispetto dei valori del parametro R_L indicati all'interno della normativa stradale vigente (UNI EN 1436), a cui il documento rimanda.

Vengono inoltre richiamate alcune prescrizioni relative alle microsfere di vetro, necessarie per l'ottenimento di un'adeguata retroriflettenza. Tali elementi devono essere trasparenti, privi di sostanze lattiginose e di bolle d'aria e, almeno per il 90% del peso totale devono presentare una forma sferica con esclusione di elementi ovali o saldati fra loro. L'indice di rifrazione non deve essere inferiore a 1,5 e devono presentare opportune distribuzioni granulometriche, contenute nell'intervallo 63 - 250 μm nel caso di microsfere premiscelate, comprese nell'intervallo 180 - 850 μm nel caso di microsfere postspruzzate. In ogni caso, comunque, gli elementi catadiottrici devono corrispondere, per caratteristiche, a quanto stabilito dalle Leggi e Regolamenti ufficiali vigenti in materia ed in particolare alla norma UNI EN 1424 [5].

Come si evince chiaramente dalla trattazione appena svolta, per quanto riguarda le indicazioni relative alla retroriflettenza ed alle microsfere di vetro impiegate, la normativa ENAC rimanda completamente alle prescrizioni fornite dalla norma UNI EN, redatta in ambito stradale. Non si tengono pertanto in nessun conto le evidenti differenze che intercorrono tra il contesto automobilistico e quello aeronautico, applicando indistintamente le medesime regolamentazioni ai due ambiti, senza specifiche considerazioni sul campo di validità delle prove in base alle quali sono stati definiti i valori minimi prescritti.

3.4. Ente Nazionale Italiano di Unificazione



L'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI) è un'associazione privata senza scopo di lucro, fondata nel 1921 e riconosciuta dallo Stato e dall'Unione Europea, che studia, elabora, approva e pubblica le norme tecniche volontarie (le cosiddette norme UNI) in tutti i settori industriali, commerciali e del terziario, tranne in quelli elettrico ed elettrotecnico.

L'UNI rappresenta l'Italia presso le organizzazioni di formazione europea (CEN) dal marzo 1961 e a livello mondiale (ISO) dal febbraio 1947.

Lo scopo dell'Ente è contribuire al miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia del Sistema Italia, fornendo gli strumenti di supporto all'innovazione tecnologica nel rispetto dei consumatori, dell'ambiente e dei requisiti di qualità dei prodotti.

L'attività di normazione viene svolta da una struttura multilivello composta da organi tecnici (commissioni, sottocommissioni, gruppi di lavoro) e da alcune organizzazioni esterne indipendenti (Enti Federati), sotto la supervisione e secondo le direttive della Commissione Centrale Tecnica.

Le norme redatte sono documenti che definiscono le caratteristiche di un prodotto, processo o servizio secondo lo stato dell'arte, specificando le corrette procedure per l'ottenimento di prestazioni certe e garantendo al contempo sicurezza e rispetto per l'ambiente [D].

Le prestazioni della segnaletica orizzontale vengono trattate con esclusivo riferimento all'ambito stradale, in ottemperanza alla norma europea EN 1436.

Nello specifico vengono definite le classi del coefficiente di luminanza retroriflessa R_L per segnaletica asciutta, in condizioni di bagnato ed in condizioni di pioggia, riportate rispettivamente in Tabella 3.3, 3.4 e 3.5.

| Tipo e colore del segnale orizzontale | | Classe | Coefficiente minimo di luminanza retroriflessa R_L in $\text{mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ |
|---|--------|----------------------------|---|
| Permanente | Bianco | R0 R2 R3 R4 R5 | Nessuna prestazione determinata $R_L \geq 100$ $R_L \geq 150$ $R_L \geq 200$ $R_L \geq 300$ |
| | Giallo | R0 R1 R3 R4 | Nessuna prestazione determinata $R_L \geq 80$ $R_L \geq 150$ $R_L \geq 200$ |
| Provvisorio | | R0 R3 R5 | Nessuna prestazione determinata $R_L \geq 150$ $R_L \geq 300$ |
| La classe R0 si applica quando la visibilità della segnaletica orizzontale è ottenuta senza retroriflessione in condizioni di illuminazione con i proiettori dei veicoli. | | | |

Tabella 3.3: Classi di R_L per segnaletica orizzontale asciutta.

| Condizioni di bagnato | Classe | Coefficiente minimo di luminanza retroriflessa R_L in $\text{mcd}\times\text{m}^{-2}\times\text{lx}^{-1}$ |
|---|--------|---|
| Come si presenta 1 min dopo l'inondazione della superficie con acqua in conformità al punto B.6 | RW0 | Nessuna prestazione determinata |
| | RW1 | $R_L \geq 25$ |
| | RW2 | $R_L \geq 35$ |
| | RW3 | $R_L \geq 50$ |
| | RW4 | $R_L \geq 75$ |
| | RW5 | $R_L \geq 100$ |
| | RW6 | $R_L \geq 150$ |
| La classe RW0 riguarda situazioni in cui questo tipo di retroriflessione non è richiesta per ragioni economiche o tecnologiche. | | |

Tabella 3.4: Classi di R_L per segnaletica orizzontale in condizioni di bagnato.

| Condizioni di pioggia | Classe | Coefficiente minimo di luminanza retroriflessa R_L in $\text{mcd}\times\text{m}^{-2}\times\text{lx}^{-1}$ |
|---|--------|---|
| Come si presenta dopo almeno 5 min di esposizione in conformità al punto B.7 durante una precipitazione uniforme di 20 mm/h | RR0 | Nessuna prestazione determinata |
| | RR1 | $R_L \geq 25$ |
| | RR2 | $R_L \geq 35$ |
| | RR3 | $R_L \geq 50$ |
| | RR4 | $R_L \geq 75$ |
| | RW5 | $R_L \geq 100$ |
| | RW6 | $R_L \geq 150$ |
| La classe RR0 riguarda situazioni in cui questo tipo di retroriflessione non è richiesta per ragioni economiche o tecnologiche. | | |

Tabella 3.5: Classi di R_L per segnaletica orizzontale in condizioni di pioggia.

Il coefficiente di luminanza retroriflessa R_L viene impiegato per misurare la retroriflessione in condizioni di illuminazione fornita dai soli proiettori dei veicoli, in quanto rappresenta la luminosità della segnaletica orizzontale così come è percepita dai conducenti degli autoveicoli in condizioni notturne [19].

Le corrette modalità per l'esecuzione della misurazione di tale parametro vengono fornite all'interno dell'appendice B della norma UNI EN 1436, come già specificato nel paragrafo 2.3.5.2.

I requisiti richiesti alle microsfere di vetro, ai granuli anti derapanti ed alle loro miscele, considerati come materiali da postspruzzare sui prodotti da segnaletica orizzontale, vengono specificati all'interno della normativa UNI EN 1423.

In particolare vengono fornite le prescrizioni per la determinazione di:

- **Granulometria:**
la granulometria delle microsfere di vetro da premiscelare deve essere descritta indicando le percentuali minime e massime della massa del totale cumulativo di elementi trattenuti sui setacci di prova secondo le norme ISO.
- **Indice di rifrazione:**

l'indice di rifrazione, quando determinato conformemente all'appendice A della EN 1423, deve rispettare le seguenti classi:

- classe A: $\geq 1,5$;
- classe B: $\geq 1,7$;
- classe C: $\geq 1,9$.

- Requisiti qualitativi:

facendo riferimento alla prova descritta nell'Appendice D (metodi alternativi vengono proposti nell'Appendice H) e alle imperfezioni riportate nell'Appendice C della EN 1423, la percentuale massima di microsfere di vetro difettose deve essere pari al 20%, incluso un massimo pari al 3% di granuli e particelle estranee, secondo quanto riportato in Tabella 3.6. Qualora una granulometria comprenda microsfere aventi diametri sia minori sia maggiori o uguali di 1 mm, queste devono essere divise mediante setaccio e controllate separatamente.

| Diametro delle microsfere di vetro da premiscelare [mm] | Percentuale massima ponderata di microsfere di vetro da premiscelare difettose [%] | Percentuale massima ponderata di granuli e particelle estranee [%] |
|---|--|--|
| < 1 | 20 | 3 |
| ≥ 1 | 20 | 3 |

Tabella 3.6: Indicazioni relative al massimo contenuto di microsfere da postspruzzare difettose.

- Sostanze pericolose:

storicamente i produttori di vetro utilizzavano sostanze pericolose (arsenico, antimonio e piombo) come agente colorante ed affinante, ma il miglioramento della tecnologia ha permesso l'eliminazione di questi additivi tossici durante il processo di produzione.

È importante dunque controllare il contenuto di queste sostanze tramite apposite prove, durante le quali ogni elemento tossico deve essere classificato separatamente in una delle due classi seguenti, in base all'Appendice I:

- classe 0: non è richiesto alcun valore;
- classe 1: ≤ 200 ppm (mg/kg).

- Resistenza agli agenti chimici:

la resistenza agli agenti chimici è utilizzata per verificare che le microsfere di vetro non vengano pregiudicate dall'esposizione all'ambiente stradale. In particolare le microsfere di vetro non devono sviluppare una velature od opacità superficiale quando risultano a contatto con acqua, acido cloridrico, cloruro di calcio e solfuro di sodio. I metodi di prova per la determinazione della resistenza delle microsfere agli effetti di tali sostanze sono descritti all'interno dell'Appendice B della normativa considerata.

- Trattamenti superficiali:

quando il fabbricante dichiara la presenza di un rivestimento delle microsfere di vetro, queste devono essere sottoposte a prova in conformità alle seguenti appendici della norma:

- Appendice E: rivestimento per la resistenza all'umidità;
- Appendice F: rivestimento per il galleggiamento.

quando il fabbricante dichiara la presenza di un rivestimento differente da quelli trattati all'interno delle Appendici, le microsfere di vetro devono essere sottoposte a prova in conformità ad un metodo dichiarato dal fabbricante stesso.

La norma inoltre tratta le caratteristiche che i granuli antiderapanti devono possedere, differenziate in base al fatto che tali elementi siano o meno trasparenti. I requisiti vengono espressi in termini di valore di ph, granulometria, sostanze pericolose e resistenza alla frammentazione, per quanto riguarda i granuli trasparenti, mentre in termini di valore di ph, caratteristiche di visibilità (coordinate cromatiche e fattore di luminanza), granulometria e resistenza alla frammentazione per i granuli non trasparenti.

Le proprietà invece di una miscela di microsfere e granuli antiderapanti devono essere determinate separatamente per i due elementi secondo quanto sopra riportato.

Infine vengono riportate le indicazioni che il fabbricante di microsfere o di granuli deve seguire per effettuare un adeguato controllo di produzione in fabbrica (FPC), esplicitando anche la frequenza minima delle prove da eseguire [43].

Per quanto riguarda invece le specifiche relative ai requisiti per le prove di laboratorio e le procedure di qualificazione delle microsfere di vetro da premiscelare nel materiale impiegato per la segnaletica orizzontale, vengono trattate nell'apposita norma, ovvero all'interno della UNI EN 1424.

In particolare vengono fornite le prescrizioni per la determinazione di:

- Granulometria:

la granulometria delle microsfere di vetro da premiscelare deve essere descritta indicando le percentuali minime e massime della massa del totale cumulativo di elementi trattenuti sui setacci di prova secondo le norme ISO.

- **Indice di rifrazione:**

l'indice di rifrazione, quando determinato conformemente all'appendice A della EN 1423, deve rispettare le seguenti classi:

- classe A: $\geq 1,5$;
- classe B: $\geq 1,7$;
- classe C: $\geq 1,9$.

- **Resistenza chimica:**

Quando sottoposte a prova, conformemente all'appendice B della EN 1423, le microsfere di vetro da premiscelare non devono essere soggette né a velatura, né ad opacizzazione superficiali quando messe a contatto con una qualsiasi delle seguenti sostanze: acqua, acido cloridrico, cloruro di calcio e solfuro di sodio.

- **Requisiti qualitativi:**

facendo riferimento alla prova descritta nell'Appendice B ed alle imperfezioni riportate nell'Appendice C della EN 1423, la percentuale massima di microsfere di vetro difettose deve essere pari al 20% del totale di elementi con un diametro minore di 1 mm e al 30% del totale di quelli aventi un diametro maggiore o uguale di 1 mm. Qualora una granulometria comprenda microsfere aventi diametri sia minori sia maggiori o uguali di 1 mm, queste devono essere divise mediante setaccio e controllate separatamente. In entrambi i casi può essere incluso al massimo il 3% di granuli e particelle estranee, come riportato in Tabella 3.7.

| Diametro delle microsfere di vetro da premiscelare [mm] | Percentuale massima ponderata di microsfere di vetro da premiscelare difettose [%] | Percentuale massima ponderata di granuli e particelle estranee [%] |
|---|--|--|
| < 1 | 20 | 3 |
| ≥ 1 | 30 | 3 |

Tabella 3.7: Indicazioni relative al massimo contenuto di microsfere da premiscelare difettose.

- **Trattamenti superficiali:**

è consentita l'applicazione di speciali trattamenti alla superficie delle microsfere di vetro da premiscelare, al fine di migliorarne le proprietà.

Si specifica che le precedenti indicazioni non si applicano alle microsfere di vetro utilizzate come cariche nei prodotti per la segnaletica orizzontale [25].

3.5. Articoli scientifici

Come si evince dai paragrafi precedenti, le indicazioni fornite dalla normativa specificatamente per l'ambito aeroportuale sono piuttosto scarse. In particolare non vengono mai sollevati ed analizzati i problemi relativi alla ridotta compatibilità che i metodi di valutazione del coefficiente di luminanza retroriflessa R_L adottati in ambito stradale presentano nei confronti del campo aeroportuale. Le differenze presenti tra i due contesti sono infatti molteplici e tutt'altro che trascurabili, come già specificato nel paragrafo 2.3.5.2.

Come sottolineato anche dalla nota presente all'interno dell'Aerodrome Design Manual Part 4, già richiamata, un fondamentale fattore da tenere in considerazione è costituito dalla distanza che intercorre tra la sorgente luminosa e l'occhio dell'utente. Nello specifico, tanto minore sarà il valore di questo parametro, tanto migliore risulterà essere l'effetto fornito dal fenomeno della retroriflessione.

Tale condizione viene verificata nel caso si analizzi il grado di visibilità notturna percepito all'interno di un veicolo stradale, in quanto la distanza tra la fonte di luce ed il recettore risulta molto ridotta, standardizzata dalla norma con un valore pari a 0,55 m.

Lo stesso non si può affermare per quanto concerne la retroriflettenza recepita all'interno di un velivolo a causa della maggiore distanza posta tra il fanale dell'aeromobile e l'occhio del pilota. Inoltre tale distanza la quale inoltre è di più complessa e non univoca definizione dal momento che esiste un'estrema variabilità nelle dimensioni delle differenti tipologie di aeroplani presenti nel mondo dell'aviazione, di cui si riporta un esempio in Figura 3.1.



Figura 3.1: Esempio della grande variabilità delle dimensioni degli aeromobili.

Questa constatazione risulta problematica considerando le modalità previste dalla normativa per la determinazione del parametro di luminanza retroriflessa, le quali prevedono l'adozione di retroriflettometri tarati in modo tale da simulare una geometria ben definita e caratteristica dell'ambito stradale.

L'esigenza quindi di una maggior specificità delle prescrizioni inerenti alla segnaletica orizzontale aeroportuale ed i materiali di base per la sua realizzazione, con particolare attenzione alle microsfere ed alle loro caratteristiche che le configurano come il principale strumento per garantire la visibilità notturna, ha portato alla formulazione di alcuni studi condotti appositamente in ambito aeroportuale.

Tali lavori di ricerca si basano comunque sui risultati ottenuti da precedenti analisi effettuate da parte di enti stradali e focalizzate sulla determinazione dei parametri e delle caratteristiche delle microsfere di vetro che influenzano i valori di retroriflettenza, determinati in base alla procedura standardizzata secondo normativa.

3.5.1. Ambito aeroportuale

Il settore aeroportuale è spesso chiamato ad affrontare numerose sfide relative alla qualità e all'efficienza della segnaletica orizzontale quale parte integrante del sistema visivo posto come ausilio ai piloti dei velivoli.

Alla luce di questa constatazione la FAA ha condotto, nel marzo 2003, un'ampia ricerca focalizzata sullo sviluppo di criteri oggettivi per la determinazione di una corretta modalità realizzativa dei markings. Tale lavoro ha portato alla stesura di raccomandazioni pratiche relative al colore, alla

retroreflettenza e ad altri parametri essenziali alla caratterizzazione di una segnaletica altamente performante.

In particolare lo studio è stato svolto al fine di sviluppare metodi accurati e rapidi per la valutazione oggettiva dello stato della segnaletica orizzontale aeroportuale, stabilendo inoltre dei limiti di retroreflettenza, sia per pittura bianca sia per pittura gialla, al di sotto dei quali si possono considerare nulli i benefici dati dall'aggiunta di microsfere, rendendo quindi necessaria una nuova applicazione del sistema segnaletico. Tali valori sono stati individuati pari a 70 mcd/lux/m² per quanto riguarda la pittura gialla, e pari a 100 mcd/lux/m² per la pittura bianca [26].

Inoltre nel 2006 la FAA, tramite la Innovative Pavement Research Foundation (IPRF), ha commissionato una ricerca al fine di produrre il già citato Arfield Marking Handbook, all'interno del quale vengono prescritte le migliori soluzioni per la corretta realizzazione dei segnali orizzontali, in grado di garantire non solo un incremento dei valori di retroreflettenza, ma anche una maggior durabilità dell'installazione.

Nel 2009 la Federal Aviation Administration ha ulteriormente analizzato le problematiche sollevate nel corso dei precedenti studi, dando il via ad una ricerca volta a determinare se gli aiuti visivi forniti a piloti dalla segnaletica orizzontale, realizzata con microsfere sia a basso sia ad alto indice di rifrazione, fossero adeguati all'esecuzione in sicurezza delle operazioni di movimentazione aeroportuale. In particolare lo studio ha confrontato la retroreflettenza fornita dai due diversi sistemi segnaletici sia tramite misurazioni scientifiche, eseguite mediante l'impiego di retroreflettometri, sia considerando il fattore umano grazie a sondaggi a cui sono stati sottoposti i piloti.

Tale studio ha fornito un interessante risultato basato sulle risposte dei piloti, i quali hanno affermato di non utilizzare i markings di pista durante gli atterraggi notturni, preferendo invece gli aiuti visivi luminosi. Hanno inoltre garantito che ad una distanza dalla soglia della pista compresa tra 1,5 km e 10 km, non si notano differenze alcune tra microsfere Type I e Type III. Ciò può essere chiaramente compreso considerando che l'occhio umano non è tanto sensibile alle variazioni di intensità luminosa quanto lo sono le strumentazioni di misura.

Dai dati raccolti appena dopo l'installazione mediante retroreflettometro, si è potuto evincere che il parametro R_L relativo alle microsfere Type III risultava perfettamente compreso nel range di accettabilità (600-1300 mcd/lux/m²). Al contrario, le microsfere Type I verificavano di poco tale condizione (300-450 mcd/lux/m²). Considerando però i valori di retroreflettenza a distanza di otto

mesi, si è registrata una riduzione di tale parametro molto elevata per le Type III, mentre decisamente irrilevante per le Type I, come mostrato in Tabella 3.8 [27].

| | Iniziale [mcd/lux/m ²] | Dopo 8 mesi [mcd/lux/m ²] |
|----------|---------------------------------------|--|
| Type III | 820 | 351 |
| Type I | 352 | 313 |

Tabella 3.8: Valori di retroriflettenza valutati inizialmente e dopo 8 mesi.

Ulteriori ricerche svolte nel contesto aeroportuale si sono poste come obiettivo la determinazione dell'effettiva convenienza nell'utilizzo di microsfere ad un più alto indice di rifrazione, benché esse presentino costi iniziali decisamente superiori.

In particolare il confronto si concentra ancora una volta tra l'impiego delle microsfere Type I e di quelle Type III, in cui le prime presentano costi d'acquisto inferiori grazie alla caratteristica di derivare da materiale riciclato.

Nello specifico lo studio svolto dalla Sightline considera non solo i costi iniziali, ma effettua un'analisi più dettagliata grazie ad un approccio basato sulla LCA (Life Cycle Analysis), ottenendo come importante risultato la constatazione che le Type III forniscono un maggiore livello di retroriflettenza non solo inizialmente ma anche nel corso dell'intera vita utile, presentando quindi minori costi di manutenzione.

Ciò risulta interessante, in quanto dimostra che il tipo di microsfere di vetro gioca un ruolo fondamentale nella determinazione della durata dell'efficienza della segnaletica orizzontale, espressa come capacità di rendere agevoli e sicure le operazioni svolte in condizioni notturne, o comunque di scarsa visibilità.

In particolare sono stati misurati e confrontati valori di retroriflettenza derivanti da segnaletica orizzontale aeroportuale realizzata con microsfere di vetro Type I e Type III e con pittura sia bianca sia gialla. I dati, raccolti da 13 differenti aeroporti negli Stati Uniti, hanno dimostrato che il parametro R_L , ottenuto da misurazioni effettuate su materiale segnaletico corredato dalle microsfere a più alto indice di rifrazione, è sempre risultato superiore rispetto a quello ottenuto con microsfere Type I, considerando sia la variabile tempo sia la variabile colorazione della pittura.

Lo studio inoltre ha svolto un lavoro di analisi dei costi che ha verificato la convenienza a lungo termine dell'applicazione delle microsfere Type III, non solo in quanto forniscono vantaggi dal punto di vista della retroriflettenza garantita, e quindi in termini di sicurezza, ma anche grazie al minor costo complessivo che esse comportano, come rappresentato nel Grafico 3.1.

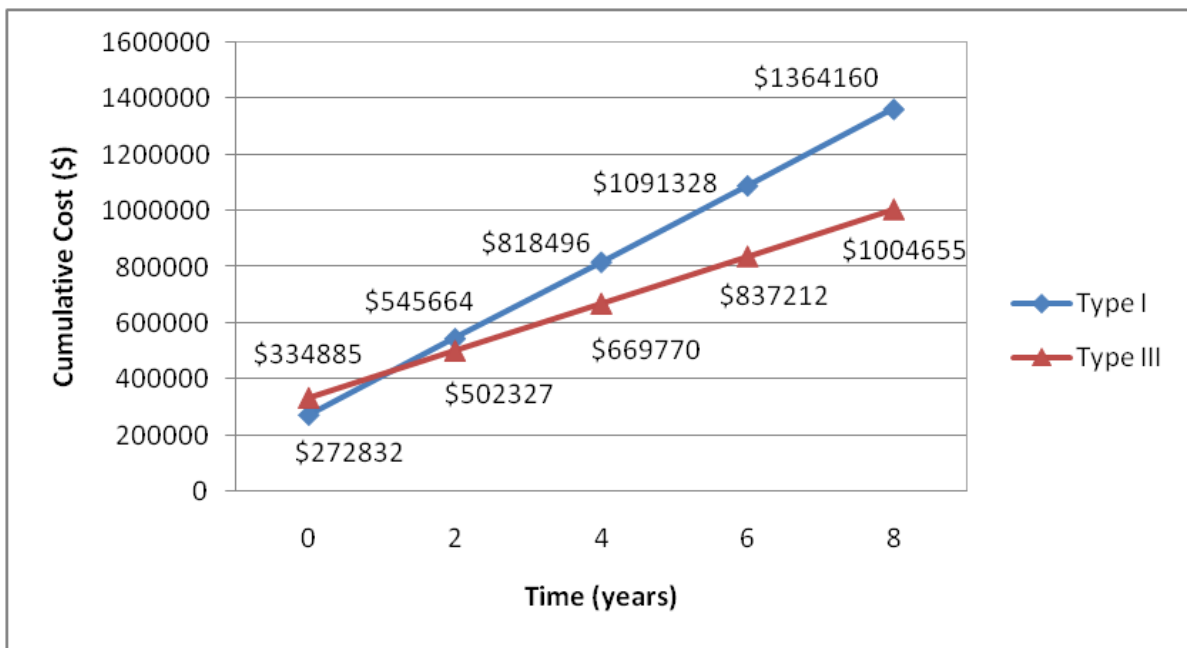


Grafico 3.1: Costo cumulato nell'arco di 8 anni relativo alla vita utile di microsfere Type I e Type III.

In conclusione lo studio ha dimostrato tre fondamentali vantaggi nell'impiego delle microsfere di vetro Type III:

- quando applicate correttamente, presentano un maggior grado di retroriflettenza sia inizialmente sia nel tempo;
- il loro iniziale maggiore costo può essere giustificato grazie alla maggior durata delle loro caratteristiche e performances rispetto alle Type I. Inoltre a lungo termine le Type III, richiedendo minori interventi di manutenzione, risultano più economiche;
- grazie alla loro maggior durabilità e visibilità, garantiscono maggiore sicurezza durante le manovre aeroportuali [28].

È interessante notare come studi condotti da due enti diversi, benché basati sull'utilizzo degli stessi materiali e delle medesime procedure di misurazione dei parametri considerati, abbiano portato a differenti risultati e constatazioni. Ciò evidenzia lo stato di ritardo delle modalità e

procedure di analisi in campo aeroportuale rispetto all'ambito stradale, mettendo pertanto in evidenza la necessità di incrementare le ricerche e gli approfondimenti in tale campo.

I confronti tra le caratteristiche prestazionali della microsferi non si sono limitati alle sole Type I e Type III, bensì l'argomento è stato approfondito introducendo l'analisi anche delle Type IV e di due tipologie di microsferi retroriflettenti proposte da due differenti produttori (nel seguito denominate A e B), tutte applicate su pittura ad acqua. I materiali sono stati stesi su pavimentazione sia in calcestruzzo sia in conglomerato bituminoso, seguendo le prescrizioni della TT-P-1952E per la pittura e della TT-B-1325D per le microsferi.

Le misurazioni di retroriflettenza, su cui lo studio si è concentrato, sono state precedute da test di qualità e corredate da valutazioni sulle caratteristiche frizionali del sistema segnaletico.

I valori di retroriflettenza iniziali sono stati valutati, per ciascun tipo di markings, immediatamente dopo la stesa, risultando tutti superiori al minimo raccomandato e nello specifico le Type III hanno fornito il maggior valore per entrambe le tipologie di pavimentazione. In particolare, su entrambi i tipi di pavimentazione risulta netta la differenza iniziale dei valori di R_L relativi alle microsferi Type I e Type III, mentre, per quanto riguarda il valore finale di retroriflettenza, nel caso di pavimentazione in conglomerato bituminoso si ha una forte riduzione nella differenza tra le due tipologie di microsferi. Si riportano i valori in Tabella 3.9.

| Beads Type | Concrete Pavement | | Asphalt Pavement | |
|------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | Initial (August 2008) | Final (July 2009) | Initial (August 2008) | Final (July 2009) |
| Type I | 163 | 170 | 122 | 144 |
| Type III | 538 | 347 | 419 | 145 |
| Type IV | 280 | 298 | 179 | 128 |

Tabella 3.9: Valori di R_L iniziali e finali su pavimentazione in calcestruzzo ed in conglomerato bituminoso.

Gli studi condotti sollevano quindi un importante quesito relativo all'effettiva convenienza di sostenere costi iniziali maggiori al fine di applicare microsferi Type III su una pavimentazione in conglomerato bituminoso, a fronte di una rapida riduzione dei valori di retroriflettenza garantiti, i quali si assestano in prossimità delle misure di R_L ottenute da microsferi Type I. Sarà dunque opportuno svolgere accurate considerazioni sulla necessità o meno di utilizzare microsferi Type III, le quali, come sembrerebbe emergere da questo studio, presentano come principale vantaggio quello di fornire una maggiore visibilità notturna unicamente durante i primi mesi di vita. Per

quanto riguarda invece la loro applicazione su pavimentazioni in calcestruzzo, lo studio presentato ne indica la convenienza non solo a breve termine ma anche sul lungo periodo.

Una peculiarità dello studio consiste inoltre nell'esecuzione di un "recovery test" in cui viene valutato il tempo necessario affinché un segnale bagnato, in seguito ad un periodo standard di pioggia, recuperi il suo grado di retroriflettenza iniziale, ovvero valutata in condizioni asciutte.

I risultati di tale studio vengono riportati nei Grafici 3.2 e 3.3.

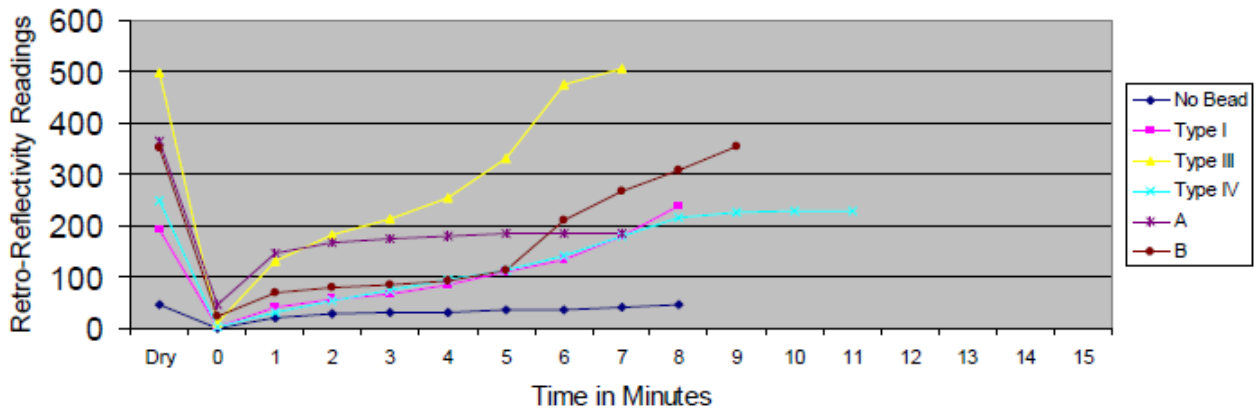


Grafico 3.2: Tempo di recupero della retroriflettenza per pavimentazioni in conglomerato bituminoso.

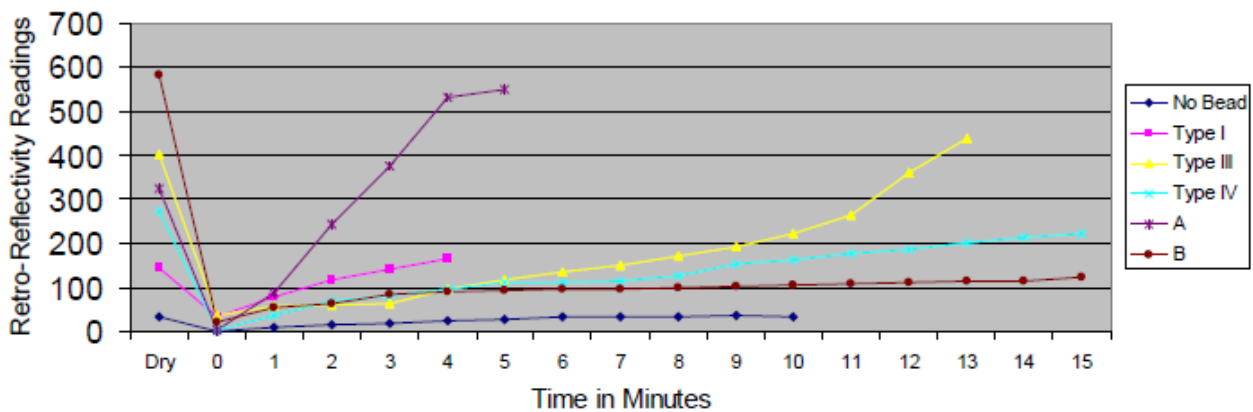


Grafico 3.3: Tempo di recupero della retroriflettenza per pavimentazioni in calcestruzzo.

Le prove hanno evidenziato che sul conglomerato bituminoso le microsfere Type III risultano essere quelle in grado di ripristinare l'iniziale valore di retroriflettenza nel minor tempo, seguite subito dopo dalle Type I.

Sul calcestruzzo invece, considerando unicamente le microsfere previste dalla normativa FAA, risultano più rapide nel ripristino le microsfere Type I rispetto alle Type III [45].

Riprendendo lo studio effettuato nel 2010 dalla FAA, è stata inoltre analizzata la visibilità in condizioni notturne di segnali orizzontali realizzati tramite la posa di microsfere a basso ed alto

indice di rifrazione (Type I e Type III), così come viene percepita dalla cabina di un aeromobile. A tal fine è stato eseguito un sondaggio tra i piloti dell'Aeroporto Internazionale Washington di Baltimora, ai quali è stato chiesto se riuscissero ad individuare differenze tra i diversi markings, sia durante il rullaggio, sia durante le operazioni di decollo e di atterraggio. L'indagine, differentemente da quanto riscontrato dai sondaggi della Federal Aviation Administration, ha rivelato che la maggior parte dei piloti notava una significativa maggiore visibilità della segnaletica orizzontale realizzata con le microsfere Type III, soprattutto durante la fase di atterraggio.

Lo studio è stato inoltre corredato da controlli di qualità effettuati sull'applicazione di pitture e microsfere, al fine di poter registrare valori di retroriflettenza relativi ad una segnaletica correttamente realizzata.

Il lavoro è stato svolto selezionando differenti zone dell'aerodromo, includendo in particolare le center line di taxiway e di runway, le quali sono state realizzate per metà con microsfere Type I e per metà con microsfere Type III, sempre post-spruzzate su pitture ad acqua.



Figura 3.2: Center line di taxiway realizzata con microsfere Type I e Type III.

I primi dati raccolti dallo studio condotto, ovvero le misure di retroriflettenza ottenute mediante l'utilizzo di retroriflettometri standard, settati nel rispetto della geometria caratterizzante l'ambito stradale, hanno dimostrato che le microsfere di vetro Type III presentano valori di R_L fino a 2-3 volte superiori rispetto a quelli relativi alla segnaletica orizzontale realizzata con microsfere Type I. Inoltre, la differenza visiva tra gli elementi catadiottrici ad alto e basso indice, evidenziata anche da un numeroso repertorio di fotografie analoghe a quella riportata in Figura 3.2, ha dimostrato che maggiore è la retroriflettenza dei markings, maggiore è la distanza a cui essi possono essere individuati.

Infine, per quanto riguarda l'analisi dei questionari, si è giunti alla constatazione che per il 58% dei piloti che si sono sottoposti all'indagine erano riscontrabili evidenti differenze di retroriflettenza a vantaggio della segnaletica realizzata con le microsfere Type III.

È importante sottolineare che le risposte fornite dai piloti durante la compilazione dei test non erano in alcun modo influenzate dalla conoscenza a priori di quali segnali fossero stati realizzati con microsfere ad alto indice di rifrazione, in quanto i piloti non avevano ricevuto alcuna informazione a riguardo [29].

3.5.2. Ambito stradale

Come più volte accennato, le ricerche relative al fenomeno di retroriflettenza ed ai parametri che lo governano risultano molto più avanzate all'interno degli studi svolti in ambito stradale ed in particolar modo nel campo delle autostrade. Tale situazione appare evidenziata dal fatto che le normative aeroportuali richiamano e rimandano spesso alle normative di ambito prettamente stradale.

Queste osservazioni giustificano ampiamente l'analisi degli articoli di letteratura riportata in seguito, in quanto preziose informazioni ricavate da ricerche effettuate per lo specifico problema di visibilità notturna su strada possono rappresentare il punto di partenza sul quale basare futuri studi calati nella peculiarità del contesto aeronautico.

Importanti progetti, commissionati dal National Cooperative Highway Research Program, hanno avuto come obiettivo lo sviluppo di test di laboratorio in grado di prevedere a priori l'iniziale valore di retroriflettenza del sistema segnaletico steso sul campo, a partire dalla qualità delle microsfere di vetro. In particolare si è ricercata una relazione che legasse la retroriflettenza di provini in scala realizzati in laboratorio, all'iniziale valore del parametro R_L della segnaletica orizzontale nel sito di applicazione.

Tramite analisi statistiche sono stati confrontati i risultati ottenuti dalle prove in laboratorio ed in situ considerando segnaletiche realizzate sia su conglomerato bituminoso sia su calcestruzzo e riscontrando che, in entrambi i casi, il parametro R_L valutato sul campo risulta sempre minore di quello valutato in laboratorio. In particolare i valori di retroriflettenza della segnaletica stesa su calcestruzzo presentano una minore differenza tra i risultati ottenuti sul campo ed in laboratorio (il parametro R_L in campo è il 17% più basso di quello in laboratorio), mentre maggiore discrepanza si

registra per le pavimentazioni in conglomerato bituminoso (si ottiene una differenza pari al 26%) [9].

Da questa ricerca e da altri studi analoghi svolti nel campo della segnaletica orizzontale è emerso che esistono svariati fattori in grado di influenzare la retroriflettenza del sistema segnaletico:

- caratteristiche delle microsfere di vetro (tipo, densità, sfericità, dimensioni);
- tipologia di pavimentazione (materiale e rugosità);
- colorazione della pittura;
- età della segnaletica;
- larghezza della segnaletica;
- condizioni di bagnato.

Caratteristiche delle microsfere

Specifici requisiti per le microsfere, per quanto riguarda il loro grado di sfericità e la loro granulometria, sono indicati dall'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation), mentre le modalità di misurazione di tali parametri sono riportate dall'ASTM (American Society for Testing and Materials).

Tradizionalmente granulometria e grado di sfericità vengono misurati tramite setacci, appositi vibratorii in grado di separare il materiale sferico da quello difettoso e mediante l'impiego di microscopi. Negli anni sono stati inoltre sviluppati dei dispositivi volti alla misurazione di tali proprietà tramite elaborazioni ottiche computerizzate, i quali presentano il vantaggio di determinare le caratteristiche delle microsfere di vetro con una maggiore rapidità rispetto ai tradizionali metodi manuali. Inizialmente, il problema fondamentale consisteva nella mancanza di una procedura standardizzata relativa ai nuovi dispositivi automatici, circostanza che comportava quindi notevoli difficoltà e confusione nel confrontare i risultati ottenuti dai due differenti approcci. Per questo sono stati elaborati degli studi volti ad evidenziare una correlazione tra i valori dei parametri ottenuti tramite i metodi meccanici e quelli automatizzati.

In particolare è stato riscontrato che per le microsfere con diametro minore (previste dalla granulometria tipica delle Type I) l'approccio meccanico e quello computerizzato forniscono risultati differenti tra loro poiché le microsfere di dimensioni ridotte tendono ad aggregarsi a causa dell'attrazione elettrostatica. I setacci riescono a rompere tale legame grazie alle forze meccaniche di vibrazione, mentre i metodi ottici computerizzati non percepiscono differenza tra un singolo elemento ed un raggruppamento di essi. In ogni caso, considerando che le microsfere di

dimensioni così piccole da risentire fortemente delle forze elettrostatiche vengono impiegate in quantitativi ridotti durante la realizzazione dei segnali orizzontali, è possibile in genere utilizzare i metodi ottici in quanto è stato dimostrato che le differenze tra i due approcci risultano trascurabili [31].

Tra i parametri con un forte impatto sulla retroriflettenza della segnaletica orizzontale si trova, come già indicato in precedenza, la densità delle microsfere di vetro. Tale fattore viene definito come la percentuale di superficie delle microsfere esposta, e quindi fuoriuscente dallo spessore del prodotto segnaletico, rispetto alla superficie di quest'ultimo.

In tale ambito sono stati condotti alcuni studi pionieristici i quali, analizzando immagini digitali della superficie del sistema segnaletico, hanno evidenziato un'importante correlazione tra densità delle microsfere e retroriflettenza del sistema segnaletico [52]. La principale mancanza riscontrata tra le modalità procedurali di questa ricerca consiste nell'aver collezionato dati esclusivamente relativi a nuove applicazioni di segnaletica, trascurando quindi il deterioramento e la conseguente diminuzione della densità delle microsfere e della retro riflettenza causati dal tempo. Inoltre le analisi sono state svolte solo in laboratorio e non su un reale impianto segnaletico realizzato in sito. Pertanto è nata l'esigenza di uno studio più approfondito volto a determinare non solo la relazione che intercorre tra densità e retroriflettenza, ma anche ad individuare un opportuno metodo di valutazione della densità.

A tal fine è stato organizzato un nuovo progetto durante il quale sono state analizzate immagini digitali relative alla superficie della segnaletica, scattate nei punti di successiva misura del parametro R_L , valutandone quindi la densità di microsfere sia mediante metodi manuali (conteggio delle microsfere su un'area definita), sia tramite metodi computerizzati (analisi automatica dell'immagine). Risultando, secondo tale studio, inadeguate entrambe le tipologie di analisi, è stato sviluppato un metodo "semiautomatico" ottenuto da una combinazione di quello manuale e quello automatico.

Infine, si riporta il risultato principale di tale ricerca, il quale evidenzia una correlazione tra i valori di densità e di retroriflettenza registrati [53]:

$$R_L = a + b * D$$

Dove:

D rappresenta la densità delle microsfere di vetro;

a, b sono parametri di calibrazione del modello.

Si può facilmente notare come un incremento di densità delle microsfere esposte sulla superficie del materiale segnaletico conduca ad un aumento della quantità di luce retro riflessa da parte di quest'ultimo.

Tipologia di pavimentazione

Il fenomeno della retroriflettenza non affonda le sue radici nelle sole proprietà delle microsfere, ma risulta influenzato significativamente anche dal tipo di pavimentazione che accoglie il tracciamento della segnaletica stradale. Numerosi studi sono stati condotti relativamente a tale argomento concludendo che le superfici realizzate in conglomerato bituminoso tendono ad incrementare la visibilità notturna della segnaletica orizzontale, mentre le pavimentazioni in calcestruzzo ne comportano una riduzione [33]. Ciò può essere imputato al cosiddetto contrasto, ovvero la capacità di un oggetto di risaltare rispetto allo sfondo su cui è posto, fornito da una pavimentazione di colorazione più scura come quella realizzata mediante conglomerato bituminoso.

Inoltre è stato riscontrato che i materiali segnaletici non aderiscono alle pavimentazioni in calcestruzzo tanto quanto alle pavimentazioni in conglomerato bituminoso, presentando spesso sfaldamenti prematuri dello strato di pittura applicato. Ciò ha condotto alcuni studiosi ad effettuare specifiche ricerche al fine di determinare le performances dei differenti materiali applicati sulle pavimentazioni in calcestruzzo, classificandoli come "buoni", "mediocri" o "scadenti" sulla base di una combinazione delle caratteristiche di retroriflettenza e durabilità da essi presentate. A partire dalla valutazione dei risultati ottenuti, è stato possibile individuare raccomandazioni e suggerimenti relativamente ai materiali più adatti a tali superfici, in base alla durabilità che si intende ottenere e considerando i volumi di traffico a cui l'applicazione sarà soggetta e le condizioni ambientali in cui risulta inserita [41]. Tra tali indicazioni si riporta la principale, sostenuta anche da molteplici produttori di materiale segnaletico, secondo la quale risulta necessaria l'applicazione di una mano di primer nel caso in cui la realizzazione del segnale orizzontale venga prevista direttamente su una superficie in calcestruzzo.

Infine tramite l'effettuazione di un ulteriore lavoro di ricerca sono state investigate le differenze riscontrabili tra i markings realizzati non solo su pavimentazioni in conglomerato bituminoso ed in calcestruzzo, ma anche su differenti tipologie di conglomerato bituminoso, caratterizzate in particolare da un diverso indice di rugosità (IRI). Nello specifico è stato osservato che le

applicazioni effettuate su una superficie liscia presentano valori di R_L superiori rispetto a quelli valutati su superfici caratterizzate da una maggiore scabrezza [34].

Complessivamente si può quindi dedurre che una superficie in conglomerato bituminoso rappresenta una migliore base per la stesa della segnaletica orizzontale grazie al maggior contrasto che è in grado di fornire e grazie alla migliore adesione con i prodotti segnaletici che presenta, senza la necessità di applicare uno strato di primer che rende più onerosa la lavorazione sia in termini di costi sia in termini di tempo.

Inoltre dallo studio riportato parrebbe emergere che una buona pavimentazione debba presentare un basso IRI, quando invece questa condizione deve trovare una necessaria limitazione atta a garantire il rispetto dei valori minimi di aderenza richiesti per una movimentazione sicura. È quindi opportuno individuare un adeguato compromesso che permetta di ottenere le migliori condizioni sia in termini di retro riflettenza, sia in termini di aderenza.

Colorazione della pittura

Oltre ai materiali utilizzati per la realizzazione della pavimentazione, riveste una certa importanza anche la colorazione della pittura impiegata per la stesa della segnaletica orizzontale. Alcuni studi hanno infatti mostrato che markings bianchi e gialli presentano differenti livelli di retroriflettenza. Nello specifico i primi forniscono maggiori valori del parametro R_L rispetto ai secondi [39].

Nel lavoro di tesi qui proposto si andrà a verificare tale affermazione, in quanto in ambito aeroportuale risultano parimenti presenti sia markings di colorazione bianca sia di colorazione gialla, rendendo quindi il confronto tra le due tipologie una problematica di non secondaria importanza.

Età della segnaletica

Un ulteriore fattore riconosciuto come uno dei più importanti elementi che condizionano il grado di retroriflettenza della segnaletica orizzontale è costituito dalla sua età. Dei numerosi studi che hanno affrontato questo argomento, vengono riportati i cinque principali che hanno valutato la retroriflettenza dei markings nel tempo, fornendo modelli predittivi in grado di stimare la vita di servizio ed il tasso di degrado dei sistemi segnaletici:

- Andrady

Lo studio condotto nel 1997 è stato uno dei primi ad analizzare il problema secondo una differente prospettiva: non solo la valutazione della retroriflettenza in base all'età della

segnaletica, ma anche la stima della durabilità e del ciclo di vita di un segnale orizzontale, sulla base dei livelli di retroriflettenza misurati in sito. Per svolgere questo lavoro è stato necessario identificare un valore minimo di accettabilità del grado di retroriflettenza (generalmente assunto pari a 100 mcd/lux/m² per segnaletica bianca) che identificasse il termine della vita utile del marking analizzato. Partendo quindi dal valore del parametro R_L misurato in corrispondenza di un certo tempo di riferimento, è stato possibile calibrare modelli in grado di prevedere entro quanto tempo risultasse necessario un intervento di ripristino della segnaletica, affinché il valore del parametro di retroriflettenza non scendesse al di sotto del limite assunto.

Andrady ha sviluppato un modello logaritmico per valutare la durata di vita della segnaletica orizzontale in base alla sua efficienza in termini di retroriflettenza, pervenendo all'equazione espressa nella seguente forma esponenziale:

$$T_{100} = 10^{\frac{(R_0-100)}{b}}$$

Dove:

T₁₀₀ è il tempo, espresso in mesi, prima di raggiungere il limite di retroriflettenza imposto;

R₀ rappresenta il valore di retroriflettenza misurato all'inizio della prova;

b costituisce un parametro di calibrazione del modello [38].

- Lee et al.

Basandosi sull'analisi delle tipologie di materiale più diffuse per la realizzazione di segnaletica orizzontale (pitture, termoplastici, nastri preformati) e fissando la soglia minima di retroriflettenza ad un valore pari a 100 mcd/lux/m², lo studio ha individuato una legge di degrado di tipo lineare [35]:

$$R_L = -a * t + b$$

Dove:

t rappresenta l'età della pavimentazione espressa in giorni;

a, b: sono parametri di calibrazione del modello.

- Migletz et al.

Benché focalizzato sull'analisi dei prodotti ad alta durabilità (prodotti plastici e preformati), la ricerca di Migletz riporta anche alcune valutazioni sulle pitture ad acqua, rendendola pertanto interessante alla luce del lavoro di tesi qui proposto.

Per la determinazione della legge di degrado del sistema segnaletico sono state considerate, quali variabili indipendenti, il tipo di materiale utilizzato, il tipo di superficie stradale e il colore della segnaletica.

La ricerca ha condotto alla determinazione di una matrice che fornisce i ratei di degrado dei vari tipi di segnaletica in funzione dei mesi di vita e dell'entità di traffico a cui sono stati sottoposti, riportando in particolare una vita utile di poco superiore a 10 mesi per la segnaletica realizzata mediante pittura ad acqua di colorazione bianca, avendo assunto come soglia di accettabilità un valore pari a 100 mcd/lux/m² [47].

- Abboud e Bowman

I due autori hanno sviluppato un modello di tipo logaritmico al fine di descrivere la relazione tra retroriflettenza della segnaletica stradale ed esposizione al transito veicolare, valutata come una funzione del tempo e del traffico presente sulla zona analizzata. Il modello di degrado, specializzato per le pitture, presenta la seguente forma analitica [48]:

$$R_L = -a * \ln(VE) + b$$

Con:

$$VE = AADT * t * k$$

Dove:

VE rappresenta l'esposizione veicolare;

AAADT rappresenta il traffico medio giornaliero annuale;

t è l'età della segnaletica in mesi.

- Sarasua et al.

Il progetto, condotto sulle autostrade e focalizzato sulla valutazione delle performances in termini di retroriflettenza dei markings durante un periodo di 28 mesi, ha portato alla determinazione di un modello in grado di stimare il rateo di degrado del sistema segnaletico. Le variabili indipendenti considerate consistono nel tipo di superficie stradale, di materiale segnaletico, di colore adottato e di attività manutentiva, in base alle quali è stata valutata la variazione di retroriflettenza sviluppatasi nel tempo.

Lo studio ha illustrato come il ciclo di vita di un marking possa essere descritto tramite due differenti modelli: le prime fasi di vita vengono rappresentate mediante una curva non lineare, mentre le fasi terminali presentano un andamento lineare, come mostrato nei Grafici 3.4 e 3.5.

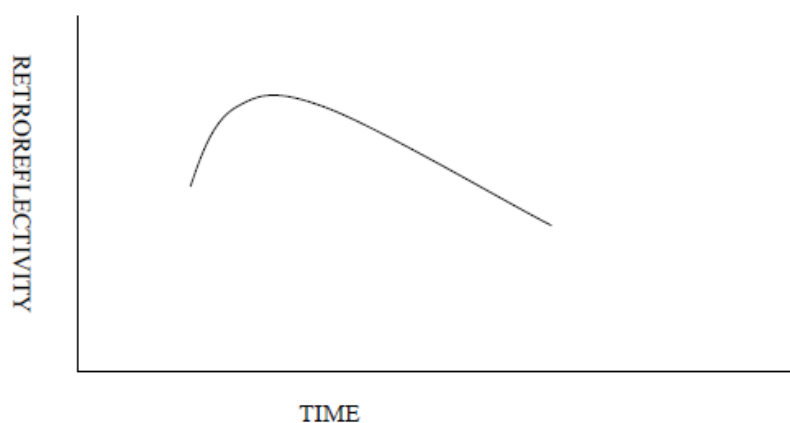


Grafico 3.4: Legame tempo-retroriflettenza durante le prime fasi di vita della segnaletica orizzontale.

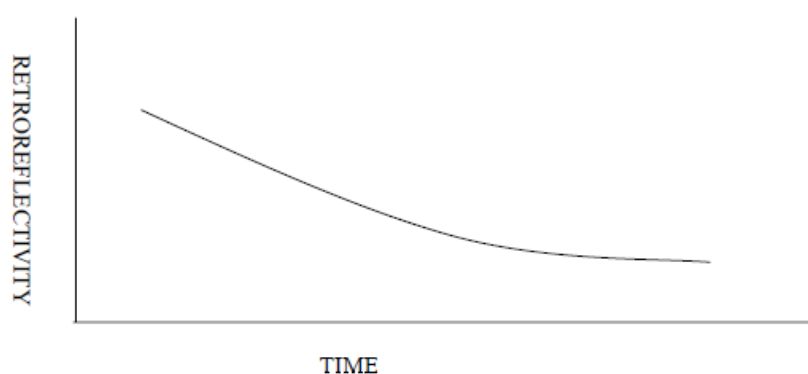


Grafico 3.5: Legame tempo-retroriflettenza durante le fasi finali di vita della segnaletica orizzontale.

Si può notare quindi come nelle fasi iniziali si abbia un incremento della retroriflettenza, essenzialmente dovuto al fatto che i primi transiti permettono la rimozione dell'eventuale film di pittura formatosi sulla microsfera, rendendola maggiormente visibile. Nel corso del periodo successivo, una volta raggiunta la massima retroriflettenza ottenibile, si ha una graduale diminuzione di tale parametro, fino al raggiungimento di un valore pressoché stabile, generalmente inferiore a 50 mcd/lux/m^2 . Il valore accettabile è comunque assunto pari a 100 mcd/lux/m^2 .

Inoltre lo studio ha evidenziato come interventi di manutenzione e di pulizia generino un improvviso cambiamento nella legge retroriflettenza-tempo, secondo quanto mostrato nel Grafico 3.6.

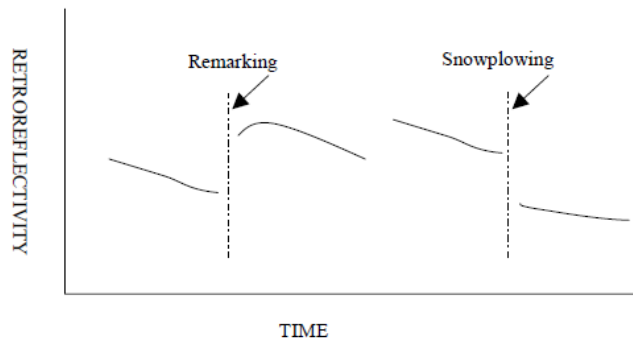


Grafico 3.6: Variazione della legge tempo-retroriflettenza causata da un ripristino della segnaletica o da interventi di rimozione della neve.

Si nota come interventi di ripristino della segnaletica comportino ovviamente un notevole incremento della retroriflettenza, mentre le operazioni meccaniche di rimozione della neve causino un evidente crollo della capacità retroriflettente della segnaletica [40] [49].

A partire dai risultati ricavati dai cinque studi principali appena descritti, ulteriori ricerche sono state svolte al fine di analizzare la dipendenza fra l'età della segnaletica e la sua visibilità notturna, risultando tutte concordi nell'affermare che i valori di R_L diminuiscono con il tempo, secondo leggi lineari [36] o meno [37].

In particolare lo studio condotto da Sitzabee et al. è giunto alla conclusione che il modello di degrado relativo alla retroriflettenza della segnaletica può essere considerato lineare per i primi 5 anni di vita dell'impianto segnaletico. Si sono assunte come variabili indipendenti il tempo, l'iniziale valore di R_L , il traffico medio giornaliero annuo (AADT) ed il colore.

Lo studio è stato condotto sia su conglomerato bituminoso, sia su calcestruzzo, portando alla seguente legge lineare di degrado:

$$R_L = a + b * R_{L,i} - c * t$$

Dove:

$R_{L,i}$ è il coefficiente di luminanza retroriflessa espresso in mcd/lux/m^2 ;

t rappresenta l'età del sistema segnaletico espresso in mesi;

a , b , c costituiscono parametri di calibrazione del modello.

Il modello definito dall'analisi qui presentata individua un rateo di degrado pari a 4.17 mcd/lux/m^2 al mese per i sistemi segnaletici realizzati con le pitture, ottenendo quindi una vita utile dei markings pari a circa 2 anni, con la cura di averli realizzati secondo gli standard da normativa [36]. Tale risultato appare suffragato da un ulteriore studio in cui viene evidenziato che il tasso di degrado annuale si attesta intorno ai 55 mcd/lux/m^2 [15].

Chiaramente i modelli di degrado qui individuati sono di difficile applicazione al contesto aeroportuale, nel quale la tipologia dei mezzi in transito e la loro frequenza appaiono nettamente differenti. Ciononostante si è ritenuto opportuno un richiamo a quanto determinato in campo stradale, in quanto può costituire un utile punto di partenza per lo sviluppo di un futuro studio teorico basato sul monitoraggio nel tempo degli impianti segnaletici stesi durante il lavoro di tesi svolto.

Larghezza della segnaletica

Alcuni studi hanno evidenziato che un ulteriore fattore in grado di influenzare parzialmente la massima distanza di visibilità, e quindi il minimo grado di retroriflettenza richiesto, risiede nella larghezza caratterizzante i segnali orizzontali. Tali ricerche hanno condotto ad affermare, in particolare, che si verifica un consistente incremento della distanza di visibilità quando viene utilizzato un marking di larghezza pari a 15 cm anziché pari a 10 cm, considerando velocità comprese tra 30 km/h e 110 km/h, sia in condizioni asciutte sia in condizioni di bagnato [50].

Un ulteriore studio, benché complessivamente in accordo con quanto appena affermato, ha riscontrato però che l'incremento di visibilità risulta limitato entro le cosiddette "larghezze critiche", che devono essere valutate caso per caso ed oltre le quali non si hanno benefici aggiuntivi [51].

I range di velocità analizzati da questi studi sono chiaramente tipici dell'ambito stradale, rendendo pertanto inapplicabili i risultati dedotti al contesto aeroportuale caratterizzato da velocità decisamente più elevate. Certamente però l'effetto riscontrato dagli studi sopra presentati è applicabile anche alla segnaletica aeroportuale, benché su scala differente.

Condizioni di bagnato

Risulta di fondamentale importanza che la segnaletica orizzontale funzioni correttamente non solo durante le condizioni notturne, ma anche durante condizioni di scarsa visibilità dovute alla presenza di pioggia o comunque di un velo idrico depositato sulla superficie stradale.

Numerose ricerche sono state condotte al fine di valutare l'efficienza della segnaletica in condizioni di bagnato, risultando tutte in accordo nel riportare che, nella maggior parte dei casi, le performances dell'impianto segnaletico non erano sufficienti.

In particolare il Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) ha condotto uno studio sulla visibilità notturna in condizioni di bagnato, al fine di valutare le distanze a cui la segnaletica orizzontale risulta individuabile, confrontando situazioni di pioggia continua e condizioni di asciutto. L'analisi è stata condotta interrogando numerosi soggetti, di età differenti, sulla percezione del segnale da un veicolo, sia durante una pioggia simulata sia durante condizioni di asciutto. I risultati di tale indagine evidenziano come le distanze di visibilità subiscano una notevole riduzione nel caso in cui la superficie del marking risulti bagnata [54].

Infatti la presenza di un film d'acqua sulla segnaletica orizzontale riduce la retroriflettenza a causa di un incremento del fenomeno di riflessione che provoca una diminuzione dell'indice di rifrazione della microsfera, come mostrato in Figura 3.3.

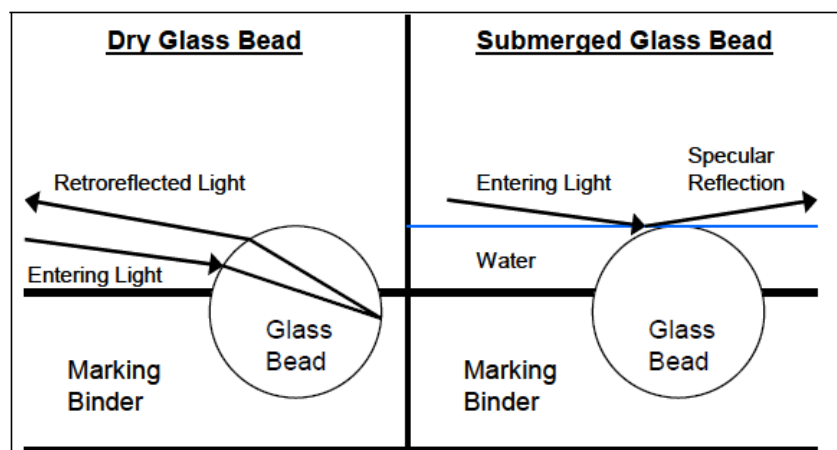


Figura 3.3: Confronto tra condizioni asciutte e di bagnato per l'operatività delle microsfere.

Queste considerazioni hanno indotto diversi studiosi a svolgere analisi più accurate, in particolare relative all'utilizzo di microsfere di grande diametro quale rimedio per il rapido decremento del coefficiente di luminanza retroriflessa R_L in condizioni di bagnato.

Tra questi lavori spicca una ricerca condotta utilizzando il "rain tunnel", al fine di determinare i valori di retroriflettenza di microsfere con dimensioni standard e microsfere di grande diametro, durante e a seguito di situazioni di pioggia controllata.

I risultati ottenuti da questa sperimentazione hanno mostrato che le microsfere di maggiori dimensioni garantiscono una visibilità più elevata sia nelle condizioni di pioggia (rainfall), sia nelle successive condizioni di bagnato (rain off recovery), come mostrato nel Grafico 3.7 [55].

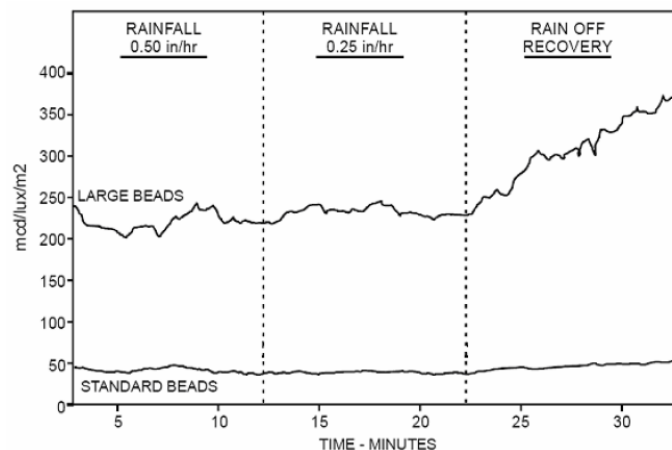


Grafico 3.7: Confronto tra "Standard Beads" e "Large Beads" in condizioni di pioggia e di bagnato.

Un altro studio è stato condotto utilizzando pitture ad acqua, in parte associate a microsfere Type III ed in parte a microsfere Type II, risultando perfettamente in accordo con le altre ricerche nell'affermare che le microsfere a più ampio diametro forniscono maggiori valori di retroriflettenza quando sottoposte a piogge di diversa intensità, aparendo quindi visibili ad una maggiore distanza.

Lo studio ha inoltre valutato la possibilità di ottenere un vantaggio ai fini della visibilità notturna in condizioni di bagnato tramite un aumento della larghezza del segnale orizzontale, registrando effettivamente un incremento di circa il 30% della distanza di visibilità nel passare da un marking di larghezza pari a 10 cm ad uno con un'ampiezza di 15 cm [56].

Tale risultato appare pienamente conforme a quanto riscontrato nelle analisi condotte da Lundkvist et al. [50] e da Gibbons et al. [51].

Un importante risultato ottenuto in questo ambito di studio consiste nell'individuazione di una legge in grado di descrivere analiticamente il legame tra retroriflettenza e distanza di visibilità, riscontrato sperimentalmente in tutte le ricerche fino ad ora presentate:

$$D = a * \log R_L + b$$

Dove:

D rappresenta la distanza di visibilità;

a, b costituiscono parametri di calibrazione del modello determinati in base al tipo di veicolo da cui si effettua la valutazione di visibilità.

L'andamento logaritmico della relazione individuata viene mostrato nel Grafico 3.8 [57].

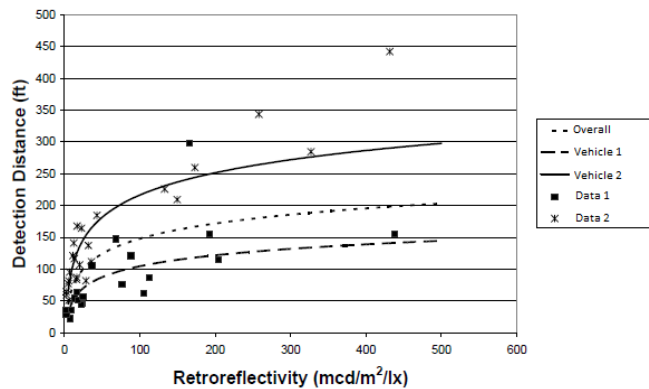


Grafico 3.8: Relazione logaritmica tra retroriflettenza e distanza di visibilità.

È quindi evidente come un aumento di retro riflettenza delle microsfere di vetro garantisca maggiori distanze di visibilità, fino al raggiungimento però di una soglia oltre la quale aumentare la qualità o la quantità delle microsfere risulta irrilevante ai fini dell'aumento delle distanze a cui la segnaletica viene percepita.

L'ambito aeroportuale, a causa delle elevate velocità che lo caratterizzano, presenta la necessità di valutare con particolare attenzione la distanza di visibilità da garantire ai piloti, la quale costituisce un punto di fondamentale importanza che verrà pertanto analizzato dettagliatamente nel seguito.

Ulteriori considerazioni

Le ricerche sperimentali relative alla valutazione della retroriflettenza delle microsfere utilizzate per i markings sono state affiancate anche da studi teorici. In particolare sono stati modellati approcci analitici che valutassero l'intensità del parametro R_L tenendo in considerazione varie composizioni e densità delle microsfere di vetro.

La procedura adottata da tali ricerche ha previsto una simulazione numerica della risposta delle microsfere, in termini di retroriflettenza, confrontandola in seguito con i risultati derivanti da prove sperimentali condotte adottando differenti gradi di affondamento delle microsfere di vetro. L'analisi comparata ha evidenziato una perfetta corrispondenza tra i valori massimi di retroriflettenza derivanti dai due differenti approcci. Inoltre la ricerca ha verificato numericamente

ciò che in campo veniva sempre riscontrato, ovvero che la massima retroriflettenza viene ottenuta considerando un ancoraggio degli elementi catadiottrici all'interno dello strato di pittura pari a circa il 60% , come evidenziato nel Grafico 3.9 [32].

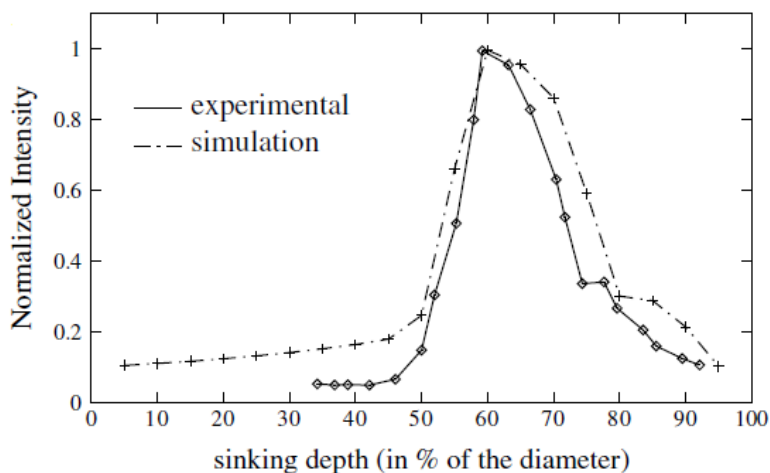


Grafico 3.9: Confronto tra risultati teorici e sperimentali relativi a valori di retroriflettenza valutati in funzione dell'affondamento delle microsferi.

La retroriflettenza, come già più volte sottolineato, permette all'utente di percepire informazioni anche durante condizioni notturne e di scarsa visibilità. Ciò evidenzia come tale caratteristica della segnaletica orizzontale sia fortemente legata al concetto di sicurezza stradale, come riportato in molteplici studi [34] [46].

Bisogna però rammentare che se ai fini della sicurezza risulta di fondamentale importanza la visibilità notturna, è altresì vero che non è possibile trascurare l'effetto antislittamento che deve presentare la segnaletica orizzontale. In genere aggiungendo le microsferi di vetro si ha un incremento del parametro SRT (Skid Resistance Test) rispetto a quanto si otterrebbe con la sola pittura, ma talvolta risulta necessario introdurre anche l'utilizzo di appositi aggregati antislittamento per ottenere sufficienti valori di SRT. Questi elementi però tendono a ridurre l'entità del parametro R_L e ad ingrigire la segnaletica, in quanto responsabili della trattenuta di polvere e gomma degli pneumatici. Occorre quindi effettuare opportune considerazioni in relazione alla sicurezza ed alla tipologia di traffico, al fine di trovare un buon compromesso tra i parametri SRT ed R_L , privilegiando il primo senza però compromettere eccessivamente il secondo [30].

Un'ulteriore considerazione, necessaria durante la fase di progettazione e la fase di esercizio di un impianto di segnaletica orizzontale, riguarda i costi, i quali possono rappresentare un fattore

critico, specialmente quando le disponibilità economiche degli enti gestori dell'infrastruttura sono limitate. Nella valutazione dei costi è importante considerare non solo quelli relativi ai materiali, ma anche quelli relativi ai macchinari di applicazione ed alla manodopera specializzata necessaria per una corretta installazione dei prodotti. Inoltre, occorre prevedere anche i costi relativi alla manutenzione durante la vita della segnaletica orizzontale, preferendo, dove possibile, imprese incaricate della stesa che siano in grado di fornire una garanzia riguardo alle prestazioni dei materiali applicati.

Pertanto diversi studi sono stati condotti, comparando i costi e gli effetti sulla retroriflettenza di differenti tipologie di microsfere applicate su pittura ad acqua. In particolare un'analisi svolta dal Department of Transportation dello stato del Missouri ha permesso di determinare se fosse conveniente o meno l'applicazione di microsfere Type IV, caratterizzate da costi superiori rispetto alle Type I, come evidenziato in Tabella 3.11.

| Type of Beads | Cost per Pound |
|---------------|----------------|
| Type IV | \$ 0.498 |
| Type I | \$ 0.187 |

Tabella 3.11: Costo per unità di peso delle microsfere Type I e Type IV.

I dati raccolti nel corso delle analisi hanno dimostrato che, dopo una stagione invernale, il 54% dei markings realizzati con microsfere Type IV presentava valori del coefficiente di luminanza retroriflessa R_L superiori a 200 mcd/lux/m^2 , mentre tale valore era stato superato solo nel 12% dei casi di segnaletica realizzata mediante microsfere Type I. Inoltre solamente il 12% delle microsfere Type IV aveva riportato valori inferiori a 120 mcd/lux/m^2 , contro il 22% relativo alle Type I.

Questo studio ha quindi dimostrato che, benché i costi di realizzazione con microsfere Type IV siano maggiori, risulta comunque conveniente applicare questa tipologia di microsfere in quanto il tasso di degrado che esse presentano risulta inferiore, comportando pertanto minori costi di manutenzione. A fronte quindi di un costo iniziale più elevato si ha però un costo totale inferiore sull'intera vita utile della segnaletica [42].

Una volta messi in luce tutti gli aspetti più importanti, relativamente alla retroriflettenza, ad oggi riscontrabili all'interno non solo della vigente normativa, ma anche di articoli scientifici di comprovata autorità, è bene sottolineare ancora una volta il netto squilibrio che si nota tra quanto

relativo all'ambito stradale, molto dettagliato e preciso, e quanto invece inerente al contesto aeroportuale, molto più approssimativo ed esiguo.

Pertanto, a fianco delle specifiche definite per il campo aeroportuale, soventi sono i richiami proprio alle normative stradali, le quali risultano però evidentemente poco adeguate a soddisfare le necessità di un ambito a cui mal si adattano.

È importante infatti sottolineare che, benché dagli studi stradali siano emerse considerazioni interessanti riguardo alla retroriflettenza, le modalità di test adottate sono state definite considerando l'ambito d'applicazione all'interno del quale le ricerche risultavano calate. In particolare infatti sono state analizzate per lo più microsferi di vetro Type I (mentre in ambito aeroportuale spesso si impiegano le Type III), realizzando strisce segnaletiche di prova di lunghezza molto limitata, mentre in un aerodromo le distanze di interesse per la visibilità di un pilota sono necessariamente maggiori di quelle valide in ambito stradale.

Il qui presente lavoro di tesi punta ad essere uno dei primi studi finalizzati alla definizione di adeguate specifiche che consentano di tenere conto, almeno in parte, delle principali caratteristiche che inevitabilmente distinguono il contesto aeroportuale da quello stradale.

4. Piano Sperimentale

Alla luce di quanto emerso dall'analisi della letteratura scientifica esistente relativa alla retroriflettenza di cui deve essere dotata la segnaletica orizzontale, è risultata evidente, come più volte richiamato all'attenzione del lettore, una carenza nelle informazioni incentrate sull'applicazione di tali ricerche al contesto aeroportuale.

Si è reputato opportuno pertanto svolgere uno studio volto ad arricchire il repertorio informativo inerente l'utilizzo delle microsferi durante le applicazioni segnaletiche e l'effettiva convenienza e utilità del loro impiego.

Benché l'argomento indagato non sia del tutto nuovo, in quanto sono già state svolte alcune ricerche in ambito aeroportuale, svariate sono le differenze e le novità che si intendono analizzare. In particolare il lavoro di tesi qui proposto si configura come innovativo per quanto riguarda i seguenti aspetti:

- Test svolti su diverse tipologie di miscele:

la peculiarità dello studio svolto consiste nell'impiego di sei differenti miscele di materiale segnaletico, diversificate per tipologia di microsfere e di pittura impiegate. La differenza principale rispetto alle precedenti ricerche consiste infatti nell'analisi non solo di microsfere di differente qualità e applicate al medesimo materiale di base, ma anche dell'influenza di diverse pitture sul valore di retroriflettenza, a parità di microsfere utilizzate.

- Valutazione qualitativa della retroriflettenza da cockpit:

il lavoro di tesi qui riportato si propone di approfondire le analisi soggettive, già condotte da altri studi mediante questionari forniti a piloti di aeromobili, tramite la realizzazione di un filmato in grado di catturare le immagini della segnaletica orizzontale dalla cabina del velivolo, fornendo quindi un'idea del grado di retroriflettenza percepito dei piloti in corrispondenza di diversi prodotti segnaletici.

- Test preliminari di aderenza:

al fine di validare le successive misure di retroriflettenza, si propone di svolgere un'analisi iniziale dei valori del parametro SRT per verificare che essi siano conformi ai requisiti minimi necessari a garantire un sufficiente livello di sicurezza. Infatti come più volte indicato negli articoli scientifici di ambito stradale, risulta fondamentale non compromettere eccessivamente l'aderenza della pavimentazione anche in corrispondenza degli impianti segnaletici. Questo a maggior ragione in ambito aeroportuale dove alcune tipologie di segnali orizzontali possono presentare estensioni molto elevate, in corrispondenza delle quali risulta opportuno garantire valori di aderenza non eccessivamente inferiori rispetto a quelli caratterizzanti la superficie della pavimentazione. Inoltre tali prove possono fornire anche importanti indicazioni relativamente al ruolo svolto dalle microsfere nella definizione della resistenza al derapaggio, sul quale attualmente sussiste dell'incertezza.

- Test di retroriflettenza in condizioni di bagnato con diversi spessori idrici:

si propone di effettuare test di retroriflettenza in condizioni di bagnato, non solo secondo le direttive presenti nella vigente normativa, ma anche utilizzando spessori idrici valutati

sulla base dei dati pluviometrici acquisiti nella zona di indagine. Tale studio ha il fine di riprodurre condizioni di bagnato il più aderenti possibile alla realtà aeroportuale indagata.

- Test svolti nel contesto italiano:

fino ad ora la maggior parte degli studi svolti in ambito stradale e la totalità di quelli relativi al campo aeroportuale si sono inseriti nello scenario americano.

L'importanza di svolgere studi aeroportuali calati nella realtà nazionale consiste nella possibilità di ricavare informazioni più precise, in quanto emerse da ricerche in sito caratterizzate da condizioni ambientali ben precise. Infatti, essendo universalmente riconosciuta l'influenza degli aspetti ambientali e meteorologici sulla determinazione del valore di retroriflettenza della segnaletica orizzontale, i risultati ottenuti da progetti svolti negli Stati Uniti potrebbero non essere del tutto applicabili ad ambiti caratterizzati da climi differenti.

4.1. Aeroporto di Milano Malpensa

Le prove svolte sono state allestite all'interno dell'aeroporto intercontinentale di Milano Malpensa, costruito nel 1948. Nel corso degli anni successivi una serie di ampliamenti e nuove realizzazioni hanno prodotto un notevole incremento delle dimensioni e della funzionalità dell'aerodromo, fino al raggiungimento dell'attuale configurazione.

Situato nell'alta pianura lombarda, nel Sud-Ovest della provincia di Varese ed all'interno del Parco Regionale Lombardo della Valle del Ticino, a 48 km da Milano, l'aeroporto è collegato alle principali località del Nord Italia e alla Svizzera tramite rete ferroviaria e stradale. La struttura opera attraverso due scali passeggeri, il Terminal 1 ed il Terminal 2, posti rispettivamente ad ovest ed a nord del sistema di piste, ed uno scalo merci, definito Cargo City, posizionato nell'area sud-ovest del sedime aeroportuale.

Esso risulta dotato di due piste parallele, le quali presentano un interasse di 808 m, entrambe realizzate in conglomerato bituminoso, di lunghezza pari a 3920 m e larghezza pari a 60 m, orientate a 349° o 169° a seconda della direzione di utilizzo: 35R-17L e 35L-17R.

Normalmente vengono usate le due piste orientate a 349°, alternativamente per le partenze e gli arrivi, mentre le testate 17 sono attive solo in caso di vento particolarmente sfavorevole o quando non sono presenti aerei in atterraggio. Era inoltre prevista la realizzazione di una terza pista,

parallela alle due precedenti, con inizio dei lavori nel 2014 e loro conclusione nel 2017. Al momento però il progetto ha subito un arresto, in quanto le due piste già operative risultano sufficienti a gestire i movimenti attualmente richiesti.

Una rete particolarmente estesa di vie di rullaggio (quasi 20 km in totale, escludendo le taxiway di piazzale) collega le due piste con le diverse aree terminali e garantisce la movimentazione al suolo dei velivoli. Il sistema di vie di circolazione include anche il recente raccordo sud (taxiway H) la cui realizzazione ha permesso di diminuire la necessità di attraversamento delle piste e, conseguentemente, di incrementare i livelli di sicurezza operativa garantiti dall'aeroporto.

Un'area posta nella zona nord ovest del sedime è invece destinata ad accogliere le attività di aviazione generale che fanno capo all'aeroporto. In Figura 4.1 è possibile avere una visione di insieme dell'area aeroportuale.

Nella classifica degli aeroporti più trafficati d'Italia si posiziona al secondo posto per quanto riguarda il traffico passeggeri, mentre riveste il ruolo di primo aeroporto nazionale nell'ambito del trasporto merci.



Figura 4.1: Vista aerea dell'aeroporto di Milano Malpensa.

La gestione dello scalo aeroportuale è affidata alla Società Esercizi Aeroportuali S.p.A. (SEA), la quale garantisce tutti i servizi e le attività connesse all'esercizio dell'aeroporto di Milano Malpensa. La strategia organizzativa del gruppo SEA viene attuata mediante la suddivisione delle proprie attività in quattro unità di business, ciascuna caratterizzata da competenze e processi operativi specifici, in maniera da massimizzare l'efficienza gestionale della società. In particolare le quattro aree di azione si distinguono in attività aeroportuali (aviation), servizi commerciali (non aviation), servizi di assistenza a terra (handling) e generazione e vendita di energia (energy) [E].

Al fine di garantire il mantenimento di adeguati standard di operatività delle aree destinate alla movimentazione degli aeromobili (piste, vie di rullaggio e piazzali), è necessario eseguire costanti azioni di monitoraggio e manutenzione. In particolare, in relazione all'ambito di studio analizzato durante il lavoro di tesi, si riportano le frequenze di specifici interventi:

- valutazione dell'aderenza: ogni 10 giorni con un allineamento pari a ± 3 m rispetto alla centerline; ogni mese con un allineamento pari a ± 6 m rispetto alla centerline.

- valutazione della retroriflettenza: ogni 6 mesi.

Le misurazioni vengono generalmente svolte tra marzo ed aprile al fine di pianificare e sviluppare eventuali interventi di rifacimento a seguito del periodo invernale, durante il quale l'utilizzo dei macchinari per la rimozione della neve può provocare un elevato decremento nelle prestazioni della segnaletica orizzontale. La seconda campagna di prova viene effettuata tra ottobre e novembre per verificare la bontà delle attività di manutenzione condotte. In totale i dati di misurazione, considerando condizioni sia di asciutto sia di bagnato, sono mediamente 3500;

- ripasso della segnaletica orizzontale: ogni anno;
- rimozione e rifacimento della segnaletica: ogni 3-4 anni.

Inoltre le piste sono dotate di cinque sensori meteo, due per ogni testata ed uno centrale, e di sonde di profondità atte a misurare la temperatura, in modo tale da monitorare lo stato termico della pavimentazione durante i mesi invernali e poter quindi valutare quando sia effettivamente necessario procedere alla stesa del liquido antigelo. Questo permette di evitare interventi inutili che, come unico risultato, comportano il deterioramento delle zone di circolazione e della relativa segnaletica orizzontale.

4.1.1. Determinazione dei siti di prova

Per la scelta dei siti di prova si è proceduto tenendo in debita considerazione lo scopo del lavoro di tesi qui presentato, le tipologie di materiale che si intendono testare e le disponibilità di spazi e tempistiche degli enti che gestiscono lo scalo aeroportuale e che operano all'interno di esso.

In particolare le decisioni relative alle zone su cui eseguire le stese della segnaletica orizzontale ed i successivi test sono state prese mediante un'attenta analisi dei seguenti punti cardine:

- Necessità di eseguire prove sia su segnaletica bianca sia su segnaletica gialla:
in ambito aeroportuale, diversamente da quanto si riscontra su strade ed autostrade nazionali, la segnaletica gialla compare in quantitativo pari a quella di colorazione bianca. Non è pertanto possibile trascurare test rivolti nello specifico a segnali orizzontali gialli, a maggior ragione a causa del fatto che numerosi studi condotti in precedenza hanno evidenziato il ruolo che la colorazione svolge nella determinazione dei valori di retroriflettenza propri dell'impianto segnaletico.

Durante l'analisi si terrà quindi conto di questo fattore nella determinazione del fattore di luminanza retroriflessa R_L , al fine di verificare la veridicità dei risultati ottenuti dalle ricerche pregresse.

- Necessità di testare l'applicazione su differenti tipologie di pavimentazione: come già esposto nel paragrafo 3.5.2., non solo le caratteristiche dei materiali segnaletici influenzano il grado di visibilità notturna del segnale orizzontale, bensì anche il tipo di pavimentazione su cui viene svolta l'applicazione gioca un ruolo fondamentale nella definizione delle caratteristiche dell'impianto segnaletico nella sua totalità. L'ambito aeroportuale presenta per sua natura un'eterogeneità di superfici in quanto vi sono zone destinate allo stazionamento dei velivoli, realizzate pertanto in calcestruzzo, ed altre aree destinate alla movimentazione degli aeromobili, costituite quindi in conglomerato bituminoso.

Nel corso del lavoro di tesi ci si propone dunque di analizzare la variazione della retro riflettanza e del coefficiente di aderenza che intercorre tra due identiche stese realizzate però su superfici in materiali differenti.

- Necessità di valutare le distanze di visibilità: come già più volte sottolineato la carenza di materiale di studio relativo alla visibilità notturna della segnaletica orizzontale in ambito aeroportuale risulta essere una lacuna da colmare. Infatti gli studi stradali hanno permesso di determinare le distanze di visibilità notturna dei segnali le quali, essendo funzione di velocità e geometria tipicamente stradali, non hanno valenza, se non qualitativa, all'interno del contesto degli aeroporti.

Questi ultimi infatti ospitano velivoli di svariate dimensioni, i quali effettuano le movimentazioni a terra con velocità nettamente superiori a quelle dei veicoli che circolano su strada.

Lo studio qui condotto ha previsto quindi una simulazione di un'altezza media di cockpit al fine di valutare visivamente la massima distanza alla quale il pilota potrà distinguere segnali realizzati con microsferi differenti. Per effettuare tali prove si è dovuto quindi scegliere una zona che presentasse spazi sufficienti alla movimentazione del velivolo di test senza arrecare eccessivo disturbo all'organizzazione aeroportuale.

- Previsione di successivi approfondimenti dello studio effettuato relativi alla durabilità dei materiali applicati:

il lavoro svolto è stato eseguito in un'ottica più ampia rispetto a quella trattata in questa sede. Esso infatti è stato realizzato con il fine di condurre un monitoraggio nel tempo volto alla valutazione del deterioramento della segnaletica realizzata. Pertanto, durante la fase di scelta dei siti in cui effettuare le stese, si è dovuto accuratamente evitare il posizionamento di segnali in zone soggette ad una rapida usura non rappresentativa dell'effettivo ciclo di vita del materiale segnaletico, come ad esempio le zone di toccata dove si accumulano molto rapidamente depositi di gomma.

- Necessità di non arrecare eccessivo disturbo alle operazioni di movimentazione dei velivoli: svolgendosi all'interno di uno dei principali aeroporti nazionali, il lavoro ha dovuto necessariamente tenere conto delle esigenze e delle disponibilità del personale addetto alla gestione dell'aerodromo. Si è cercato dunque di scegliere zone scarsamente trafficate ed utilizzate per poter condurre i test previsti senza danneggiare l'organizzazione di Malpensa.

Alla luce delle esigenze sopra elencate, si riporta il piano prove contestualizzato nella realtà dell'aeroporto di Malpensa.

In particolare i siti di prova verranno nel seguito presentati ad uno ad uno, suddividendoli in base al colore della segnaletica realizzata.

4.1.1.1. Zone di test per la segnaletica bianca

La scelta delle aree in cui realizzare le applicazioni di segnaletica bianca è ricaduta su due differenti zone all'interno dell'aeroporto, caratterizzate da velocità di transito e tipologia di operazioni di movimentazione molto diverse. In particolare, i segnali orizzontali da ripassare sono stati individuati all'interno della pista 35L e della zona Cargo Sud, nota anche come "Piazzale 800".

Nel seguito vengono riportati nel dettaglio i markings che sono stati interessati dalle applicazioni sperimentali.

- Segnaletica della zona di toccata all'interno della pista 35L:

si è optato per la realizzazione dei sei fazzoletti, posizionati tre per parte rispetto alla centerline di pista, a monte degli Aiming Points. La scelta è ricaduta su tale zona essenzialmente per evitare che, a causa dei frequenti atterraggi che si verificano durante le ore di attività dell'aeroporto, la nuova segnaletica realizzata risultasse del tutto oscurata nel giro di pochi giorni.

Gli operatori del gruppo SEA hanno infatti assicurato che dopo soli 10 giorni di ordinario traffico aereo lo strato di gomma ricopre completamente la nuova segnaletica soggetta allo strisciamento degli pneumatici dei velivoli, come si può notare in Figura 4.2.



Figura 4.2: Segnaletica quasi completamente oscurata dal deposito di gomma, sulla testata della pista 35L di Malpensa.

Per evitare tale circostanza, che renderebbe impossibile l'analisi a lungo termine sulla durabilità delle diverse miscele segnaletiche testate, sono stati designati i fazzoletti posti prima della zona in cui la maggior parte dei velivoli termina l'operazione di atterraggio, in corrispondenza della quale si deposita lo strato di gomma sopra menzionato.

Inoltre, la rapidità di deposito del materiale rilasciato dagli pneumatici dei velivoli renderebbe necessaria la valutazione dei valori iniziali di retroriflettenza e di aderenza a distanza di poche ore dall'effettuazione della stesa, affinché non vi siano influenze eccessive su tali parametri dovute alla presenza della gomma. Tale condizione risulterebbe però di difficile attuazione in quanto durante le ore notturne in cui viene eseguita la stesa non è disponibile un tempo sufficiente a permettere la presa delle pitture, necessaria per una corretta esecuzione delle prove. Ciò comporta inevitabilmente il trascorrere di alcuni giorni prima che sia possibile ottenere di nuovo l'autorizzazione all'ingresso sul sedime aeroportuale, pertanto la condizione migliore è data dalla possibilità di analizzare una

segnaletica che, grazie ad una posizione maggiormente “protetta”, è caratterizzata da un degrado più lento.

Inoltre la scelta di realizzare i sei fazzoletti è stata dettata dalla necessità di poter testare e confrontare sei miscele differenziate in base alla tipologia di pittura e di microsfere di vetro da cui sono costituite. Il fatto che i sei sistemi segnaletici siano posti alla medesima progressiva lungo la pista facilita l’operazione di confronto, garantendo condizioni relative alla superficie su cui viene effettuata la stesa il più possibile omogenee per tutte le applicazioni.

- Segnaletica di centerline della pista 35L-17R:

benché nella pratica vi siano stati dei problemi di tempo che hanno portato alla mancata realizzazione del tratto di centerline di pista previsto, si riportano le motivazioni che hanno condotto, in fase di organizzazione e progettazione del lavoro, a considerare tale zona come interessante sito per l’esecuzione dei test.

In particolare la zona individuata si colloca a valle del raccordo Foxtrot, ovvero in una posizione sufficientemente distante dalla zona di toccata, affinché le ruote del velivolo abbiano terminato la fase di strisciamento durante la quale viene rilasciato il deposito di gomma.

Il sito descritto infatti era stato scelto con la finalità specifica di poter effettuare in futuro uno studio sulla durabilità e sull’usura della segnaletica dovuta al regolare traffico presente all’interno dell’aerodromo, evitando la problematica dell’oscuramento dei segnali.

L’idea era quella di realizzare sei tratteggi di centerline consecutivi mediante le sei differenti miscele previste, al fine di raccogliere dati di retroriflettenza sufficienti a trovare una risposta alle incongruenze riscontrate in letteratura riguardo alla durabilità delle microsfere Type I rispetto alle Type III.

Come già accennato, a causa dei lunghi tempi di realizzazione, non è stato possibile eseguire tutte le applicazioni previste, rendendo necessaria l’abolizione di alcune stese. In particolare la scelta è ricaduta sulla centerline qui indicata, in quanto tale lavorazione si configurava unicamente come fase iniziale di un successivo studio, non apportando sostanziali contributi alla ricerca svolta in questa sede.

- Segnaletica di viabilità nella zona Cargo Sud:

la zona è stata scelta in quanto, grazie allo scarso traffico presente, risulta facilmente agibile senza arrecare eccessivo disturbo alle operazioni ordinarie svolte all'interno dell'aeroporto di Malpensa.

Altri fattori di non trascurabile importanza, che hanno condotto alla determinazione di tale sito, consistono nella disponibilità di una pavimentazione di recente realizzazione, sia in calcestruzzo sia in conglomerato bituminoso, e nella presenza di un solo strato di segnaletica orizzontale.

La prima caratteristica risulta fondamentale per il confronto diretto tra impianti segnaletici identici realizzati su differenti superfici, la seconda appare doppiamente interessante, sia per quanto riguarda la determinazione del parametro SRT sia per comparare l'applicazione della nuova segnaletica su molteplici strati di materiale usurato e la realizzazione invece a contatto quasi diretto con la pavimentazione.

Il sito è stato inoltre scelto a causa della presenza di numerose torri faro che permettono di valutare, seppure qualitativamente mediante fotografie e controlli visivi, come appare un segnale orizzontale realizzato con microsferi diverse in condizioni di illuminazione diffusa. Lo scopo di tale indagine consiste nel verificare l'effettiva convenienza di utilizzare microsferi a più alto indice di rifrazione, ma con evidenti costi superiori, in zone in cui è sempre presente un'omogenea ed elevata illuminazione.

In particolare sono stati realizzati tratti di linea continua di lunghezza pari a circa 400 m lungo il perimetro delle piazzole di sosta destinate agli aeromobili cargo dell'aeroporto di Malpensa.

I due tratti, stesi con miscele differenti solo per tipologia di microsfera impiegata, sono stati applicati consecutivamente al fine di rendere più agevole un confronto diretto tra la percezione visiva fornita dai due sistemi segnaletici, nelle condizioni sopra descritte.

Inoltre la non indifferente estensione dei tratti di prova ha permesso una verifica sulla qualità della stesa in termini di omogeneità dei valori dei parametri R_L ed SRT valutati in maniera discreta lungo tutta la lunghezza della linea.

Riassumendo quindi i siti individuati per la stesa delle applicazioni bianche sono tre e vengono evidenziati in Figura 4.3.

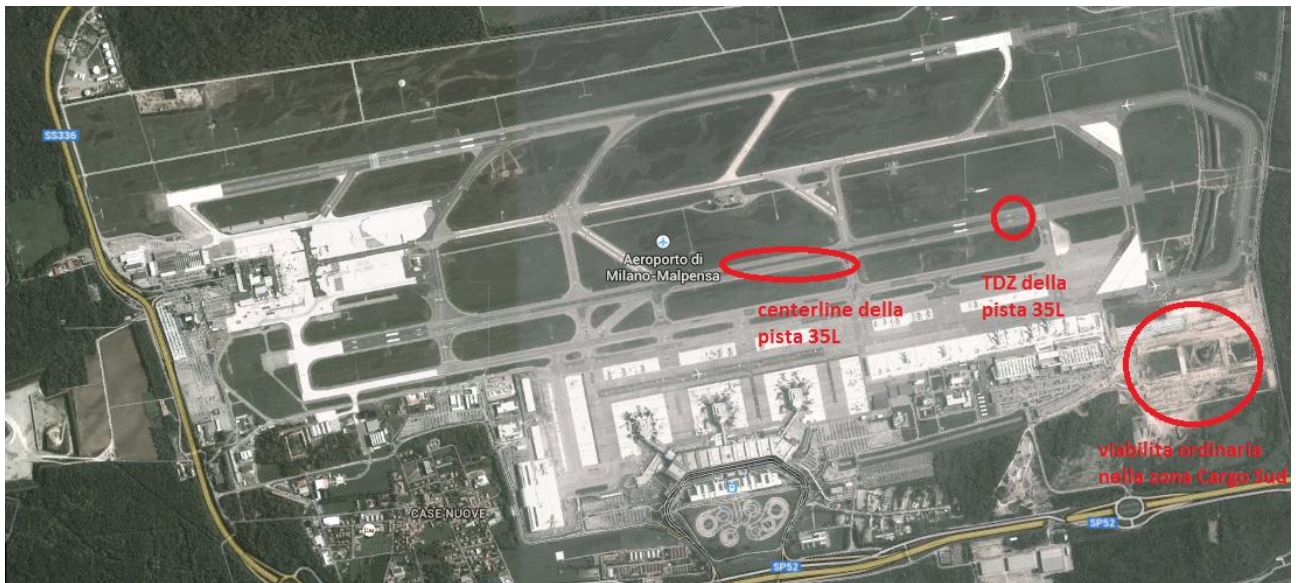


Figura 4.3: Siti di test per la segnaletica bianca.

4.1.1.2. Zone di test per la segnaletica gialla

La segnaletica orizzontale gialla è caratteristica delle taxiway, ovvero di quelle aree, denominate anche vie di circolazione, predisposte al transito a terra dei velivoli.

L'individuazione dei segnali da realizzare nell'ambito di questo studio si è concentrata nella zona del raccordo Charlie-Alfa, adiacenti alla testata 35L, scelta per la realizzazione delle stese di colorazione bianca. Inoltre è stato programmato un intervento per l'applicazione della centerline di taxiway nell'area Cargo Sud, in seguito a considerazioni analoghe a quelle già riportate durante la trattazione della determinazione dei siti per la realizzazione della segnaletica bianca.

- Segnaletica gialla di Stop Bars sul raccordo CA:
prima del loro ingresso sulla pista, gli aeromobili sono obbligati ad arrestarsi sulla taxiway in corrispondenza del punto di attesa posizionato in prossimità della pista stessa, al fine di proteggere i velivoli che stanno effettuando operazioni di decollo o atterraggio da accessi non autorizzati.

Proprio per la sua natura critica, una Stop Bar si configura come un'ottima zona per effettuare test sulla visibilità notturna.

La scelta dei due segnali da realizzare è stata effettuata tenendo conto delle condizioni più difficili e pericolose che si possono incontrare nell'organizzazione della movimentazione a terra dei velivoli. Per tale motivo sono state designate due Stop Bars posizionate in

corrispondenza di due curve, individuate come zone di possibile riduzione della sicurezza del transito a terra.

I segnali di Holding Point scelti sono costituiti rispettivamente dal cosiddetto “cancelletto”, formato da due linee continue parallele unite da tratti trasversali (pattern B), e da un altro schema, composto da due strisce continue e parallele affiancate da due ulteriori linee tratteggiate (pattern A).

Il pattern A permette un confronto simultaneo di quattro differenti miscele di segnaletica, due utilizzate per le applicazioni sulle strisce continue, due per le applicazioni sulle strisce tratteggiate.

Si è prevista la realizzazione di due Stop Bars in modo tale da avere a disposizione un totale di sei strisce, di cui quattro continue e due tratteggiate, al fine di poter testare tutte le miscele previste dal piano di prova.

- Segnaletica di centerline dei raccordi GW e GE:

oltre al tracciamento degli Holding Point, è stata prevista anche la realizzazione di tratti della centerline relativa ai due raccordi sopra menzionati e posizionati perpendicolarmente alla pista 35L-17R.

Il progetto iniziale prevedeva la realizzazione di stese speculari rispetto a quelle previste per la centerline della pista 35L-17R, al fine di realizzare un confronto incrociato tra identiche miscele differenti solo per colorazione della matrice legante.

A seguito però di successive osservazioni e constatazioni sulle disponibilità di tempo e materiale, è emersa la possibilità di tralasciare questa lavorazione in quanto le applicazioni previste per la centerline presentavano le stesse miscele impiegate nella realizzazione delle Stop Bars precedentemente menzionate.

Analogamente alle stese inizialmente previste per la centerline di pista, anche quelle appena citate avevano la finalità di permettere uno studio futuro sulla durabilità di diversi sistemi segnaletici sottoposti alla viabilità di un aeroporto fortemente trafficato come quello di Malpensa.

Benché le due centerline, progettate all’inizio del lavoro, non siano mai state eseguite durante lo studio di tesi, può risultare interessante accogliere le considerazioni qui riportate per dare origine a ricerche future nel campo della determinazione del ciclo di vita della segnaletica orizzontale.

- Segnaletica di centerline di taxiway nella zona Cargo Sud:

i motivi che hanno condotto all'individuazione della zona Cargo Sud come sede per l'esecuzione dei test sono i medesimi riportati in precedenza durante la descrizione della segnaletica orizzontale bianca prevista nel "Piazzale 800".

La pianificazione dei lavori ha previsto la realizzazione di circa 800 m di linea continua mediante l'impiego di due miscele ottenute tramite composti costituiti dalla medesima tipologia di pittura, ma caratterizzati da microsfere di vetro con differente indice di retroriflettenza.

L'utilità di tracciare tratti così estesi, 400 m per ciascuna delle due miscele, risiede nel fatto che in tale modo risulta possibile una valutazione della bontà e dell'omogeneità delle applicazioni eseguite.

Inoltre, analogamente alle considerazioni svolte in relazione alla segnaletica bianca realizzata nel medesimo contesto, la presenza delle torri faro può rappresentare l'opportunità di valutare se esistano sensibili differenze tra il grado di visibilità offerto da microsfere caratterizzate da IOR differenti, non solo in condizioni notturne, ma anche in situazioni caratterizzate da illuminazione diffusa prodotta dai fari delle torri.

Infine, si è reputato utile realizzare stese analoghe a quelle bianche già previste nella Zona Cargo, ma caratterizzate da una diversa colorazione, in modo da rendere più agevole un confronto rapido e diretto tra i valori del coefficiente di luminanza retroriflessa forniti da due miscele la cui unica differenza risiede nei pigmenti adottati.

In Figura 4.4. vengono individuate le zone scelte per le applicazioni segnaletiche di colore giallo.

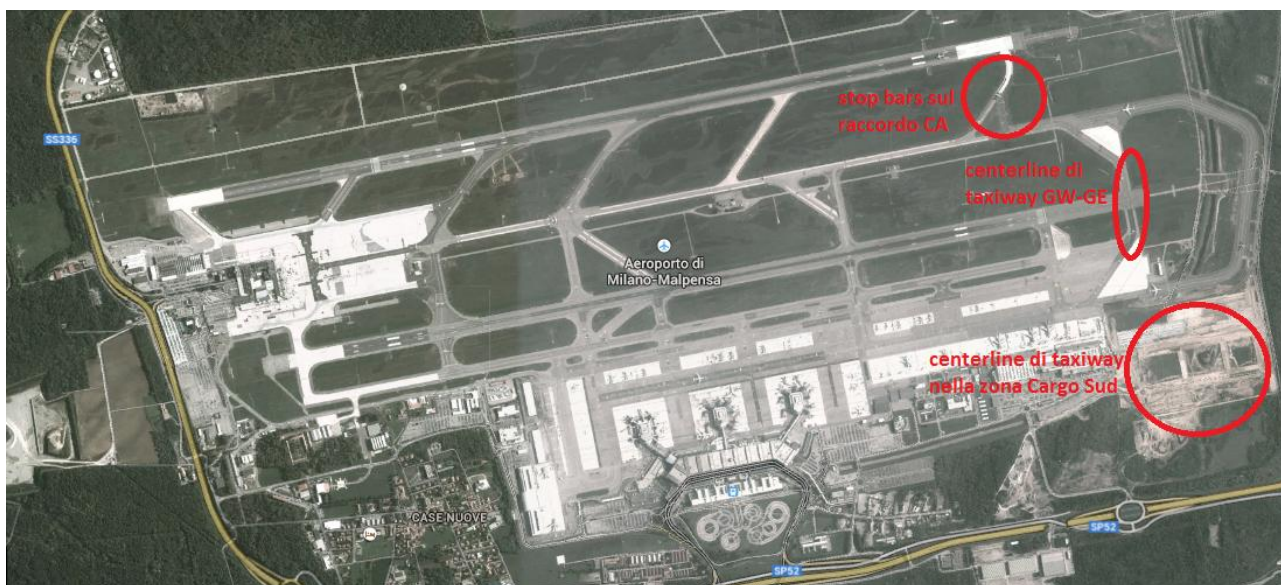


Figura 4.4: Siti di test per la segnaletica gialla.

4.2. Materiali utilizzati durante le prove

Nei successivi paragrafi si intende riportare una descrizione tecnica accurata dei materiali impiegati durante l'esecuzione delle stese previste dal piano di prova.

La trattazione sarà rivolta in particolar modo alle pitture ed alle tipologie di microsfere di vetro utilizzate, senza trascurare materiali complementari quali diluente e granuli antipattinamento.

Verranno riportati, nello specifico, tutti quei dati ritenuti utili al fine di identificare in maniera univoca i materiali adottati, permettendo quindi una completa riproducibilità delle prove eseguite. Al termine della suddetta descrizione relativa ai prodotti, saranno inoltre indicate le cosiddette "assembly", ovvero le miscele di pittura e microsfere di vetro costituenti i sistemi segnaletici pronti per la stesa.

Il principale produttore dei materiali impiegati è costituito dalla Potters Industries Inc, con la quale è stato possibile sviluppare un progetto di collaborazione per lo svolgimento del lavoro di tesi qui presentato.

I materiali sono stati pertanto recapitati presso l'aeroporto di Milano Malpensa a partire dalle sedi di produzione, le quali si trovano negli Stati Uniti d'America per quanto riguarda le microsfere di vetro ed in Francia per quanto concerne invece le pitture.

I prodotti attualmente impiegati nella realizzazione della segnaletica orizzontale sul sedime aeroportuale provengono dalla società Piero della Valentina & C. S.p.A., fornitrice delle pitture e dall'azienda Sovitech, produttrice degli elementi catadiottrici.

I test eseguiti hanno previsto l'utilizzo dei materiali provenienti da entrambe le aziende, al fine di svolgere un adeguato confronto tra i sistemi attualmente impiegati e quelli proposti dalla Potters Ind., con l'intenzione di determinare specifiche più accurate da inserire all'interno dei futuri capitolati.

Attualmente, in tali documenti, non è presente alcuna prescrizione relativa alla qualità delle microsfere ed al loro quantitativo atta a garantire buone proprietà di retroriflettenza e di aderenza, ma vengono indicati solamente i valori minimi richiesti di tali parametri, tratti dalla vigente normativa stradale.

Ci si propone pertanto di individuare la migliore combinazione di pittura e microsfere di vetro, in termini di qualità e quantità, volta ad ottenere caratteristiche prestazionali idonee all'ambito aeroportuale.

4.2.1. Materiali impiegati a Malpensa

Attualmente presso l'aeroporto di Milano Malpensa vengono impiegate pitture a solvente e microsfere di vetro stradali Type I, fornite da un'unica azienda, benché prodotte da società differenti, al fine di garantire una buona compatibilità tra i due prodotti. Questa caratteristica è stata a lungo sottovalutata, ma oggi se ne riconosce l'importanza per una corretta stesa dell'impianto segnaletico e per l'ottenimento di adeguati valori relativi ai parametri fondamentali caratterizzanti i segnali orizzontali.

L'aeroporto di Malpensa si avvale dell'operato dell'impresa Conselvana per quanto riguarda le realizzazioni di maggiore importanza, mentre impiega una squadra interna nel caso siano necessari piccoli interventi di emergenza.

Nel corso del qui presente lavoro di tesi è stato possibile collaborare con il Sig. Paolo Destro, titolare dell'impresa Conselvana, che si è incaricato dell'applicazione sia dei materiali normalmente impiegati sia dei prodotti consigliati dalla Potters Ind., secondo le indicazioni di un tecnico fornito dall'azienda stessa, il Sig. Gonçalo Grilo.

Di seguito si riportano le descrizioni relative ai materiali ad oggi utilizzati all'interno del sedime aeroportuale di Malpensa.

- Vernice a solvente bianca:

la vernice di colorazione bianca impiegata, prodotta dalla società Piero della Valentina & C. S.p.A., è una pittura spartitraffico a base di resine alchidiche e clorocaucciù, contenente il 14% in peso di biossido di titanio e microsferi di vetro premiscelate con un quantitativo inferiore al 30% in peso, come previsto per le pitture che necessitano di una fase di postspruzzatura.

In particolare le percentuali degli elementi che compongono la pittura vengono riportate in Tabella 4.1.

| COMPOSIZIONE | UNITA' DI MISURA | VALORI |
|----------------------|------------------|---------|
| Pigmento + extender | % in peso | 48 - 52 |
| Resine leganti | % in peso | 13 - 16 |
| Microsfere di vetro | % in peso | 15 - 18 |
| Solventi | % in peso | 20 - 24 |
| Biossido di titanio | % in peso | 14 - 15 |
| Residuo non volatile | % in peso | 76 - 80 |

Tabella 4.1: Composizione della pittura a solvente impiegata nella realizzazione della segnaletica orizzontale bianca.

Le microsferi di vetro premiscelate, conformi alle norme Europee UNI EN 1424, presentano un indice di rifrazione almeno pari ad 1,5 e la granulometria riportata in Tabella 4.2.

| GRANULOMETRIA DELLE MICROSFERE DI VETRO PREMISCELATE | UNITA' DI MISURA | VALORI |
|--|------------------|---------|
| Passante al setaccio 250 µm | % in peso | 100 |
| Passante al setaccio 106 µm | % in peso | 15 - 55 |
| Passante al setaccio 63 µm | % in peso | 0 - 10 |

Tabella 4.2: Granulometria delle microsferi premiscelate nella pittura a solvente.

Per una corretta applicazione il produttore consiglia la diluizione della vernice, prima dell'uso, con il 2-5% in peso del diluente standard fornito dalla medesima casa produttrice e la stesa a spruzzo in quantità pari a circa 0,750-0,800 kg/m².

Considerando condizioni standard caratterizzate da 25° C di temperatura e dal 60% di umidità relativa, il tempo di essiccazione previsto risulta pari a 30-35 minuti, in corrispondenza di un film umido pari a 400 µm di spessore. Chiaramente tale tempistica è

sufficiente unicamente alla formazione del film esterno, non consentendo invece la completa asciugatura della vernice, per la quale possono essere richieste alcune ore.

Ulteriori caratteristiche tecniche della vernice vengono riportate in Tabella 4.3.

| CARATTERISTICHE TECNICHE A 25°C E 60% DI UMIDITA' RELATIVA | UNITA' DI MISURA | VALORI |
|--|------------------|--------------|
| Densità | Kg/lit | 1,680 ± 0,02 |
| Viscosità | U.K. | 96 ± 4 |
| Tempo di essiccazione fuori impronta (calcolato con 400 µm di film umido) | Minuti | 30 - 35 |

Tabella 4.3: Densità, viscosità e tempo di essiccazione in condizioni standard della pittura a solvente.

- Vernice a solvente gialla:

analogamente alla vernice di colorazione bianca, anche quella gialla, prodotta sempre dalla società Piero della Valentina & C. S.p.A., risulta essere a base di resine alchidiche e clorocaucciù e presenta pigmenti resistenti alla luce e microsfele premiscelate, come riportato in Tabella 4.4.

| COMPOSIZIONE | UNITA' DI MISURA | VALORI |
|----------------------|------------------|---------|
| Pigmento + extender | % in peso | 36 - 40 |
| Resine leganti | % in peso | 12 - 14 |
| Microsfere di vetro | % in peso | 28 - 31 |
| Solventi | % in peso | 19 - 23 |
| Residuo non volatile | % in peso | 77 - 81 |

Tabella 4.4: Composizione della pittura a solvente impiegata nella realizzazione della segnaletica orizzontale gialla.

Le microsfele di vetro premiscelate presentano le medesime caratteristiche di quelle utilizzate per la pittura a solvente bianca, in termini di conformità alla norma Europea, valore minimo dell'indice di rifrazione e granulometria.

Inoltre il materiale presenta una completa congruenza per quanto riguarda le caratteristiche tecniche in condizioni ambientali standard (25° C di temperatura e 60% di umidità relativa) con quelle già riportate in Tabella 4.3 per quanto concerne la pittura bianca.

Infine anche nel caso della pittura a solvente gialla, il produttore consiglia l'impiego del 2-5% in peso di diluente standard e l'attesa di circa 30-35 minuti per l'essiccazione superficiale.

- **Diluente Standard:**

il diluente "STD", fornito dalla società Piero della Valentina & C. S.p.A., è composto da una miscela di idrocarburi aromatici, chetoni, esteri.

In particolare la specifica composizione chimica del diluente impiegato viene riportata in Tabella 4.5.

| COMPOSIZIONE | UNITA' DI MISURA | VALORI |
|----------------------|------------------|---------|
| Toluene | Conc. % | 44 - 48 |
| Acetone | Conc. % | 39 - 43 |
| 1,2 - Dicloropropano | Conc. % | 14 - 16 |

Tabella 4.5: Composizione chimica del diluente per vernici impiegato.

Si presenta allo stato liquido con colorazione trasparente e permette uno stoccaggio fino a 12 mesi purché conservato integro all'interno dei fustini in cui viene fornito e ad una temperatura compresa tra i 5° C ed i 30° C.

Viene indicato per la diluizione di tutte le vernici spartitraffico a solvente, avendo cura di realizzarla prima dell'applicazione con l'apposito macchinario, e per la pulizia delle macchine traccialinee.

- **Microsfere di vetro 300-600:**

le microsfere di vetro adottate attualmente nell'aeroporto di Milano Malpensa, prodotte dalla società Sovitec, benché ideate per l'ambito stradale, possono essere associate alle microsfere Type I della classificazione fornita dalla Federal Aviation Administration.

Esse risultano idonee all'applicazione in postspruzzatura per la formazione della segnaletica orizzontale, garantendo un indice di rifrazione non inferiore ad 1,5.

Prodotte a partire da vetro riciclato, presentano la composizione chimica riportata in Tabella 4.6.

| COMPOSIZIONE | UNITA' DI MISURA | VALORI |
|--------------------------------------|------------------|---------|
| SiO ₂ | % | 70 - 74 |
| CaO | % | 7 - 11 |
| MgO | % | 3 - 5 |
| Na ₂ O + K ₂ O | % | 13 - 15 |
| Al ₂ O ₃ | % | 0,5 - 2 |
| Fe ₂ O ₃ | % | ≤ 0,1 |
| TiO ₂ | % | ≤ 0,1 |

Tabella 4.6: Composizione chimica delle microsfere di vetro attualmente impiegate nell'aeroporto di Milano Malpensa.

Gli elementi catadiottrici qui trattati presentano almeno l'85% di elementi sferici e sono caratterizzate dalla specifica granulometria indicata in Tabella 4.7.

| GRANULOMETRIA DELLE MICROSFERE DI VETRO POSTSPRUZZATE | UNITA' DI MISURA | VALORI |
|--|------------------|----------|
| Trattenute al setaccio 630 µm | % in peso | 0 - 5 |
| Trattenute al setaccio 355 µm | % in peso | 79 - 80 |
| Trattenute al setaccio 255 µm | % in peso | 90 - 100 |

Tabella 4.7: Granulometria delle microsfere di vetro postspruzzate sulla pittura a solvente.

Al fine di garantire una più agevole stesa ed una migliore applicazione, le microsfere risultano lavorate mediante un trattamento superficiale di adesione che permette un miglior grado di ancoraggio tra l'elemento in vetro ed il film di pittura.

4.2.2. Materiali proposti dalla Potters Industries

La multinazionale Potters Industries, grazie alla collaborazione con l'Ing. Ines Scaldaferrì, si è incaricata della fornitura di pitture ad acqua, microsfere di vetro e granuli antiskid.

In particolare dalla Francia sono state spedite due differenti tipologie di pittura, Airfieldmark I TC e Airfieldmark III TC, appositamente studiate per essere combinate rispettivamente con microsfere Type I e microsfere Type III ed ICAO.

Entrambe le pitture fornite risultano in accordo con le prescrizioni riportate all'interno del documento TT-P-1952E emesso dalla FAA al fine di individuare le specifiche relative ai materiali segnaletici adottati in ambito aeroportuale [58].

Le microsfere di vetro, provenienti invece dagli U.S.A. e caratterizzate da tre differenti granulometrie, sono state fornite in un quantitativo complessivo pari a circa una tonnellata.

Nello specifico due tipologie di elementi catadiottrici recapitati a Malpensa risultano conformi al documento TT-B-1325D configurandosi rispettivamente come microsfere di vetro Type I e Type III [8]. Il terzo tipo di elementi di vetro presenta dimensioni e granulometria non previste dalla Federal Aviation Administration, bensì viene consigliato dall'ICAO come sistema idoneo a fornire maggiori valori di retroriflettenza in condizioni di bagnato, grazie all'elevato diametro che caratterizza le microsfere da cui è composto.

Come già accennato in precedenza, la Potters Ind. si è occupata della fornitura della sola pittura ad acqua, in quanto l'azienda ha da sempre preferito lo sviluppo di questa tipologia di vernice, sostenendo i suoi molteplici vantaggi. Le pitture ad acqua, secondo l'opinione dei tecnici Potters, presentano una composizione chimica meno dannosa per le pavimentazioni in conglomerato bituminoso e per la salute degli operatori, ma sono comunque in grado di garantire una maggiore adesione con il vetro di cui sono composte le microsfere. Inoltre, i recenti sviluppi della tecnologia di produzione hanno permesso di ridurre notevolmente i tempi di essiccazione, rendendo la pittura ad acqua una valida alternativa alla vernice a solvente.

Nel seguito vengono le specifiche tecniche dei materiali proposti dalla Potters Ind. ed impiegati durante le sperimentazioni presso l'aeroporto di Malpensa. Tuttavia, essendo per lo più prodotti innovativi non ancora ufficialmente introdotti sul mercato, alcune indicazioni, quali ad esempio la composizione chimica, non possono essere fornite dettagliatamente in quanto protette da segreto industriale.

- Vernice ad acqua bianca Type III:

la vernice bianca Type III adottata durante le prove risulta in conformità con le specifiche proposte dalla FAA sopra menzionate.

La composizione di tale prodotto viene in seguito riportata suddividendo le componenti tra pericolose e non pericolose per la salute umana, come riportato nelle Tabelle 4.8 e 4.9.

| NON-HAZARDOUS COMPONENTS | UNIT OF MEASURE | VALUES |
|--------------------------|-----------------|---------|
| Water | % in weight | 18 - 23 |
| Acrylic Polymer | % in weight | 15 - 20 |
| Soap Dispersion | % in weight | 1 - 2 |

Tabella 4.8: Componenti non pericolose della pittura ad acqua impiegata nella realizzazione della segnaletica orizzontale bianca.

| HAZARDOUS COMPONENTS | UNIT OF MEASURE | VALUES |
|----------------------------------|-----------------|---------|
| Oxygenated Hydrocarbon (Texanol) | % in weight | 1 - 3 |
| Methanol | % in weight | 1 - 3 |
| Titanium Dioxide | % in weight | 6 - 10 |
| Calcium Carbonate | % in weight | 48 - 53 |

Tabella 4.9: Componenti pericolose della pittura ad acqua impiegata nella realizzazione della segnaletica orizzontale bianca.

Inoltre l'azienda produttrice, all'interno della scheda di sicurezza allegata al prodotto, fornisce utili indicazioni relative alle proprietà fisiche e chimiche della pittura in oggetto. Tale caratteristiche vengono riportate in Tabella X.

- Vernice ad acqua gialla Type III:
- Microsfere di vetro Type I:
- Microsfere di vetro Type III:

le microsfere di vetro ad alto indice denominate Type III vengono prodotte dalla Flex-O-Lite, società facente parte del gruppo Potters, in due distinte qualità a seconda dell'impiego, stradale o aeroportuale.

In particolare la differenza principale consiste nella granulometria adottata che, nel caso del prodotto destinato agli aeroporti, risulta superiore presentando microsfere con diametro compreso tra i 300 μm e gli 850 μm , come mostrato in Tabella 4.10.

| SIZE [μm] | US PASSING | | EN 1423 (RETAINED) | |
|---------------------------|------------|---------|--------------------|---------|
| | min [%] | max [%] | min [%] | max [%] |
| 850 | 95 | 100 | 0 | 10 |
| 600 | 55 | 75 | 25 | 45 |
| 425 | 15 | 35 | 65 | 85 |
| 300 | 0 | 5 | 95 | 100 |

Tabella 4.10: Granulometria delle microsfere di vetro Type III postspruzzate su pittura sia all'acqua sia a solvente.

Tali elementi vengono specificatamente realizzati mediante vetro vergine al fine di garantire elevate performance, sia a breve sia a lungo termine, offrendo una maggiore percettibilità in condizioni notturne incrementando le distanze di visibilità.

Le microsfere prodotte dalla Flex-O-Lite seguono le specifiche e le raccomandazioni fornite dalla FAA e dall'ICAO, presentando le proprietà fisiche e chimiche indicate in Tabella X.

| PHYSICAL PROPERTIES | |
|--|---|
| Appearance: | The beads shall be transparent, free from bubbles and foreign matter. |
| Roundness: | The beads shall contain not less than 80% by weight of true spheres. |
| Index of refraction: | The index of refraction shall be 1.90 to 1.93. |
| Specific gravity: | The specific gravity shall be 4.00 to 4.50 g/cm ³ |
| CHEMICAL PROPERTIES | |
| Resistance to acid: | The beads shall not develop any surface haze or dulling. |
| Resistance to calcium chloride: | The beads shall not develop any surface haze or dulling. |
| Resistance to sodium sulphide: | The sodium sulphide solutions shall not darken the beads. |
| Water resistance: | The water shall not produce dulling or hazing of the beads. |

Tabella 4.11: Proprietà fisiche e chimiche delle microsfere Type III fornite dalla Potters Ind.

Inoltre le microsfere Type III vengono trattate con un rivestimento superficiale atto ad aumentare le proprietà di adesione tra gli elementi e le pitture in cui vengono inseriti, specialmente nel caso di vernice ad acqua.

Il produttore certifica infine che le microsfere di vetro non eccedono le seguenti concentrazioni di metalli pesanti:

- arsenico < 75 ppm;
- piombo < 100 ppm.

- Microsfere di vetro ICAO:

- Granuli antiderapanti:

gli aggregati antiskid vengono aggiunti alle microsfere al fine di incrementare i valori del parametro SRT misurato in corrispondenza del sistema segnaletico. Per ottenere questo risultato è necessario però che tali elementi presentino una granulometria caratterizzata da dimensioni più elevate rispetto a quelle delle microsfere a cui vengono miscelate, affinché il loro profilo possa sporgere.

I granuli utilizzati presentano in particolare la granulometria riportata in Tabella 4.12.

| SIZE [μm] | RETAINED | |
|---------------------------|----------|---------|
| | min [%] | max [%] |
| 1700 | 0 | 2 |
| 1400 | 0 | 10 |
| 1180 | 5 | 30 |
| 850 | 40 | 80 |
| 600 | 80 | 100 |
| 425 | 95 | 100 |
| 250 | 99 | 100 |

Tabella 4.12: Granulometria degli elementi antiderapanti.

Gli elementi sono prodotti con vetro a base di carbonato di sodio e ossido di calcio secondo le prescrizioni della EN 1423. La scelta di realizzare i granuli mediante materiale vetroso dipende dalla necessità di ridurre al minimo la diminuzione di retroriflettenza che essi apportano.

Generalmente una miscela antiskid viene realizzata con l'80% in peso di microsfere ed il 20% di granuli antiderapanti, avendo cura di impiegare elementi catadiottrici caratterizzati da una granulometria lievemente inferiore a quella degli aggregati.

4.3. Attrezzature utilizzate durante le prove

Durante il lavoro svolto, come già più volte richiamato, si è resa necessaria la raccolta di svariati parametri quali il coefficiente di luminanza retroriflessa R_L , sia in condizioni di asciutto sia in condizioni di bagnato, il coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa Q_d ed il coefficiente di resistenza al derapaggio SRT.

Per l'ottenimento di tali dati, sono state impiegate apposite attrezzature durante la fase di stesa della segnaletica orizzontale e specifici strumenti di misurazione dei parametri sopra elencati in un secondo tempo.

Prima di procedere con la descrizione delle modalità di prova, è bene offrire al lettore una breve panoramica di tutte le strumentazioni che si sono rese indispensabili per il conseguimento degli obiettivi prefissati.

4.3.1. Macchina traccialinee

Le macchine traccialinee sono dispositivi idonei alla realizzazione dei sistemi segnaletici e, come già illustrato nel paragrafo 2.1.3., si suddividono in sistemi pneumatici ed airless.

Talvolta inoltre può esservi integrata un'apposita strumentazione per la postspruzzatura degli elementi catadiottrici che costituiscono parte fondamentale di un segnale orizzontale.

Generalmente le macchine traccialinee vengono impiegate quando l'estensione del tratto di segnaletica da realizzare non è eccessiva; in caso contrario si preferisce, il più delle volte, adottare dei dispositivi dotati di più pistole sprezzatrici affiancate montati su appositi veicoli.

Nello specifico caso delle stese realizzate presso l'aeroporto di Milano Malpensa nel corso del presente lavoro di tesi, il macchinario utilizzato, prodotto dalla CMC, si configura tra i dispositivi a pressione, in quanto dotato di un compressore bicilindrico bistadio, con le caratteristiche riportate in Tabella 4.13. Il modello utilizzato, mostrato in Figura 4.5, è denominato L90ITP e risulta adatto all'applicazione di vernici monocomponente rifrangenti o non rifrangenti.



Figura 4.5: Macchina traccialinee CMC L90ITP.

Le specifiche tecniche di tale strumentazione vengono riportate in Tabella 4.13.

| SPECIFICHE TECNICHE | |
|--|---|
| Motore a benzina | Potenza: 14 HP |
| | Avviamento a strappo autoavvolgente |
| | Puleggia centrifuga |
| Serbatoio vernice sotto pressione | Capacità: 90 l |
| | Dotato di miscelatore manuale |
| | Materiale: acciaio inox |
| Compressore Bicilindrico Bistadio | Portata: 653 l/min |
| | Dotato di valvola limitatrice di pressione |
| Dimensioni (LxPxH) | 185x75x95 cm |
| Peso a vuoto | 345 kg |
| Normative | 2006/42/CE (Direttiva Macchine) |
| | 97/23/CE (Direttiva Attrezzatura a Pressione) |
| | ISO 11202/97 (Rilevamento Rumore) |
| | ISO 3744/97 (Rilevamento Rumore) |
| | ISO 5349-2/01 (Rilevamento Vibrazioni) |

Tabella 4.13: Specifiche tecniche della macchina traccialinee CMC LP90ITP.

In particolare il macchinario adottato risulta dotato dell'apposito kit spargi-microsfere che lo rende idoneo anche all'applicazione di microsfere postspruzzate. Tale kit si compone fondamentalmente di tre strumentazioni differenti:

- serbatoio delle microsfere di vetro sotto pressione con capacità pari a 20 l;
- pistola automatica per le microsfere di vetro con diffusore regolabile;
- regolatore di ritardo chiusura della pistola delle microsfere di vetro.

Inoltre il modello impiegato è dotato di un faro rotante, atto a garantire una maggiore visibilità dell'operatore durante le lavorazioni, e un carrello porta-operatore sul quale è possibile stazionare in piedi.

Infine la macchina risulta dotata di tutti i dispositivi di sicurezza previsti dalle relative normative vigenti elencate in Tabella 4.13

4.3.2. Retroriflettometro

Il coefficiente di luminanza retroriflessa R_L , come già più volte richiamato, deve essere rilevato sulla segnaletica orizzontale in condizioni di visibilità notturna, ovvero in una situazione analoga a quella che l'utente osserva con l'ausilio dell'illuminazione artificiale fornita dai proiettori del proprio veicolo.

La strumentazione utilizzata al fine di misurare la parte di luce retroriflessa, ovvero rinvia nella direzione del guidatore grazie alla presenza dei dispositivi catadiottrici componenti il segnale orizzontale, si avvale di una geometria tipicamente stradale, come descritto in dettaglio nel paragrafo 2.3.5.2.

Come già in precedenza sottolineato, tale geometria non risulta aderente alla realtà aeroportuale, principalmente a causa della elevata distanza tra il faro e l'occhio del pilota e le maggiori distanze di visibilità richieste al fine di effettuare le operazioni di transito in sicurezza. Tuttavia, non essendo ancora presenti sul mercato dispositivi idonei a simulare correttamente la geometria dell'ambito aeroportuale, è risultato necessario ricorrere al retroriflettometro di impiego stradale. L'attuale impossibilità di realizzare anche solo un prototipo che consenta di effettuare misurazioni più adeguate al contesto aeroportuale è stata confermata dalle due maggiori aziende produttrici in ambito europeo: Delta e Zehntner.

Il dispositivo utilizzato per le misure è stato prodotto dalla società Zehntner, in ottemperanza alle normative vigenti, ed è in grado di misurare simultaneamente i valori dei parametri R_L e Q_d .



Figura 4.6: Retroriflettometro Zehntner ZRM 6013.

In particolare il modello ZRM 6013, mostrato in Figura 4.6, è un dispositivo portatile di dimensioni e peso contenuti, idoneo all'esecuzione di numerose prove in tempi ridotti.

Si riportano nel seguito, in Tabella 4.14 le proprietà e le specifiche tecniche dello strumento, fornite all'interno del manuale operativo.

| SPECIFICHE TECNICHE | |
|------------------------------|--|
| Geometria di misura R_L | Angolo di illuminazione: 1,24° |
| | Angolo di osservazione: 2,29° |
| Geometria di misura Q_d | Illuminazione: luce diffusa |
| | Angolo di osservazione: 2,29° |
| Distanza simulata | 30 m |
| Area di misura | 52x218 mm |
| Campo di misura | R_L : 0-20000 mcd/lux/m ² |
| | Q_d : 0-318 mcd/lux/m ² |
| Temperatura di funzionamento | -10 °C / +50 °C |
| Temperatura di stoccaggio | -15 °C / +60 °C |
| Umidità | Nessuna condensa |
| Dimensioni (LxPxH) | 560x190x280 mm |
| Peso | 6,6 kg |
| | 17 kg con valigia |
| Normative | EN 1436 (per R_L e Q_d) |
| | ASTM E1710 (per R_L) |
| | ASTM E2303 (per Q_d) |
| | ASTM E2177 (per R_L bagnato) |

Tabella 4.14: Specifiche tecniche del retroriflettometro Zehntner ZRM 6013.

4.3.3. British Pendulum Skid Resistance Tester

Come descritto nel paragrafo 2.3.5.3. la normativa aeroportuale prevede l'utilizzo di appositi macchinari per la misurazione in continuo del grado di resistenza al derapaggio offerto dalla superficie della pavimentazione. L'aeroporto di Malpensa utilizza normalmente macchinari ASFT (Airport Surface Friction Tester), in grado di effettuare le misurazioni richieste ad una velocità pari a 96 km/h. Data la limitata estensione di tutte le applicazioni eseguite, sarebbe risultato inopportuno impiegare tale veicolo di test per valutare i valori di aderenza forniti dalla pavimentazione in corrispondenza delle zone di stesa della segnaletica. Pertanto la scelta dello strumento di misura è ricaduta sul British Pendulum Skid Resistance Tester, benché quest'ultimo venga generalmente adottato in ambito stradale.

L'apparecchio, progettato e adottato dal Transportation Research Laboratory, è un macchinario portatile da campo in grado di eseguire determinazioni puntuali di attrito in termini di unità convenzionali, definite unità SRT.

Esso, come si evince dalla Figura 4.7, è un dispositivo costituito essenzialmente da un braccio oscillante e da un supporto per un pattino di gomma naturale o sintetica, avente caratteristiche prefissate.

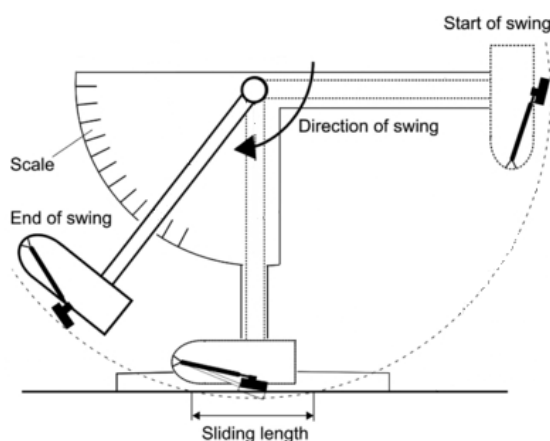


Figura 4.7: British Pendulum Skid Resistance Tester.

La resistenza allo slittamento, opposta dalla superficie di test, è correlata all'altezza raggiunta dal dispositivo oscillante al termine della sua corsa. Tanto più bassa risulterà la quota raggiunta dal braccio oscillante, tanto maggiore sarà l'energia cinetica dissipata nel contatto dinamico tra i due materiali eterogenei, in cui il pattino simula lo slittamento della ruota bloccata del veicolo su una superficie, in condizioni di bagnato, alla velocità di 50 km/h. La misurazione viene effettuata mediante la lettura del valore indicato da un ago posizionato in corrispondenza di una scala di riferimento recante numeri convenzionali, indicanti le unità di resistenza allo slittamento (SRT), da 0 a 150, con un intervallo di 5 punti affinché l'unità possa essere apprezzata visivamente.

La temperatura ambientale e quella della pavimentazione modificano la prestazione standard del cursore: all'aumentare della temperatura diminuisce la resistenza all'attrito. Sotto i 5 °C e sopra i 40 °C, considerate temperature estreme, è sconsigliata l'esecuzione delle misure, mentre per temperature comprese tra questi due valori sono previste correzioni per le unità SRT in base alla temperatura misurata sulla pavimentazione, in un punto limitrofo all'area di prova. La suddetta correzione viene effettuata mediante l'impiego del Grafico 4.1, fornito dalla normativa UNI EN 1436 [19].

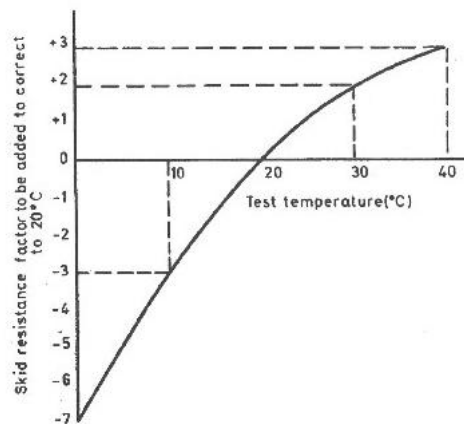


Grafico 4.1: Diagramma di correzione del parametro SRT in funzione della temperatura della pavimentazione.

Durante l'esecuzione dei test in sito è stato impiegato lo strumento Controls 48-B0190, fornito dal Politecnico di Milano e mostrato in Figura 4.8.

Lo strumento utilizzato presenta un indicatore ed un meccanismo di sgancio realizzati in modo tale da garantire una drastica riduzione di qualsiasi attrito, ottenendo quindi una precisione estremamente elevata nelle misurazioni. La struttura a doppia colonna assicura la solidità e la rigidità dello strumento, permettendo quindi un corretto posizionamento del pendolo rispetto alla superficie di prova e quindi un'esecuzione ottimale delle misure.



Figura 4.8: British Pendulum Skid Resistance Tester Controls 48-B0190.

La massa del pendolo, compreso il pattino ed il relativo supporto, risulta pari a 1500 ± 30 g, mentre il carico medio verticale trasmesso dal pattino alla superficie di prova viene mantenuto

pari a 2500 ± 100 g grazie ad un dispositivo a molla ed a leva inserito all'interno del braccio del pendolo.

Il pattino è costituito da una piastra in alluminio sulla quale è fissato un elemento rettangolare (25,4x76,2x6,3 mm) in gomma naturale o sintetica, conforme alle prescrizioni previste dalla norma di riferimento.

Il pattino deve essere cambiato qualora il consumo della gomma raggiunga valori limite pari a 3 mm per quanto riguarda la direzione trasversale e 1,5 per quella longitudinale. Tuttavia, qualora si utilizzasse un pattino nuovo, sarà necessario consumare leggermente lo spigolo vivo della gomma al fine di ricreare le condizioni medie di utilizzo, evitando pertanto di ottenere risultati non indicativi.

Lo strumento viene calibrato in fabbrica da Controls conformemente alla norma EN 1097-8 e secondo la procedura di calibratura specificata dalla EN ISO 9001.

4.3.4. Termometro laser a infrarossi

Come specificato nel precedente paragrafo, le misure di aderenza, eseguite in un ambiente con temperatura compresa tra i 5 °C ed i 40 °C, devono essere corrette mediante opportuni coefficienti determinati graficamente a partire dalla temperatura della pavimentazione in prossimità della zona di test.

Per valutare tale parametro è stato utilizzato un termometro laser a infrarossi, il cui funzionamento prevede di rilevare la temperatura senza contatto, in quanto permette di captare l'energia infrarossa liberata da una fonte di calore e di misurarla in gradi Celsius.

In particolare lo strumento utilizzato, fornito dal Politecnico di Milano, è uno Smart Sensor AR882, mostrato in Figura 4.9.



Figura 4.9: Termometro laser Smart Sensor AR882.

In Tabella 4.15 si riportano le caratteristiche generali e le specifiche tecniche dello strumento adottato per misurare la temperatura della pavimentazione bagnata, nei pressi dell'area investigata mediante British Pendulum Skid Resistance Test.

| SPECIFICHE TECNICHE | |
|-----------------------------|------------------|
| Range di temperature | -50 °C / 1500 °C |
| Precisione | ± 2 % |
| Ripetibilità | ± 1 % |
| Tempo di risposta | 500 ms |
| Lunghezza d'onda | 8-14 μm |
| Peso | 480 g |
| Dimensioni (LxPxH) | 155x59x200 mm |

Tabella 4.15: Specifiche tecniche del termometro laser Smart Sensor AR882.

4.3.5. Strumentazione per la prova di altezza in sabbia

Per determinare la profondità media della macrotestitura di una superficie pavimentata è possibile adottare un metodo volumetrico comunemente denominato metodo dell'altezza in sabbia.

Il kit che permette di effettuare tale prova si compone essenzialmente di un certo quantitativo di sabbia dalle caratteristiche standardizzate e note e da una serie di strumentazioni accessorie che permettono lo svolgimento del test in modo adeguato.

In particolare la sabbia utilizzata, asciutta e vagliata, presenta una composizione silicea naturale e una granulometria compresa tra 0,160 mm e 0,315 mm.

La strumentazione per la corretta stesa e misurazione viene rappresentata in Figura 4.10.



Figura 4.10: Strumentazione per l'effettuazione della prova di altezza in sabbia.

La strumentazione adottata nello specifico si compone di:

- un disco rigido metallico, con dimensioni e caratteristiche normalizzate, utilizzato per raccogliere i granuli di sabbia;
- un contenitore cilindrico, di volume standardizzato, impiegato per determinare il corretto quantitativo di sabbia da distribuire sulla pavimentazione;
- uno strumento idoneo alla distribuzione secondo una forma circolare del volume di sabbia versato;
- un metro per determinare i diametri dell'impronta di sabbia;
- una spazzola ed una paletta per rimuovere la sabbia dalla pavimentazione al termine della prova;
- due contenitori, uno per la sabbia non ancora utilizzata ed uno per raccogliere la sabbia recuperata al termine del test che deve essere vagliata prima di poter essere riutilizzata.

Inoltre il kit comprende un libretto di istruzioni nel quale compare la formula adottata per la determinazione, noto il volume di sabbia impiegato e il diametro medio dell'impronta realizzata, l'altezza media della sabbia, ovvero l'altezza media della rugosità della pavimentazione.

$$HS = \frac{V}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

Dove:

HS rappresenta il valore di altezza in sabbia espresso in mm;

V costituisce il volume noto di sabbia impiegato espresso in mm^3 ;

D rappresenta il diametro medio dell'impronta di sabbia espresso in mm.

4.4. Metodologia sperimentale

Al fine di garantire la ripetibilità delle prove eseguite nel corso del presente lavoro di tesi, si ritiene opportuno riportare in maniera dettagliata, nei seguenti paragrafi, la metodologia di prova adottata, sia per quanto riguarda le fasi preliminari sia per quanto riguarda le successive misurazioni.

In particolare verrà affrontato il discorso del settaggio dei macchinari di stesa della segnaletica orizzontale, soffermandosi non solo sulle considerazioni conclusive di tale fase, ma anche riportando i vari tentativi effettuati.

Successivamente sarà richiamata la procedura adottata per una corretta stesa dei materiali impiegati, sottolineando anche i controlli eseguiti per verificare la bontà dell'applicazione.

Infine verrà descritta la fase di raccolta dei dati, riportandone non solo le modalità di esecuzione ma anche la frequenza spaziale con cui sono state eseguite le misurazioni previste.

Tutte le fasi qui elencate sono state svolte in collaborazione con differenti professionalità, coinvolgendo personale appartenente a diversi ambiti. Il lavoro ha infatti interessato rappresentanti dell'ente gestore dell'aeroporto (SEA), dell'impresa responsabile dell'applicazione della segnaletica orizzontale presso l'aeroporto di Malpensa (società Conselvana), della società produttrice dei materiali segnaletici proposti (Potters Industries) e del Politecnico di Milano.

4.4.1. Settaggio dei macchinari di stesa

La corretta calibrazione dei macchinari necessari all'effettuazione della stesa dei segnali orizzontali costituisce la necessaria base per l'ottenimento di prove in grado di fornire risultati attendibili.

L'operazione di settaggio delle attrezzature adibite alla realizzazione della segnaletica orizzontale è stata svolta durante il pomeriggio appena precedente alla prima notte designata per l'esecuzione della stesa, affinché vi fosse tempo sufficiente per la preparazione di tutte le strumentazioni.

Si è preferito eseguire tale fase durante le ore diurne al fine non solo di favorire un più semplice apprestamento dei macchinari secondo la configurazione ritenuta più opportuna, ma anche per facilitare l'esecuzione dei test atti a verificare la corretta procedura di settaggio.

L'operazione di preparazione delle attrezzature consta essenzialmente di quattro fasi:

- determinazione del corretto posizionamento delle pistole d'applicazione sia della vernice sia delle microsfere di vetro:

considerando la vasta esperienza conseguita dall'impresa Conselvana nell'applicazione di sistemi segnaletici a base di pittura a solvente, l'operazione di calibrazione dei macchinari ha interessato prevalentemente la stesa delle pitture ad acqua proposte dalla Potters Industries.

Le vernici a base d'acqua formano rapidamente un film superficiale che impedisce una corretta penetrazione delle microsfere di vetro, rendendo quindi necessario orientare l'ugello per il getto di tali elementi in modo tale che essi cadano sulla pittura appena applicata e pertanto ancora fresca.



Figura 4.11: Definizione del corretto posizionamento delle pistole di stesa.

Inoltre il corretto posizionamento delle pistole è stato individuato in modo tale da ottenere un'altezza che garantisca un'ampiezza dell'applicazione opportuna all'esecuzione della segnaletica orizzontale prevista (Figura 4.11).

In particolare sono state determinate due differenti altezze della strumentazione, tali rispettivamente da permettere la realizzazione di una larghezza di stesa pari a 25 cm, ottimale per la segnaletica bianca prevista nella zona Cargo Sud, e pari a 15 cm, adeguata

invece alla realizzazione della segnaletica gialla appartenente alla zona Cargo Sud. Per quanto riguarda le zone di segnaletica più ampia, quali i fazzoletti di TDZ, non è stato previsto l'utilizzo di pistole aggiuntive, bensì l'esecuzione di più passate affiancate.

- determinazione della velocità da impartire al macchinario al fine di ottenere il giusto quantitativo di vernice:

secondo le indicazioni dei tecnici della Potters, il corretto quantitativo di vernice da applicare risulta pari al 25% in più rispetto al minimo raccomandato dalle prescrizioni della Federal Aviation Administration, al fine di garantire un ottimale grado di affondamento delle microsfere di vetro impiegate. I quantitativi individuati dalla Potters Ind. vengono riportati in Tabella 4.16, distinti in base alla tipologia di microsfera alla quale la pittura viene combinata.

| MARKING SYSTEM | SPECIFICATION | APPLICATION RATES | |
|--|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| | | Federal Aviation Administration | Potters Recommendation (FAA + 25%) |
| STANDARD VISIBILITY SYSTEM | | | |
| Glass Beads 1,5 IOR | TT-B-1325D Type I | 600 g/m ² | 750 g/m ² |
| Waterborne Paint | TT-P-1952E Type I | | |
| HIGH VISIBILITY SYSTEM | | | |
| Glass Beads 1,9 IOR | TT-B-1325D Type III | 600 g/m ² | 750 g/m ² |
| Waterborne Paint | TT-P-1952E Type III | | |
| HIGH VISIBILITY SYSTEM ON WET SURFACE | | | |
| Glass Beads 1,9 IOR | ICAO Wet Weather | 760 g/m ² | 950 g/m ² |
| Waterborne Paint | TT-P-1952E Type III | | |

Tabella 4.16: Quantitativi di pittura consigliati dalla Potters Industries, in funzione del tipo di microsfera adottata.

La corretta procedura di taratura del macchinario di stesa, al fine di ottenere il quantitativo di pittura individuato, consiste nella variazione della velocità di avanzamento della macchina, mantenendo invece costante la pressione di erogazione del materiale. Tale accorgimento risulta necessario in quanto andando ad agire sulla pressione si otterrebbe una variazione dell'ampiezza del getto.

Il settaggio è stato condotto tramite una serie di tentativi, differenziati in base alla velocità di applicazione. Le stese sono state effettuate avendo l'accortezza di transitare sopra a degli appositi cartoncini, di peso noto, disposti sulla pavimentazione, come mostrato in Figura 4.12.



Figura 4.12: Fase di stesa della vernice su un cartoncino di peso noto.

In una fase successiva il cartoncino è stato rimosso dalla pavimentazione e pesato, al fine di determinare l'effettivo quantitativo di pittura stesa per unità di superficie secondo quanto mostrato in Figura 4.13.



Figura 4.13: Determinazione del peso della pittura applicata sul cartoncino di peso noto.

La prova è stata condotta ripetutamente, aumentando gradualmente la velocità, al fine di ottenere l'erogazione di materiale desiderata. Uno dei problemi riscontrati durante questa fase deriva dal fatto che sul campo risulta impossibile ottenere l'esatto dosaggio di vernice

prescritto in via teorica, a causa di fattori esterni relativi all'ambiente di applicazione ed ai macchinari impiegati, differenti da quelli presenti in laboratorio.

Un'ulteriore difficoltà che si è verificata, e di cui è stato necessario tenere conto, consiste nella riduzione del getto di vernice provocata dall'incrostazione della pistola, dovuta alle frequenti interruzioni tra due stese successive.

Tenendo in debita considerazione queste due problematiche, al termine dei vari tentativi, è stata determinata la velocità idonea all'ottenimento di un quantitativo di vernice prossimo a quello individuato, e pari a circa 700 g/m^2 .

Tale valore è stato adottato per tutte le tre tipologie di microsfere in quanto nelle fasi successive è stato verificato che esso garantisce in tutti i casi un ottimale inglobamento degli elementi catadiottrici nelle vernici ad acqua. Per quanto riguarda invece le pitture a solvente, si è fatto riferimento alla consolidata esperienza dell'impresa Conselvana la quale adotta generalmente un quantitativo di materiale pari a 600 g/m^2 .

I due dosaggi, per pitture ad acqua e per quelle a solvente, assicurano il giusto grado di affondamento delle diverse tipologie di microsfere impiegate e, presentando valori sufficientemente prossimi tra loro, permettono l'effettuazione di un confronto diretto tra i risultati ottenuti dalle due applicazioni.

Benché i valori riportati in Tabella 4.16 possano apparire significativamente discordanti da quanto ottenuto durante la fase di taratura, il tecnico della Potters Ind. presente nel corso di tali operazioni ha assicurato che il quantitativo di vernice determinato in sito risulta adeguato all'ottenimento di un buon sistema segnaletico, tenendo conto dell'impossibilità di ottenere la perfetta congruenza tra i valori di laboratorio e quelli in situ.

- determinazione della corretta pressione da impartire al macchinario al fine di ottenere il giusto quantitativo di microsfere di vetro:

mantenendo la velocità di avanzamento del macchinario individuata nella fase precedente per l'erogazione del corretto quantitativo di pittura, sono stati effettuati differenti tentativi, variando la pressione di emissione delle microsfere di vetro, al fine di ottenere quella opportuna per una buona applicazione del materiale.

I quantitativi per unità di superficie di microsfere di vetro consigliati dalla Potters Ind., come nel caso della pittura, consistono in un incremento del 25% rispetto ai quantitativi

minimi imposti dalla Federal Aviation Administration. I valori specifici sono riportati in Tabella 4.17.

| MARKING SYSTEM | SPECIFICATION | APPLICATION RATES | |
|--|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| | | Federal Aviation Administration | Potters Recommendation (FAA + 25%) |
| STANDARD VISIBILITY SYSTEM | | | |
| Glass Beads 1,5 IOR | TT-B-1325D Type I | 315 g/m ² | 400 g/m ² |
| Waterborne Paint | TT-P-1952E Type I | | |
| HIGH VISIBILITY SYSTEM | | | |
| Glass Beads 1,9 IOR | TT-B-1325D Type III | 445 g/m ² | 560 g/m ² |
| Waterborne Paint | TT-P-1952E Type III | | |
| HIGH VISIBILITY SYSTEM ON WET SURFACE | | | |
| Glass Beads 1,9 IOR | ICAO Wet Weather | 570 g/m ² | 710 g/m ² |
| Waterborne Paint | TT-P-1952E Type III | | |

Tabella 4.17: Quantitativi di microsfere consigliati dalla Potters Industries, in funzione della tipologia adottata.

Per quanto riguarda le microsfere Type I impiegate congiuntamente alla pittura a solvente, poiché rappresentano il normale sistema segnaletico correntemente utilizzato a Malpensa, è stato impiegato il dosaggio adottato dall'impresa Conselvana, pari a 600 g/m².

Per la misurazione del quantitativo di microsfere erogate dal macchinario è stato disposto un sacchetto in corrispondenza dell'ugello di spargimento, come mostrato in Figura 4.14, nel quale sono state raccolte le microsfere spruzzate nel corso di stese di lunghezza 4 m e larghezza 25 cm, al fine di ottenere una superficie di misurazione pari ad 1 m².



Figura 4.14: Posizionamento del sacchetto di raccolta delle microsfere erogate su 1 m² di superficie.

Analogamente a quanto effettuato per la pittura, si è proceduto poi con la pesatura delle microsfere emesse dal macchinario durante la stesa, noto il peso del sacchetto impiegato, come mostrato in Figura 4.1.



Figura 4.15: Determinazione del quantitativo di microsfere erogate su 1 m² di superficie.

Si riportano in seguito, in forma tabellare, i vari tentativi eseguiti, evidenziando i valori finali relativi ai quantitativi per unità di superficie ed alle pressioni ottenuti, a partire dalla microsfere Type I destinate ad essere miscelate con pittura ad acqua (Tabella 4.18).

| TYPE I - PITTURA ACQUA | | |
|------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Tentativo Numero | Pressione [bar] | Quantitativo [g/m ²] |
| 1 | 1,5 | ~ 300 |
| 2 | 2 | ~ 400 |
| 3 | 3 | ~ 600 |

Tabella 4.18: Pressione e quantitativo delle microsfere Type I associate alla pittura ad acqua.

Per le microsfere Type III, previste per l'applicazione ad acqua, è stata testata direttamente una pressione pari a 3 bar (Tabella 4.19), in quanto in corrispondenza di tale valore è stato ottenuto il giusto quantitativo di microsfere Type I. Tale considerazione è giustificata dal fatto che le due tipologie di microsfere presentino granulometrie affini.

| TYPE III - PITTURA ACQUA | | |
|--------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Tentativo Numero | Pressione [bar] | Quantitativo [g/m ²] |
| 1 | 3 | ~ 600 |

Tabella 4.19: Pressione e quantitativo delle microsfere Type III associate alla pittura ad acqua.

Per quanto riguarda infine le microsfere denominate ICAO, da applicare congiuntamente alla pittura ad acqua, sono stati effettuati numerosi tentativi, come mostrato in Tabella 4.20.

| ICAO - PITTURA ACQUA | | |
|----------------------|-----------------|----------------------------------|
| Tentativo Numero | Pressione [bar] | Quantitativo [g/m ²] |
| 1 | 1,5 | ~ 350 |
| 2 | 3 | ~ 400 |
| 3 | 4 | ~ 500 |
| 4 | 4,8 | ~ 500 |

Tabella 4.20: Pressione e quantitativo delle microsfere ICAO associate alla pittura ad acqua.

Come si nota chiaramente non è stato possibile ottenere il quantitativo desiderato di microsfere nemmeno in corrispondenza di pressioni molto elevate. L'ulteriore aumento di pressione avrebbe comportato la dispersione degli elementi di vetro, i quali sarebbero rimbalzati sulla pavimentazione non permettendo un corretto inglobamento nella pittura. Pertanto è stata utilizzata la pistola presente sul macchinario di stesa utilizzato per le pitture a solvente, la quale presentava un ugello di con apertura di dimensioni maggiori che ha permesso di ottenere un quantitativo di microsfere pari a circa 750 g/m² mediante una pressione di 1 bar.

Il quantitativo di microsfere ICAO previsto risulta maggiore in termini di peso, a causa dell'elevato peso specifico che le caratterizza del vetro che le compone, ma tale da ottenere una minore densità superficiale sul segnale orizzontale.

Per quanto riguarda le microsfere da postspruzzare sulla vernice a solvente, l'operazione di taratura dei macchinari è stata più rapida in quanto ci si è avvalsi dell'esperienza maturata dal Sig. Destro nella stesa della miscela utilizzata a Malpensa (microsfere Type I e pittura a solvente), mentre per le altre tipologie di materiale sono state effettuate analogie con quanto sperimentato durante le precedenti applicazioni.

Si riportano nel seguito in forma tabellare i tentativi relativi alle microsfere Type I che sono stati effettuati durante la fase di settaggio del macchinario impiegato per la stesa della pittura a solvente (Tabella 4.21).

| TYPE I - PITTURA SOLVENTE | | |
|---------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Tentativo Numero | Pressione [bar] | Quantitativo [g/m ²] |
| 1 | 1,8 | ~ 800 |
| 2 | 1 | ~ 600 |

Tabella 4.21: Pressione e quantitativo delle microsfere Type I associate alla pittura a solvente.

Si sottolinea che la notevole differenza del valore di pressione in corrispondenza del quale si ottiene un quantitativo di microsfere pari a circa 600 g/m² riscontrata durante le prove effettuate per gli elementi catodiottrici Type I, destinati rispettivamente alle due tipologie di pitture, è riconducibile alla diversità dei due macchinari di stesa impiegati.

Analogamente a quanto effettuato per le microsfere Type III associate alla pittura ad acqua, anche in questo caso, grazie ad un'affinità di granulometria, è possibile adottare la medesima pressione individuata per le microsfere Type I nell'applicazione delle Type III (Tabella 4.22).

| TYPE III - PITTURA SOLVENTE | | |
|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Tentativo Numero | Pressione [bar] | Quantitativo [g/m ²] |
| 1 | 1 | ~ 600 |

Tabella 4.22: Pressione e quantitativo delle microsfere Type III associate alla pittura a solvente.

Nella stesa invece delle microsfere ICAO è stato verificato che adottando la medesima pressione individuata durante il settaggio del macchinario per l'applicazione della pittura ad acqua, provvisto della pistola con l'ugello più ampio, si ottiene un quantitativo di microsfere identico a quello precedentemente individuato (Tabella 4.23).

| ICAO - PITTURA SOLVENTE | | |
|-------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Tentativo Numero | Pressione [bar] | Quantitativo [g/m ²] |
| 1 | 1,5 | ~ 750 |

Tabella 4.23: Pressione e quantitativo delle microsfere ICAO associate alla pittura a solvente.

Si sottolinea che la differenza riscontrabile tra i quantitativi di microsfere ipotizzata e proposti dai tecnici Potters Ind. e quelli effettivamente impiegati sul campo sono dovute essenzialmente alla necessità di impiegare in sito una maggiore quantità di microsfere, per compensare la parziale dispersione degli elementi che tendono a rimbalzare esternamente alla segnaletica.

Da ultimo è stata settata la pressione ottimale per l'applicazione della miscela di microsfere Type III e granuli antiskid presenti rispettivamente in percentuali pari a 80% e 20% in peso. Si riportano in Tabella 4.24 i due tentativi effettuati, considerando che tale miscela venga postspruzzata su pittura ad acqua.

| MISCELA ANTISKID - PITTURA ACQUA | | |
|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Tentativo Numero | Pressione [bar] | Quantitativo [g/m ²] |
| 1 | 3 | ~ 1500 |
| 2 | 1 | ~ 600 |

Tabella 4.24: Pressione e quantitativo delle microsfere Type III e dei granuli antiskid associati alla pittura ad acqua.

- controllo sulla stesa risultante dall'applicazione di pittura e microsfere di vetro tramite l'ausilio di metodi di indagine visiva:

dopo aver tarato i macchinari separatamente per quanto riguarda l'erogazione della pittura e delle microsfere di vetro, è necessario effettuare un controllo sul sistema segnaletico nella sua interezza, considerando quindi la combinazione di velocità e pressione di applicazione individuate nelle fasi precedenti.

Al fine di svolgere tale indagine ci si è avvalsi della professionalità del tecnico fornito dalla Potters Ind., il quale, mediante l'impiego di una apposita lente di ingrandimento, ha verificato il grado di affondamento delle microsfere ottenuto.

Nel seguito sono riportati gli ingrandimenti delle differenti tipologie di microsfere per le quali è stato realizzato il settaggio, inglobate all'interno della vernice.

In particolare in Figura 4.16 sono mostrate le microsfere Type I e Type III, poste una a fianco dell'altra in modo da poter apprezzare l'affinità di granulometria e di densità superficiale.

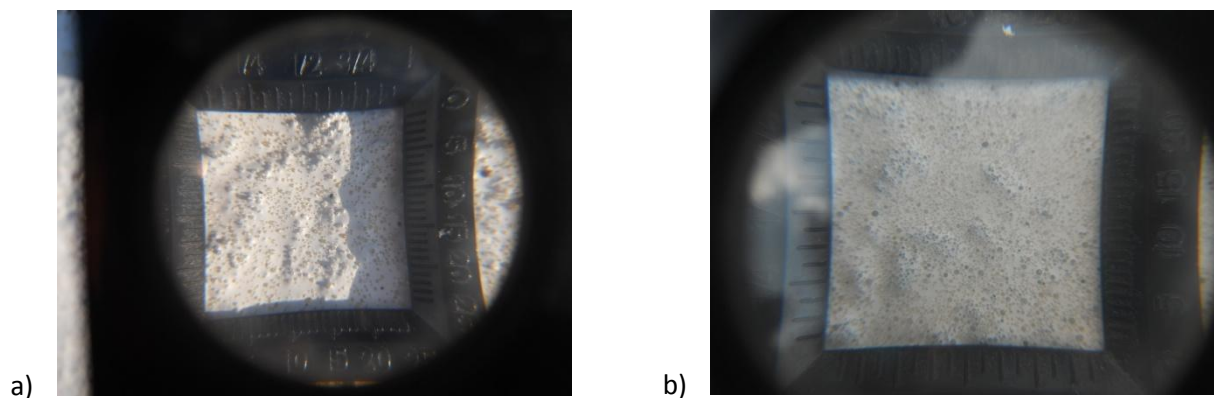


Figura 4.16: Verifica di inglobamento delle microsfele a) Type I e b) Type III mediante lente di ingrandimento.

In Figura 4.17 si può osservare un ingrandimento delle microsfele ICAO inglobate all'interno della pittura. Si notano chiaramente le maggiori dimensioni di questi elementi catodottrici, oltre alla minor densità superficiale che li caratterizza.



Figura 4.17: Verifica di inglobamento delle microsfele ICAO mediante lente di ingrandimento.

Da tali immagini il tecnico della Potters Ind. ha potuto verificare che la stesa avesse realizzato un grado di affondamento delle microsfele pari a quello ottimale desunto dalla letteratura (50-60%).

4.4.2. Applicazione dei sistemi segnaletici

A partire dai materiali descritti nel paragrafo 4.2., sono stati realizzati dodici differenti sistemi segnaletici, sei con pittura bianca e sei con pittura gialla, più un'ulteriore composizione caratterizzata da proprietà antiskid.

Tali sistemi segnaletici sono stati stesi all'interno dei siti scelti in precedenza per l'esecuzione della sperimentazione, andando ad individuare all'interno di ciascuno di essi gli specifici segnali da realizzare con ciascuna miscela.

4.4.2.1. Sistemi segnaletici bianchi

Vengono riportate nel seguito le diverse composizioni di microsfere e vernici bianche ed i segnali orizzontali designati alla stesa.

Microsfere di vetro Type I e vernice all'acqua bianca

Il prodotto segnaletico, composto interamente da materiali forniti dalla Potters Ind., è stato utilizzato sia nella Zona Cargo sia sulla pista 35L.

Nello specifico la segnaletica di colorazione bianca è stata impiegata per la realizzazione di un tratto di viabilità ordinaria di lunghezza pari a circa 400 m all'interno della zona Cargo Sud, come mostrato in Figura 4.18 con colorazione verde.

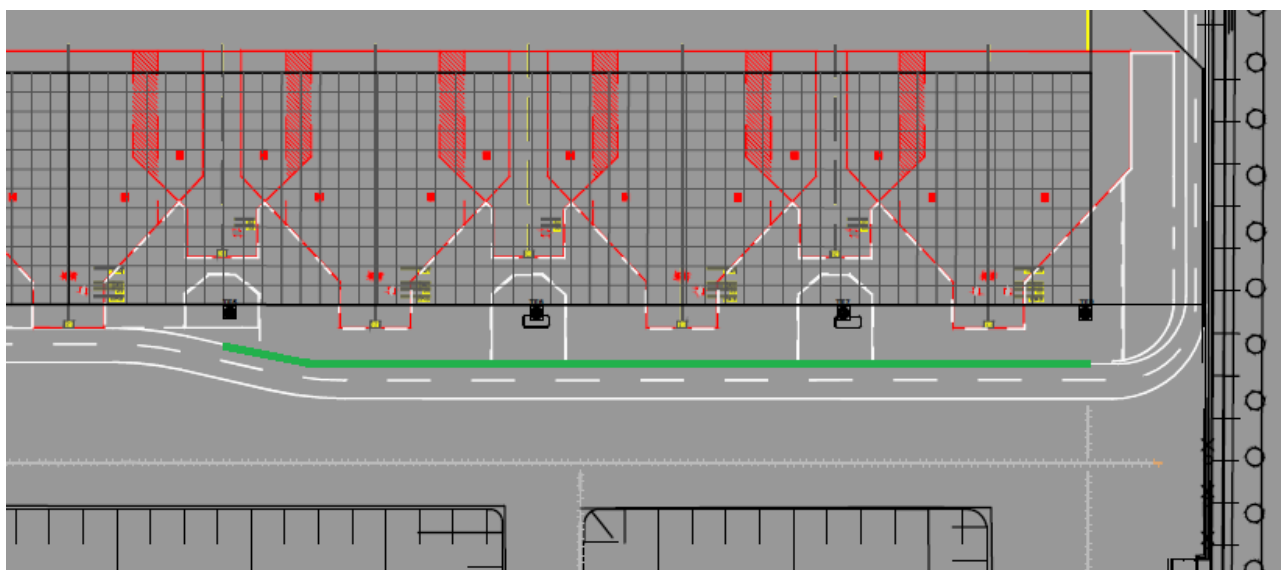


Figura 4.18: Viabilità ordinaria realizzata con microsfere Type I e pittura ad acqua bianca nella zona Cargo Sud.

La segnaletica appena descritta è stata ottenuta mediante un unico passaggio del macchinario di stesa, grazie alla ridotta ampiezza caratterizzante il segnale orizzontale in questione.

Con le microsfere Type I e la pittura ad acqua bianca è stato inoltre realizzato il fazzoletto più esterno sul lato sinistro della zona di toccata presente sulla pista 35L, ottenuto mediante l'affiancamento e la parziale sovrapposizione di più passate di materiale segnaletico, a causa delle elevate dimensioni che lo caratterizzano (1,80x22,5 m). In particolare la zona interessata è mostrata in Figura 4.19.

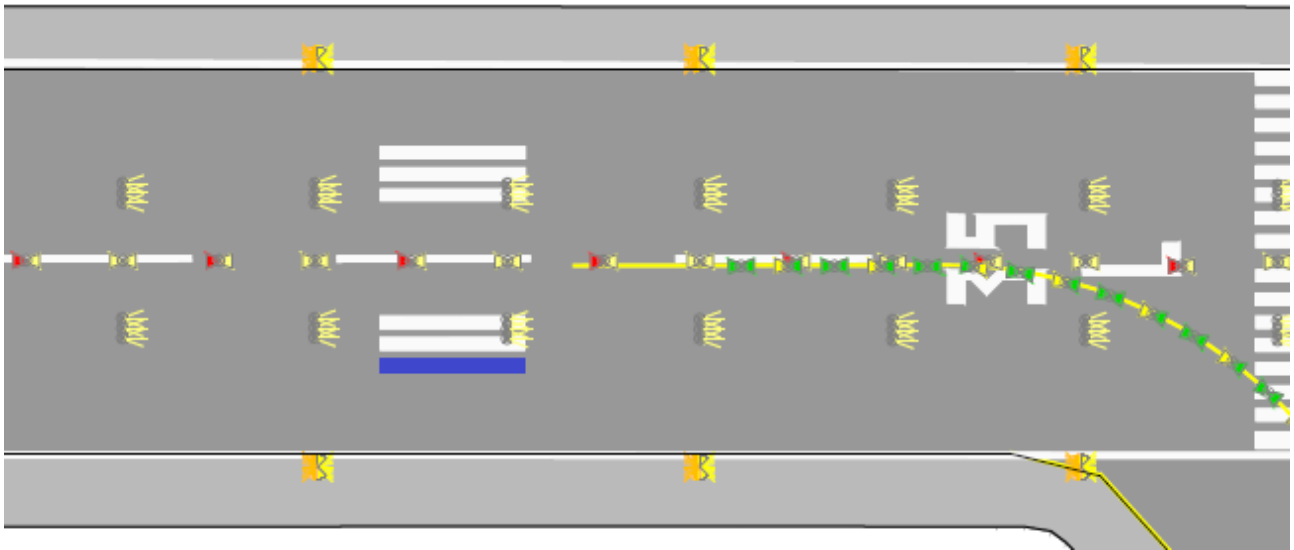


Figura 4.19: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsferi Type I e pittura ad acqua bianca sulla testata della pista 35L.

Microsfere di vetro Type III e vernice all'acqua bianca

Con la miscela ottenuta dall'unione di microsferi Type III e di pittura ad acqua bianca sono state eseguite applicazioni analoghe a quelle effettuate con microsferi Type I.

Tale decisione è derivata dalla volontà di confrontare due sistemi segnaletici identici, ma dotati di elementi catadiottrici con differente indice di rifrazione, applicati secondo le medesime condizioni di pavimentazione e di illuminazione.

Nelle Figure 4.20 e 4.21 vengono segnalate le applicazioni eseguite con pittura di colorazione bianca, rispettivamente nella zona Cargo Sud (in verde) e sulla pista 35L (in blu).

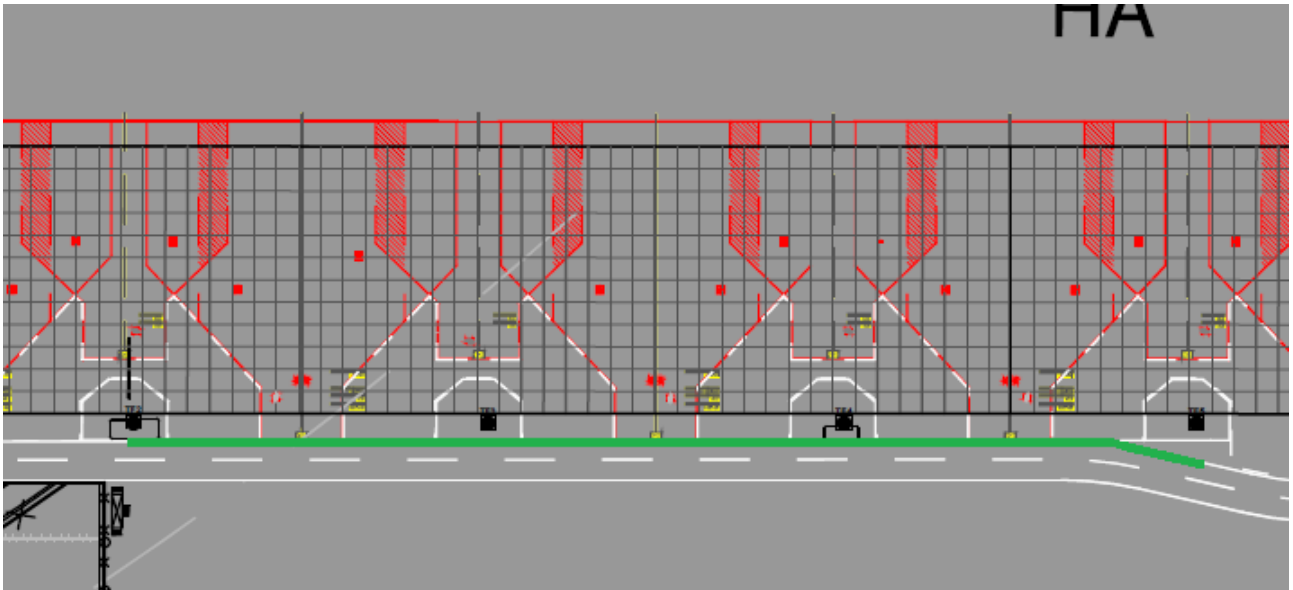


Figura 4.20: Viabilità ordinaria realizzata con microsferi Type III e pittura ad acqua bianca nella zona Cargo Sud.

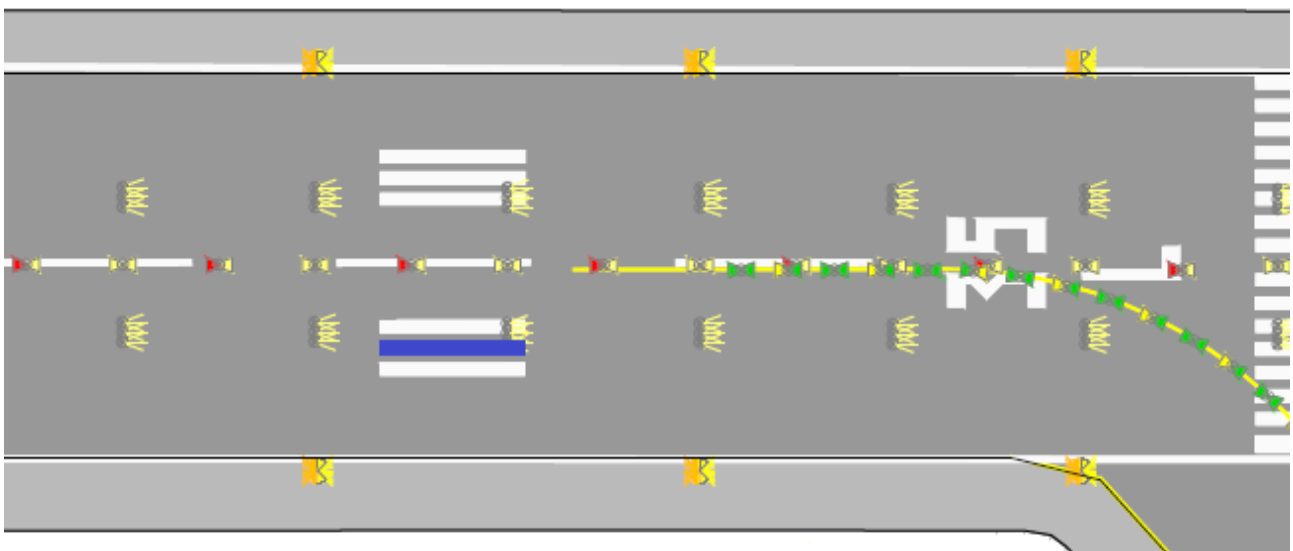


Figura 4.21: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsferi Type III e pittura ad acqua bianca sulla testata della pista 35L.

Microsfere di vetro ICAO e vernice all'acqua bianca

Le stese realizzate con vernice di colorazione bianca e microsferi di tipo ICAO sono state eseguite esclusivamente in pista, in particolare per la realizzazione di uno dei fazzoletti componenti la segnaletica orizzontale di Touch Down Zone (Figura 4.22).

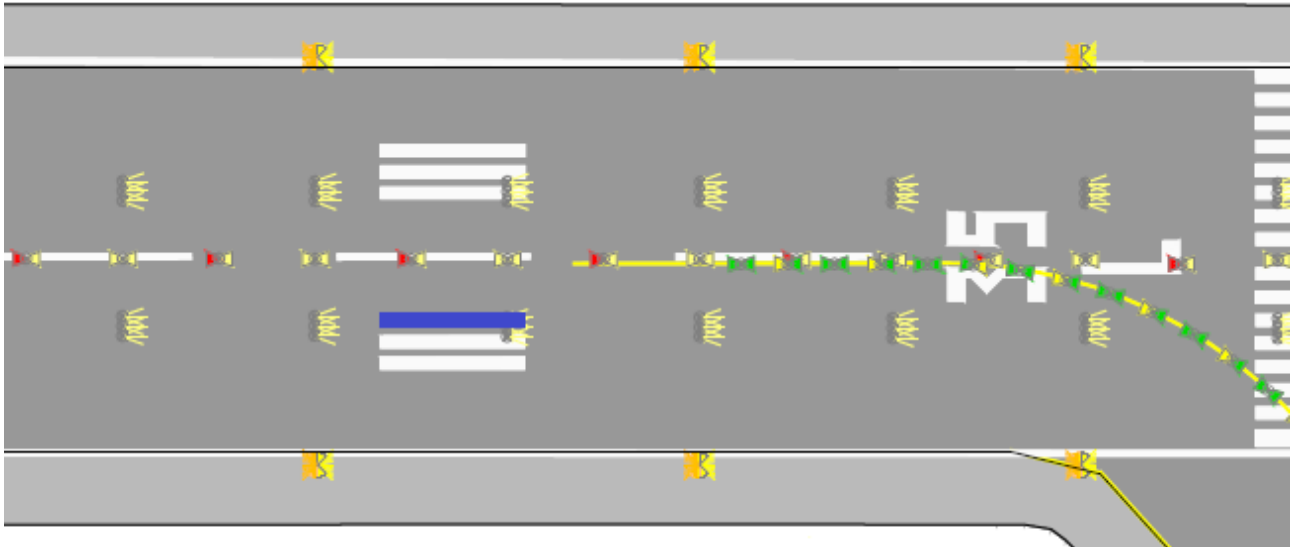


Figura 4.22: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere ICAO e pittura ad acqua bianca sulla testata della pista 35L.

Tale scelta è stata dettata dalla necessità di confrontare simultaneamente, non solo tramite misurazioni scientifiche, ma anche tramite osservazioni visive, le differenti tipologie di sistema segnaletico testate nel corso della sperimentazione. Inoltre affiancando le diverse miscele applicate, si riducono al minimo le disomogeneità della superficie che costituisce la base per la stesa.

Microsfere di vetro Type I e vernice a solvente bianca

L'operazione di stesa del sistema segnaletico si è concentrata sulla testata della pista 35L, tramite la realizzazione del fazzoletto relativo alla parte destra della TDZ più prossimo alla centerline. In Figura 4.23 è riportata l'area di intervento appena descritta mediante colorazione blu.



Figura 4.23: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere Type I e pittura a solvente bianca sulla testata della pista 35L.

Microsfere di vetro Type III e vernice a solvente bianca

proseguendo secondo lo stesso ragionamento riportato in precedenza, individuato al fine di agevolare confronti incrociati tra le diverse miscele impiegate, le applicazioni delle microsfere di vetro Type III con vernice a solvente ricalcano perfettamente quelle effettuate combinandole con la vernice ad acqua.

La stesa di colorazione bianca riguarda infatti il fazzoletto centrale presente nella parte destra della zona di toccata (Figura 4.24).

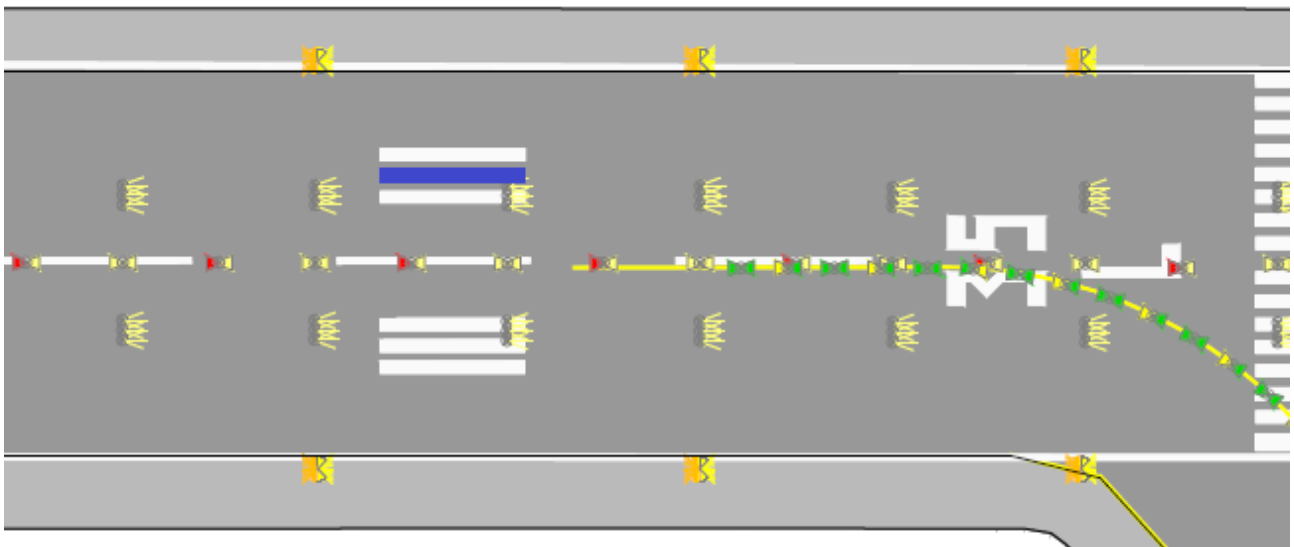


Figura 4.24: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsfere Type III e pittura a solvente bianca sulla testata della pista 35L.

Microsfere di vetro ICAO e vernice a solvente bianca

L'ultimo fazzoletto della Touch Down Zone della pista 35L, ovvero il più esterno della parte destra, è stato realizzato mediante la composizione di vernice a solvente bianca e microsferi ICAO postspruzzate su di essa (Figura 4.25).

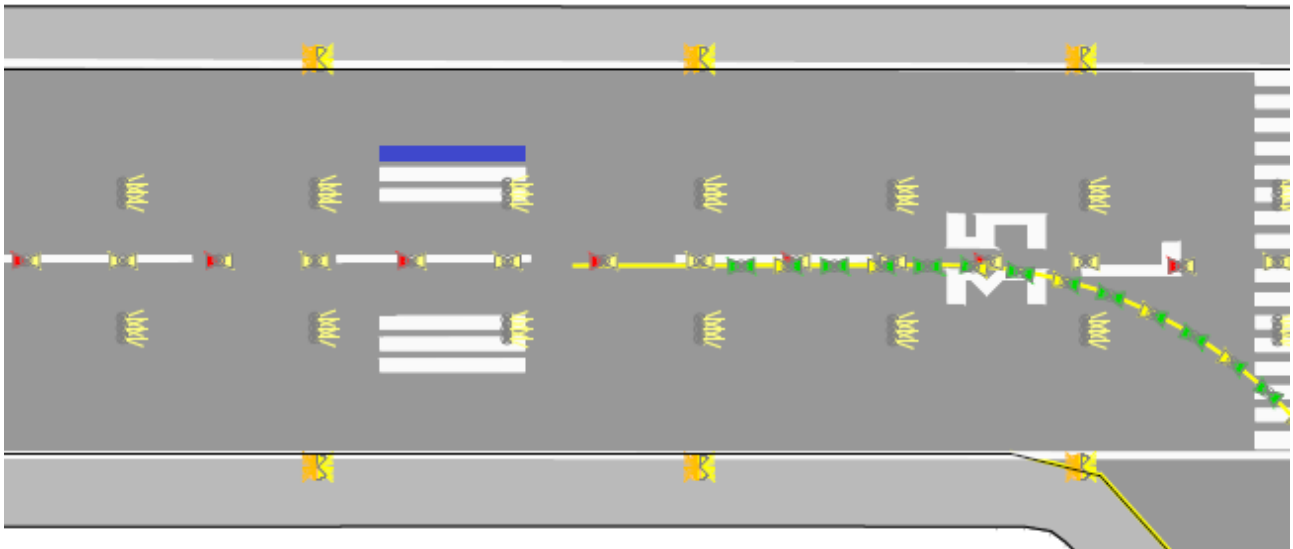


Figura 4.25: Fazzoletto di TDZ realizzato con microsferi ICAO e pittura a solvente bianca sulla testata della pista 35L.

4.4.2.2. Sistemi segnaletici gialli

Si riportano sottoforma di elenco i diversi impianti segnaletici di colorazione gialla e le relative aree di stesa.

Microsfere di vetro Type I e vernice all'acqua gialla

Per quanto riguarda invece le applicazioni di colorazione gialla, è stata realizzata, in analogia a quanto effettuato con la pittura bianca e al fine di ricavarne un diretto confronto, una porzione di centerline di taxiway di estensione pari a circa 350 m all'interno della zona Cargo Sud. L'area interessata dall'intervento, compresa tra le indicazioni di piazzola 851 e 856, viene evidenziata tramite colorazione verde in Figura 4.26.

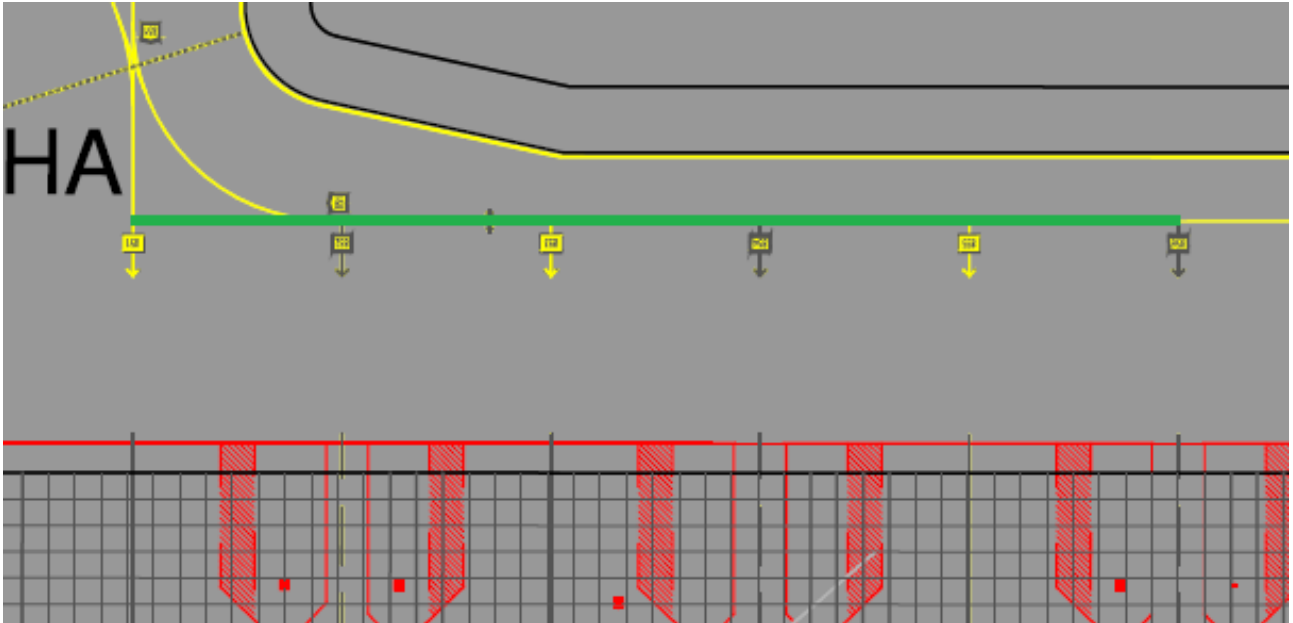


Figura 4.26: Centerline di taxiway realizzata con microsfere Type I e pittura ad acqua gialla nella zona Cargo Sud.

Inoltre, considerando sempre la combinazione di microsfere Type I e pittura all'acqua gialla, è stata effettuata la realizzazione di una delle due linee tratteggiate componenti la stop bar presente sul raccordo Charlie-Alfa, come indicato in blu in Figura 4.27.



Figura 4.27: Linea tratteggiata di stop bar realizzata con vernice ad acqua gialla e microsfere Type I.

Infine la miscela ottenuta a partire da pittura gialla ad acqua e microsfere di vetro Type I è stata applicata anche su un tratto di linea di lead in posizionata all'interno della zona Cargo Sud. In

particolare è stato tracciata una porzione della lead in relativa alla piazzola numero 863, come indicato in Figura 4.28.

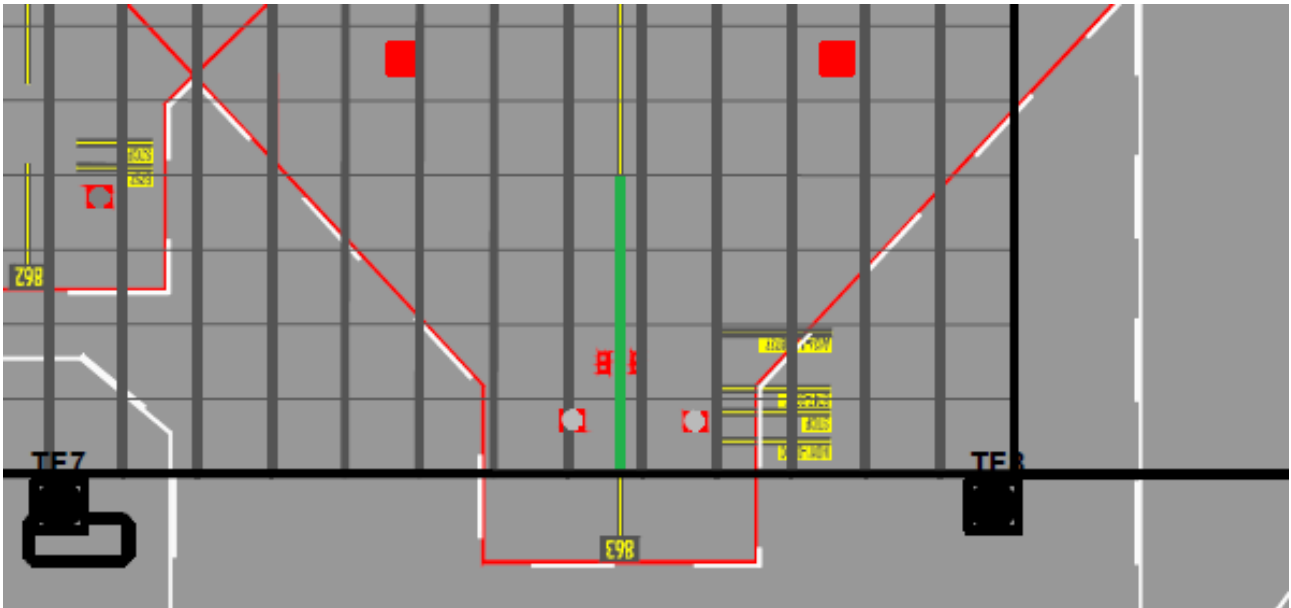


Figura 4.28: Porzione di linea di lead in della piazzola 863 realizzata con vernice ad acqua gialla e microsferi Type I, su superficie in calcestruzzo.

Si sottolinea che l'applicazione appena descritta presenta la peculiarità di essere stata realizzata su una superficie in calcestruzzo, a differenza di quanto visto per le precedenti stese, eseguite tutte su pavimentazioni in conglomerato bituminoso.

Microsfere di vetro Type III e pittura all'acqua gialla

Per quanto riguarda le applicazioni di colorazione gialla è stato seguito, anche in questo caso, il medesimo principio secondo il quale si sono effettuate stese analoghe a quelle eseguite con le microsferi Type I e la pittura ad acqua precedentemente descritte, al fine di operare valutazioni comparate.

Si riportano nelle Figure 4.29 e 4.30 e 4.31 le aree adibite a tali applicazioni.

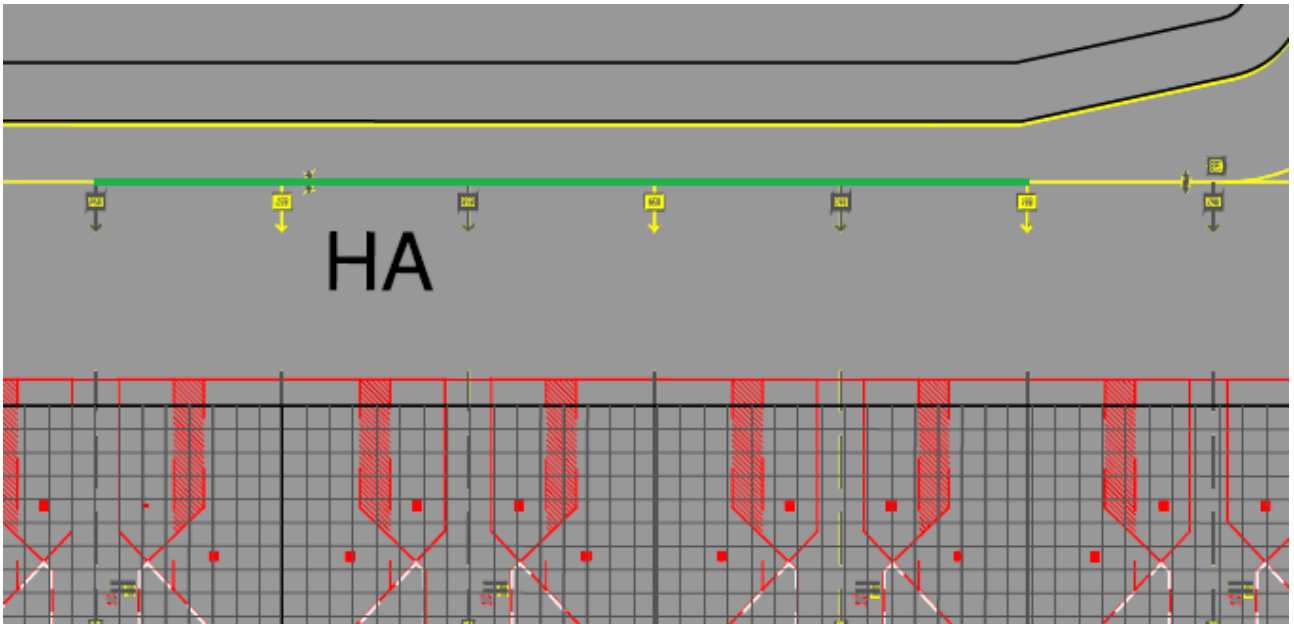


Figura 4.29: Centerline di taxiway realizzata con microsfere Type III e pittura ad acqua gialla nella zona Cargo Sud.



Figura 4.30: Linea tratteggiata di stop bar realizzata con vernice ad acqua gialla e microsfere Type III.

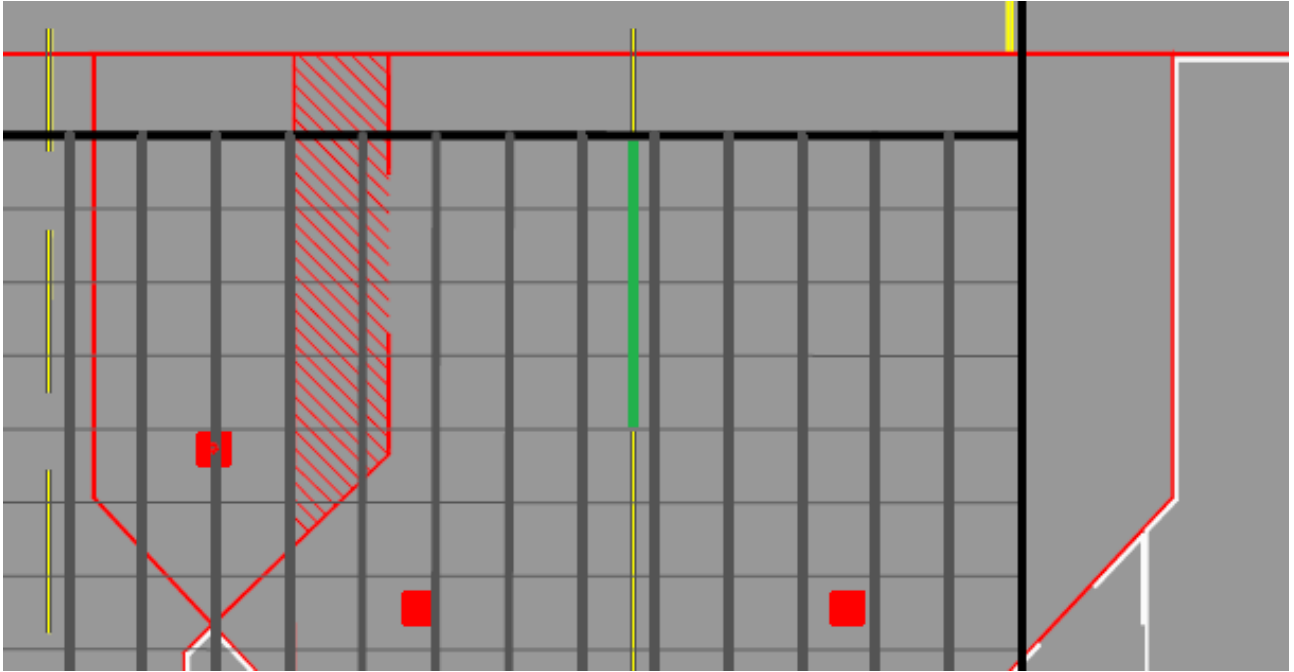


Figura 4.31: Porzione di linea di lead in della piazzola 863 realizzata con vernice ad acqua gialla e microsferi Type III, su superficie in calcestruzzo.

Microsfere di vetro ICAO e vernice all'acqua gialla

L'intervento realizzato mediante microsferi ICAO e vernice di colorazione gialla si è concentrato su una delle stop bars presenti all'interno del raccordo Charlie-Alfa, eseguendo nello specifico una delle linee continue che compongono il segnale orizzontale di holding point. In Figura 4.32 viene evidenziato, in colorazione blu, il tracciamento della segnaletica applicata.



Figura 4.32: Linea continua di stop bar realizzata con vernice ad acqua gialla e microsferi ICAO.

Microsfere di vetro Type I e vernice a solvente gialla

L'impianto segnaletico composto da microsfere Type I e vernice a solvente gialla è stato eseguito su una linea continua componente una delle stop bars presenti all'interno del raccordo Charlie-Alfa, come rappresentato in Figura 4.33.



Figura 4.33: Linea continua di stop bar realizzata con vernice a solvente gialla e microsfere Type I.

Microsfere di vetro Type III e vernice a solvente gialla

L'applicazione gialla, effettuata mediante microsfere Type III e vernice a solvente, ricalcando lo schema di stesa della medesima composizione, ma con vernice ad acqua, è stata utilizzata per la realizzazione di una linea continua di una stop bar. In particolare è stata designata la holding position con configurazione a cancelletto che si trova all'interno del raccordo Charlie-Alfa (Figura 4.34).



Figura 4.34: Linea continua di stop bar realizzata con vernice a solvente gialla e microsferi Type III.

Microsfere di vetro ICAO e vernice a solvente gialla

La seconda striscia continua della stop bar posizionata sul raccordo Charlie-Alfa è stata realizzata tramite la postspruzzatura di microsferi ICAO su uno strato di pittura a solvente di colorazione gialla (Figura 4.35).

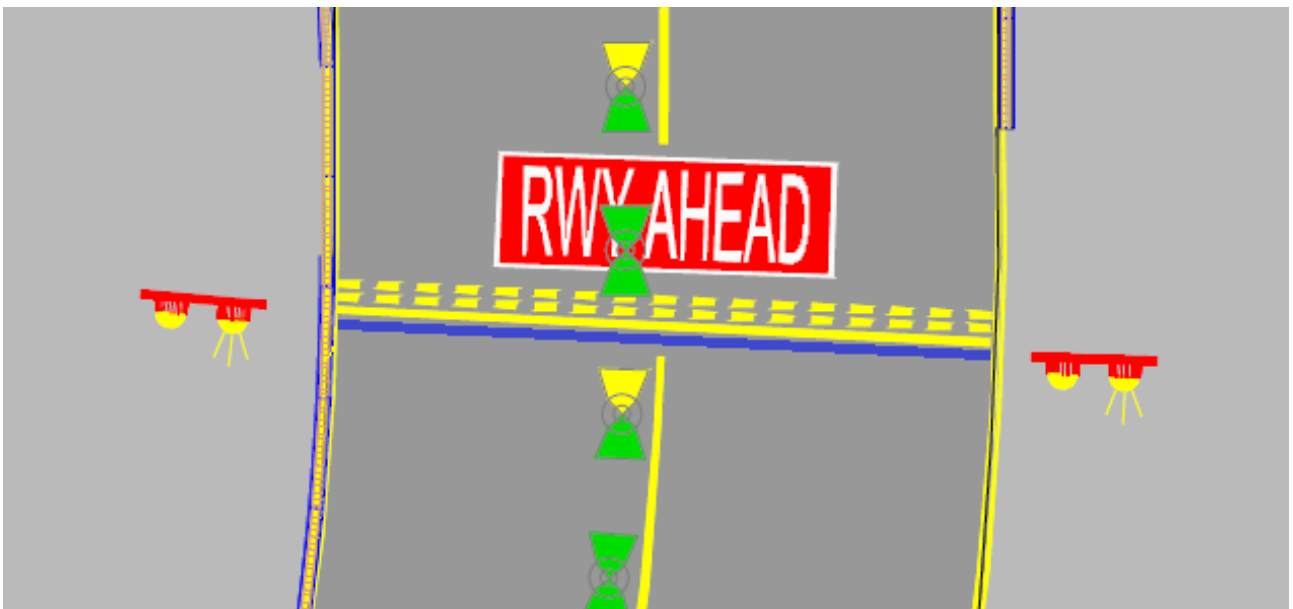


Figura 4.35: Linea continua di stop bar realizzata con vernice ad solvente gialla e microsferi ICAO.

Microsfere di vetro Type III, granuli antiskid e vernice all'acqua gialla

Poiché l'applicazione della miscela realizzata tramite microsfere Type III e granuli antiskid è stata effettuata con lo scopo principale di confrontare i valori di aderenza e di retroriflettenza tra gli impianti segnaletici ottenuti con le sole microsfere e quelli rinforzati con i granuli antiderapanti, l'intervento ha interessato una ridotta porzione della centerline di taxiway della zona Cargo Sud, ovvero quella compresa tra le indicazioni di piazzola 861 e 863.

La rimanente parte della centerline compresa tra le indicazioni sopra menzionate è stata realizzata rispettivamente con microsfere ICAO postspruzzate su pittura ad acqua gialla e sola pittura.

L'area specifica destinata alla stesa delle tre differenti miscele viene evidenziata in Figura 4.36 in colore verde.

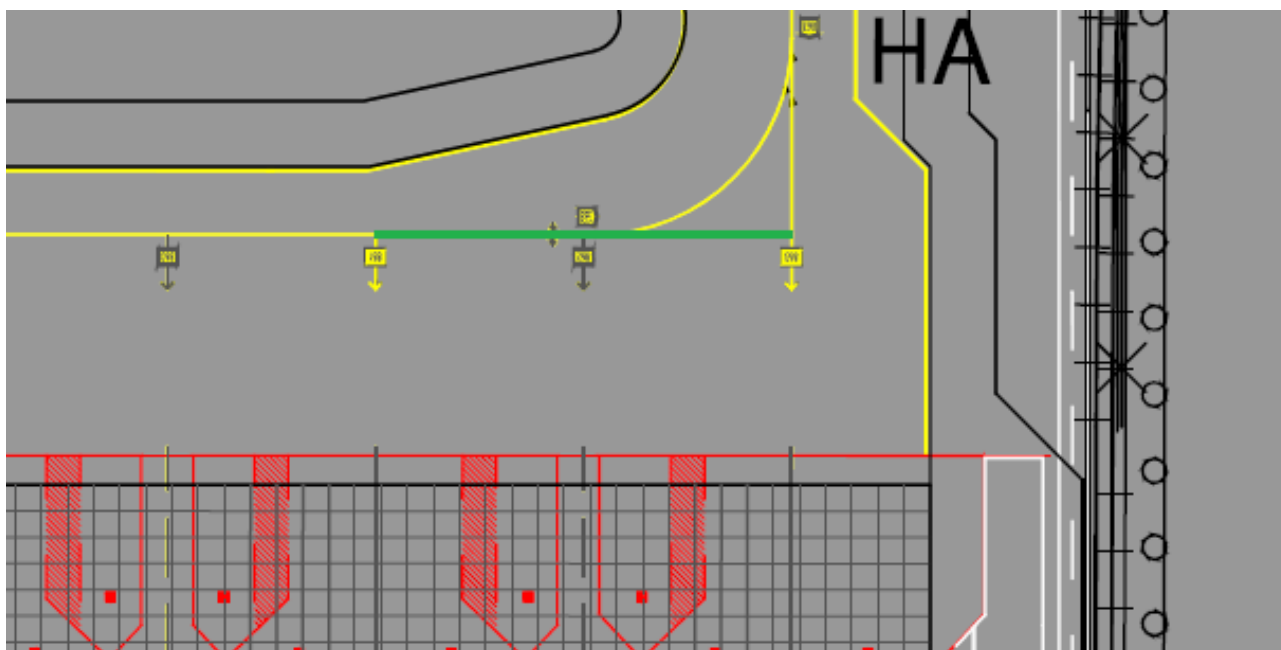


Figura 4.36: Centerline di taxiway realizzata rispettivamente da sinistra verso destra con miscela antiskid, microsfere ICAO e sola pittura ad acqua gialla nella zona Cargo Sud.

In particolare si è optato per la realizzazione del primo tratto, ovvero quello adiacente alla stesa effettuata con le microsfere Type III, mediante la miscela antiskid al fine di avere un confronto visivo immediato della differenza tra un impianto segnaletico realizzato con le medesime microsfere, ma caratterizzato in un caso dalla presenza aggiuntiva dei granuli antiderapanti.

La scelta di realizzare in questa zona un'ulteriore applicazione con le microsfere ICAO, del tutto identica a quella utilizzata sulla Stop Bar del raccordo Charlie-Alfa, nasce dall'esigenza di agevolare le operazioni di misurazione mediante British Pendulum, senza comportare eccessivo disturbo causato dalla chiusura dei raccordi di transito.

Infine per poter valutare l'effetto che la postspruzzatura provoca sull'aderenza della segnaletica, si è ritenuto opportuno realizzare un tratto costituito da sola pittura all'acqua.

Nello specifico la realizzazione della segnaletica mediante microsfere ICAO è stata effettuata in adiacenza con quella ottenuta mediante la miscela antiskid, mentre la sola pittura è stata applicata nel tratto terminale.

4.4.2.3. Considerazioni e problematiche relative alle applicazioni

Benché inizialmente il programma di prova prevedesse l'utilizzo congiunto di pittura ad acqua Type I e Type III rispettivamente per microsfere Type I e per microsfere Type III ed ICAO, questa distinzione non è stata effettuata durante le prove a causa dell'eccessivo impegno di tempo che avrebbe comportato la sostituzione del materiale all'interno del macchinario di stesa.

Questa scelta, resa necessaria dalle esigenze e disponibilità sia dell'impresa di stesa Conselvana, sia dei responsabili dell'aeroporto di Malpensa, è stata suffragata dal parere del tecnico della Potters Ind. Gonçalo Grilo, il quale ha assicurato che la pittura Type III, differentemente dalla pittura Type I, è in grado di adattarsi ad entrambe le granulometrie caratterizzanti le due tipologie di microsfere di vetro impiegate.

L'applicazione è stata effettuata in tre interventi notturni durante il primo dei quali è stata realizzata la totalità dei segnali orizzontali di colorazione bianca già specificati nei precedenti paragrafi.

La segnaletica gialla ha invece richiesto due notti di intervento a causa delle limitazioni relative alla possibilità di ottenere la chiusura delle taxiway per la stesa delle due stop bar presenti rispettivamente sui raccordi Golf-Whiskey e Golf-Echo.

In particolare le prime ore della notte in cui è stata realizzata la segnaletica bianca sono state impiegate per l'esecuzione della viabilità ordinaria presente all'interno dell'area Cargo Sud. Tale intervento non ha riportato particolari problematiche in quanto la larghezza del segnale orizzontale coincideva esattamente con l'ampiezza utilizzata durante la fase di settaggio dei macchinari condotta durante il precedente pomeriggio.

L'unica problematica riscontrata è stata relativa al macchinario di stesa impiegato, il quale ha presentato un difetto meccanico per il quale la strumentazione tendeva a pendere leggermente verso il suo lato destro. Tale problema è stato identificato poiché la stesa della pittura non

risultava uniforme, bensì presentava uno spessore maggiore nella parte destra dell'applicazione (Figura 4.37).



Figura 4.37: Spessore non uniforme della stesa di pittura.

Per ovviare a tale inconveniente, è stata fornita alle pistole di spruzzo della vernice un'inclinazione verso sinistra tale da compensare la pendenza del macchinario.

La parte terminale della prima notte di stesa è stata trascorsa nella pista 35L, in corrispondenza della zona di TDZ, al fine di permettere la realizzazione dei sei fazzoletti ivi presenti.

Oltre al medesimo problema relativo al macchinario di stesa precedentemente illustrato, si sono verificate altre difficoltà dovute essenzialmente all'ampia estensione dei segnali orizzontali della TDZ. Nello specifico non sempre è stato possibile realizzare una perfetta adiacenza tra le diverse passate eseguite al fine di coprire tutta l'area del segnale in esecuzione, comportando quindi una stesa non completamente omogenea dell'impianto segnaletico, come mostrato in Figura 4.38.



Figura 4.38: Affiancamento delle stese non perfettamente eseguito.

Inoltre l'ultima passata, eseguita per completare ciascun fazzoletto realizzato, presenta una forte sovrapposizione con la stesa adiacente generando quindi anche in questo caso una non uniformità all'interno del segnale orizzontale, come evidenziato nella parte sinistra di Figura 4.39.



Figura 4.39: Sovrapposizione delle stese adiacenti al bordo del segnale orizzontale.

Mentre il problema della mancata adiacenza delle strisce di applicazione non può essere pienamente risolto, è possibile invece, durante le misurazioni di retroriflettenza eseguite nelle fasi successive della sperimentazione, trascurare la zona terminale di ogni fazzoletto al fine di evitare errori di valutazione dovuti alla differenza nei quantitativi di materiale presente.

La Figura 4.39 permette inoltre di evidenziare un'ulteriore problematica legata alla procedura di realizzazione della stesa, data dalla presenza di righe più scure in corrispondenza delle zone che delimitano l'ampiezza di ogni singola passata. In particolare tale fenomeno può probabilmente essere imputato ad una spruzzatura non omogenea delle microsferi, caratterizzata da un quantitativo maggiore di tali elementi nella zona centrale del getto.

In aggiunta si riportano alcuni accorgimenti che sono stati adottati durante la fase di applicazione delle miscele segnaletiche, al fine di operare secondo le buone norme di lavorazione. In particolare, dopo aver caricato il serbatoio del macchinario di stesa con la vernice impiegata (Figura 4.40), si è proceduto alla miscelazione del prodotto mediante una manovella manuale.



Figura 4.40: Introduzione della pittura impiegata all'interno del serbatoio del macchinario di stesa.

Tale operazione risulta di fondamentale importanza per rendere omogeneo il materiale che lunghi periodi di stoccaggio tendono a dissociare nelle sue componenti fondamentali. Inoltre la miscelazione, nel caso di pitture a solvente, ha l'ulteriore scopo di amalgamare in maniera corretta la vernice ed il solvente ad essa aggiunto.

Un'altra operazione necessaria consiste nell'assicurarsi del completo svuotamento del serbatoio delle microsfere prima di procedere all'introduzione di una diversa tipologia di elementi catodiottrici durante l'effettuazione di stese consecutive caratterizzate dall'impiego di differenti miscele.

Un ulteriore accorgimento è costituito dalla copertura dei fuochi di pista, presenti in corrispondenza dei fazzoletti di TDZ centrali, mediante appositi dispositivi di protezione, come mostrato chiaramente in Figura 4.41.



Figura 4.41: Copertura dei fuochi di pista prima del passaggio del macchinario di stesa.

Infine si ricorda che, durante le applicazioni effettuate in tutte le zone soggette a test, in corrispondenza di punti casuali, sono stati applicati cartoncini del tutto identici a quelli utilizzati durante la fase di taratura dei macchinari, al fine di verificare che i quantitativi di materiale effettivamente applicati fossero in accordo con quanto previsto dal settaggio macchine realizzato in precedenza.

Si sottolinea che la determinazione dei quantitativi ottimali di microsfere di vetro da impiegare durante le applicazioni tiene conto dell'effetto di dispersione che inevitabilmente ha luogo durante l'operazione di postspruzzatura, come evidenziato in Figura 4.42.

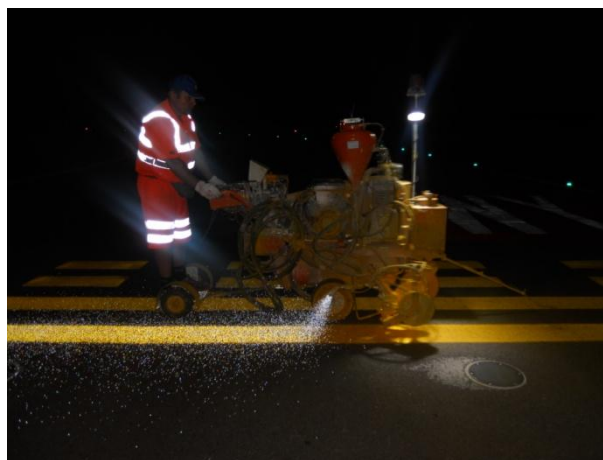


Figura 4.42: Dispersione delle microsfere di vetro nell'area adiacente alla stesa della segnaletica orizzontale.

Tuttavia è da osservare che le misurazioni sulla quantità dei prodotti utilizzati riportano valori medi sull'area di test, non andando pertanto ad investigare l'omogeneità della stesa che può essere determinata esclusivamente tramite un'analisi visiva a posteriori.

Si riportano inoltre in Tabella 4.25 le misurazioni dei tempi di stesa effettivamente impiegati durante la realizzazione dei fazzoletti di TDZ e le relative velocità ricavate al fine di verificare che fossero conformi a quanto preventivato in fase di settaggio dei macchinari.

| TIPOLOGIA DI MISCELA | PRIMO TEMPO DI STESA [s] | SECONDO TEMPO DI STESA [s] | TERZO TEMPO DI STESA [s] | TEMPO DI STESA MEDIO [s] | VELOCITA' MEDIA [km/h] |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| Acqua - Type I | 34 | 32 | 33 | 33,0 | 2,5 |
| Acqua - Type III | 35 | 33 | 32 | 33,3 | 2,4 |
| Acqua - ICAO | 33 | 30 | 31 | 31,3 | 2,6 |
| Solvente - Type I | 32 | 30 | 33 | 31,7 | 2,6 |
| Solvente - Type III | 32 | 33 | 31 | 32,0 | 2,5 |
| Solvente - ICAO | 31 | 35 | 33 | 33,0 | 2,5 |

Tabella 4.25: Tempi di stesa dei markings di TDZ presenti sulla testata della pista 35L.

Come si evince dalla Tabella 4.25, sono stati raccolti i dati relativi alla stesa di tre passate consecutive al fine di ricavare il tempo medio impiegato per la realizzazione di un'applicazione di segnaletica di lunghezza pari a 22,5 m e valutare quindi la velocità media di avanzamento del macchinario di stesa.

4.4.3. Raccolta dati

L'operazione di raccolta dei dati ha interessato, come già più volte indicato, i valori dei parametri R_L e Q_d , sia in condizioni asciutte sia in condizioni bagnate, di SRT e di macrorugosità della pavimentazione.

Ognuna di queste operazioni ha comportato l'impiego di strumentazioni specifiche, già descritte all'interno del paragrafo 4.3., e l'adozione di determinate procedure standardizzate di misurazione. In particolare per quanto riguarda l'esecuzione delle prove standard, le procedure di test e misurazione adottate risultano conformi alle normative di riferimento, mentre per quanto riguarda le prove individuate ad hoc per l'effettuazione di analisi nell'ambito specifico dello studio intrapreso, sono state individuate metodologie sperimentali innovative che verranno in seguito descritte con accuratezza e precisione.

Nello specifico questo paragrafo si pone l'obiettivo di individuare univocamente le modalità seguite per la raccolta dei dati sperimentali indicati, in modo tale da rendere riproducibili le prove svolte durante il lavoro di tesi presentato in questa sede.

Misurazioni di SRT

La prima serie di misurazioni effettuate ha riguardato il valore del grado di resistenza al derapaggio offerto dalla superficie indagata, al fine di validare le successive misure relative al coefficiente di luminanza retroriflessa R_L ed al coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa. Infatti, affinché le successive misure abbiano valore, risulta necessario ottenere un'indicazione di SRT della segnaletica orizzontale almeno superiore al valore limite generalmente attestato intorno alle 45 unità.

Per l'esecuzione delle prove mediante British Pendulum Skid Resistance Tester, le cui caratteristiche tecniche sono state richiamate nel paragrafo 4.3.3., si è adottata la procedura indicata all'interno della UNI EN 1436, di cui si riporta brevemente la descrizione.

La prima operazione che è necessario eseguire consiste nel montaggio dello strumento e nella sua successiva messa in bolla.

Prima di poter effettuare le misurazioni occorre procedere con la taratura del pendolo, ovvero con l'ottenimento, mediante l'utilizzo degli appositi anelli di attrito, dello spostamento del cursore in corrispondenza dello zero sulla scala graduata riportata dallo strumento, quando il pattino non striscia sulla pavimentazione.

Un'ulteriore operazione precedente la misurazione consiste nella regolazione della lunghezza di scorrimento, ottenuta mediante l'ausilio del distanziatore fornito insieme alla strumentazione. La procedura viene svolta abbassando delicatamente il braccio del pendolo fino ad ottenerne il contatto con la superficie da un lato; quindi si posiziona il righello distanziatore in modo tale che la tacca esterna sul lato corrisponda alla linea di contatto fra la gomma e la pavimentazione, come mostrato in Figura 4.43.



Figura 4.43: Corretto posizionamento del righello distanziatore.

A questo punto viene sollevato il pattino dalla superficie, utilizzando la manovella di sollevamento, al fine di spostarlo senza provocare attrito sull'altro lato, e successivamente abbassato di nuovo con delicatezza sulla pavimentazione. Si procede con la regolazione, sollevando o abbassando la testa del pendolo, fino a che le linee di contatto coincidano con le due tacche del righello su entrambi i lati.

La prima fase della misurazione vera e propria consiste nel sottoporre la superficie pavimentata al passaggio di una spazzola morbida bagnata, al fine di creare il velo idrico previsto dalla prova, seguendo poi con la collocazione del braccio del pendolo nella posizione di rilascio e la lancetta in linea con esso.

Dopo aver bagnato la superficie applicandovi 100 ± 20 ml di acqua, il braccio del pendolo viene rilasciato e, in corrispondenza del raggiungimento della sua posizione massima, fermato con la mano sinistra per evitare l'oscillazione di ritorno.

La lettura del valore di SRT viene indicata dalla lancetta sull'apposita scala graduata.

Le successive misurazioni devono essere realizzate avendo cura di ricollocare il braccio e la lancetta nella posizione di rilascio e ricordandosi di effettuare periodicamente l'operazione di taratura sopra menzionata.

La procedura deve essere ripetuta per un totale di almeno cinque volte. Se il valore ottenuto durante le ultime tre misurazioni non differisce di più di 3 unità, si procede alla registrazione della media delle tre letture come valore di SRT. In caso contrario la prova deve essere ripetuta fino a quando non si ottengano 3 misurazioni consecutive costanti.

Al termine di tale operazione occorre inoltre registrare la temperatura sulla superficie investigata al fine di procedere con la relativa correzione.

Misurazioni di R_L e Q_d

Le valutazioni dei coefficienti R_L e Q_d vengono entrambe realizzate mediante l'impiego di un'unica strumentazione denominata retroriflettometro, le cui specifiche tecniche sono riportate nel paragrafo 4.3.1.

La procedura di misurazione non comporta particolari accorgimenti al di fuori di porre adeguata attenzione al segnale di avviso che compare sul monitor di cui è fornito lo strumento, qualora esso necessiti di una ricalibrazione. Tale operazione viene svolta automaticamente sfruttando valori di riferimento interni, riposizionando il retroriflettometro sulla sua base e attendendo pochi secondi. La misura vera e propria si svolge posizionando lo strumento in corrispondenza della zona da testare e premendo l'apposito tasto per dare il via alla procedura di valutazione dei parametri R_L e Q_d , i quali vengono indicati simultaneamente sullo schermo dopo pochi istanti.

La raccolta dei dati è stata eseguita, dove permesso dai tempi concessi per la realizzazione delle prove, determinando tre valori consecutivi mediante il riposizionamento nello stesso punto dello strumento di misura. Tale operazione ha permesso di valutare un valore medio che risultasse più indicativo delle effettive proprietà della segnaletica orizzontale testata. Inoltre questa procedura ha permesso di stimare l'affidabilità del retroriflettometro impiegato in base alla variabilità dei valori forniti in corrispondenza di ogni singolo punto di misurazione. Per agevolare l'esecuzione di questo test ci si è avvalsi dell'ausilio di gessi colorati che permettessero di indicare il corretto posizionamento dello strumento ad ogni ripetizione della misura.

Per quanto riguarda la realizzazione delle condizioni di bagnato, essa viene ottenuta seguendo l'apposita procedura specificata all'interno della norma UNI EN 1436. In particolare la normativa descrive l'ottenimento di tale condizione di prova mediante il versamento, quanto più omogeneo possibile, di acqua pulita da un secchio da un'altezza di circa 0,3 m dalla superficie.

Dopo aver atteso un tempo pari a 60 ± 5 secondi, si procede al posizionamento del retroriflettometro ed all'effettuazione della misurazione di R_L e Q_d , in condizioni di superficie bagnata.

Il principale accorgimento da adottare per questo test consiste nell'asciugatura della spazzola posizionata al di sotto dello strumento dopo ogni misurazione eseguita.

Anche in questo caso sono state realizzate tre misurazioni per ogni punto di indagine, al fine di ricavarne un valore medio rappresentativo della zona testata.

Misurazione della macrorugosità

L'operazione di misura della macrorugosità superficiale delle pavimentazioni viene svolta con il metodo comunemente detto dell'"altezza in sabbia".

Tale procedura, normata dalla CNR 94/863, si svolge mediante l'ausilio di un cilindro di volume noto e di un disco piatto in duralluminio, di sabbia silicea naturale e di un metro.

Il metodo prevede il versamento di uno specifico volume di sabbia sulla zona di pavimentazione che si intende analizzare e la successiva stesa accurata della sabbia in modo tale da ricoprire un'area rotonda il più estesa possibile e tale da rendere appena emergenti gli aggregati superficiali della pavimentazione, come schematizzato in Figura 4.44.



Figura 4.44: Fasi per l'esecuzione del metodo di altezza in sabbia: **a)** versamento della sabbia, **b)** spargimento in forma circolare e **c)** misura dei diametri dell'impronta.

Al termine dello spargimento della sabbia si procede con la misurazione di almeno tre diametri, generalmente disposti a 120° , della zona ricoperta con tale materiale e quindi, noto il volume della sabbia impiegata ed il raggio del cerchio realizzato con essa, si ricava con facilità l'altezza dello strato di sabbia, la quale coincide con l'altezza media della macrorugosità fornita dagli aggregati.

Nel caso specifico delle misurazioni eseguite durante il presente lavoro di sperimentazione, è stato necessario ridurre il quantitativo di sabbia impiegata rispetto a quanto previsto dallo standard della prova. In particolare è stato adottato un volume pari a metà di quello previsto dal test al fine di riuscire ad eseguire le misurazioni sulla zona di pavimentazione interessata dai sistemi segnaletici caratterizzati da una ridotta larghezza.

Per determinare con precisione l'esatta metà del volume standard è stata impiegata una bilancia di precisione in quanto si è reputato più semplice valutare la metà del peso anziché la metà del quantitativo in volume.

Per determinare infine i valori dell'altezza in sabbia si è fatto ricorso ad una proporzione tra il volume standard e quello effettivamente impiegato e l'altezza in sabbia tabellata all'interno del libretto di istruzioni e quella corrispondente al quantitativo di sabbia effettivamente adottato.

I dati ottenuti sono stati ordinati in tabelle e grafici tali da rendere agevoli la consultazione ed i confronti reputati di maggiore interesse, che verranno presentati in dettaglio nel successivo capitolo.

5. Presentazione ed analisi dei risultati

L'ultima fase del lavoro di tesi qui presentato consiste nell'analisi e nell'elaborazione dei dati raccolti in seguito alle misurazioni effettuate secondo la metodologia prevista e descritta nei precedenti paragrafi.

L'elaborazione dei dati sperimentali ottenuti dalle misure è stata condotta con la finalità di trovare una risposta ai molteplici quesiti che sono stati sollevati durante la stesura del documento di tesi qui riportato.

Nel seguito si riassumono, in favore del lettore, i punti chiave analizzati:

- valutazione della variazione dei parametri R_L e Q_d considerando l'applicazione di differenti miscele di pittura e microsferi di vetro;
- valutazione della variazione dei parametri R_L e Q_d considerando segnaletica bianca e segnaletica gialla;
- valutazione della variazione dei parametri R_L e Q_d considerando differenti tipologie di pavimentazione;
- valutazione delle distanze di visibilità;
- valutazione dell'effetto sui parametri R_L e Q_d provocato dall'aggiunta di granuli antiskid;
- valutazione della riduzione di aderenza provocata dalla presenza di differenti sistemi segnaletici;
- valutazione della variazione di retroriflettenza in presenza di differenti spessori idrici;
- valutazione dell'influenza della macrorugosità sul parametro R_L .

5.1. Dati di SRT

Come già detto, la prima raccolta di dati è stata indirizzata alla determinazione del valore di resistenza al derapaggio opposto dalla pavimentazione in corrispondenza della stesa della segnaletica. Lo scopo di tale operazione è stato quello di verificare che i sistemi segnaletici applicati garantissero un sufficiente grado di sicurezza, senza che esso venisse eccessivamente ridotto a causa dell'introduzione di elementi di vetro sferici.

Infatti, benché l'utilizzo di microsferi di vetro conduca ad un incremento di sicurezza grazie alla garanzia di una maggiore visibilità notturna che esse forniscono, risulta comunque opportuno prestare la dovuta attenzione al quantitativo ed alla granulometria degli elementi impiegati al fine di non causare una riduzione di sicurezza in termini di aderenza.

I dati di SRT raccolti durante il lavoro svolto si sono concentrati nella zona Cargo Sud, in quanto in tale area è risultato più agevole condurre i test mediante British Pendulum grazie alla maggior disponibilità di tempo concessa in virtù dello scarso traffico che caratterizza il piazzale 800.

In particolare sono state analizzate le stese di pittura ad acqua realizzate con tutte le diverse tipologie di microsferi disponibili, compresa la miscela antiskid. I punti analizzati sono stati individuati quali quelli iniziali, intermedi e finali rispetto all'intera applicazione eseguita. Ciascuno di essi, come previsto dalla procedura standard, è stato testato cinque volte, realizzando in seguito la media degli ultimi tre valori di SRT ottenuti, avendo cura di verificare che non differiscano tra loro di più di 3 unità. Infine è stata applicata l'opportuna correzione basata sulla temperatura della pavimentazione determinata nei pressi dell'area di analisi.

Si riportano in forma tabellare i risultati sopra elencati, suddivisi in base al tipo di microsfera con cui il sistema segnaletico è stato realizzato.

Nelle Tabelle 5.1 e 5.2 sono indicati i valori determinati per l'applicazione realizzata con microsferi di vetro Type I su una superficie in conglomerato bituminoso.

| TYPE I (conglomerato bituminoso) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 59 | 57 | 55 | 56 | 57 |
| Punto Intermedio | 52 | 50 | 50 | 49 | 50 |
| Punto Finale | 52 | 53 | 52 | 54 | 54 |

Tabella 5.1: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsferi Type I realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

| TYPE I (conglomerato bituminoso) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Punto Iniziale | 56 | 32,1 | 58 |
| Punto Intermedio | 50 | 30,2 | 52 |
| Punto Finale | 53 | 28,2 | 55 |

Tabella 5.2: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type I realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

Nelle Tabelle 5.3 e 5.4 si riportano i valori individuati relativamente alle applicazioni caratterizzate dall'impiego di microsfere di vetro Type III su una superficie in conglomerato bituminoso.

| TYPE III (conglomerato bituminoso) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|--|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 52 | 54 | 50 | 51 | 49 |
| Punto Intermedio | 55 | 54 | 55 | 53 | 54 |
| Punto Finale | 57 | 55 | 56 | 56 | 55 |

Tabella 5.3: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type III realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

| TYPE III (conglomerato bituminoso) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Punto Iniziale | 50 | 30,8 | 52 |
| Punto Intermedio | 54 | 32,7 | 56 |
| Punto Finale | 56 | 31,2 | 58 |

Tabella 5.4: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type III realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

Nelle Tabelle 5.5 e 5.6 sono indicati i valori relativi alle stese realizzate mediante l'impiego di microsfere ICAO e applicate su una superficie in conglomerato bituminoso.

| ICAO (conglomerato bituminoso) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 63 | 60 | 60 | 60 | 61 |
| Punto Intermedio | 62 | 63 | 63 | 60 | 62 |
| Punto Finale | 59 | 58 | 60 | 59 | 61 |

Tabella 5.5: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere ICAO realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

| ICAO (conglomerato bituminoso) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Punto Iniziale | 60 | 21,7 | 60 |
| Punto Intermedio | 62 | 22,0 | 62 |
| Punto Finale | 60 | 21,7 | 60 |

Tabella 5.6: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere ICAO realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

Il valore minimo di SRT assunto come accettabile viene generalmente individuato pari a 45 unità, mentre un buon valore di tale parametro si attesta intorno alle 70 unità. Tali indicazioni vengono fornite come valide per una generica superficie pavimentata, non considerando il caso particolare dato dalla presenza di segnaletica orizzontale. Pertanto, dal momento che i dati raccolti e presentati nelle precedenti tabelle fanno riferimento a punti di misura caratterizzati dalla presenza di sistemi segnaletici, i valori riportati non risultano particolarmente bassi, ma anzi, appaiono superiori al valore minimo ammesso, rendendo quindi valide le successive misure di R_L e Q_d . In particolare soprattutto il sistema caratterizzato dall'impiego di microsfere ICAO garantisce valori prossimi a quello ottimale. Tale condizione è probabilmente dovuto al fatto che la densità superficiale degli elementi catadiottrici considerati, a causa del loro elevato peso specifico, risulti nettamente minore rispetto a quella fornita dall'utilizzo di altre tipologie di microsfere, andando quindi a influenzare in maniera ridotta il parametro SRT.

Qualora il parametro SRT fosse risultato insufficiente, non sarebbe stato indicativo procedere con la sperimentazione in quanto è generalmente meglio preferire valori elevati di resistenza al derapaggio a discapito della visibilità notturna, anziché l'opposto.

Inoltre, per completezza di ricerca, sono state sperimentate porzioni di segnaletica realizzate ad hoc prive di microsfere di vetro.

Tali misurazioni hanno permesso di fare luce su una problematica più volte individuata dalla letteratura, ma mai univocamente definita. In molteplici documenti infatti è stato sollevato il problema relativo alla presenza di microsfere di vetro nei riguardi dell'influenza che esse hanno sulla determinazione dei valori di SRT.

Nelle Tabelle 5.7 e 5.8 vengono presentati i valori di resistenza al derapaggio relativi ad una stesa di sola pittura realizzata su una superficie in conglomerato bituminoso.

| PITTURA (conglomerato bituminoso) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|--------------------------------------|----------------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 70 | 67 | 67 | 68 | 70 |
| Punto Intermedio | 69 | 68 | 70 | 70 | 69 |
| Punto Finale | 71 | 70 | 68 | 70 | 70 |

Tabella 5.7: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico privo di microsfere realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

| PITTURA (conglomerato bituminoso) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Punto Iniziale | 68 | 21,2 | 68 |
| Punto Intermedio | 70 | 21,8 | 70 |
| Punto Finale | 69 | 21,1 | 69 |

Tabella 5.8: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico privo di microsfere realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

Come si può notare dall'osservazione dei dati riportati nelle precedenti tabelle, la presenza di microsfere postspruzzate su una base di sola pittura determina una netta riduzione del valore di

SRT. I dati sperimentali ottenuti sono facilmente spiegabili considerando che il materiale di cui sono composte le microsfere applicate, risultando completamente lisce, comporta la generazione di una superficie particolarmente scivolosa, in special modo in presenza di acqua. Questo oltretutto è in accordo con quanto già osservato a proposito della Tabella 5.6, ovvero che una riduzione della densità superficiale delle microsfere permette di mantenere più elevati i valori di SRT.

La ricerca qui condotta sembrerebbe pertanto trovarsi in disaccordo a quei documenti di letteratura che riportano un incremento della resistenza al derapaggio in corrispondenza dell'utilizzo di elementi di vetro, rispetto all'adozione di un impianto segnaletico realizzato mediante sola pittura.

Inoltre, si è ritenuto opportuno raccogliere ulteriori dati di SRT relativi ad applicazioni contenenti granuli antiskid, al fine di quantificare l'incremento della resistenza al derapaggio dato dall'aggiunta di appositi aggregati.

Nelle Tabelle 5.9 e 5.10 vengono catalogati i risultati ottenuti dai test eseguiti sulla miscela composta da microsfere Type III e granuli antiderapanti.

| TYPE III + ANTISKID (conglomerato bituminoso) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|--|----------------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 66 | 65 | 64 | 66 | 65 |
| Punto Intermedio | 63 | 63 | 65 | 64 | 63 |
| Punto Finale | 65 | 66 | 66 | 64 | 65 |

Tabella 5.9: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type III e granuli antiderapanti realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

| TYPE III + ANTISKID (conglomerato bituminoso) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|---|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Punto Iniziale | 65 | 22,2 | 65 |
| Punto Intermedio | 64 | 22,0 | 64 |
| Punto Finale | 65 | 21,3 | 65 |

Tabella 5.10: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type III e granuli antiderapanti realizzato su una superficie in conglomerato bituminoso.

Confrontando i valori appena riportati con quelli contenuti all'interno di Tabella 5.4, si nota un netto aumento delle proprietà antiderapanti della superficie. Chiaramente tale situazione è determinata dalla presenza dei granuli antiskid i quali, presentando una forma fortemente spigolosa, offrono una maggiore aderenza agli pneumatici degli aeromobili.

Per completare lo studio sui sistemi segnaletici applicati su una superficie realizzata in conglomerato bituminoso, si è considerato utile rilevare la resistenza al derapaggio offerta dalla pavimentazione in assenza delle applicazioni di segnaletica orizzontale.

Nelle Tabelle 5.11 e 5.12 vengono riportati i risultati delle misurazioni di skid eseguite su una superficie aeroportuale in conglomerato bituminoso.

| PAVIMENTAZIONE (conglomerato bituminoso) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|--|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 84 | 84 | 84 | 85 | 83 |
| Punto Intermedio | 85 | 85 | 83 | 82 | 85 |
| Punto Finale | 81 | 84 | 83 | 82 | 85 |

Tabella 5.11: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su una superficie in conglomerato bituminoso priva di sistemi segnaletici.

| PAVIMENTAZIONE (conglomerato bituminoso) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Punto Iniziale | 84 | 21,2 | 84 |
| Punto Intermedio | 83 | 21,8 | 83 |
| Punto Finale | 83 | 21,1 | 83 |

Tabella 5.12: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate una superficie in conglomerato bituminoso priva di sistemi segnaletici.

Come atteso, i valori di SRT presi in corrispondenza della sola pavimentazione risultano notevolmente più elevati rispetto a quelli ottenuti testando zone dotate di una qualunque tipologia di sistema segnaletico.

Infine, dal momento che all'interno di un aeroporto sono presenti anche superfici realizzate in calcestruzzo, si è ritenuto indispensabile verificare che anche i valori di SRT in corrispondenza di tale pavimentazione fossero sufficienti a garantire un adeguato grado di sicurezza.

In particolare le misurazioni si sono concentrate esclusivamente sulle applicazioni con Type I e Type III realizzate sulla segnaletica di lead-in di piazzola.

Si riportano nelle Tabelle 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16 i relativi valori di SRT.

| TYPE I (calcestruzzo) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 60 | 57 | 61 | 58 | 57 |
| Punto Intermedio | 55 | 57 | 57 | 56 | 58 |
| Punto Finale | 54 | 56 | 56 | 57 | 54 |

Tabella 5.13: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type I realizzato su una superficie in calcestruzzo.

| TYPE I (calcestruzzo) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Punto Iniziale | 59 | 20,0 | 59 |
| Punto Intermedio | 57 | 20,3 | 57 |
| Punto Finale | 56 | 20,1 | 56 |

Tabella 5.14: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type I realizzato su una superficie in calcestruzzo.

| TYPE III (calcestruzzo) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 59 | 56 | 58 | 60 | 57 |
| Punto Intermedio | 56 | 54 | 55 | 55 | 54 |
| Punto Finale | 54 | 57 | 56 | 54 | 56 |

Tabella 5.15: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su sistema segnaletico con microsfere Type III realizzato su una superficie in calcestruzzo.

| TYPE III (calcestruzzo) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Punto Iniziale | 58 | 20,7 | 58 |
| Punto Intermedio | 55 | 20,3 | 55 |
| Punto Finale | 55 | 21,0 | 55 |

Tabella 5.16: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate su sistema segnaletico con microsfere Type III realizzato su una superficie in calcestruzzo.

Come si può notare confrontando i risultati ottenuti su calcestruzzo e su conglomerato bituminoso, sia nel caso di microsfere Type I sia nel caso di microsfere Type III, i valori di resistenza al derapaggio risultano molto affini. Per approfondire il confronto si è ritenuto utile determinare i dati relativi al parametro SRT anche per la sola superficie in calcestruzzo.

Nelle Tabelle 5.17 e 5.18, sono indicati i valori ottenuti da tali misurazioni.

| PAVIMENTAZIONE (calcestruzzo) | VALORE PARAMETRO SRT | | | | |
|----------------------------------|----------------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Punto Iniziale | 84 | 86 | 85 | 86 | 83 |
| Punto Intermedio | 83 | 85 | 84 | 85 | 85 |
| Punto Finale | 82 | 86 | 84 | 82 | 82 |

Tabella 5.17: Valori di SRT derivanti dalle cinque misurazioni svolte su una superficie in calcestruzzo priva di sistemi segnaletici.

| PAVIMENTAZIONE (conglomerato bituminoso) | VALORE MEDIO SRT | TEMPERATURA [°C] | VALORE CORRETTO SRT |
|---|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Punto Iniziale | 85 | 20,7 | 85 |
| Punto Intermedio | 85 | 20,6 | 85 |
| Punto Finale | 83 | 20,8 | 83 |

Tabella 5.18: Elaborazione delle misurazioni di SRT effettuate una superficie in calcestruzzo priva di sistemi segnaletici.

Avendo riscontrato una forte analogia tra i valori di SRT ottenuti rispettivamente su conglomerato bituminoso e su calcestruzzo privi di segnaletica, risulta del tutto congruente l'osservazione che medesimi sistemi segnaletici riportino gradi di resistenza al derapaggio assimilabili benché le applicazioni siano avvenute su superficie costituite da differenti materiali.

5.2. Dati di R_L e Q_d

Successivamente, una volta verificata la bontà della segnaletica in termini di aderenza fornita, è stato possibile procedere con le misurazioni chiave su cui la tesi si incentra, ovvero quelle relative al coefficiente di luminanza retroriflessa R_L .

In aggiunta, sono stati raccolti dati relativi al coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa Q_d , al fine di poter individuare un'eventuale correlazione tra i due parametri che caratterizzano le proprietà di visibilità della segnaletica orizzontale.

Mentre per quanto riguarda i valori di aderenza non si è reso necessario un confronto tra quanto fornito dai sistemi segnaletici di colore bianco e quelli di colore giallo, sulla base di quanto tratto

dalla letteratura scientifica, in questo caso si è reso opportuno svolgere prove separate per le due differenti colorazioni dei segnali orizzontali.

La finalità di tali prove consiste non solo nel poter confrontare differenti miscele di pittura e microsferi (nonché in un caso anche di granuli antiskid), ma anche nel valutare le differenze che intercorrono tra miscele del tutto identiche fuorché per il colore dei pigmenti contenuti all'interno della vernice adottata.

5.2.1. Segnaletica bianca nella zona Cargo Sud

I primi dati raccolti derivano dalle stese effettuate all'interno della zona Cargo Sud, ovvero quelle realizzate mediante vernice ad acqua e rispettivamente microsferi Type I e Type III, mostrate in Figura 5.1.

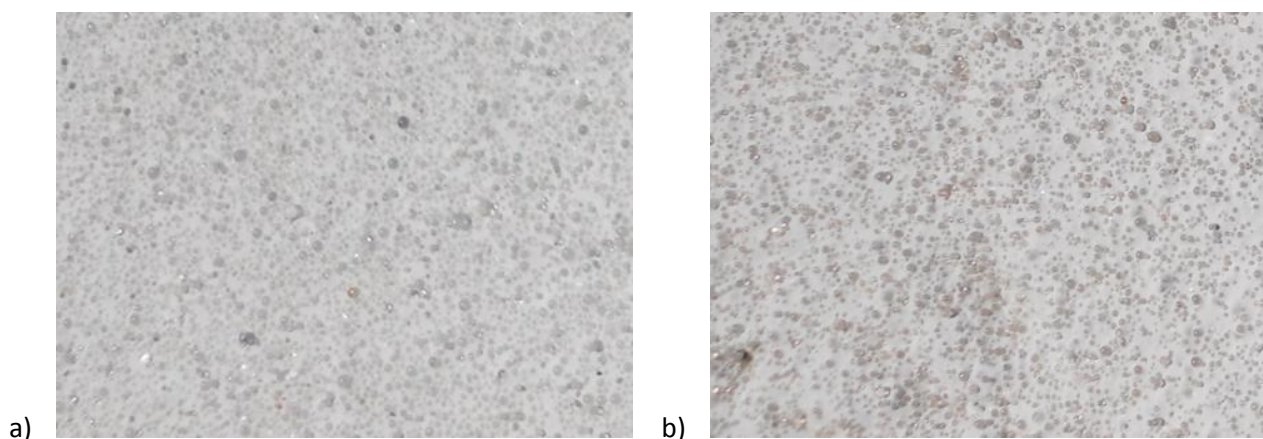


Figura 5.1: Segnaletica realizzata con pittura ad acqua bianca e **a)** microsferi Type I e **b)** microsferi Type III nella zona Cargo Sud.

La prova si è svolta individuando venti punti equidistanziati (circa 40 m) lungo l'intera stesa costituente la viabilità ordinaria, di cui dieci in corrispondenza del sistema segnaletico con microsferi Type I ed i rimanenti dieci sul tratto di segnaletica orizzontale realizzato con microsferi Type III.

Per ciascuno dei punti individuati, sono state eseguite tre ripetizioni per ognuno dei parametri considerati. Nelle Tabelle 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22 si riportano i valori relativi alle prove appena citate.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m^2] | | | R_L bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 400 | 421 | 433 | 51 | 136 | 98 |
| 2 | 425 | 442 | 471 | 22 | 72 | 69 |
| 3 | 421 | 378 | 442 | 134 | 75 | 126 |
| 4 | 442 | 463 | 501 | 66 | 50 | 49 |
| 5 | 461 | 444 | 472 | 48 | 82 | 69 |
| 6 | 471 | 501 | 476 | 49 | 69 | 57 |
| 7 | 474 | 478 | 474 | 69 | 102 | 112 |
| 8 | 361 | 352 | 353 | 75 | 107 | 123 |
| 9 | 404 | 416 | 409 | 110 | 103 | 97 |
| 10 | 463 | 511 | 472 | 78 | 95 | 83 |

Tabella 5.19: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type I nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | Q_d asciutto [mcd/lux/m^2] | | | Q_d bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 241 | 259 | 267 | 255 | 261 | 257 |
| 2 | 263 | 250 | 255 | 271 | 270 | 268 |
| 3 | 258 | 229 | 270 | 235 | 240 | 237 |
| 4 | 266 | 254 | 257 | 265 | 258 | 265 |
| 5 | 254 | 274 | 257 | 270 | 269 | 272 |
| 6 | 257 | 267 | 256 | 259 | 264 | 257 |
| 7 | 255 | 256 | 256 | 229 | 231 | 225 |
| 8 | 229 | 227 | 227 | 249 | 252 | 258 |
| 9 | 257 | 258 | 258 | 251 | 260 | 262 |
| 10 | 243 | 248 | 247 | 269 | 264 | 263 |

Tabella 5.20: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type I nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m^2] | | | R_L bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 1178 | 1122 | 1169 | 159 | 220 | 178 |
| 2 | 1059 | 1058 | 1072 | 387 | 386 | 354 |
| 3 | 971 | 969 | 971 | 197 | 205 | 231 |
| 4 | 1173 | 1095 | 1064 | 266 | 291 | 290 |
| 5 | 983 | 991 | 989 | 387 | 435 | 380 |
| 6 | 1087 | 1049 | 1093 | 270 | 282 | 291 |
| 7 | 892 | 898 | 926 | 187 | 159 | 222 |
| 8 | 1033 | 1038 | 988 | 263 | 288 | 271 |
| 9 | 1176 | 1182 | 1191 | 222 | 231 | 268 |
| 10 | 1122 | 1083 | 1159 | 211 | 197 | 231 |

Tabella 5.21: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type III nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | | | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 255 | 254 | 255 | 252 | 250 | 255 |
| 2 | 230 | 234 | 226 | 242 | 248 | 250 |
| 3 | 209 | 210 | 213 | 256 | 255 | 258 |
| 4 | 230 | 233 | 233 | 238 | 241 | 239 |
| 5 | 206 | 205 | 206 | 210 | 215 | 212 |
| 6 | 200 | 198 | 199 | 221 | 227 | 230 |
| 7 | 253 | 253 | 251 | 244 | 248 | 240 |
| 8 | 204 | 204 | 203 | 237 | 235 | 233 |
| 9 | 234 | 234 | 233 | 261 | 255 | 259 |
| 10 | 254 | 253 | 251 | 249 | 240 | 241 |

Tabella 5.22: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere Type III nella zona Cargo Sud. Osservando i dati nel loro insieme, è possibile trarre una prima serie di conclusioni relative all'affidabilità della strumentazione e della procedura di misura. Si nota infatti una certa costanza nella determinazione dei valori di R_L in condizioni asciutte e di Q_d in genere, circostanza che permette di affermare con sicurezza che il retroriflettometro impiegato risulta correttamente calibrato e quindi completamente affidabile.

L'elevata variabilità che caratterizza invece i valori di R_L ottenuti riproducendo una condizione di bagnato non deve essere imputata alla scarsa precisione dello strumento, bensì alla ridotta scientificità con cui la prova inerente viene descritta e standardizzata all'interno della normativa vigente. Vi sono infatti numerosi aspetti non totalmente gestibili, quali la precisione nella distanza da cui si effettua lo sversamento dell'acqua e la stessa quantità di liquido impiegata, che non rendono la prova del tutto ripetibile, ma causano appunto una certa variabilità non controllabile.

Questa osservazione risulta valida considerando il confronto tra misure ottenute in corrispondenza di punti diversi della segnaletica, mentre la dispersione dei dati che si registra tra le differenti misurazioni effettuate nella medesima area, deve necessariamente trovare una differente spiegazione.

Non è stato possibile definire una risposta univoca a tale problematica, bensì è stata avanzata l'ipotesi che questa variabilità possa essere imputata ad un disturbo al film d'acqua superficiale provocato dalle operazioni di rimozione e riposizionamento del retroriflettometro, nell'esecuzione delle differenti misure. Infatti, benché le indicazioni fornite dalla normativa in termini di quantitativo d'acqua impiegato e tempo di attesa per il parziale scolo siano state seguite scrupolosamente, è stata riscontrata la presenza di un cospicuo strato di liquido sulla superficie

della segnaletica. Tale spessore non trascurabile d'acqua risulta particolarmente sensibile a perturbazioni provocate dallo spostamento del retroriflettometro, configurandosi probabilmente come causa primaria delle discrepanze riscontrate.

A partire dai valori sopra riportati è stato possibile ricavare, per ogni punto di misurazione, un valore indicativo desunto dalla media aritmetica operata tra i tre dati raccolti per ciascun parametro analizzato. Tali risultati vengono mostrati nelle Tabelle 5.23 e 5.24.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | |
|-----------------|--|---|--|---|
| | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] |
| 1 | 418 | 95 | 256 | 258 |
| 2 | 446 | 54 | 256 | 270 |
| 3 | 414 | 112 | 252 | 237 |
| 4 | 469 | 55 | 259 | 263 |
| 5 | 459 | 66 | 262 | 270 |
| 6 | 483 | 58 | 260 | 260 |
| 7 | 475 | 94 | 256 | 228 |
| 8 | 355 | 102 | 228 | 253 |
| 9 | 410 | 103 | 258 | 258 |
| 10 | 482 | 85 | 246 | 265 |

Tabella 5.23: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua bianca e microsfere Type I nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | |
|-----------------|--|---|--|---|
| | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] |
| 1 | 1156 | 186 | 255 | 252 |
| 2 | 1063 | 376 | 230 | 247 |
| 3 | 970 | 211 | 211 | 256 |
| 4 | 1111 | 282 | 232 | 239 |
| 5 | 988 | 401 | 206 | 212 |
| 6 | 1076 | 281 | 199 | 226 |
| 7 | 905 | 189 | 252 | 244 |
| 8 | 1020 | 274 | 204 | 235 |
| 9 | 1183 | 240 | 234 | 258 |
| 10 | 1121 | 213 | 253 | 243 |

Tabella 5.24: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua bianca e microsfere Type III nella zona Cargo Sud.

Da una prima rapida analisi si è potuta inoltre riscontrare una corrispondenza tra i valori di retroriflettenza stimati a priori dai tecnici Potters, attestati rispettivamente intorno a 500 mcd/lux/m² e 1000 mcd/lux/m² per microsfere Type I e Type III, e i valori ricavati in sito e riportati precedentemente. Questo costituisce un'ulteriore conferma, in aggiunta ai controlli eseguiti in sito, della bontà delle miscele progettate e della tecnica di stesa impiegata.

A partire dai valori medi desunti dalla serie di dati raccolti durante la campagna prove eseguita nella zona Cargo Sud, è stato realizzato inoltre un confronto diretto tra le applicazioni ottenute mediante la postspruzzatura rispettivamente delle microsfere Type I e Type III.

Il confronto è stato condotto in modo tale da articolarsi su due livelli differenti: analitico e visivo.

Il primo in particolare altro non è che un'elaborazione grafica dei risultati ottenuti e riportati in forma tabellare in precedenza.

Questo permette una più semplice e rapida comparazione dei due sistemi segnaletici stesi nella zona Cargo Sud, in quanto mostra l'andamento dei parametri raccolti (R_L e Q_d determinati considerando entrambe le condizioni di asciutto e di bagnato) in funzione delle progressive di misura.

Nel Grafico 5.1 vengono rappresentati gli andamenti del parametro R_L asciutto relativamente a microsfere Type I e Type III.

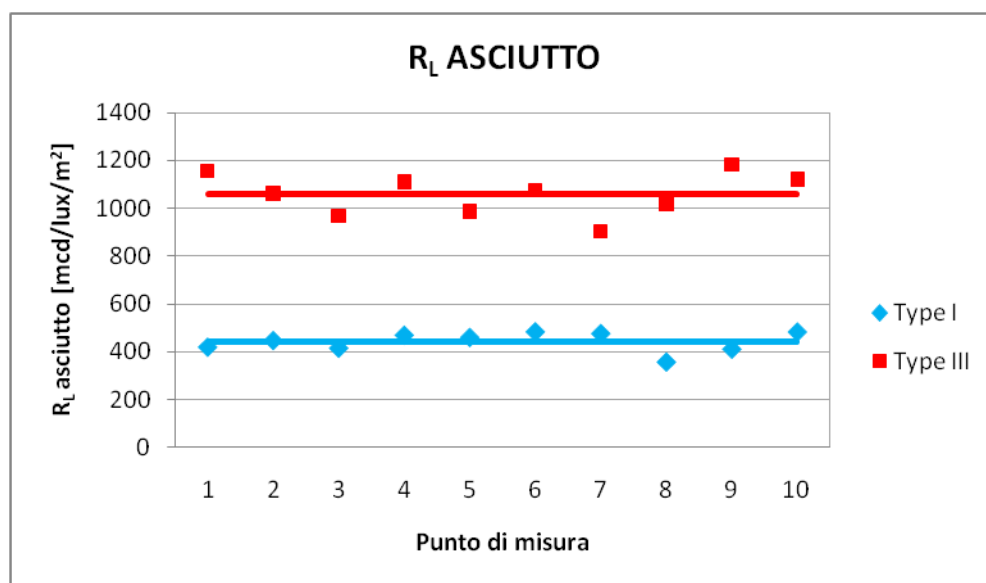


Grafico 5.1: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud.

Come chiaramente ci si aspetta, le microsfere Type III garantiscono al sistema segnaletico un più elevato grado di retro riflettenza rispetto alle microsfere Type I, determinando quindi una maggiore visibilità.

In particolare i valori ottenuti a partire dall'impianto segnaletico realizzato con le microsfere Type III presentano picchi fino a circa tre volte superiori rispetto al segnale orizzontale recante elementi catadiottrici con indice di rifrazione più basso.

A prima impressione sembrerebbe che i valori delle microsfere Type III siano caratterizzati da una maggiore variabilità. Tale osservazione però risulta inesatta in quanto i rapporti tra gli scarti dei valori massimi e minimi, rispettivamente delle microsfere Type III e Type I, rispetto al valore medio risultano pari a circa 3. Questo appare perfettamente congruente con il fatto che il rapporto tra i valori medi di R_L dei due impianti segnaletici è approssimabile a 3.

Nel Grafico 5.2 viene riportata la rappresentazione del parametro R_L lungo lo sviluppo della linea di viabilità ordinaria realizzata con le due differenti miscele.

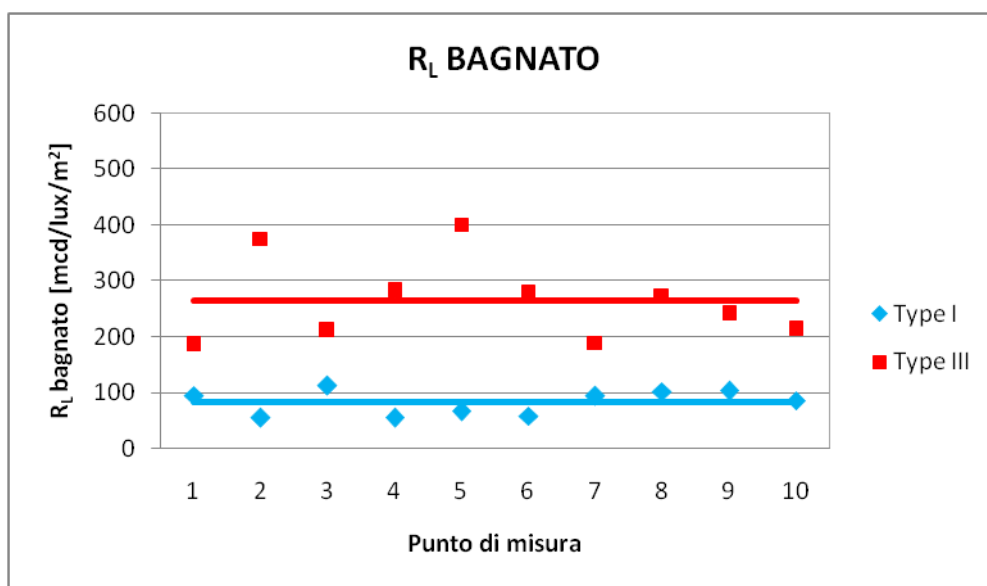


Grafico 5.2: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud.

La prima considerazione da riportare consiste nello specificare che i punti di misura del parametro bagnato sono i medesimi adottati per la valutazione del parametro asciutto.

Anche rispetto alla retro riflettenza in condizioni bagnate, le microsfere Type III si configurano come prodotto da preferire alle Type I al fine di ottenere una visibilità notturna sufficiente a garantire adeguati standard di sicurezza.

Si nota inoltre quanto già osservato in precedenza e relativo alla forte variabilità della retroriflettenza misurata in condizioni di superficie bagnata. Senza dilungarsi sulla probabile spiegazione già riportata, risulta utile considerare la possibilità di determinare, mediante futuri studi, un criterio di accettazione per le misure di R_L bagnato. In particolare, definite a priori una certa affidabilità che si intende ottenere (ad esempio intorno al 90%) ed una massima variabilità ammessa (ad esempio 10%), si andrà ad individuare un criterio statistico che indichi quante misure consecutive occorre eseguire affinché il valore medio, da esse derivante, risulti conforme ai parametri scelti a priori.

Per rendere maggiormente completo lo studio condotto si è ritenuto opportuno elaborare inoltre i dati relativi al grado di visibilità in condizioni di luce diffusa, anche in considerazione del fatto che la zona Cargo Sud risulta caratterizzata dalla presenza di numerose torri faro in grado di garantire in ogni momento un'illuminazione a giorno.

Nei Grafici 5.3 e 5.4 si riportano gli andamenti del parametro Q_d rispettivamente in condizioni asciutte e bagnate.

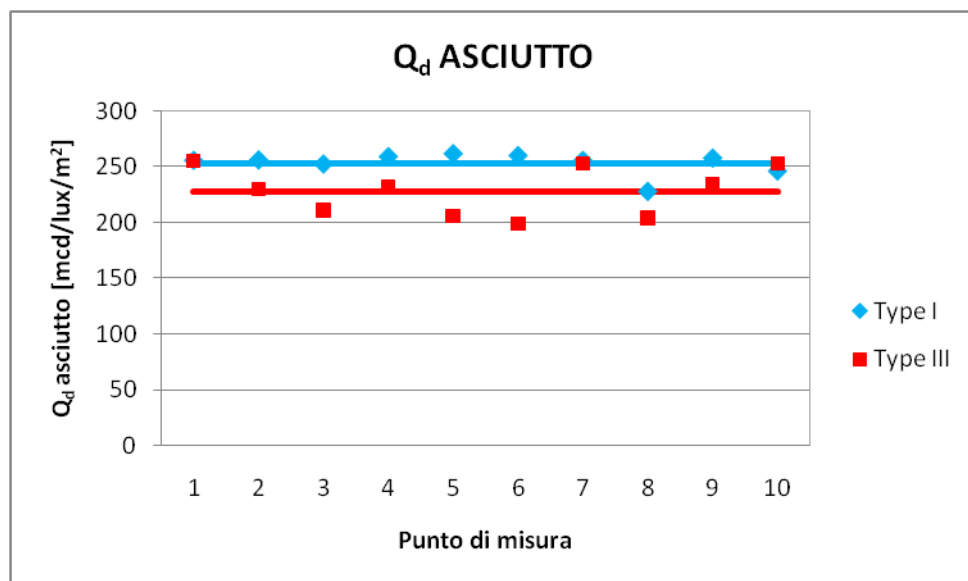


Grafico 5.3: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua bianca unita a microsferi Type I e Type III nella zona Cargo Sud.

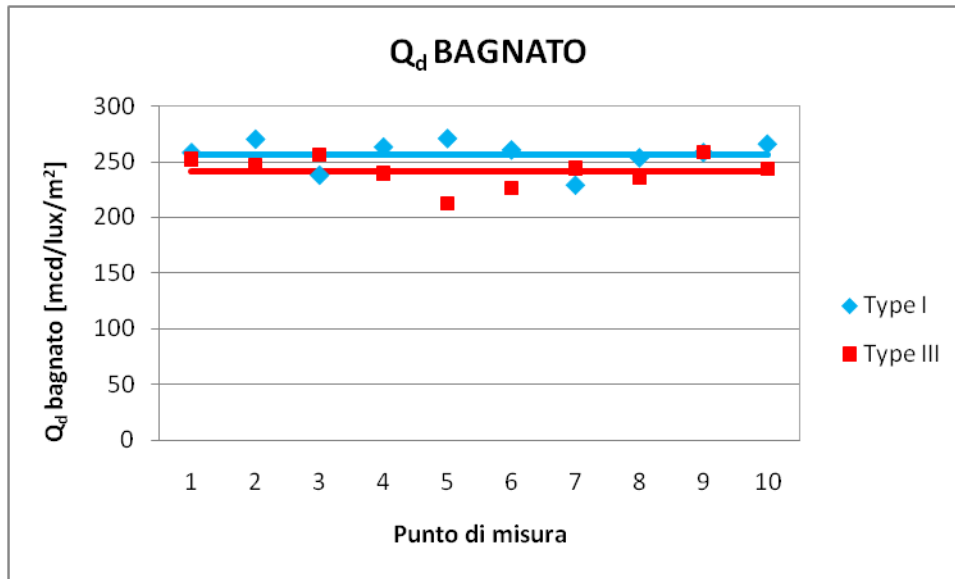


Grafico 5.4: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud.

Si notano subito due aspetti fondamentali: la costanza nei valori misurati e la superiorità, benché molto lieve, delle microsfere Type I rispetto alle Type III.

Inoltre tali osservazioni sembrerebbero valere indistintamente per le misurazioni effettuate in condizioni di asciutto come per quelle eseguite in condizioni di bagnato.

Sembrerebbe pertanto che, a differenza di quanto visto per il parametro R_L , il Q_d non risulti influenzato dalla presenza delle microsfere di vetro. Infatti, non solo i suoi valori si mantengono circa invariati per microsfere con indice di rifrazione differente, ma addirittura parrebbe che il Q_d risulti superiore in quelle condizioni in cui si ha invece una riduzione del valore di retroriflettenza.

Tale constatazione permette di avanzare l'ipotesi che l'entità del coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa dipenda principalmente dalle coordinate cromatiche della vernice che compone il sistema segnaletico. Assumendo tale supposizione, è possibile inoltre spiegare la lieve superiorità delle microsfere Type I mediante l'osservazione della colorazione differente di tali microsfere rispetto alle Type III.

Inoltre, come si può osservare dal confronto tra i Grafici 5.3 e 5.4, il parametro Q_d presenta valori affini tra loro sia in condizioni asciutte sia in condizioni bagnate. Tale risultato può ulteriormente avvalorare l'ipotesi che il parametro considerato sia del tutto indipendente dalla presenza delle microsfere, le quali se coperte da un velo idrico subiscono una riduzione di prestazioni. Infatti, ammettendo la dipendenza del valore Q_d dalla colorazione dell'impianto segnaletico, risulta del tutto naturale riscontrare che la presenza di acqua non ne alteri il valore.

Benché alcuni parametri presentino una maggiore variabilità rispetto ad altri, gli esperti della Potters Ind. hanno comunque confermato l'uniformità e la bontà dell'applicazione in quanto gli scarti dei singoli valori da quello medio risultano del tutto accettabili. Tale osservazione ha particolare validità considerando il coefficiente R_L in condizioni asciutte ed in genere il coefficiente Q_d , mentre i valori di R_L bagnato risultano estranei a questo ragionamento a causa probabilmente delle motivazioni accennate in precedenza.

Le considerazioni grafiche, come già specificato, sono state affiancate da osservazioni visive che hanno reso ancora più tangibili le differenze tra i due impianti segnaletici individuate numericamente, come evidenziato in Figura 5.2.



Figura 5.2: Punto di stacco tra microsfere Type I e microsfere Type III sulla viabilità ordinaria della zona Cargo Sud.

L'analisi visiva, condotta mediante lo scatto di diverse fotografie, si è focalizzata sullo studio comparato qualitativo delle proprietà di visibilità offerte dai differenti sistemi segnaletici testati, non solo rispetto ad una visione stradale, ma anche secondo un punto di vista tipicamente aeroportuale. Ciò è stato ottenuto mediante l'impiego una scala per l'imbarco dei passeggeri opportunamente collocata.

Si riporta in Figura 5.3 l'aspetto con cui si presentano i due impianti segnaletici realizzati nella zona Cargo Sud con microsfere di vetro Type I e Type III.

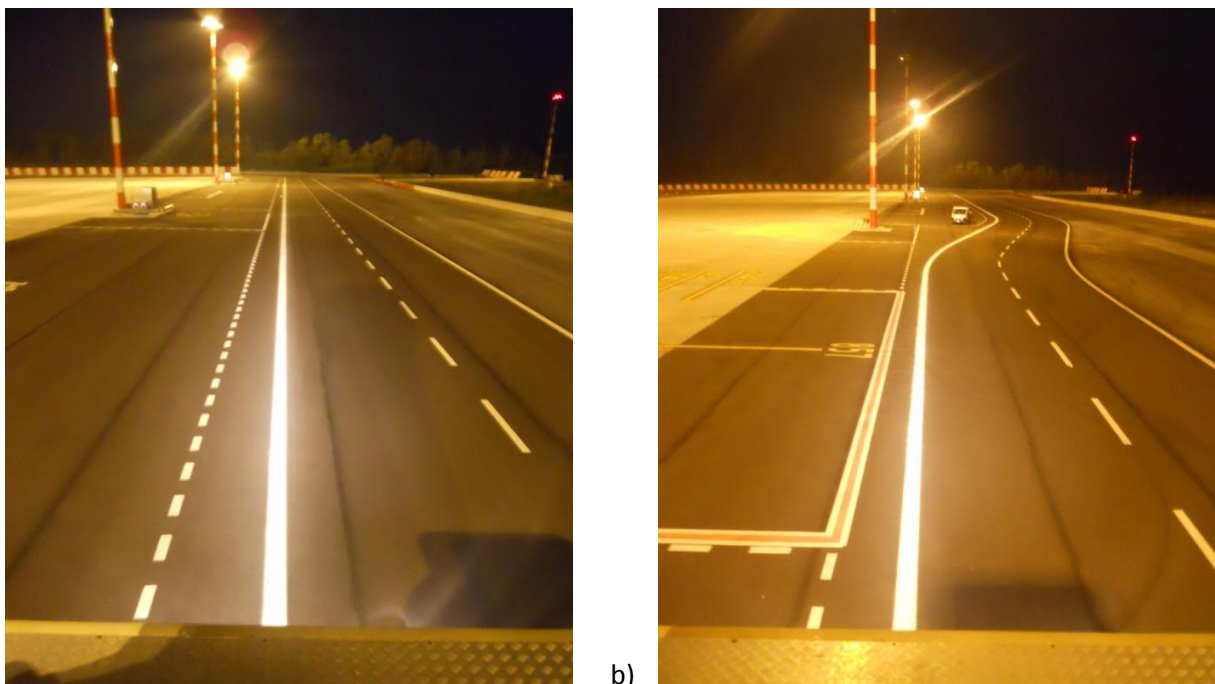


Figura 5.3: Aspetto della segnaletica realizzata nella zona cargo Sud con **a)** microsfere Type I e **b)** microsfere Type III in condizioni di illuminazione diffusa.

Come si nota, le fotografie sono state scattate dalla cima di una scala passeggeri telescopica al fine di simulare in maniera semplificata le condizioni di visibilità che si creano in corrispondenza di un'altezza pari a quella a cui mediamente si trovano i cockpit degli aeromobili, valutata intorno ai 5 m.

Le valutazioni visive sono state svolte in condizioni di illuminazione diffusa, garantita mediante torri faro, affinché fosse possibile indagare il ruolo che rivestono le microsfere di vetro in tale situazione.

Dall'osservazione della Figura 5.3 non si riscontrano evidenti differenze nel grado di visibilità dei due impianti segnaletici proposti. Tale constatazione è resa ancor più evidente dalla Figura 5.4 che riporta il punto di distacco (indicato dalla cerchiatura rossa) tra microsfere a basso e ad alto indice di rifrazione.

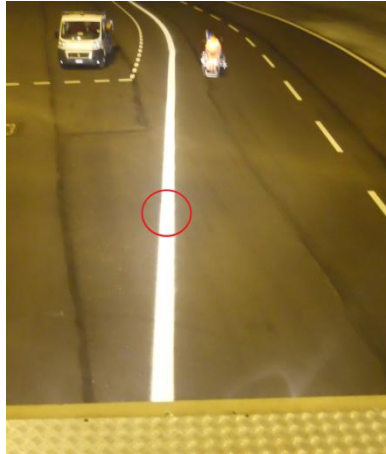


Figura 5.4: Punto di passaggio tra microsfere Type I e Type III su pittura ad acqua bianca nella zona Cargo Sud.

La mancata evidenza di uno stacco netto e di una sostanziale differenza di luminosità tra le due applicazioni dipende certamente dalla presenza delle torri faro che grazie alla loro potenza illuminano a giorno il piazzale 800. In presenza di condizioni di illuminazione diffusa infatti si può dedurre che il fenomeno della riflessione prevalga su quello della retroriflessione, rendendo pertanto non rilevabile, quantomeno visivamente, la differenza tra l'impiego di microsfere Type I e Type III. Questa constatazione si adatta perfettamente ai dati di Q_d registrati e riportati nelle Tabelle 5.23 e 5.24 durante la campagna prove, i quali non presentano evidenti differenze di valore tra le due miscele testate.

Tali conclusioni conducono a porsi domande sull'effettiva utilità di ricorrere alla postspruzzatura di microsfere di vetro ad un più elevato indice di rifrazione, e quindi ovviamente caratterizzate da un costo superiore, nelle zone in cui risulta sempre presente un impianto di illuminazione continuo in grado di garantire condizioni analoghe a quelle di visibilità diurna. Inoltre un'estremizzazione di tale ragionamento potrebbe addirittura condurre al rilevare la totale assenza di utilità di un sistema catadiottrico di qualsivoglia qualità.

5.2.2. Segnaletica bianca nella pista 35L

I risultati relativi a R_L e Q_d per la segnaletica bianca sono stati completati da prove, analoghe a quelle realizzate nella zona Cargo Sud, eseguite sulle miscele sperimentate in corrispondenza dei fazzoletti di Touch Down Zone appartenenti alla pista 35L.

In Figura 5.5 vengono riportate le sei miscele impiegate per le realizzazioni della segnaletica di TDZ.

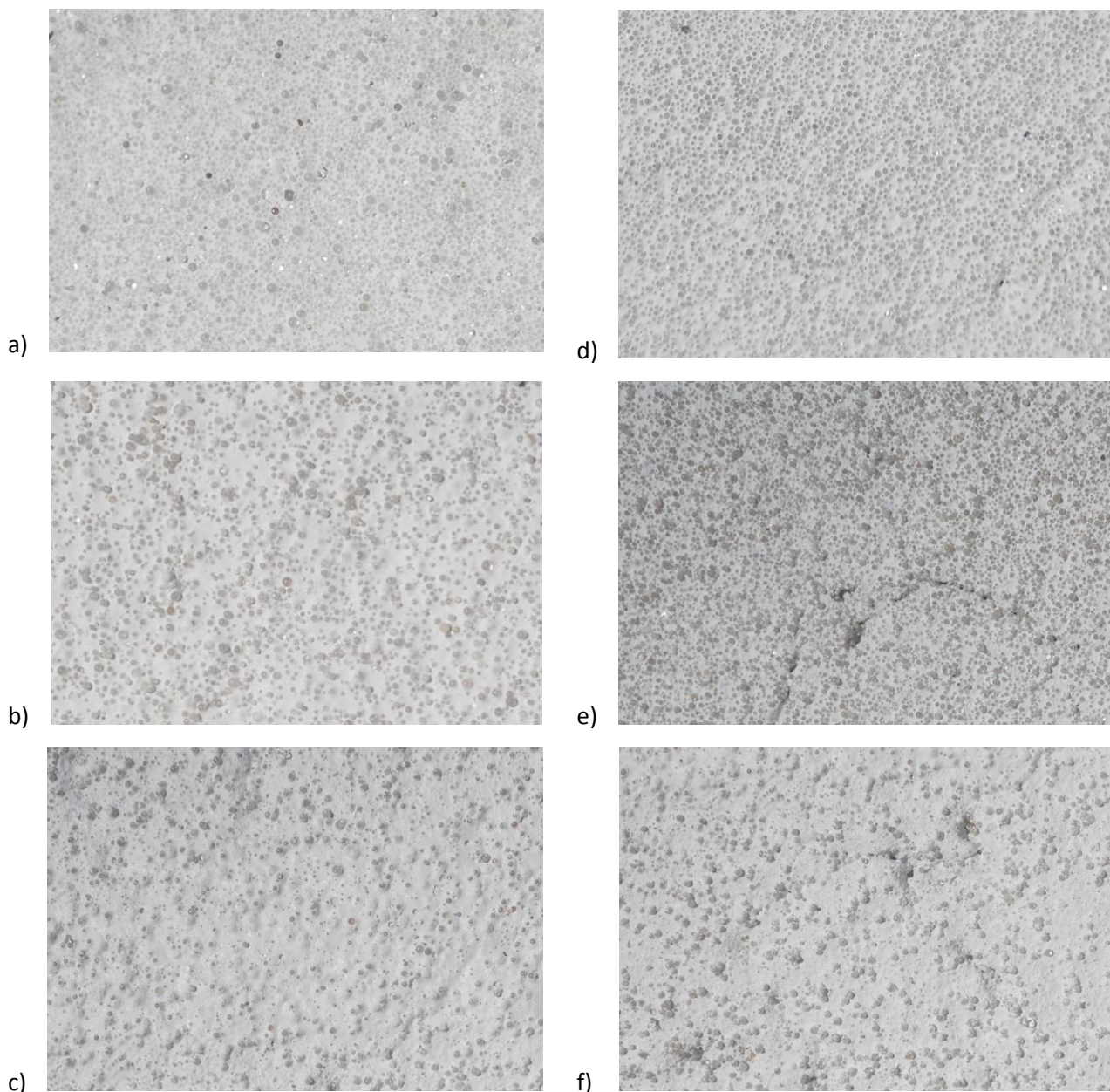


Figura 5.5: Segnaletica realizzata con pittura ad acqua bianca e **a)** microsfere Type I, **b)** microsfere Type III, **c)** microsfere ICAO e con pittura a solvente bianca e **d)** microsfere Type I, **e)** microsfere Type III, **f)** microsfere ICAO sulla pista 35L.

In questo specifico caso, data l'impossibilità di stazionare a lungo sulla pista, comportandone pertanto la necessaria chiusura, è stata effettuata un'unica lettura dei parametri di interesse per ogni punto di misura individuato.

Tale procedura è stata comunque ritenuta valida grazie alla precedente constatazione relativa all'affidabilità del retroriflettometro impiegato, rendendo quindi, se non propriamente superflua, quantomeno non indispensabile l'esecuzione di misure ripetute.

Per la determinazione dei parametri R_L e Q_d sono stati individuati nove punti per ciascun fazzoletto, posizionati come schematizzato in Figura 5.6.

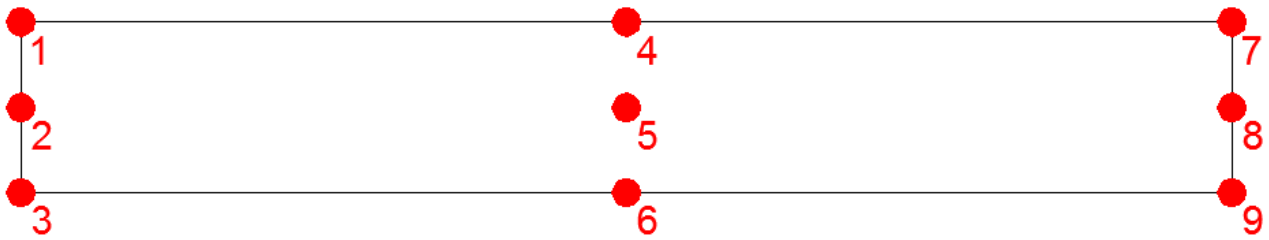


Figura 5.6: Schema ideale di rilevamento dei parametri R_L e Q_d su un generico fazzoletto di TDZ posto sulla pista 35L.

Nella realtà dei fatti, si è ritenuto opportuno evitare la diretta analisi della zona terminale (punti 3, 6 e 9) in corrispondenza della quale si è verificata una cospicua sovrapposizione delle due passate consecutive, resa obbligatoria dalla larghezza di stesa con cui è stata settata la macchina traccialinee.

Per questo motivo lo schema di rilievo dei dati effettivamente impiegato risulta essere quello rappresentato in Figura 5.7.

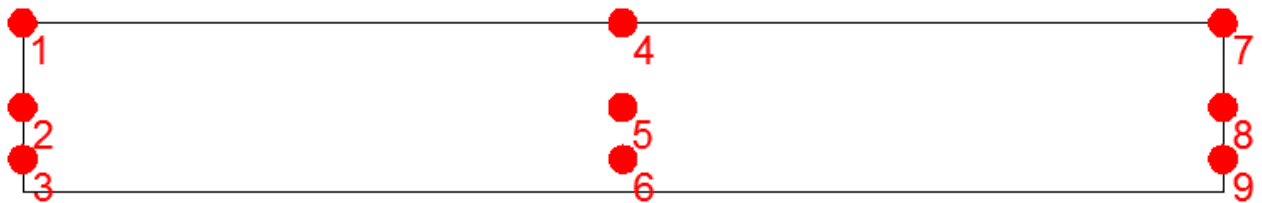


Figura 5.7: Schema effettivo di rilevamento dei parametri R_L e Q_d su un generico fazzoletto di TDZ posto sulla pista 35L.

Nel seguito si riportano le tabelle recanti i valori dei due parametri R_L e Q_d , sia in condizioni di asciutto sia in condizioni di bagnato, per ciascuna miscela testata ed applicata su ciascun fazzoletto della TDZ della pista 35L.

In Tabella 5.25 sono indicati tali valori relativi alla combinazione di pittura bianca all'acqua e di microsfere di vetro Type I.

| ACQUA - TYPE I | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|----------------|--|---|--|---|
| 1 | 248 | 56 | 264 | 255 |
| 2 | 254 | 67 | 263 | 268 |
| 3 | 258 | 25 | 264 | 254 |
| 4 | 276 | 40 | 264 | 265 |
| 5 | 262 | 58 | 265 | 271 |
| 6 | 312 | 69 | 262 | 245 |
| 7 | 282 | 65 | 263 | 248 |
| 8 | 268 | 61 | 264 | 263 |
| 9 | 243 | 39 | 259 | 270 |

Tabella 5.25: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsferi Type I sulla pista 35L.

In Tabella 5.26 sono invece presentati i risultati delle misurazioni eseguite sul fazzoletto di TDZ realizzato mediante la combinazione di pittura ad acqua bianca e microsferi Type III.

| ACQUA - TYPE III | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|------------------|--|---|--|---|
| 1 | 798 | 75 | 257 | 260 |
| 2 | 810 | 73 | 257 | 252 |
| 3 | 830 | 81 | 265 | 251 |
| 4 | 739 | 89 | 262 | 259 |
| 5 | 839 | 81 | 258 | 265 |
| 6 | 778 | 79 | 258 | 262 |
| 7 | 841 | 85 | 270 | 268 |
| 8 | 867 | 81 | 270 | 271 |
| 9 | 799 | 78 | 268 | 253 |

Tabella 5.26: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsferi Type III sulla pista 35L.

Un'interessante osservazione può essere facilmente effettuata confrontando i valori, specialmente del parametro R_L sia in condizioni asciutte sia in condizioni bagnate, ottenuti a partire da stese del tutto identiche per quanto riguarda i materiali che le compongono, ma realizzate in zone diverse dell'aeroporto.

Si nota infatti che le applicazioni eseguite sulla pista 35L tendono a presentare riduzioni non trascurabili nella capacità retroriflettente rispetto alle stese realizzate nella zona Cargo Sud.

In particolare si riscontrano diminuzioni del valore di R_L variabili a seconda della miscela considerata tra circa il 20% ed il 60%.

A partire da tale osservazione, è stata sollevata la necessità di definire quale fosse la causa più probabile di tale discrepanza nelle misurazioni. Dal momento che l'unica differenza tra le stese consiste nella superficie di base su cui è stata realizzata l'applicazione, sono stati analizzati i fattori che meglio caratterizzassero la pavimentazione. Quindi sono state definite ulteriori prove da eseguire in modo tale da determinare un'eventuale relazione tra le caratteristiche superficiali del piano di stesa e i valori di R_L relativi alla segnaletica applicata su di esso. L'argomento viene trattato dettagliatamente nel paragrafo 5.3.

L'ultimo fazzoletto di TDZ posizionato a sinistra della centerline della pista 35L è stato realizzato mediante l'utilizzo combinato di pittura ad acqua bianca e di microsfere ICAO.

Si riportano i valori dei parametri fondamentali in Tabella 5.27.

| ACQUA - ICAO | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|--------------|---|--|---|--|
| 1 | 653 | 138 | 252 | 258 |
| 2 | 601 | 141 | 250 | 260 |
| 3 | 627 | 143 | 244 | 255 |
| 4 | 560 | 112 | 252 | 239 |
| 5 | 636 | 145 | 252 | 262 |
| 6 | 676 | 156 | 244 | 250 |
| 7 | 678 | 138 | 245 | 251 |
| 8 | 681 | 144 | 242 | 248 |
| 9 | 656 | 137 | 248 | 257 |

Tabella 5.27: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua bianca e microsfere ICAO sulla pista 35L.

Questa prova condotta con l'utilizzo di microsfere ICAO risulta piuttosto interessante in quanto è stata adottata una tipologia di microsfere scarsamente diffusa e conosciuta poiché non prevista dalle Federal Specification redatte dalla FAA.

Questi elementi sono stati ideati affinché rendessero la segnaletica orizzontale maggiormente visibile in una condizione notturna di pioggia grazie alle maggiori dimensioni che le contraddistinguono, presentando quindi un maggior valore di R_L bagnato rispetto alle microsfere Type I e Type III.

Per quanto riguarda invece la retro riflettanza in condizioni asciutte le microsfere ICAO non sono state ideate per aumentarne il valore rispetto a quello ottenuto in presenza di microsfere Type III.

L'analisi dei dati sulle microsfere ICAO è stata svolta con il fine di testare le effettive proprietà di tali elementi catadiottrici.

Una volta raccolti ed ordinati mediante tabelle i risultati ottenuti dalle misurazioni effettuate, si è proceduto all'elaborazione grafica dei dati per rendere più agevole il confronto tra i parametri offerti dalle diverse tipologie di sistema segnaletico.

Nel Grafico 5.5 viene riportato l'andamento del parametro R_L in condizioni asciutte fornito dalle tre differenti qualità di microsfere adottate.

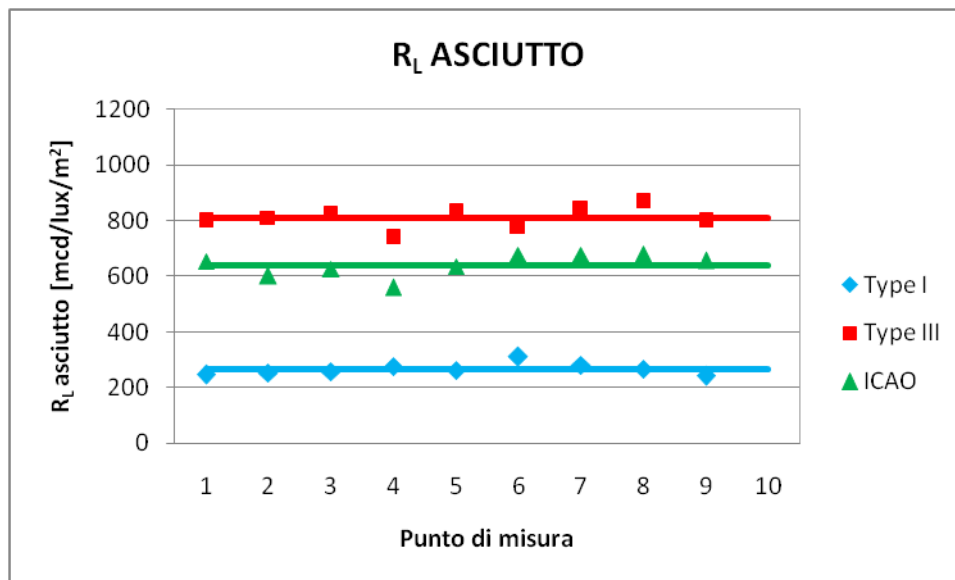


Grafico 5.5: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L.

Salta subito all'occhio che in assenza di condizioni di bagnato le microsfere ICAO non offrono alcun vantaggio rispetto alle Type III, fornendo anzi valori di retroriflettenza inferiori. Nonostante ciò, le microsfere ICAO, presentando un indice di rifrazione pari a 1,9, risultano comunque preferibili alle Type I qualora sia richiesta un'elevata visibilità notturna.

Gli andamenti del coefficiente di luminanza retro riflessa R_L valutato in condizioni di bagnato sono mostrati nel Grafico 5.6.

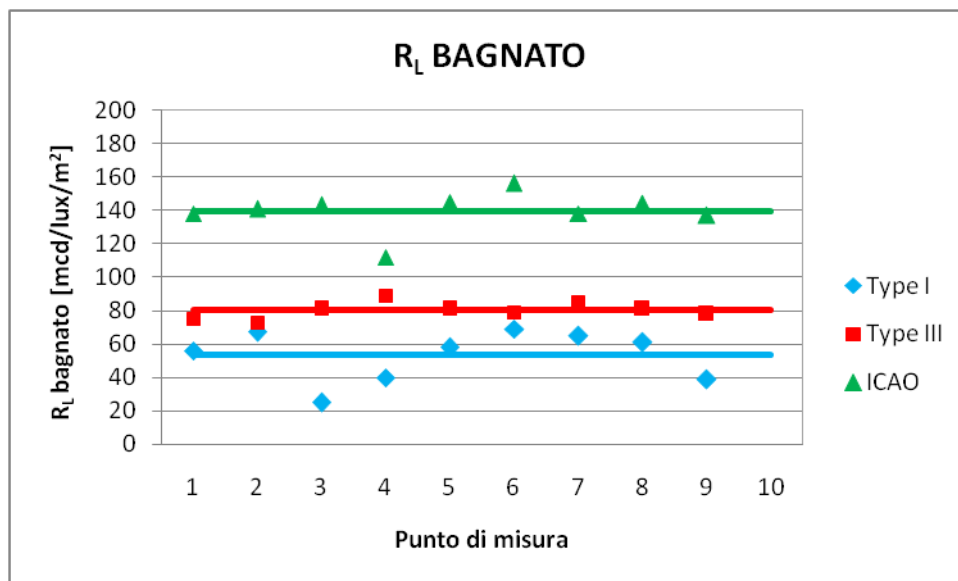


Grafico 5.6: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua bianca unita a microsferi Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L.

Il grafico evidenzia quanto già osservato analizzando i valori tabellati, ovvero che la prova condotta secondo le indicazioni fornite dalla normativa vigente conduce ad una variabilità piuttosto elevata dei valori di retroriflettenza misurati.

Inoltre il diagramma sembrerebbe confermare che le microsferi ICAO apportino un maggiore contributo alla sicurezza durante le operazioni di movimentazione condotte in condizioni di scarsa visibilità dovute alla presenza di pioggia.

I Grafici 5.7 e 5.8 rappresentano i valori del parametro Q_d , asciutto e bagnato, ottenuti in corrispondenza di segnaletica orizzontale realizzata con microsferi differenti.

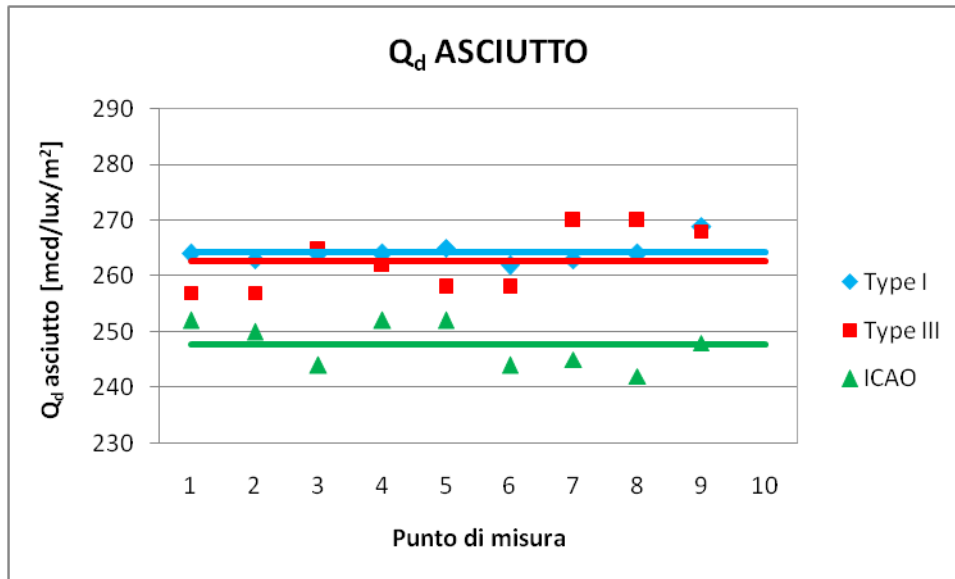


Grafico 5.7: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua bianca unita a microsferi Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L.

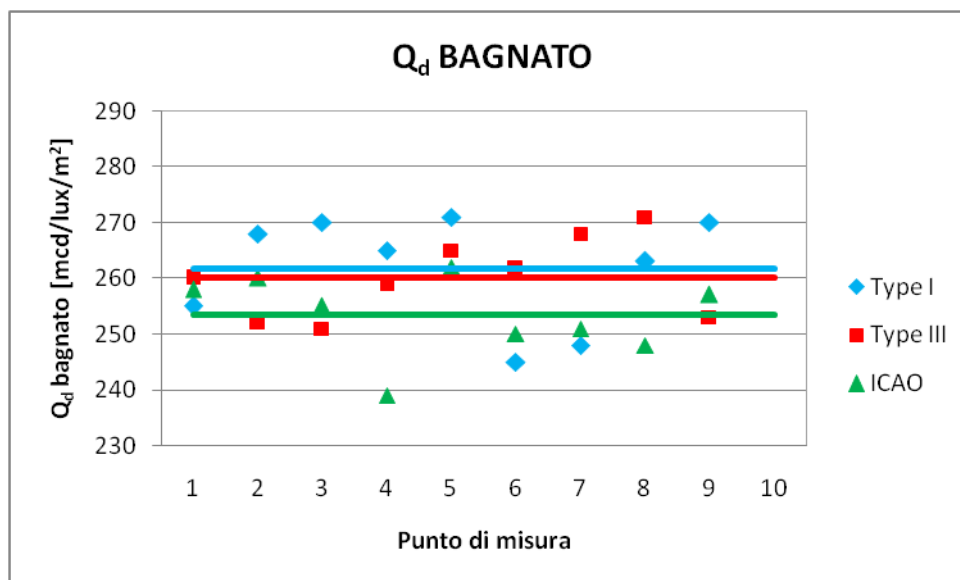


Grafico 5.8: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua bianca unita a microsferi Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L.

Come già osservato parzialmente nella zona Cargo Sud, si nota come il valore del coefficiente di luminanza in condizione di illuminazione diffusa Q_d risulti stabile non solo all'interno della medesima stesa, ma anche tra impianti segnaletici differenti. Infatti non si verificano sostanziali differenze tra i valori ottenuti in presenza delle diverse tipologie di microsferi tali da giustificare riflessioni relativamente alla convenienza di adottare elementi catadiottrici di una qualità rispetto ad un'altra.

Inoltre si verifica quanto già riscontrato all'interno della zona Cargo Sud, ovvero che tra i valori di Q_d asciutto e bagnato non intercorrono differenze degne di nota.

Le stese realizzate mediante pittura a solvente, come descritto nel paragrafo 4.4.2., si sono concentrate nella parte di pavimentazione situata a destra della centerline di pista.

Analogamente a quanto visto in precedenza per le applicazioni segnaletiche eseguite mediante l'impiego di pittura ad acqua, si riportano nelle Tabelle 5.28, 5.29 e 5.30 i valori dei parametri raccolti sui fazzoletti realizzati con le differenti tipologie di microsfere di vetro.

| SOLVENTE - TYPE I | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|-------------------|---|--|---|--|
| 1 | 331 | 55 | 231 | 235 |
| 2 | 317 | 48 | 230 | 227 |
| 3 | 328 | 57 | 232 | 238 |
| 4 | 326 | 54 | 231 | 242 |
| 5 | 314 | 56 | 232 | 233 |
| 6 | 343 | 51 | 231 | 225 |
| 7 | 323 | 53 | 230 | 229 |
| 8 | 284 | 41 | 231 | 231 |
| 9 | 328 | 56 | 232 | 230 |

Tabella 5.28: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente bianca e microsfere Type I sulla pista 35L.

| SOLVENTE - TYPE III | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|---------------------|---|--|---|--|
| 1 | 826 | 92 | 241 | 220 |
| 2 | 906 | 87 | 216 | 235 |
| 3 | 888 | 85 | 220 | 227 |
| 4 | 1029 | 95 | 230 | 226 |
| 5 | 858 | 75 | 227 | 218 |
| 6 | 860 | 73 | 221 | 221 |
| 7 | 760 | 63 | 212 | 242 |
| 8 | 834 | 79 | 236 | 233 |
| 9 | 920 | 91 | 222 | 238 |

Tabella 5.29: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente bianca e microsfere Type III sulla pista 35L.

| SOLVENTE - ICAO | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|-----------------|--|---|--|---|
| 1 | 678 | 153 | 235 | 229 |
| 2 | 724 | 185 | 233 | 223 |
| 3 | 698 | 146 | 232 | 233 |
| 4 | 622 | 148 | 232 | 237 |
| 5 | 712 | 165 | 231 | 219 |
| 6 | 673 | 107 | 233 | 236 |
| 7 | 686 | 141 | 235 | 232 |
| 8 | 636 | 147 | 239 | 240 |
| 9 | 708 | 163 | 232 | 226 |

Tabella 5.30: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente bianca e microsfere Type III sulla pista 35L.

Le osservazioni desumibili dall'analisi delle singole tabelle recanti i dati ottenuti testando i sistemi segnaletici composti con pittura a solvente, sono del tutto analoghe a quelle scaturite dalla valutazione dei risultati relativi alle miscele ad acqua.

L'elaborazione dei dati contenuti all'interno delle tabelle sopra riportate ha portato alla realizzazione di grafici che permettono un confronto sinottico tra le diverse miscele impiegate per ciascun parametro di visibilità rilevato.

Il Grafico 5.9 presenta l'andamento del parametro R_L asciutto relativo all'applicazione eseguita mediante microsfere Type I.

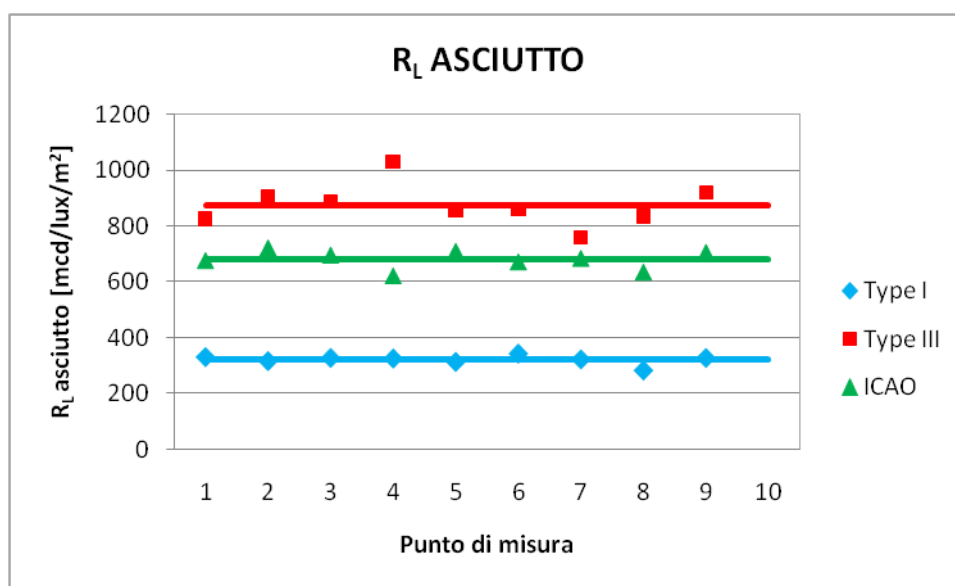


Grafico 5.9: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura a solvente bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L.

L'interpolazione dei dati di R_L asciutto ha condotto ad andamenti grafici del tutto simili a quelli rappresentati nel Grafico 5.5. Anche per le pitture a solvente infatti le microsfere Type III si configurano come quelle maggiormente dotate di capacità retroriflettente, seguite da microsfere ICAO ed infine microsfere Type I che presentano un valore di R_L evidentemente più basso.

Nel Grafico 5.10 si riportano i valori di R_L bagnato relativi alle tre differenti stese.

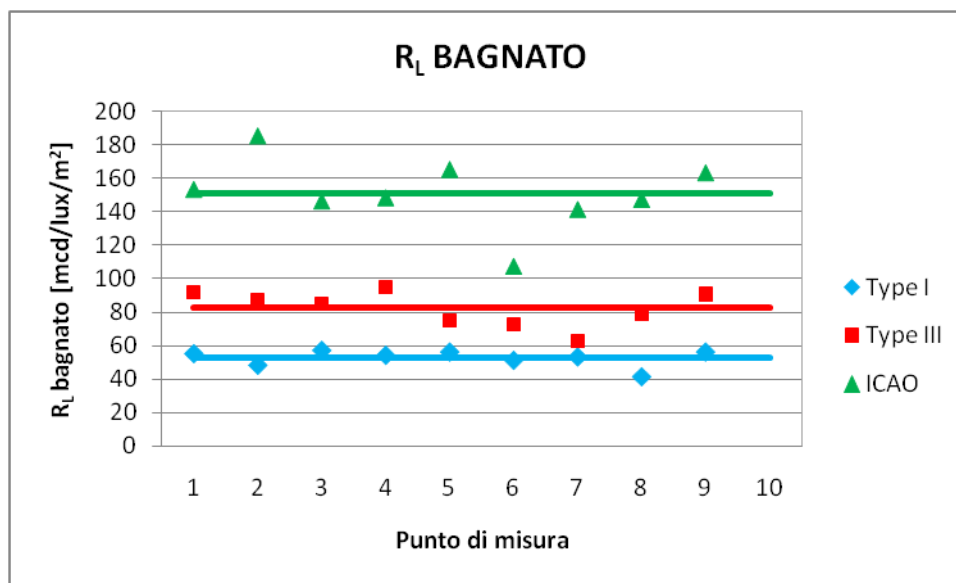


Grafico 5.10: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura a solvente bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L.

Nuovamente non si riscontrano differenze degne di nota tra gli andamenti del parametro riportati nel Grafico 5.10 e quelli appartenenti al Grafico 5.6.

Si conferma infatti che in presenza di condizioni di bagnato le microsfere ICAO risultano offrire una maggiore visibilità e quindi permettono di ottenere un più elevato grado di sicurezza durante le operazioni notturne in presenza di pioggia.

Nei Grafici 5.11 e 5.12 si riportano gli andamenti del parametro Q_d , asciutto e bagnato, valutato in presenza di diversi impianti segnaletici.

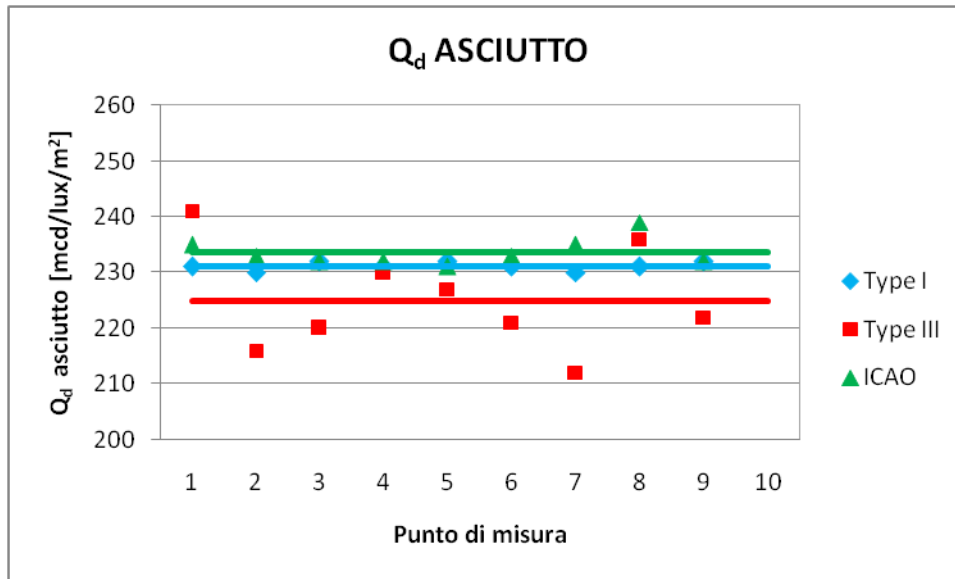


Grafico 5.11: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura a solvente bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L.

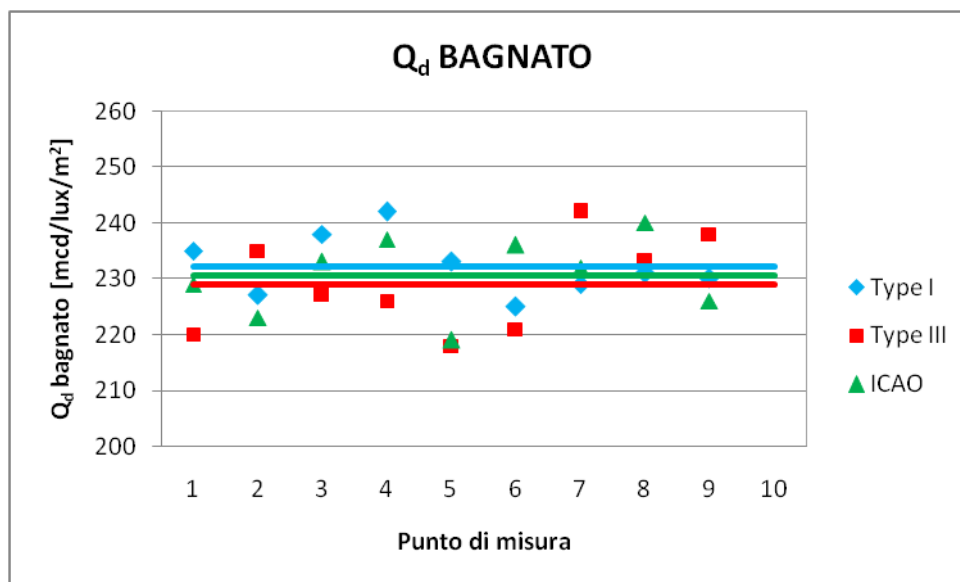


Grafico 5.12: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura a solvente bianca unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO nella pista 35L.

Ancora una volta il parametro Q_d risulta caratterizzato da una notevole stabilità, presentando per i tre differenti tipi di microsfere valori tra loro simili. Inoltre, anche l'affinità tra i valori valutati in condizioni di asciutto ed in condizioni di bagnato riscontrata in precedenza appare ulteriormente confermata.

Da una valutazione riassuntiva di tutti i dati raccolti dalle sei diverse applicazioni realizzate, si può notare come la tipologia di pittura impiegata, a base di acqua e a base di solvente, non abbia comportato sostanziali variazioni. Infatti, confrontando le coppie di stese identiche per quanto

riguarda il tipo di elemento catadiottrico impiegato, ma differenti per tipologia di pittura, i valori sia di R_L sia di Q_d che ne derivano appaiono mediamente i medesimi.

Tuttavia, affinando l'analisi, si nota come i valori del parametro R_L ottenuti dalle misurazioni realizzate su pittura a solvente risultino lievemente superiori. Questa situazione può essere essenzialmente spiegata mediante due osservazioni. La prima consiste nel sottolineare che la pittura a solvente impiegata presenta un certo quantitativo di microsfere di vetro premiscelate, che ragionevolmente può influenzare, sebbene in maniera ridotta, anche le prime fasi di vita di un segnale orizzontale così realizzato. In secondo luogo occorre fare riferimento alle modalità di essiccazione delle due vernici adottate; infatti la pittura a solvente tende a ridurre il proprio spessore in tempi rapidi andando quindi ad esporre maggiormente le microsfere.

Per quanto riguarda invece il parametro Q_d , i suoi valori appaiono superiori nel caso di pittura ad acqua, probabilmente a causa di colorazione più chiara di tale vernice rispetto a quella a solvente, non visibile in maniera distinta ad occhio nudo.

Come realizzato per le applicazioni nella zona Cargo Sud, l'analisi numerica è stata corredata da una raccolta di fotografie al fine di effettuare valutazioni qualitative basate sulla percezione visiva. All'interno della pista 35L non è stato possibile simulare la visione dall'altezza del cockpit di un aeromobile in quanto il posizionamento di una scala in tale zona non è stato permesso a causa dell'eccessivo disturbo che ciò avrebbe comportato alle regolari operazioni in pista.

In Figura 5.8 si nota chiaramente il diverso grado di visibilità notturna offerto dalle applicazioni realizzate mediante pittura ad acqua e le tre differenti tipologie di microsfere di vetro impiegate.

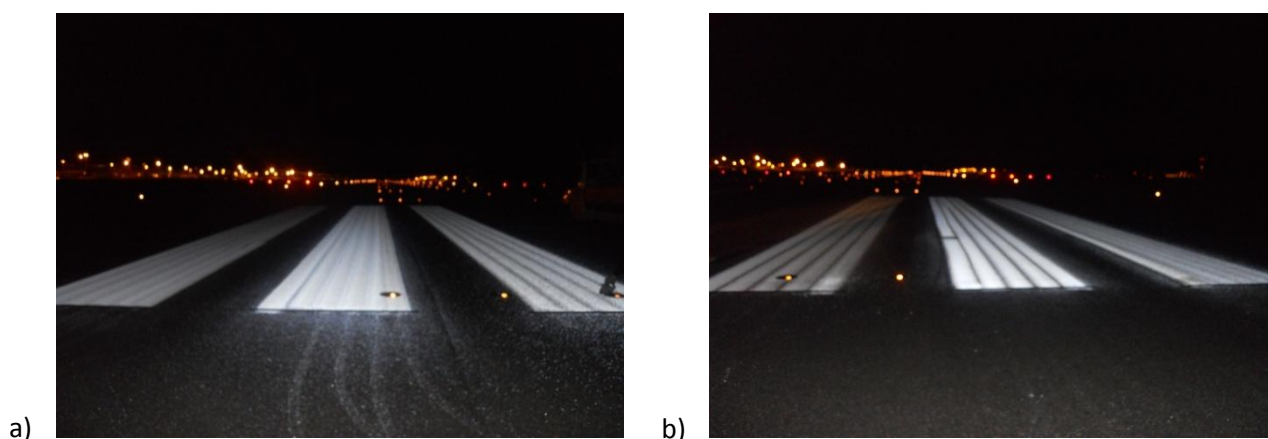


Figura 5.8: Aspetto della segnaletica orizzontale realizzata nella pista 35L mediante **a)** pittura all'acqua e **b)** pittura a solvente unite rispettivamente, da sinistra verso destra, a microsfere Type I, Type III ed ICAO.

Dal punto di vista visivo si riscontra una buona congruenza con quanto ottenuto mediante le misurazioni eseguite in sito mediante retroriflettometro.

Innanzitutto appare evidente come le microsfere Type III garantiscano in assoluto il maggior grado di visibilità notturna se confrontate con le applicazioni realizzate utilizzando le altre due tipologie di elementi catadiottrici testati.

Inoltre le microsfere Type I danno origine a sistemi segnaletici scarsamente visibili durante le ore notturne. L'aspetto con cui appaiono tali segnali orizzontali, benché i valori di R_L raccolti risultino perfettamente in linea con quanto raccomandato dai tecnici della Potters Ind. in base alla vigente normativa, sembrerebbe sconsigliarne l'utilizzo, specialmente in ambito aeroportuale dove visibilità e sicurezza sono condizioni imprescindibili.

Le microsfere innovative denominate ICAO invece si configurano come una soluzione intermedia offrendo infatti maggiore retroriflettenza rispetto alle microsfere a basso indice di rifrazione, ma risultando comunque meno visibili delle Type III.

Infine confrontando le Figure 5.8a e 5.8b non si notano fondamentali differenze dovute all'utilizzo di pitture con composizione chimica differente. Nonostante la raccolta dei dati eseguita durante le misurazioni in sito abbia riportato valori di R_L maggiori in corrispondenza dell'adozione di pitture a solvente, tale differenza risulta così lieve da non essere percepita distintamente dall'occhio umano.

5.2.3. Segnaletica gialla nella zona Cargo Sud

Le misure sulle applicazioni di colorazione gialla realizzata nella zona Cargo Sud si sono focalizzate sulla determinazione dei due parametri di visibilità, R_L e Q_d , valutati riproducendo sia condizioni di asciutto sia condizioni di bagnato.

Le due miscele testate vengono mostrate nelle Figure 5.9a e 5.9b.

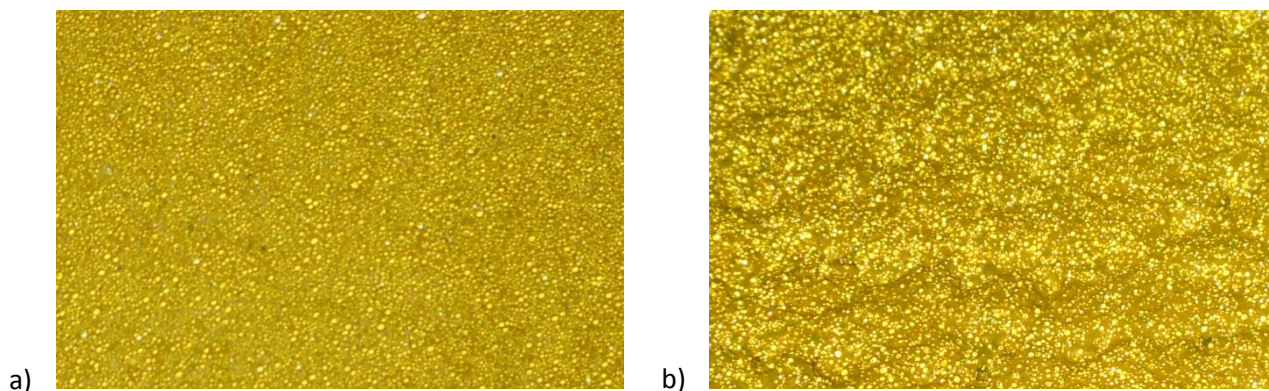


Figura 5.9: Segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e **a)** microsfere Type I e **b)** microsfere Type III nella zona Cargo Sud.

Come durante l'esecuzione delle misurazioni effettuate sulla segnaletica orizzontale bianca della viabilità ordinaria, anche in questo caso sono stati raccolti i dati relativi a venti punti di misura, con un'interdistanza pari a circa 35 m. nella fattispecie dieci sono state le misurazioni eseguite sulla segnaletica caratterizzata dalla presenza di microsfere Type I ed altrettante su quella con microsfere Type III.

Ogni punto è stato misurato tre volte consecutive al fine di determinare un valori medi di R_L e Q_d che fossero sufficientemente rappresentativi.

I dati ottenuti sono stati ordinati nelle Tabelle 5.31, 5.32, 5.33 e 5.34.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m^2] | | | R_L bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 216 | 221 | 214 | 32 | 46 | 71 |
| 2 | 243 | 241 | 238 | 69 | 81 | 34 |
| 3 | 189 | 191 | 189 | 62 | 58 | 64 |
| 4 | 213 | 200 | 199 | 50 | 50 | 49 |
| 5 | 196 | 205 | 197 | 64 | 25 | 64 |
| 6 | 223 | 223 | 223 | 74 | 68 | 65 |
| 7 | 214 | 213 | 200 | 17 | 50 | 32 |
| 8 | 196 | 208 | 197 | 63 | 72 | 65 |
| 9 | 234 | 241 | 238 | 75 | 81 | 79 |
| 10 | 198 | 207 | 199 | 64 | 71 | 85 |

Tabella 5.31: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | | | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 185 | 187 | 186 | 185 | 182 | 186 |
| 2 | 184 | 183 | 184 | 180 | 178 | 181 |
| 3 | 182 | 182 | 182 | 187 | 185 | 187 |
| 4 | 184 | 183 | 183 | 185 | 184 | 189 |
| 5 | 185 | 185 | 185 | 190 | 188 | 185 |
| 6 | 179 | 182 | 184 | 185 | 180 | 185 |
| 7 | 186 | 185 | 183 | 187 | 189 | 188 |
| 8 | 187 | 186 | 187 | 178 | 182 | 180 |
| 9 | 179 | 182 | 185 | 179 | 181 | 178 |
| 10 | 182 | 183 | 182 | 185 | 187 | 182 |

Tabella 5.32: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | | | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 596 | 578 | 579 | 56 | 92 | 64 |
| 2 | 534 | 525 | 534 | 59 | 76 | 126 |
| 3 | 642 | 644 | 663 | 70 | 93 | 95 |
| 4 | 578 | 575 | 544 | 64 | 71 | 89 |
| 5 | 524 | 516 | 507 | 84 | 73 | 82 |
| 6 | 575 | 584 | 578 | 86 | 72 | 115 |
| 7 | 534 | 546 | 516 | 77 | 71 | 89 |
| 8 | 624 | 634 | 653 | 67 | 112 | 95 |
| 9 | 598 | 596 | 574 | 94 | 73 | 87 |
| 10 | 598 | 611 | 602 | 134 | 58 | 86 |

Tabella 5.33: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | | | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 178 | 178 | 177 | 180 | 185 | 183 |
| 2 | 181 | 179 | 179 | 183 | 182 | 182 |
| 3 | 182 | 182 | 182 | 177 | 180 | 179 |
| 4 | 180 | 179 | 179 | 186 | 186 | 187 |
| 5 | 180 | 179 | 180 | 176 | 181 | 173 |
| 6 | 180 | 177 | 178 | 185 | 180 | 180 |
| 7 | 185 | 181 | 181 | 189 | 187 | 186 |
| 8 | 182 | 183 | 183 | 181 | 182 | 179 |
| 9 | 180 | 182 | 181 | 185 | 189 | 183 |
| 10 | 178 | 169 | 178 | 178 | 178 | 180 |

Tabella 5.34: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud.

Dall'osservazione delle tabelle sopra riportate è possibile sottolineare nuovamente l'affidabilità della strumentazione adottata che risulta in grado di fornire valori caratterizzati da una bassa dispersione rispetto al loro valor medio, sia nel caso di R_L asciutto sia nel caso della misurazione del parametro Q_d in entrambe le condizioni esterne riprodotte.

Ancora una volta invece si evidenziano maggiori problematicità nella valutazione del parametro di retro riflettanza in presenza di un film d'acqua sulle microsfere.

L'ipotesi per spiegare tale osservazione è stata ampiamente riportata nel paragrafo 5.2.1., all'interno del quale si trovano i dati corrispondenti a quelli mostrati nelle Tabelle 5.31 e 5.33 ma relativi alla segnaletica bianca.

Dall'elaborazione dei risultati ottenuti durante la campagna prove sono stati ricavati, per ciascun parametro rilevato, i valori medi, riportati nelle Tabelle 5.35 e 5.36.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | |
|-----------------|---|--|---|--|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
| 1 | 217 | 50 | 186 | 184 |
| 2 | 241 | 61 | 184 | 178 |
| 3 | 190 | 61 | 186 | 184 |
| 4 | 204 | 50 | 183 | 183 |
| 5 | 199 | 51 | 185 | 181 |
| 6 | 223 | 69 | 179 | 182 |
| 7 | 209 | 33 | 185 | 188 |
| 8 | 200 | 67 | 187 | 177 |
| 9 | 238 | 78 | 181 | 179 |
| 10 | 201 | 73 | 182 | 183 |

Tabella 5.35: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | |
|-----------------|---|--|---|--|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
| 1 | 584 | 71 | 178 | 181 |
| 2 | 531 | 87 | 180 | 182 |
| 3 | 650 | 86 | 182 | 179 |
| 4 | 566 | 75 | 179 | 186 |
| 5 | 516 | 80 | 180 | 171 |
| 6 | 579 | 91 | 178 | 179 |
| 7 | 532 | 79 | 182 | 187 |
| 8 | 637 | 91 | 183 | 181 |
| 9 | 589 | 85 | 181 | 186 |
| 10 | 604 | 93 | 175 | 179 |

Tabella 5.36: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud.

I valori medi ottenuti, con particolare attenzione per il parametro R_L determinato in presenza di una superficie completamente asciutta, risultano anche in questo caso, come per le applicazioni analoghe di colorazione bianca, perfettamente in linea con quanto preventivato e stimato durante la fase di settaggio dai tecnici della Potters che vi hanno preso parte. In genere infatti un sistema segnaletico giallo presenta mediamente valori di retro riflettanza dimezzati rispetto a quelli offerti da un impianto segnaletico realizzato con materiali e quantitativi identici in tutto fuorché per la composizione chimica della pittura. Infatti generalmente le vernici di colorazione gialla presentano un minor quantitativo di biossido di titanio, elemento fondamentale per il fenomeno della retro riflessione.

L'interpolazione dei dati medi contenuti all'interno delle Tabelle 5.35 e 5.36 ha condotto al tracciamento di grafici comparativi tra i valori dei parametri delle microsfere Type I e Type III.

L'andamento del valore di R_L asciutto viene rappresentato, rispettivamente per i sistemi segnaletici a basso e ad alto indice di rifrazione, all'interno del Grafico 5.13.

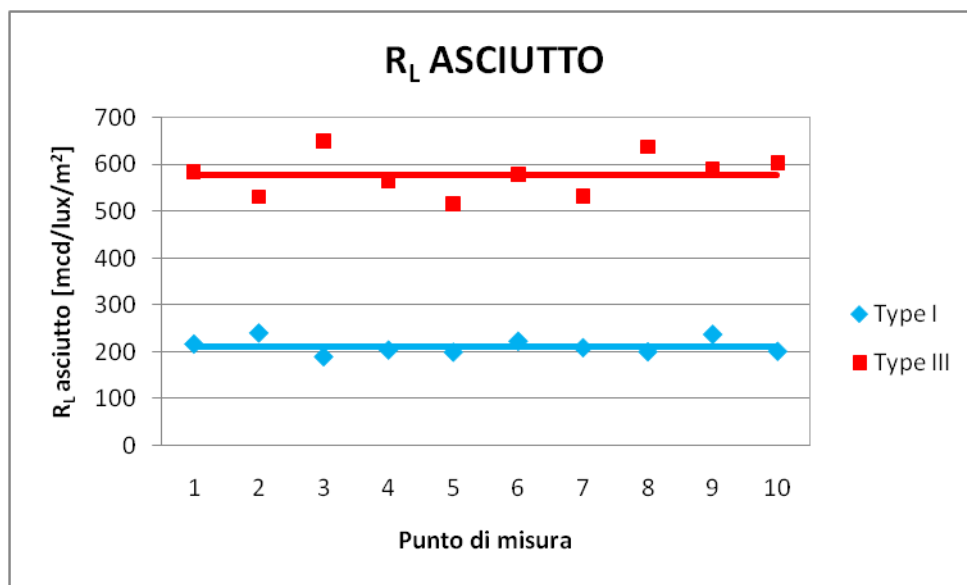


Grafico 5.13: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud.

Benché, come già accennato, i valori di retroriflettenza di un impianto segnaletico caratterizzato da colorazione gialla risultino mediamente dimezzati rispetto a quelli forniti da un sistema bianco, appare evidente dal Grafico 5.13 che viene mantenuto il rapporto di proporzionalità tra microsfere Type I e Type III. In particolare infatti, sia per quanto riguarda i segnali orizzontali bianchi sia per quelli gialli, i valori del parametro R_L ottenuti in corrispondenza dell'utilizzo di microsfere Type III risultano circa tre volte superiori rispetto a quelli garantiti dalle microsfere Type I.

Si nota anche in questo caso, come già rilevato per i dati relativi alle analoghe stese bianche nella zona Cargo Sud, un'apparente maggiore dispersione dei risultati ottenuti a partire dalle microsfere a più alto indice di rifrazione. In realtà il rapporto di proporzionalità tra i valori di R_L delle microsfere Type III e Type I si mantiene uguale anche nei rapporti tra gli scarti dei valori massimi e minimi valutati rispetto al valore medio, permettendo pertanto di affermare che, in proporzione, la variabilità dei dati dei due impianti segnaletici è la medesima.

Nel Grafico 5.14 vengono mostrati i tracciati relativi all'elaborazione dei dati di R_L bagnato.

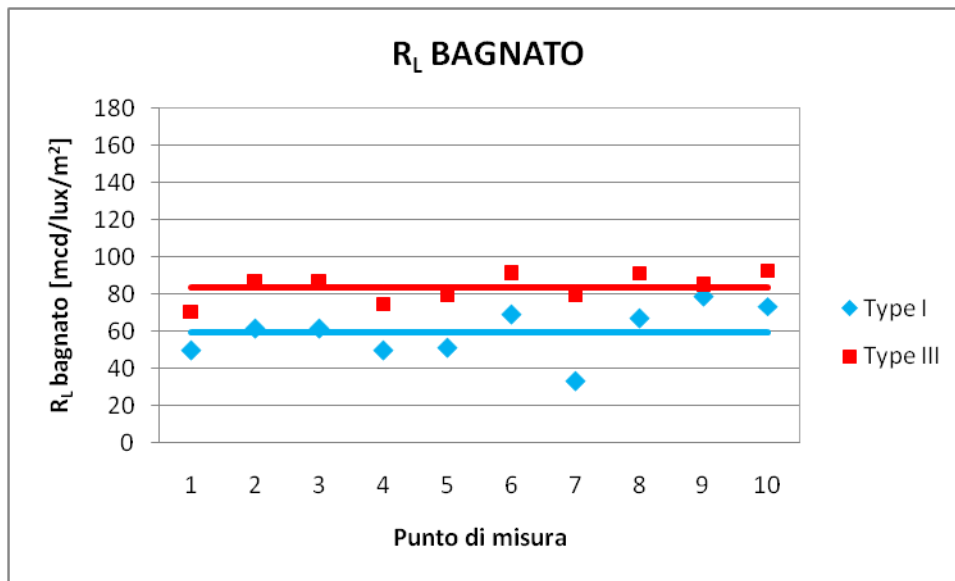


Grafico 5.14: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud.

Nonostante la variabilità più volte riscontrata all'interno dei dati ottenuti da prove eseguite riproducendo le condizioni di bagnato, si può affermare che, anche per quanto riguarda i valori di R_L forniti in presenza di un velo idrico, le microsfere Type III sono in grado di garantire una maggiore visibilità notturna.

L'elaborazione dei risultati relativi ai due sistemi segnaletici realizzati sulla centerline di taxiway della zona Cargo Sud mediante l'impiego di microsfere Type I e Type III si è conclusa graficando, per maggiore completezza di analisi, anche i dati di Q_d , sia in condizioni asciutte sia in condizioni bagnate.

Nei Grafici 5.15 e 5.16 vengono riportati gli andamenti del parametro Q_d .

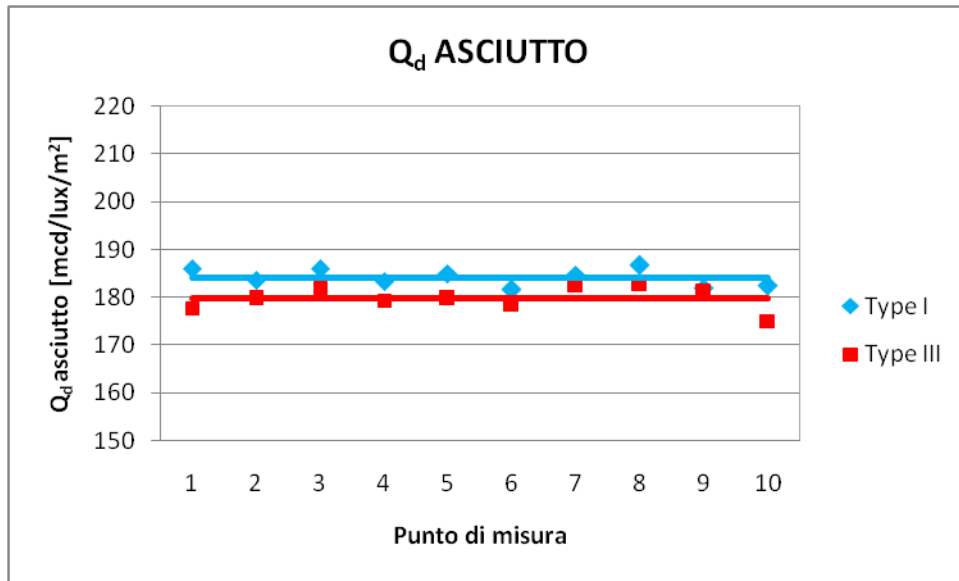


Grafico 5.15: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud.

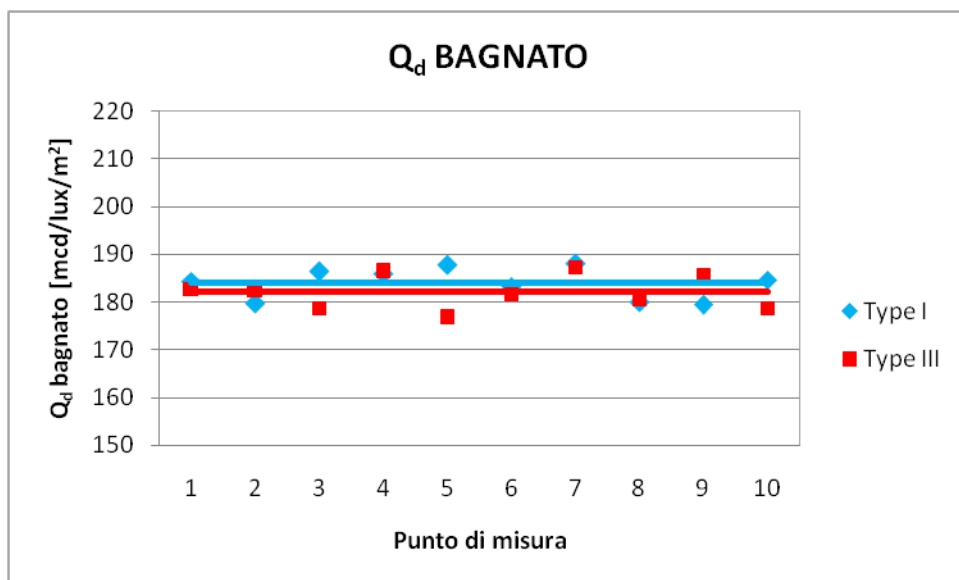


Grafico 5.16: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I e Type III nella zona Cargo Sud.

Nuovamente le principali osservazioni che nascono dall'analisi dei grafici sopra riportati riguardano la particolare caratteristica di costanza dei valori di Q_d riscontrata sia nel confronto tra microsfere di tipo diverso sia nella valutazione di condizioni esterne differenti (asciutte e bagnate). Sono valide pertanto le medesime supposizioni avanzate durante l'analisi dei dati di Q_d relativi ai due impianti segnaletici bianchi realizzati sulla viabilità ordinaria della zona Cargo Sud.

Al fine di avvalorare i risultati analitici ottenuti, sono state scattate fotografie che permettessero di avere un riscontro visivo di quanto valutato numericamente.

Nel caso della centerline di taxiway gialla in esame, non sono stati eseguiti scatti da una posizione elevata poiché quanto riscontrato per le applicazioni bianche ha portato ad affermare che non si riescano a percepire differenze apprezzabili di luminosità dei sistemi segnaletici in presenza della condizione di illuminazione a giorno fornita dalle torri faro.

In Figura X si evidenzia il punto di passaggio tra microsfere Type I e Type III.



Figura 5.10: Punto di stacco tra microsfere Type I e microsfere Type III sulla centerline di taxiway della zona Cargo Sud.

La centerline di taxiway situata all'interno della zona Cargo Sud è stata interessata inoltre, come specificato nel paragrafo 4.4.2.2., dall'applicazione della miscela antiskid ottenuta mediante microsfere Type III e granuli antiderapanti.

La scelta di effettuare tale stesa deriva dalla volontà di confrontare le prestazioni di sistemi segnaletici caratterizzati o meno dalla presenza di aggregati con proprietà antiskid. Infatti i granuli sono prodotti realizzati appositamente per incrementare la resistenza al derapaggio, espressa in unità SRT, offerta dalla pavimentazione in corrispondenza delle applicazioni segnaletiche. Risulta tuttavia, secondo quanto riportato in letteratura, problematica l'introduzione di tali elementi in quanto comportano necessariamente una riduzione della densità superficiale delle microsfere. Questa condizione causa naturalmente una diminuzione del grado di visibilità notturna che potrebbe nuocere alla sicurezza in maniera eccessiva. Per arginare tale inconveniente i produttori dei granuli hanno introdotto l'utilizzo del vetro quale componente principale, ma la necessaria forma spigolosa che caratterizza tali elementi rende comunque interessante svolgere analisi approfondite per determinare il rapporto tra incremento di SRT e riduzione di R_L generato dall'utilizzo degli aggregati antiderapanti.

Le misurazioni sono state eseguite conformemente a quanto effettuato per le applicazioni con Type I e Type III realizzate nella medesima zona. In particolare sono stati assunti i dati relativi a dieci punti equidistanziati lungo la stesa analizzata.

Si riportano nelle Tabelle 5.37 e 5.38 i valori relativi ai test eseguiti sulla porzione di centerline di taxiway realizzata mediante miscela antiderapante.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III + GRANULI ANTISKID | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m^2] | | | R_L bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 329 | 326 | 325 | 74 | 78 | 83 |
| 2 | 302 | 281 | 287 | 72 | 70 | 85 |
| 3 | 314 | 320 | 299 | 70 | 62 | 65 |
| 4 | 330 | 326 | 329 | 86 | 82 | 79 |
| 5 | 281 | 300 | 296 | 81 | 78 | 83 |
| 6 | 317 | 321 | 300 | 78 | 86 | 72 |
| 7 | 330 | 325 | 327 | 83 | 80 | 75 |
| 8 | 298 | 303 | 315 | 79 | 74 | 82 |
| 9 | 316 | 322 | 319 | 68 | 72 | 76 |
| 10 | 300 | 311 | 297 | 71 | 67 | 65 |

Tabella 5.37: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III unite a granuli antiskid nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III + GRANULI ANTISKID | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | Q_d asciutto [mcd/lux/m^2] | | | Q_d bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 183 | 179 | 181 | 176 | 180 | 182 |
| 2 | 178 | 178 | 179 | 181 | 181 | 183 |
| 3 | 185 | 184 | 185 | 185 | 184 | 185 |
| 4 | 179 | 179 | 179 | 177 | 178 | 179 |
| 5 | 185 | 183 | 183 | 180 | 180 | 181 |
| 6 | 182 | 182 | 179 | 176 | 177 | 177 |
| 7 | 178 | 180 | 182 | 179 | 180 | 178 |
| 8 | 187 | 186 | 186 | 182 | 184 | 185 |
| 9 | 179 | 182 | 182 | 186 | 182 | 183 |
| 10 | 175 | 177 | 178 | 175 | 175 | 180 |

Tabella 5.38: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III unite a granuli antiskid nella zona Cargo Sud.

A partire dai dati riportati nelle precedenti tabelle sono stati ricavati i valori medi sulle tre misure per ciascun parametro considerato. In Tabella 5.39 vengono riportati tali risultati.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III + GRANULI ANTISKID | | | |
|-----------------|---|--|---|--|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
| 1 | 327 | 78 | 181 | 179 |
| 2 | 290 | 76 | 178 | 182 |
| 3 | 311 | 66 | 185 | 185 |
| 4 | 328 | 82 | 179 | 178 |
| 5 | 292 | 81 | 184 | 180 |
| 6 | 313 | 79 | 181 | 177 |
| 7 | 327 | 79 | 180 | 179 |
| 8 | 305 | 78 | 186 | 184 |
| 9 | 319 | 72 | 181 | 184 |
| 10 | 303 | 68 | 177 | 177 |

Tabella 5.39: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III unite a granuli antiskid nella zona Cargo Sud.

Una volta raccolte le misure relative alla miscela antiskid è stato possibile procedere con il confronto di tale prodotto con quello realizzato mediante il solo utilizzo di microsfere Type III.

Nel Grafico 5.17 si riportano i valori di R_L , valutati in condizioni asciutte, forniti dai due impianti segnaletici posti a confronto.

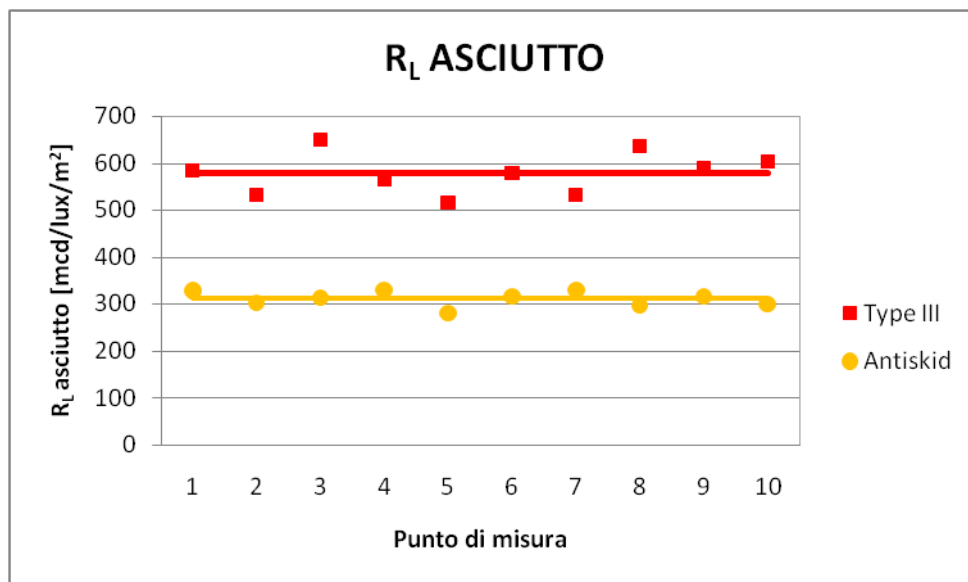


Grafico 5.17: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type III e miscela antiskid nella zona Cargo Sud.

È immediato notare come l'introduzione di granuli antiderapanti, incapaci a causa della loro particolare geometria e composizione di dare origine al fenomeno di retroriflessione della luce, comporti una riduzione dei valori di R_L .

Ciò che appare di notevole interesse è la constatazione che il crollo del coefficiente di luminanza retro riflessa si attesti intorno al 50%, benché il quantitativo di aggregati antiskid introdotti si sia limitato ad un quinto rispetto al peso totale della miscela.

Nonostante l'importante diminuzione della visibilità notturna che subisce la miscela antiderapante rispetto all'utilizzo classico delle microsfere Type III, tale prodotto risulta comunque dotato di caratteristiche prestazionali maggiori rispetto alle microsfere Type I. Inoltre, come spesso richiamato, l'ottenimento di valori sufficienti del parametro SRT riveste un'importanza, in termini di sicurezza, tale da rendere preferibile, specialmente in situazioni in cui si hanno frequenti problemi di bagnatura o di congelamento della superficie, l'utilizzo di un composto che penalizzi parzialmente il valore di R_L , a vantaggi però di un notevole aumento di resistenza al derapaggio.

Mentre nel caso di superficie asciutta la differenza riscontrata appare molto più evidente, nel simulare condizioni di bagnato la riduzione di R_L data dall'introduzione degli aggregati antiskid risulta meno evidente, sebbene presente. Tale condizione viene rappresentata nel Grafico 5.18.

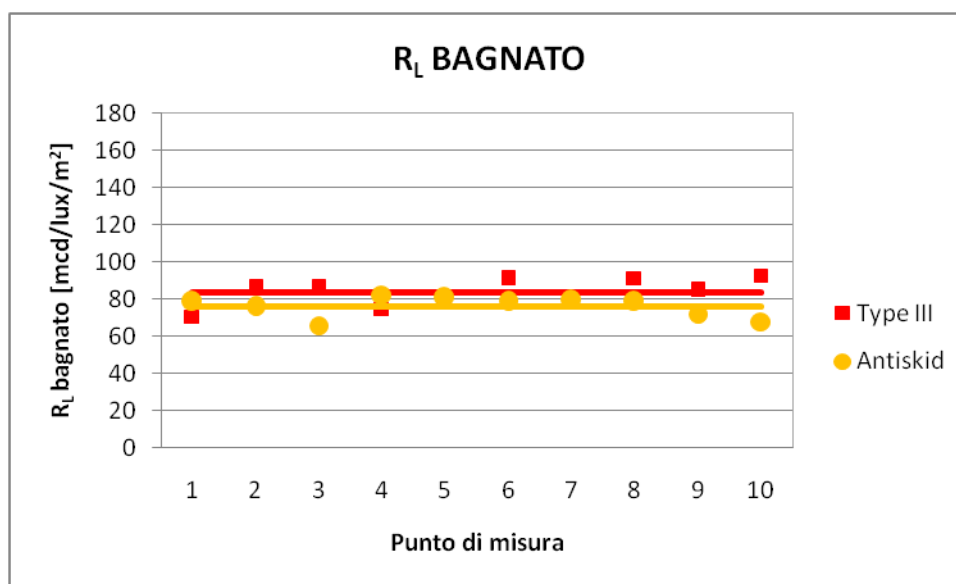


Grafico 5.18: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type III e miscela antiskid nella zona Cargo Sud.

Benché lo studio comparato tra miscela antiskid e microsferi Type III sia stato eseguito con un focus specifico sulla determinazione della variazione dei parametri R_L ed SRT, si è reputato comunque interessante completare l'analisi effettuando un confronto anche rispetto al parametro Q_d . Nei Grafici 5.19 e 5.20 vengono riportati i dati relativi all'analisi.

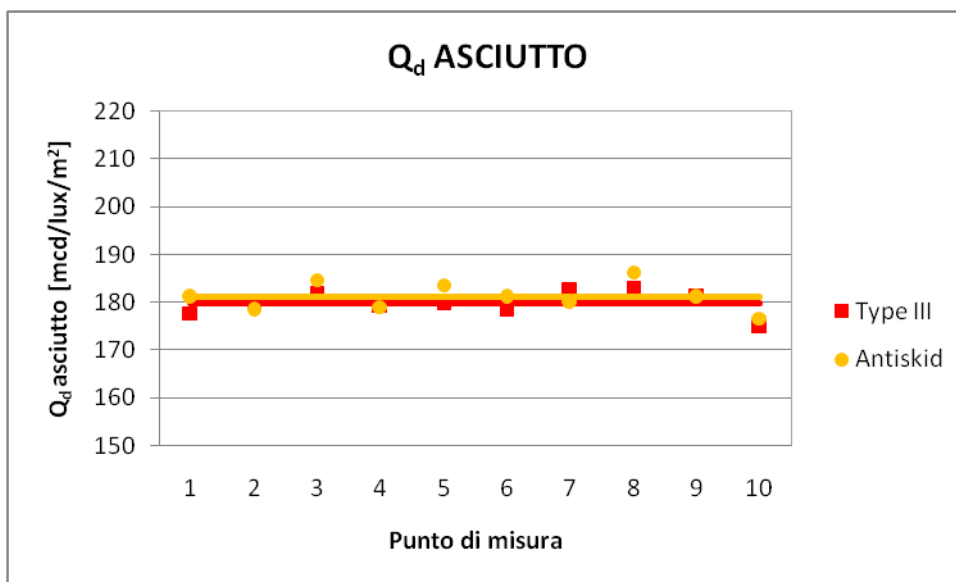


Grafico 5.19: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsferi Type III e miscela antiskid nella zona Cargo Sud.

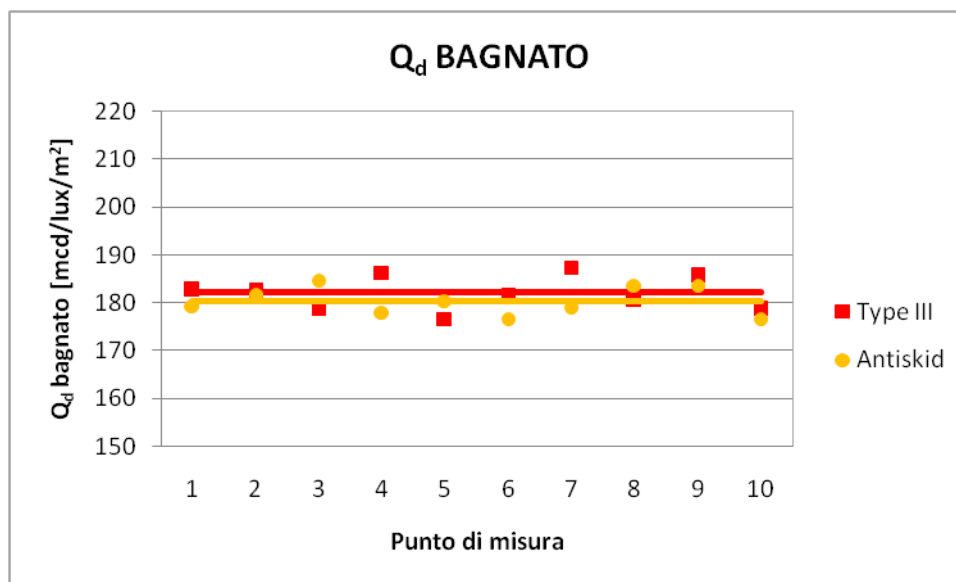


Grafico 5.20: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsferi Type III e miscela antiskid nella zona Cargo Sud.

Come ci si aspetta, il valore del parametro Q_d in entrambe le condizioni di test, non subisce sensibili variazioni in funzione della tipologia di elementi postspruzzati. Questo dato avvalor

ulteriormente l'ipotesi che la colorazione della pittura gialla sia tale da prevalere sulle tonalità cromatiche delle microsfere e dei granuli antiskid, andando pertanto a determinare essa stessa il valore del coefficiente di luminanza in condizioni di luce diffusa.

Risulta interessante riportare la Figura X in cui è possibile notare visivamente la differenza che intercorre tra l'utilizzo delle sole microsfere Type III e l'aggiunta di aggregati antiderapanti.



Figura 5.11: Punto di stacco tra microsfere Type III e miscela antiskid sulla centerline di taxiway della zona Cargo Sud.

5.2.4. Segnaletica gialla sul raccordo Charlie-Alfa

Quanto realizzato nella zona Cargo Sud è stato completato da analisi aggiuntive di RL e Qd eseguite sulle sei miscele di colorazione gialla applicata in corrispondenza delle stop bars presenti sul raccordo Charlie-Alfa. In Figura X si riportano le miscele impiegate per la stesa dei segnali orizzontali scelti.



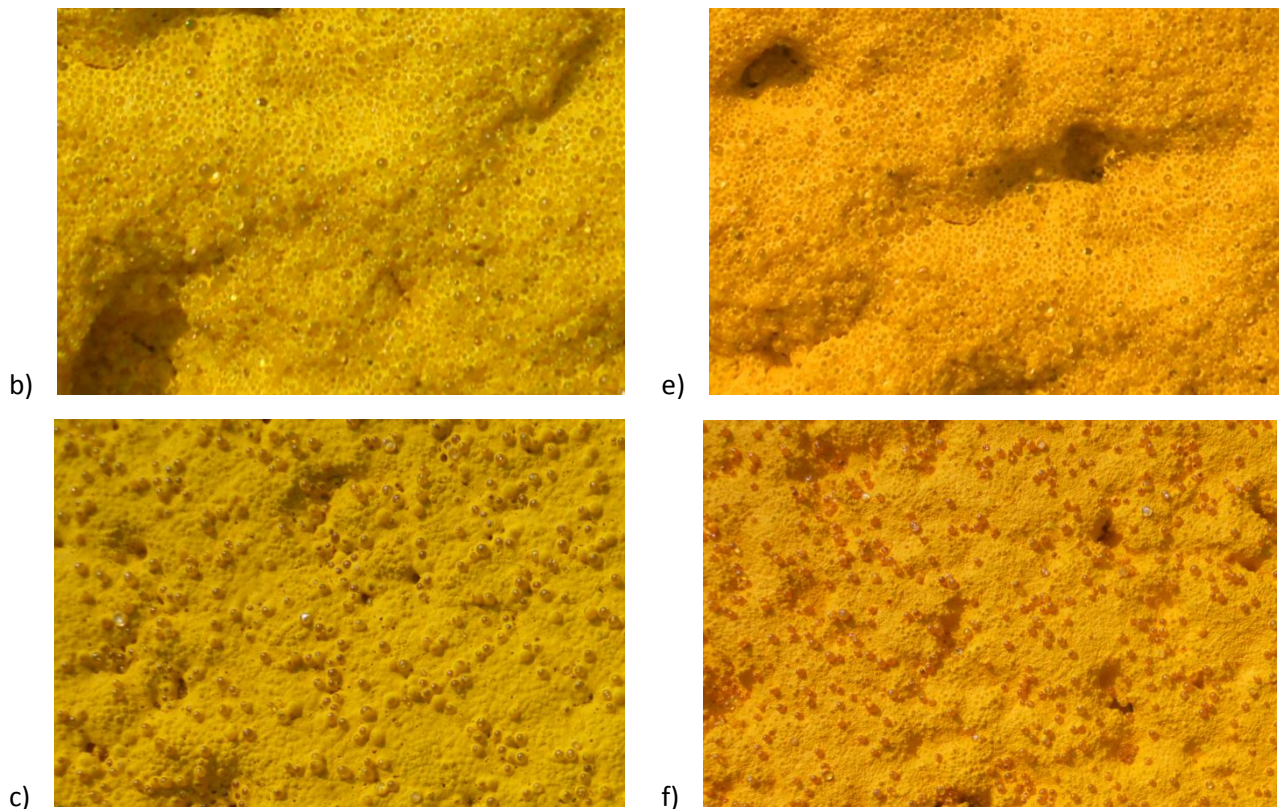


Figura 5.12: Segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e a) microsferi Type I, b) microsferi Type III, c) microsferi ICAO e con pittura a solvente gialla e d) microsferi Type I, e) microsferi Type III, f) microsferi ICAO sulla pista 35L.

Come nel caso dei test eseguiti sulle applicazioni di colore bianco sulla pista 35L, la necessità di stazionare il più brevemente possibile nella zona del raccordo Charlie-Alfa più prossima alla pista 35R ha condotto all'effettuazione di un'unica lettura dei valori di R_L e Q_d per ogni punto analizzato. In particolare sono stati raccolti i dati relativi a dieci punti di misura, distanziati tra loro di circa 3 m, per ciascuna miscela applicata.

In Tabella 5.40 sono riportati i valori dei parametri considerati valutati in corrispondenza della stesa costituita da pittura ad acqua e microsferi Type I.

| ACQUA - TYPE I | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|----------------|--|---|--|---|
| 1 | 208 | 25 | 177 | 178 |
| 2 | 190 | 38 | 181 | 179 |
| 3 | 157 | 24 | 187 | 186 |
| 4 | 176 | 29 | 192 | 172 |
| 5 | 156 | 33 | 184 | 185 |
| 6 | 198 | 27 | 190 | 181 |
| 7 | 201 | 31 | 186 | 177 |
| 8 | 185 | 35 | 175 | 183 |
| 9 | 178 | 40 | 189 | 188 |
| 10 | 185 | 36 | 187 | 175 |

Tabella 5.40: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I sul raccordo CA.

In Tabella 5.41 sono mostrati invece i valori dei medesimi parametri ricavati testando la miscela di pittura ad acqua e microsfere Type III.

| ACQUA - TYPE III | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|------------------|--|---|--|---|
| 1 | 406 | 41 | 182 | 172 |
| 2 | 397 | 43 | 193 | 184 |
| 3 | 372 | 91 | 184 | 194 |
| 4 | 415 | 30 | 177 | 187 |
| 5 | 396 | 57 | 180 | 190 |
| 6 | 372 | 63 | 180 | 188 |
| 7 | 362 | 45 | 182 | 178 |
| 8 | 418 | 82 | 195 | 186 |
| 9 | 398 | 89 | 176 | 193 |
| 10 | 405 | 31 | 185 | 189 |

Tabella 5.41: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III sul raccordo CA.

Come già osservato nel paragrafo 5.2.2. confrontando i valori di R_L tra le stese realizzate nella zona cargo Sud e quelle effettuate in pista, anche in questo caso i dati raccolti sul raccordo Charlie-Alfa presentano valori visibilmente inferiori.

Si ripropone pertanto il problema di individuare quali siano le principali differenze tra i due siti di test al fine di giungere ad una spiegazione plausibile del fenomeno riscontrato. Ancora una volta, tenendo conto della completa uguaglianza delle miscele impiegate nelle due differenti aree, le

differenze non possono che risiedere nelle caratteristiche del piano di stesa della segnaletica orizzontale.

Come già introdotto in precedenza, la raccolta dei dati caratterizzanti la macrorugosità della superficie di applicazione verranno trattati all'interno del paragrafo 5.3.

Valgono inoltre le considerazioni già più volte presentate relativamente alla scarsa affidabilità dei valori di R_L valutati in condizioni bagnate e all'elevata stabilità invece caratterizzante il parametro Q_d sia in condizioni asciutte sia in condizioni bagnate.

Per completare l'analisi delle miscele realizzate con pittura ad acqua sono stati raccolti i dati inerenti i due parametri di interesse in corrispondenza della zona segnaletica postspruzzata con microsfere ICAO (Tabella 5.42).

| ACQUA - ICAO | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|--------------|---|--|---|--|
| 1 | 336 | 112 | 172 | 190 |
| 2 | 348 | 110 | 187 | 185 |
| 3 | 358 | 125 | 185 | 173 |
| 4 | 303 | 101 | 174 | 191 |
| 5 | 361 | 146 | 181 | 175 |
| 6 | 327 | 93 | 179 | 176 |
| 7 | 318 | 85 | 176 | 183 |
| 8 | 351 | 126 | 182 | 182 |
| 9 | 333 | 108 | 183 | 190 |
| 10 | 326 | 116 | 175 | 175 |

Tabella 5.42: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere ICAO sul raccordo CA.

Come già espresso in precedenza, l'utilizzo delle microsfere ICAO completa l'analisi sperimentale svolta in quanto permette di testare elementi catadiottrici fortemente innovativi e valutarne l'effettiva convenienza durante le condizioni di bagnato, per le quali sono stati appositamente studiati.

L'elaborazione grafica dei dati relativi alle tre diverse tipologie di microsfere postspruzzate sulla pittura ad acqua gialla impiegata sul raccordo Charlie-Alfa ha permesso una valutazione simultanea delle prestazioni offerte dai differenti sistemi segnaletici realizzati.

Nel Grafico 5.21 vengono rappresentati i valori medi del parametro R_L asciutto relativo alle tre applicazioni ad acqua.

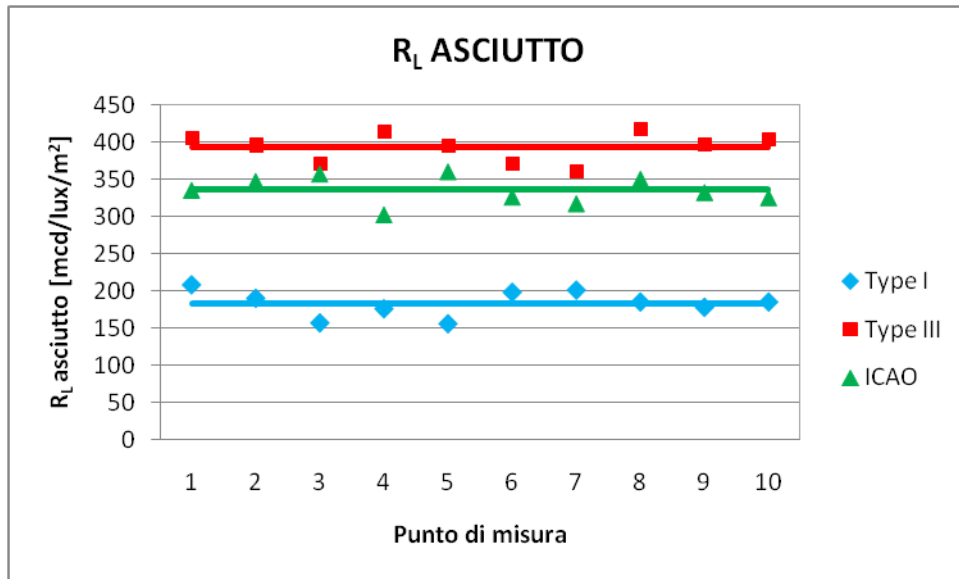


Grafico 5.21: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA.

Analogamente a quanto già rilevato più volte, per impianti segnaletici sia bianchi sia gialli, in condizioni asciutte le prestazioni delle microsfere Type III prevalgono su quelle garantite dalle altre tipologie.

Il parametro R_L bagnato viene descritto all'interno del Grafico 5.22.

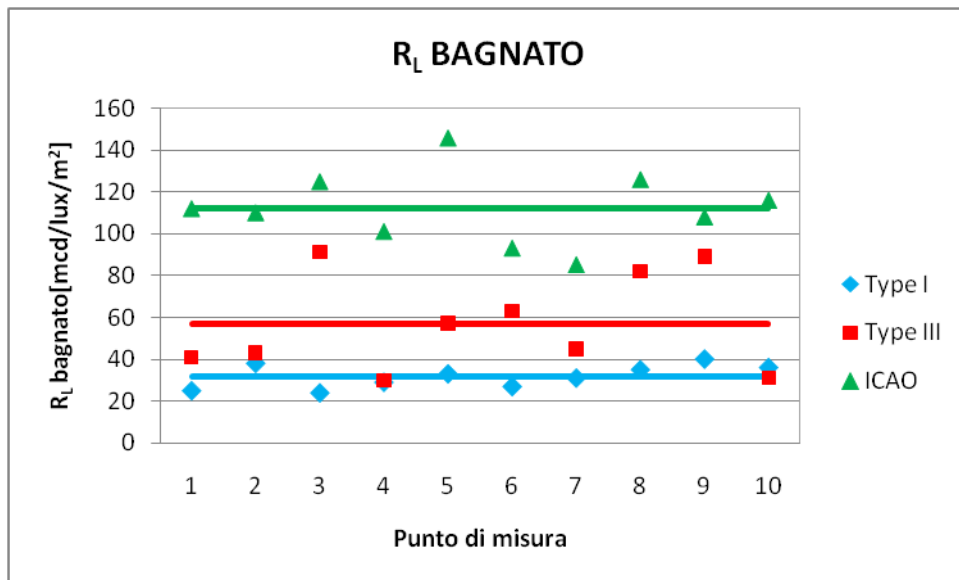


Grafico 5.22: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA.

Benché la dispersione dei dati sia evidente e considerevole, tramite il confronto dei valori medi del parametro R_L bagnato ottenuto in corrispondenza delle diverse miscele, si nota istantaneamente

la superiorità delle microsfere ICAO in presenza di un velo idrico. Questo risultato permette di riconoscere un vantaggio nell'impiego di tali elementi in quegli ambienti in cui sono frequenti le piogge e in cui quindi si formano spesso film superficiali d'acqua.

Per completezza, benché di secondaria importanza ai fini del lavoro di tesi qui presentato, sono stati elaborati anche i valori di Q_d desunti in condizioni asciutte e bagnate. Nei Grafici 5.23 e 5.24 sono riportati i risultati di tale analisi.

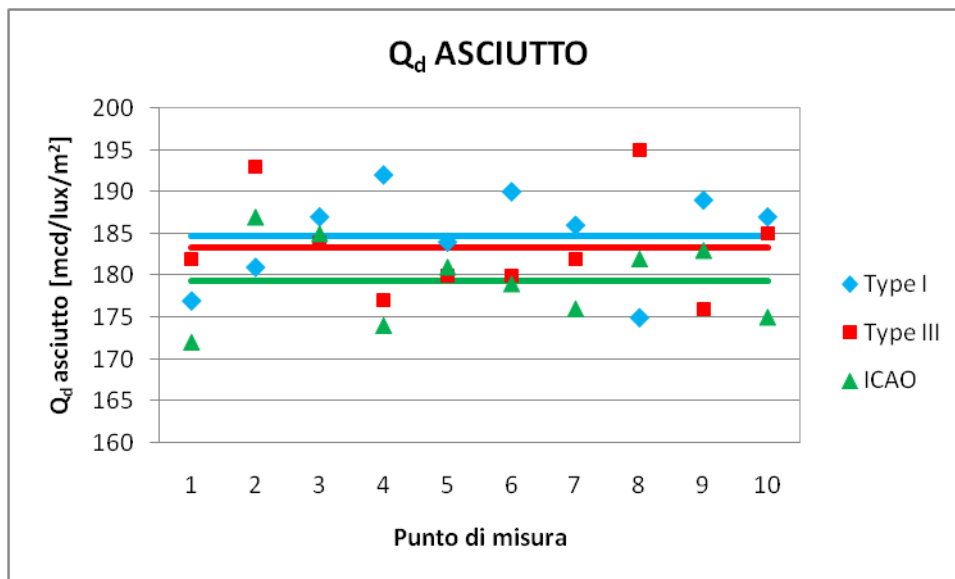


Grafico 5.23: Confronto tra valori di Q_d asciutto per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA.

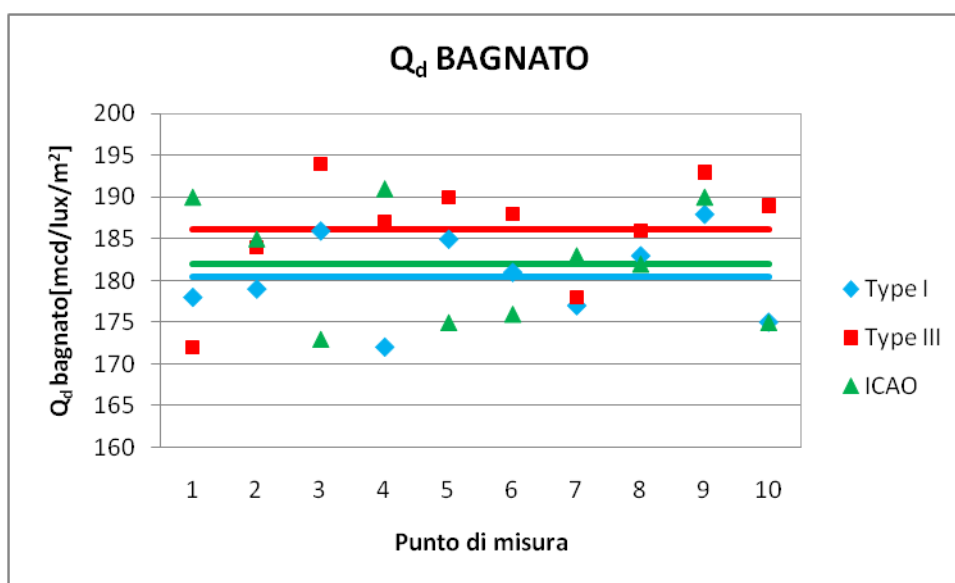


Grafico 5.24: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura ad acqua gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA.

La caratteristica di stabilità del valore di Q_d generalmente riscontrata, si conferma anche nel caso delle applicazioni realizzate per l'esecuzione delle stop bars sul raccordo Charlie-Alfa.

Tale costanza nei valori misurati appare duplicemente sia nel confronto tra differenti tipologie di microsfere sia nella valutazione delle diverse condizioni esterne.

Naturalmente sono stati raccolti anche i dati relativi alle applicazioni eseguite mediante l'impiego di vernice a solvente gialla. Si riportano in successione le tabelle recanti i risultati ottenuti in corrispondenza delle linee appartenenti alle stop bars analizzate (Tabelle 5.43, 5.44 e 5.45).

| SOLVENTE - TYPE I | R_l asciutto [mcd/lux/m ²] | R_l bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|-------------------|---|--|---|--|
| 1 | 185 | 52 | 136 | 139 |
| 2 | 196 | 38 | 149 | 134 |
| 3 | 224 | 51 | 138 | 136 |
| 4 | 172 | 23 | 137 | 141 |
| 5 | 201 | 31 | 145 | 147 |
| 6 | 217 | 49 | 143 | 131 |
| 7 | 179 | 26 | 148 | 137 |
| 8 | 187 | 36 | 131 | 140 |
| 9 | 191 | 22 | 150 | 148 |
| 10 | 235 | 45 | 128 | 129 |

Tabella 5.43: Valori di R_l e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente gialla e microsfere Type I sul raccordo CA.

| SOLVENTE - TYPE III | R_l asciutto [mcd/lux/m ²] | R_l bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|---------------------|---|--|---|--|
| 1 | 500 | 24 | 140 | 150 |
| 2 | 483 | 81 | 127 | 146 |
| 3 | 439 | 73 | 127 | 139 |
| 4 | 504 | 45 | 134 | 151 |
| 5 | 440 | 39 | 134 | 130 |
| 6 | 437 | 54 | 141 | 145 |
| 7 | 451 | 67 | 136 | 142 |
| 8 | 420 | 102 | 150 | 139 |
| 9 | 473 | 28 | 137 | 143 |
| 10 | 459 | 47 | 143 | 140 |

Tabella 5.44: Valori di R_l e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente gialla e microsfere Type III sul raccordo CA.

| SOLVENTE - ICAO | R _L asciutto [mcd/lux/m ²] | R _L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q _d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q _d bagnato [mcd/lux/m ²] |
|-----------------|--|---|--|---|
| 1 | 355 | 95 | 143 | 135 |
| 2 | 375 | 114 | 146 | 151 |
| 3 | 407 | 79 | 150 | 148 |
| 4 | 386 | 96 | 144 | 145 |
| 5 | 330 | 143 | 147 | 143 |
| 6 | 361 | 128 | 139 | 144 |
| 7 | 421 | 81 | 142 | 138 |
| 8 | 373 | 127 | 136 | 139 |
| 9 | 382 | 72 | 145 | 146 |
| 10 | 355 | 135 | 147 | 148 |

Tabella 5.45: Valori di R_L e Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura a solvente gialla e microsfere ICAO sul raccordo CA.

L'analisi delle singole tabelle recanti i dati relativi alle applicazioni caratterizzate dall'impiego di vernice a solvente produce osservazioni analoghe a quelle già riportate durante il commento ai risultati ottenuti in corrispondenza degli impianti segnaletici gialli realizzati mediante pittura all'acqua.

Terminata la raccolta i forma tabellare è stato possibile graficare i valori ottenuti a partire dalle diverse miscele stese in modo tale da favorire un più agevole confronto.

Il Grafico 5.25 riporta le singole misurazioni del parametro R_L asciutto ed i rispettivi valori medi per ciascun impianto segnaletico testato.

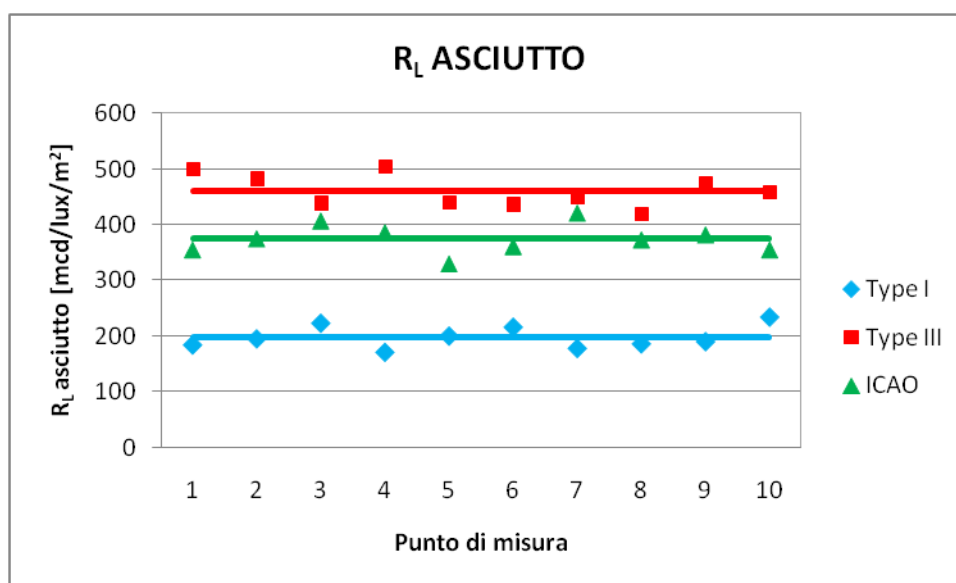


Grafico 5.25: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura a solvente gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA.

L'elaborazione grafica sopra riportata permette di osservare istantaneamente un'analogia nel comportamento delle microsfere postspruzzate su materiali differenti. Come nel caso delle pitture all'acqua, infatti, le microsfere Type III si dimostrano le più efficienti in termini di visibilità notturna garantita in assenza di veli idrici depositati sulla superficie della pavimentazione.

Le microsfere Type I invece, ancora una volta, presentano una prestazione ridotta considerando i valori di R_L forniti.

Nel Grafico 5.26 viene riportata l'elaborazione relativa al coefficiente di luminanza retroriflessa valutato in condizioni bagnate.

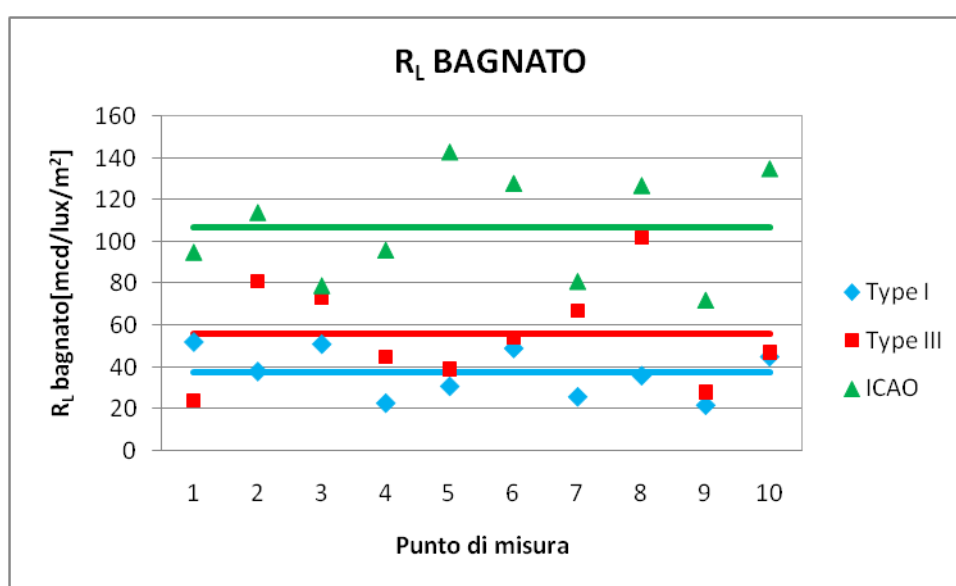


Grafico 5.26: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura a solvente gialla unita a microsfere Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA.

Salta all'occhio nuovamente la dispersione dei dati caratteristica della prova di retro riflettanza eseguita simulando le condizioni di bagnatura della superficie.

Si conferma inoltre l'utilità delle microsfere ICAO in tale condizione, le quali permettono infatti di offrire una maggior sicurezza al transito dei velivoli e dei veicoli in genere grazie alle loro più elevate dimensioni che le configurano come dispositivi catadiottrici in grado di emergere dal velo idrico superficiale.

Nei Grafici 5.27 e 5.28 si riportano le informazioni relative al parametro Q_d che coronano e completano la sperimentazione sulle miscele di colorazione gialla.

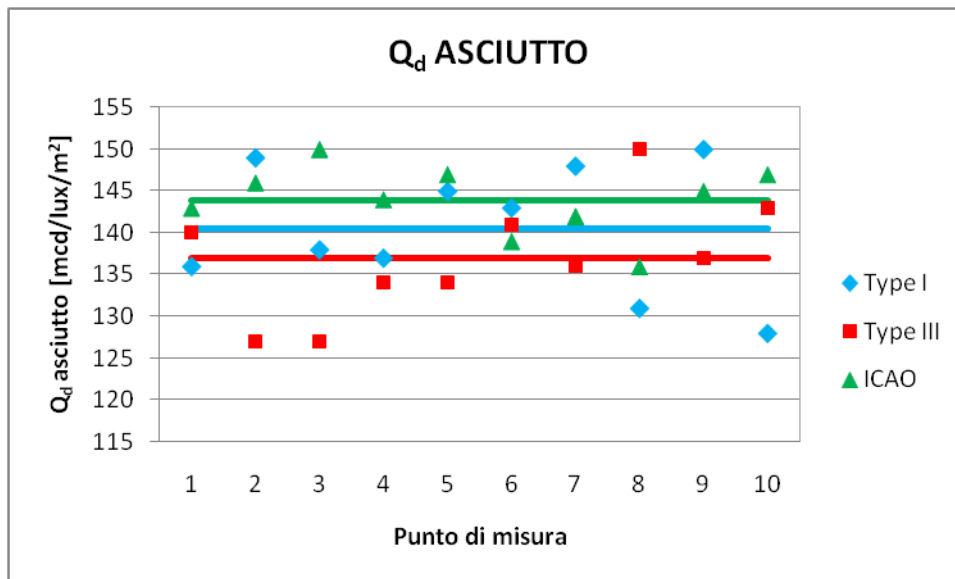


Grafico 5.27: Confronto tra valori di RL asciutto per pittura a solvente gialla unita a microsferi Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA.

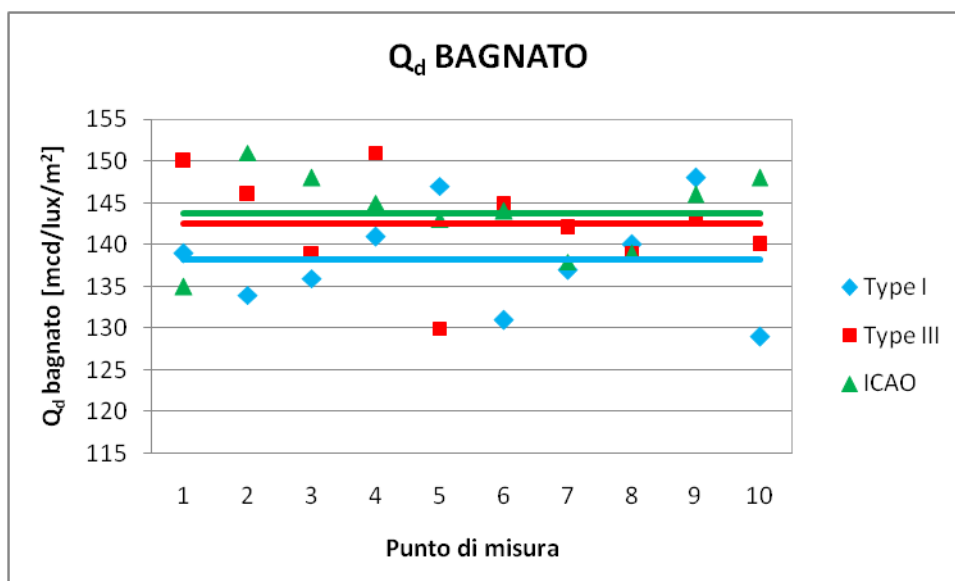


Grafico 5.28: Confronto tra valori di Q_d bagnato per pittura a solvente gialla unita a microsferi Type I, Type III ed ICAO sul raccordo CA.

La variabilità dei dati registrati è, come al solito, molto ridotta e induce pertanto alla conclusione che il parametro Q_d non sia indicativo delle proprietà che caratterizzano un sistema segnaletico. Benché nella normativa vigente vengano individuati valori minimi relativi al coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa valutato in assenza di velo idrico, viene del tutto trascurato il Q_d bagnato. Alla luce dei risultati ottenuti a riguardo durante la sperimentazione, la scelta della normativa di riferirsi ad un'unica condizione ambientale appare giustificata dal fatto

che la variazione del parametro tra le situazione di superficie asciutta e bagnata risulta del tutto trascurabile.

Considerando infine il confronto tra applicazioni analoghe, ma differenti per quanto riguarda il tipo di pittura impiegato, si nota una lieve superiorità nelle prestazioni di visibilità offerte dagli impianti segnaletici realizzati mediante pittura a solvente.

Come già ipotizzato nel paragrafo 5.2.2., dove si è osservata la medesima particolarità, il valore di R_L mediamente valutato in presenza delle pitture a solvente appare maggiore di quello offerto dalle pitture ad acqua, probabilmente a causa della presenza di microsferi premiscelate e della realizzazione di un miglior inglobamento.

Il valore di Q_d invece sembra comportarsi in maniera opposta presentando valori più elevati in corrispondenza delle stese ad acqua, le quali infatti presentano una colorazione visibilmente più chiara rispetto a quelle a solvente.

La ricerca è stata affiancata, anche qui, da una serie di scatti fotografici che permettono di rendere più tangibili le differenze riscontrate numericamente.

In particolare in questo caso, a differenza di quanto operato all'interno della pista 35L, è stato possibile realizzare fotografie che simulassero le condizioni di visibilità dal cockpit di un aereo grazie all'ausilio di una scala metallica e dei fari di un mezzo d'opera, sfruttando la configurazione mostrata in Figura X.



Figura 5.13: Configurazione per la simulazione della visibilità da cockpit.

Questo ha permesso la valutazione dell'effettiva visibilità notturna offerta dai differenti impianti segnaletici in quanto sul raccordo Charlie-Alfa non sono presenti torri faro o altri sistemi di

illuminazione diffusa che rendono falsata la percezione visiva, come riscontrato invece sulla viabilità ordinaria della zona Cargo Sud.

In Figura 5.14 si riporta la visione della stop bar pattern B caratterizzata da una configurazione a cancelletto.



Figura 5.14: Visione da altezza cockpit rispettivamente **a)** della stop bar pattern B e **b)** della stop bar pattern A.

Dall'osservazione della Figura Xa si nota immediatamente la differenza di miscela impiegata, in quanto appare decisamente più visibile l'applicazione della linea destra, realizzata con microsfere Type III, rispetto alla porzione di stop bar ottenuta mediante la postspruzzatura di elementi catadiottrici Type I.

Si ricorda inoltre che il confronto tra le due applicazioni può essere effettuato in maniera diretta in quanto entrambe sono realizzate mediante pittura a solvente.

La medesima procedura fotografica è stata applicata anche per quanto riguarda la stop bar pattern A presente anch'essa all'interno del raccordo Charlie-Alfa (Figura Xb).

In ordine, da sinistra verso destra, appaiono le stese realizzate rispettivamente con microsfere Type I, Type III ed ICAO applicate su pittura ad acqua ed infine l'impianto segnaletico costituito da microsfere ICAO e pittura a solvente.

La maggior visibilità, valutata in condizioni di asciutto, spetta indiscutibilmente al sistema segnaletico con postspruzzatura di microsfere Type III. Inoltre, in conformità a quanto già evidenziato dall'osservazione dei dati sperimentali raccolti, appare evidente anche visivamente come le applicazioni effettuate con pittura a solvente presentino un maggior impatto ottico rispetto a quelle realizzate mediante l'impiego di vernice all'acqua.

Infine l'analisi fotografica ha permesso di valutare, seppure da un punto di vista puramente qualitativo, la differente distanza di visibilità offerta da tipologie di microsfere diverse.

L'esecuzione di queste "prove fotografiche" risulta di fondamentale importanza in quanto permette di rispondere, benché parzialmente e qualitativamente, ad uno dei quesiti da cui è scaturita l'idea di realizzare questo lavoro di tesi. Le immagini sembrano infatti attestare che, nonostante la geometria caratterizzante il fenomeno di retro riflessione in ambito aeroportuale sia sostanzialmente differente da quella presente nel contesto stradale, l'impiego delle microsfere secondo una tecnologia conforme alla normativa stradale sia comunque di ausilio al fine di incrementare la percezione della segnaletica orizzontale da parte dei piloti degli aeromobili.

In particolare è stato possibile riscontrare un miglioramento nella visibilità dei segnali orizzontali non solo dal punto di vista dell'intensità luminosa con cui si presentano, ma anche in termini di distanze di visibilità raggiunte.

5.2.5. Segnaletica gialla sulle piazzole di sosta

Come già riportato nei precedenti paragrafi, il lavoro di tesi svolto si è proposto anche di indagare le proprietà di visibilità della segnaletica rispetto a differenti basi di stesa.

In particolare l'analisi si è concentrata sulle differenze di luminosità dei sistemi segnaletici applicati su conglomerato bituminoso e calcestruzzo. Infatti, all'interno degli aeroporti vengono realizzate entrambe queste tipologie di superficie, in quanto destinate a funzioni differenti: operazioni di movimentazione nel primo caso e stazionamento nel secondo.

Poiché i segnali orizzontali sono presenti in egual misura su entrambe le tipologie di pavimentazione si è reputato doveroso condurre uno studio comparato sulle performance offerte dagli impianti segnaletici nelle due diverse condizioni.

Il lavoro si è concentrato nell'area Cargo Sud, nella quale sono presenti, oltre alle taxiway in conglomerato bituminoso, anche le piazzole di sosta tipicamente realizzate mediante lastre in calcestruzzo, più idonee ad ospitare velivoli in stazionamento.

Durante la ricerca sono stati raccolti i dati relativi ai quattro parametri di visibilità studiati nel corso del lavoro qui presentato, misurando lo stesso punto per tre volte, in modo tale da ottenere valori medi rappresentativi della zona testata. In particolare i punti di misura sono dieci, con un'interdistanza pari a circa 2,5 m, per ciascuna delle due applicazioni analizzate, rispettivamente con microsfere Type I e Type III.

Nelle Tabelle 5.46 e 5.47 si riportano le tre letture consecutive di R_L e Q_d relativi alle microsfere Type I

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m^2] | | | R_L bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 212 | 213 | 200 | 54 | 82 | 19 |
| 2 | 197 | 203 | 211 | 32 | 23 | 38 |
| 3 | 208 | 198 | 217 | 17 | 29 | 31 |
| 4 | 189 | 195 | 202 | 41 | 75 | 24 |
| 5 | 190 | 204 | 217 | 33 | 25 | 36 |
| 6 | 195 | 206 | 193 | 39 | 18 | 32 |
| 7 | 238 | 199 | 221 | 15 | 48 | 60 |
| 8 | 213 | 197 | 195 | 37 | 21 | 29 |
| 9 | 212 | 237 | 230 | 83 | 24 | 56 |
| 10 | 209 | 216 | 203 | 63 | 27 | 19 |

Tabella 5.46: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I su piazzola di sosta.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | Q_d asciutto [mcd/lux/m^2] | | | Q_d bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 179 | 180 | 179 | 188 | 187 | 188 |
| 2 | 177 | 181 | 185 | 179 | 179 | 179 |
| 3 | 184 | 183 | 184 | 180 | 183 | 181 |
| 4 | 177 | 182 | 183 | 186 | 187 | 187 |
| 5 | 186 | 184 | 187 | 174 | 176 | 175 |
| 6 | 177 | 178 | 177 | 180 | 179 | 182 |
| 7 | 180 | 183 | 181 | 184 | 180 | 181 |
| 8 | 186 | 185 | 185 | 179 | 176 | 177 |
| 9 | 174 | 176 | 177 | 179 | 183 | 183 |
| 10 | 183 | 185 | 186 | 187 | 188 | 186 |

Tabella 5.47: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I su piazzola di sosta.

Nelle Tabelle 5.48 e 5.49 invece sono raccolti i risultati ottenuti analizzando mediante retro riflettometro la porzione di lead-in realizzata con microsfere Type III.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m^2] | | | R_L bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 569 | 543 | 525 | 45 | 72 | 66 |
| 2 | 590 | 575 | 583 | 31 | 44 | 64 |
| 3 | 635 | 641 | 615 | 75 | 35 | 85 |
| 4 | 575 | 590 | 575 | 54 | 42 | 65 |
| 5 | 585 | 600 | 597 | 58 | 34 | 91 |
| 6 | 564 | 565 | 578 | 84 | 51 | 55 |
| 7 | 525 | 532 | 524 | 39 | 57 | 41 |
| 8 | 612 | 585 | 603 | 84 | 42 | 23 |
| 9 | 528 | 541 | 535 | 53 | 74 | 47 |
| 10 | 574 | 564 | 569 | 36 | 51 | 89 |

Tabella 5.48: Valori di R_L del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III su piazzola di sosta.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | Q_d asciutto [mcd/lux/m^2] | | | Q_d bagnato [mcd/lux/m^2] | | |
| | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 | Misura 1 | Misura 2 | Misura 3 |
| 1 | 182 | 184 | 186 | 180 | 178 | 179 |
| 2 | 179 | 180 | 178 | 186 | 181 | 181 |
| 3 | 185 | 183 | 181 | 177 | 176 | 175 |
| 4 | 183 | 184 | 180 | 183 | 182 | 183 |
| 5 | 177 | 179 | 179 | 184 | 185 | 180 |
| 6 | 176 | 180 | 179 | 176 | 180 | 181 |
| 7 | 181 | 178 | 180 | 187 | 183 | 184 |
| 8 | 183 | 180 | 185 | 175 | 177 | 176 |
| 9 | 176 | 176 | 176 | 181 | 184 | 185 |
| 10 | 182 | 184 | 186 | 180 | 178 | 178 |

Tabella 5.49: Valori di Q_d del sistema segnaletico costituito da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III su piazzola di sosta.

Dai valori di R_L e Q_d ottenuti è stato ricavato il valore medio di ciascun parametro valutato in corrispondenza dei due diversi impianti segnaletici. Nelle Tabelle 5.50 e 5.51 si riportano tali valori medi.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE I | | | |
|-----------------|---|--|---|--|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
| 1 | 208 | 52 | 179 | 188 |
| 2 | 204 | 31 | 181 | 179 |
| 3 | 208 | 26 | 184 | 181 |
| 4 | 195 | 47 | 181 | 187 |
| 5 | 204 | 31 | 186 | 175 |
| 6 | 198 | 30 | 177 | 180 |
| 7 | 219 | 41 | 181 | 182 |
| 8 | 202 | 29 | 185 | 177 |
| 9 | 226 | 54 | 176 | 182 |
| 10 | 209 | 36 | 185 | 187 |

Tabella 5.50: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud.

| PUNTO DI MISURA | MICROSFERE TYPE III | | | |
|-----------------|---|--|---|--|
| | R_L asciutto [mcd/lux/m ²] | R_L bagnato [mcd/lux/m ²] | Q_d asciutto [mcd/lux/m ²] | Q_d bagnato [mcd/lux/m ²] |
| 1 | 546 | 61 | 184 | 179 |
| 2 | 583 | 46 | 179 | 183 |
| 3 | 630 | 65 | 183 | 176 |
| 4 | 580 | 54 | 182 | 183 |
| 5 | 594 | 61 | 178 | 183 |
| 6 | 569 | 63 | 178 | 179 |
| 7 | 527 | 46 | 180 | 185 |
| 8 | 600 | 50 | 183 | 176 |
| 9 | 535 | 58 | 176 | 183 |
| 10 | 569 | 59 | 184 | 179 |

Tabella 5.51: Valori medi di R_L e Q_d della segnaletica costituita da pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud.

A partire da tali dati gli autori hanno voluto condurre un confronto tra quanto rilevato in corrispondenza di pavimentazioni in conglomerato bituminoso e quanto invece ottenuto in presenza di una base in calcestruzzo. Si è reso pertanto necessario procedere ad un'elaborazione grafica che permettesse di visualizzare simultaneamente i valori dei fondamentali parametri di visibilità raccolti sulle due diverse superfici pavimentate. Chiaramente per rendere valido tale confronto si è reso necessario comparare sistemi segnaletici realizzati in maniera del tutto identica.

Nel Grafico 5.29 viene rappresentato il confronto tra due segnaletiche orizzontali realizzate mediante postspruzzatura di microsfere Type I applicate rispettivamente su una superficie in conglomerato bituminoso ed una in calcestruzzo.

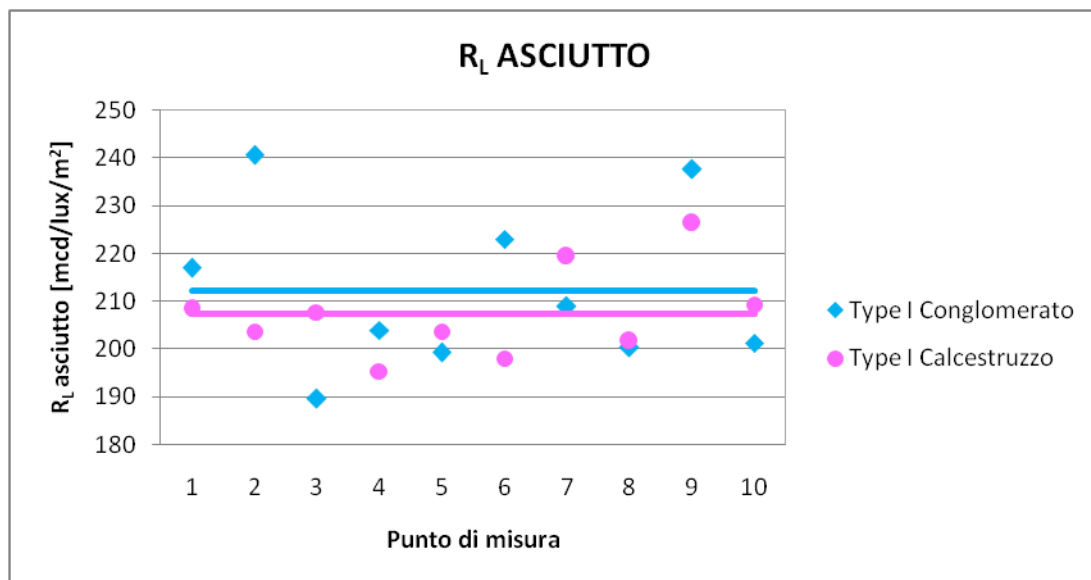


Grafico 5.29: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla con microsfere Type I su calcestruzzo e su conglomerato.

Considerando i valori medi ottenuti e riportati nel grafico si nota come, rispetto al parametro R_L valutato in condizioni asciutte, una pavimentazione in calcestruzzo non porti notevoli differenze rispetto ad una base di stesa in conglomerato bituminoso.

In letteratura si trovano studi che affermano che le prestazioni di un segnale orizzontale applicato su una superficie chiara, quale quella offerta dalle lastre in calcestruzzo, subiscono una notevole riduzione rispetto a quelle ottenute in corrispondenza di una pavimentazione in conglomerato bituminoso. Tuttavia tali differenze prestazionali risiedono soprattutto nella variazione del cosiddetto contrasto, parametro che in ambito aeroportuale viene mantenuto circa costante grazie all'introduzione di contorni in pittura nera in presenza di segnaletica orizzontale applicata su calcestruzzo. Tale parametro comunque non può essere tenuto in conto tramite la misurazione del grado di retro riflettenza che pertanto non presenta differenze degne di nota tra le applicazioni su conglomerato bituminoso e quelle su calcestruzzo.

Si ripropone il medesimo confronto, in termini però di R_L bagnato, tra microsfere Type I applicate sulle due differenti basi di posa all'interno del Grafico 5.30.

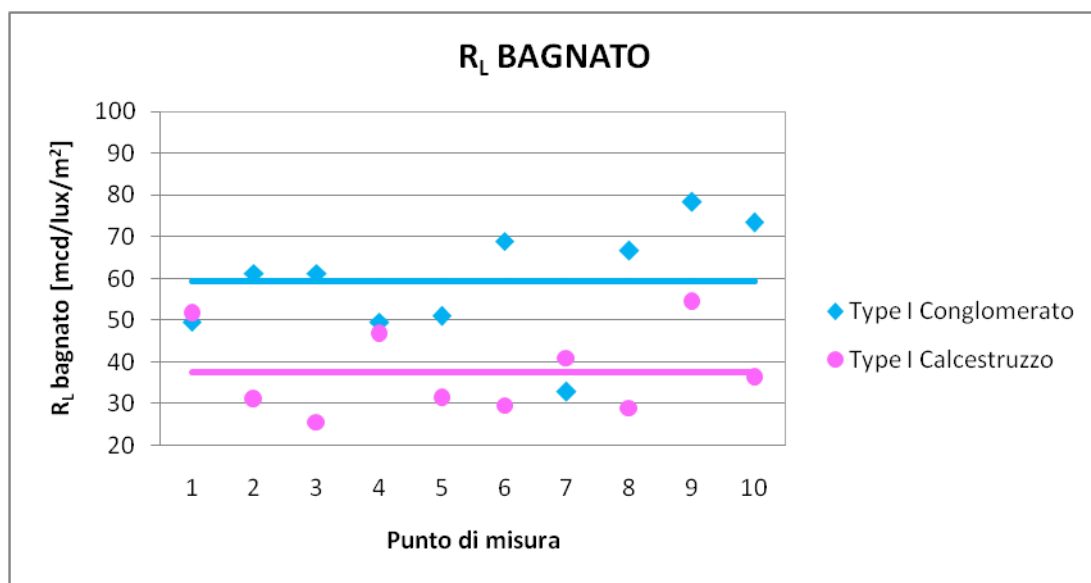


Grafico 5.30: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla con microsfere Type I su calcestruzzo e su conglomerato.

Osservando i dati relativi al parametro R_L , valutato in condizioni bagnate, si nota immediatamente una fondamentale differenza rispetto a quanto rilevato dal Grafico 5.29.

Infatti in questo caso i valori del coefficiente di luminanza retroriflessa desunti a partire dalle applicazioni su lastre in calcestruzzo risultano evidentemente inferiori rispetto a quelli ottenuti in corrispondenza di una superficie in conglomerato bituminoso.

Tale osservazione tuttavia non deve stupire in quanto può essere spiegata considerando le caratteristiche superficiali delle lastre formanti le piazzole di sosta, le quali presentano una ridotta macrorugosità rispetto a quella fornita dalle stese in conglomerato bituminoso. Questa condizione favorisce la formazione di un velo idrico di spessore superiore, a parità di acqua versata al fine di simulare le condizioni di bagnato, in quanto l'assenza di una sufficiente macrotessitura rende più lento il deflusso delle acque superficiali.

Nei Grafici 5.31 e 5.32 vengono riportati i dati relativi al parametro R_L determinato in presenza di microsfere Type III applicate ad entrambe le tipologie di superficie.

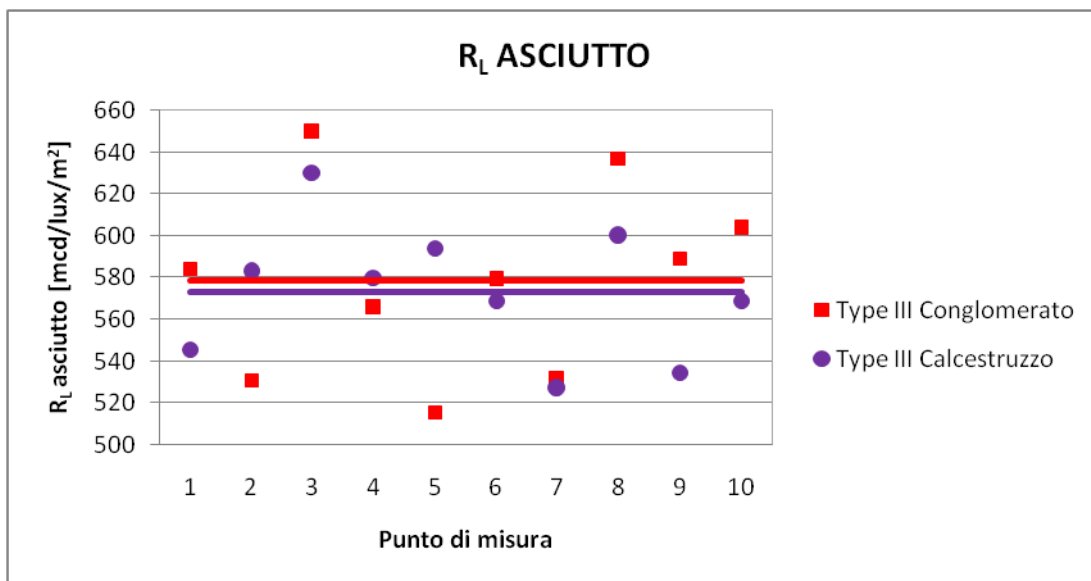


Grafico 5.31: Confronto tra valori di R_L asciutto per pittura ad acqua gialla con microsfere Type III su calcestruzzo e su conglomerato.

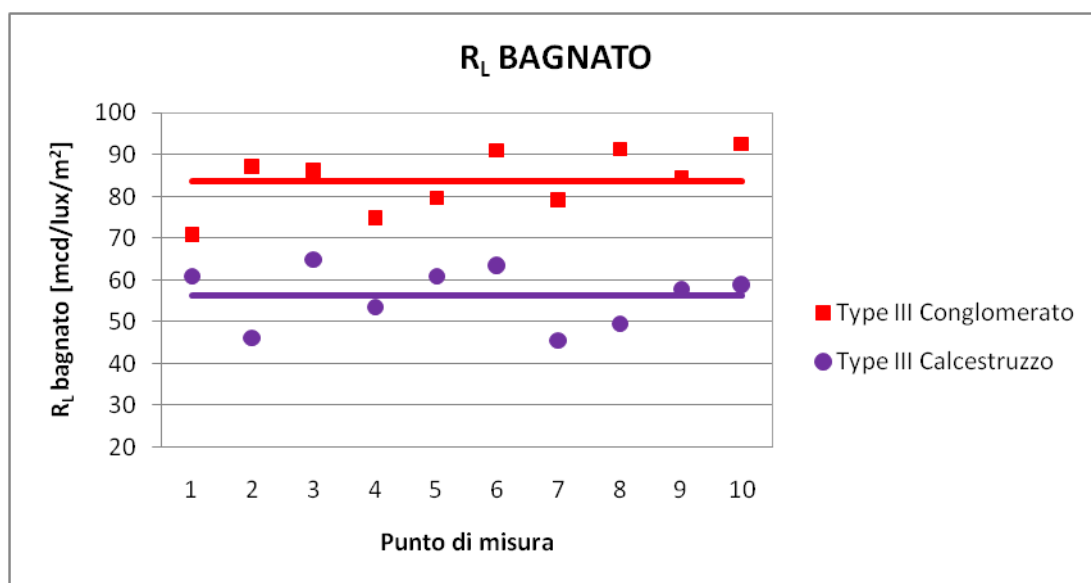


Grafico 5.32: Confronto tra valori di R_L bagnato per pittura ad acqua gialla con microsfere Type III su calcestruzzo e su conglomerato.

Anche per i Grafici 5.31 e 5.32 valgono le medesime considerazioni già riportate nel descrivere i risultati osservati per quanto riguarda le applicazioni realizzate con le microsfere a basso indice di rifrazione.

L'analisi è stata completata, come si può osservare dalle Tabelle 5.50 e 5.51, rilevando anche i valori del parametro Q_d valutato sia in condizioni asciutte sia in condizioni bagnate. Tuttavia la costanza riscontrata ancora una volta nei valori di tale parametro e la somiglianza con quelli

ottenuti in presenza di una base di stesa in conglomerato bituminoso hanno condotto alla scelta di non graficare i relativi dati, in quanto tale operazione è stata considerata superflua.

5.3. Dati di macrorugosità

I test sono stati svolti considerando quattro diversi accoppiamenti di pavimentazione e sistema segnaletico, analizzando per ciascuno di essi tre differenti punti.

In particolare i rilevamenti si sono concentrati su due zone del sedime aeroportuale di Malpensa, la zona Cargo Sud ed il raccordo Charlie-Alfa, caratterizzate da pavimentazione con macrorugosità visibilmente differenti (Figura 5.15).

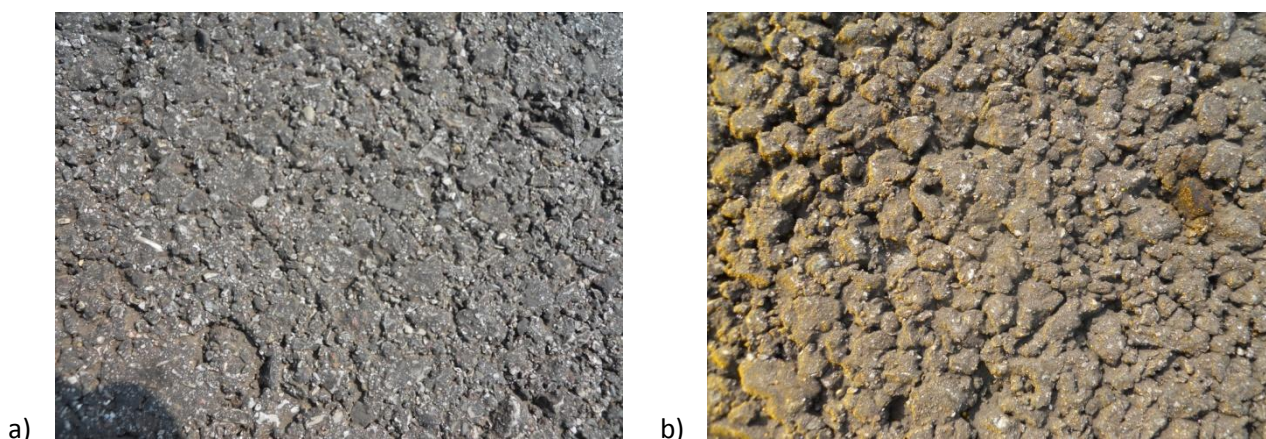


Figura 5.15: a) pavimentazione della zona Cargo Sud e b) pavimentazione del raccordo Charlie-Alfa.

Il focus dello studio effettuato consiste nell'individuazione di un possibile legame tra tessitura della pavimentazione e valori del parametro R_L relativo al sistema segnaletico applicato.

Poiché su entrambe le pavimentazioni considerate sono presenti stese realizzate mediante pittura ad acqua gialla e microsferi Type I e Type III, l'analisi è stata condotta su questi sistemi segnaletici. La prima fase ha previsto l'individuazione di tre punti di misura per ciascuna differente coppia di pavimentazione e materiale segnaletico. Su ciascun punto è stata condotta una valutazione del coefficiente di luminanza retro riflessa, simulando condizioni di asciutto e di bagnato. Successivamente nei medesimi punti sono stati raccolti i dati relativi alla prova di altezza in sabbia, eseguita conformemente a quanto descritto nel paragrafo 4.4.3.

Nelle Tabella 5.52 e 5.53 si riportano i valori di altezza in sabbia determinati nella zona Cargo Sud in corrispondenza dell'applicazione eseguita rispettivamente mediante microsfere Type I e microsfere Type III.

| TYPE I SU ZONA CARGO SUD | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------------|------------------------|------------------------------|
| Punto di misura | Diametro [mm] | Diametro medio [mm] | Altezza in sabbia [mm] | Altezza in sabbia media [mm] |
| 1 | 180 | 176,7 | 0,5 | 0,6 |
| | 170 | | | |
| | 180 | | | |
| 2 | 160 | 165,0 | 0,6 | |
| | 165 | | | |
| | 170 | | | |
| 3 | 155 | 158,3 | 0,6 | |
| | 160 | | | |
| | 160 | | | |

Tabella 5.52: Altezza in sabbia relativa alla segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e microsfere Type I nella zona Cargo Sud.

| TYPE III SU ZONA CARGO SUD | | | | |
|----------------------------|---------------|---------------------|------------------------|------------------------------|
| Punto di misura | Diametro [mm] | Diametro medio [mm] | Altezza in sabbia [mm] | Altezza in sabbia media [mm] |
| 1 | 155 | 156,7 | 0,7 | 0,6 |
| | 155 | | | |
| | 160 | | | |
| 2 | 165 | 160,0 | 0,6 | |
| | 160 | | | |
| | 155 | | | |
| 3 | 170 | 173,3 | 0,5 | |
| | 180 | | | |
| | 170 | | | |

Tabella 5.53: Altezza in sabbia relativa alla segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e microsfere Type III nella zona Cargo Sud.

Nelle Tabelle 5.54 e 5.55 sono presentati invece i valori di altezza in sabbia relativi alle applicazioni effettuate con pittura ad acqua gialla e microsfere Type I e Type III determinati all'interno del raccordo Charlie-Alfa.

| TYPE I SU RACCORDO CHARLIE-ALFA | | | | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------------|------------------------------|
| Punto di misura | Diametro [mm] | Diametro medio [mm] | Altezza in sabbia [mm] | Altezza in sabbia media [mm] |
| 1 | 120 | 116,7 | 1,2 | 1,2 |
| | 115 | | | |
| | 115 | | | |
| 2 | 110 | 115,0 | 1,2 | |
| | 120 | | | |
| | 115 | | | |
| 3 | 125 | 118,3 | 1,1 | |
| | 115 | | | |
| | 115 | | | |

Tabella 5.54: Altezza in sabbia relativa alla segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e microfere Type I nel raccordo CA.

| TYPE III SU RACCORDO CHARLIE-ALFA | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------------|------------------------|------------------------------|
| Punto di misura | Diametro [mm] | Diametro medio [mm] | Altezza in sabbia [mm] | Altezza in sabbia media [mm] |
| 1 | 130 | 123,3 | 1,1 | 1,1 |
| | 120 | | | |
| | 120 | | | |
| 2 | 115 | 116,7 | 1,2 | |
| | 120 | | | |
| | 115 | | | |
| 3 | 125 | 128,3 | 1,0 | |
| | 130 | | | |
| | 130 | | | |

Tabella 5.55: Altezza in sabbia relativa alla segnaletica realizzata con pittura ad acqua gialla e microfere Type III nel raccordo CA.

Dalle tre misure eseguite su ciascun sito di test sono stati ricavati i tre rispettivi valori di altezza in sabbia (HS) dai quali è stato possibile ottenere un valore medio caratterizzante la macrorugosità del sistema composto da segnale orizzontale e pavimentazione.

Osservando i risultati finali riportati nelle tabelle precedenti, si evince una forte differenza di tessitura tra la pavimentazione della zona Cargo Sud e del raccordo Charlie-Alfa, come già riscontrato visivamente.

Tuttavia non sono presenti sostanziali differenze di macrorugosità in corrispondenza dei due diversi sistemi segnaletici applicati sulla medesima pavimentazione.

Come già anticipato, ai fini di studiare il legame che descrive l'influenza delle caratteristiche superficiali sui valori del parametro R_L , sono stati raccolti i corrispondenti dati di retro riflettanza in

condizioni asciutte e bagnate, associati poi alle rispettive altezze in sabbia, come mostrato in Tabella 5.56 e 5.57.

| MICROSFERE TYPE I | | | | |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Punto di misura | Pavimentazione Cargo Sud | | Pavimentazione Charlie-Alfa | |
| | HS [mm] | R _L asciutto[mm] | HS [mm] | R _L asciutto[mm] |
| 1 | 0,5 | 221 | 1,2 | 173 |
| 2 | 0,6 | 203 | 1,2 | 185 |
| 3 | 0,6 | 215 | 1,1 | 169 |

Tabella 5.56: Valori di altezza in sabbia e retroriflettenza in corrispondenza dei sistemi segnaletici realizzati con microsfere Type I.

| MICROSFERE TYPE III | | | | |
|---------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Punto di misura | Pavimentazione Cargo Sud | | Pavimentazione Charlie-Alfa | |
| | HS [mm] | R _L asciutto[mm] | HS [mm] | R _L asciutto[mm] |
| 1 | 0,7 | 578 | 1,1 | 393 |
| 2 | 0,6 | 583 | 1,2 | 406 |
| 3 | 0,5 | 537 | 1,0 | 378 |

Tabella 5.57: Valori di altezza in sabbia e retroriflettenza in corrispondenza dei sistemi segnaletici realizzati con microsfere Type III.

Già dall'osservazione delle tabelle appena riportate si può notare come una maggior macrorugosità della pavimentazione abbia condotto all'ottenimento di valori di retro riflettenza inferiori a parità di qualità e quantitativi di pittura e microsfere impiegati.

Per rendere ancora più evidente questo legame i valori tabellati sono stati elaborati in forma grafica (Grafico 5.33 e 5.34).

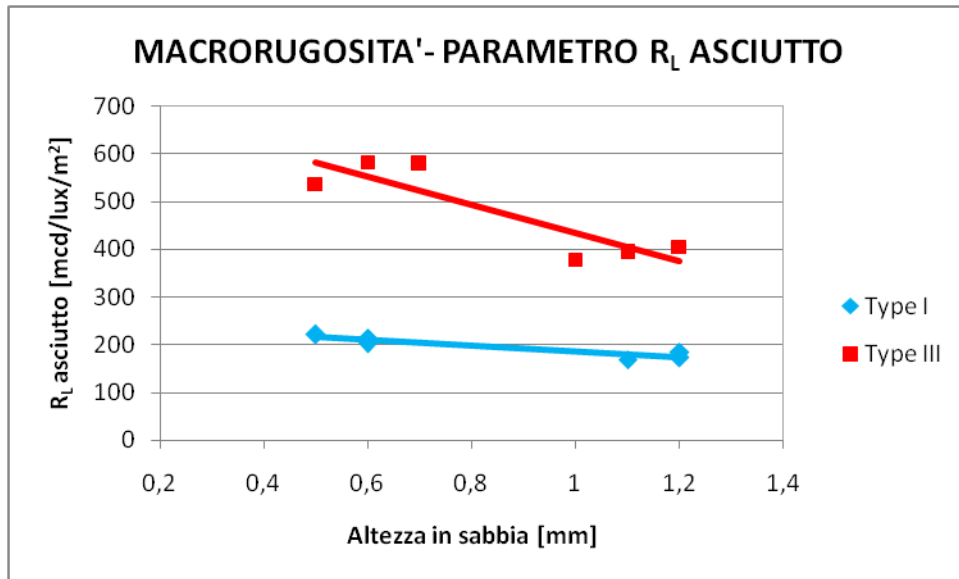


Grafico 5.33: Legame tra macrorugosità e parametro R_L asciutto per microsferi Type I e Type III.

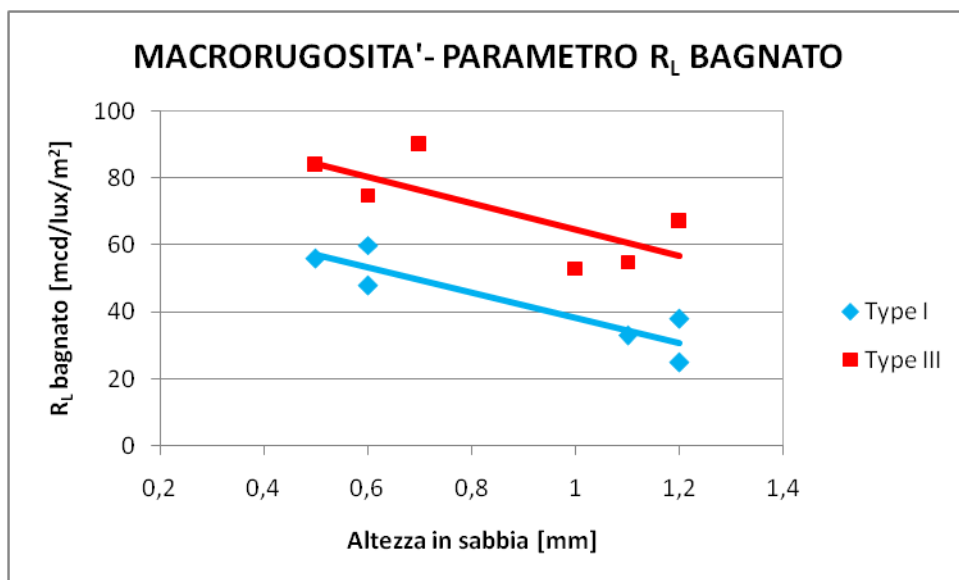


Grafico 5.34: Legame tra macrorugosità e parametro R_L bagnato per microsferi Type I e Type III.

Si nota chiaramente che, nel passaggio tra una pavimentazione dotata di bassa macrorugosità ed una caratterizzata invece da un'altezza in sabbia più elevata, si riscontra una netta riduzione del parametro R_L .

L'influenza negativa di una cospicua tessitura sulla visibilità notturna della segnaletica orizzontale può essere spiegata considerando che la fase di settaggio, e quindi di definizione dei quantitativi adeguati di materiale da impiegare, è stata condotta su una pavimentazione chiusa con caratteristiche molto prossime a quelle proprie della superficie dell'area Cargo Sud.

Tale circostanza ha condotto all'individuazione in particolare di un quantitativo di pittura idoneo a realizzare uno spessore di materiale sufficiente al corretto inglobamento delle microsfere in corrispondenza di una superficie dotata di macrorugosità ridotta. Poiché invece la base offerta dal raccordo Charlie-Alfa si presenta con aggregati molto grandi e con vuoti considerevoli, è possibile che la vernice stesa su tale zona sia parzialmente colata nei vuoti presenti, riducendo pertanto lo spessore utile all'accoglimento degli elementi catadiottrici.

Ciò sembrerebbe suffragato da un'ispezione visiva condotta in seguito alla stesa delle stop bars che ha riscontrato un basso grado di inglobamento delle microsfere, come mostrato in Figura 5.16.



Figura 5.16: Scarso inglobamento delle microsfere rilevato sul raccordo Charlie-Alfa.

Tale condizione può comportare una riduzione dell'entità della retro riflessione dei raggi luminosi, in quanto, affinché tale fenomeno sia massimizzato, è richiesto, come più volte evidenziato dalla letteratura, un inglobamento pari al 50-60% rispetto al diametro delle microsfere.

Pertanto è stato individuato, anche per il parametro R_L bagnato, un andamento decrescente in funzione dell'aumento della macrotessitura della pavimentazione. Questo parrebbe in contrasto con quanto riconosciuto unanimemente dalla letteratura, secondo cui una pavimentazione dotata di una forte macrorugosità permette un rapido scolo delle acque, in seguito al quale ci si aspetterebbe quindi migliori prestazioni di visibilità notturna in condizioni di bagnato.

Tuttavia, evidentemente, la perdita di microsfere subita a causa del ridotto spessore di pittura è tale da rendere secondario l'effetto benefico della tessitura nei confronti dell'allontanamento della acque superficiali.

Inoltre, un altro fattore da tenere in considerazione è dato dal fatto che il ridotto ancoraggio degli elementi di vetro nella base di pittura aumenta le possibilità di asportazione delle microsfere a

causa del transito aeroportuale, provocando quindi nel tempo un'ulteriore riduzione del parametro R_L .

Benché l'idea di studiare il legame tra caratteristiche superficiali della pavimentazione e valore del parametro R_L sia nata dalle osservazioni successive all'analisi dei dati relativi alle applicazioni eseguite sulla pista 35L, non è stato possibile studiare nello specifico l'area a causa del notevole disturbo che sarebbe stato arrecato.

È comunque possibile formulare delle ipotesi relativamente alla riduzione del coefficiente di luminanza retro riflessa che è stata registrata sui fazzoletti di TDZ rispetto alle stese della zona Cargo Sud. In particolare, benché la macrorugosità dell'area sia visibilmente prossima allo zero a causa dei molteplici strati di pittura sovrapposti, portando quindi a credere che si dovrebbero ottenere valori ottimali di R_L , è molto probabile che la riduzione che invece viene rilevata sia dovuta ad un fenomeno di tipo differente. Pur non essendo possibile, per mancanza di dati, analizzare compiutamente il problema, è legittimo ipotizzare una qualche influenza dei vecchi strati di pittura sulle proprietà retroriflettive di quello nuovo.

5.4. Dati di R_L in presenza di spessori idrici controllati

L'elevata variabilità riscontrata durante l'esecuzione delle prove con simulazione di superficie bagnata hanno condotto alla volontà di indagare con maggior precisione il fenomeno della retro riflettanza in presenza di spessori idrici di diversa entità.

Lo studio è stato condotto nella zona Cargo Sud, al fine di arrecare il minor disturbo possibile, concentrandosi pertanto sul rilievo dei valori di R_L bagnato relativi alle stese ottenute mediante pittura all'acqua e rispettivamente microsferi Type I, Type III ed ICAO.

Per l'effettuazione di tale prova si è fatto ricorso all'impiego di un applicatore di silicone acetico per la realizzazione di un cordolo di contenimento per l'acqua. In particolare è stata definita un'area di misura lievemente superiore all'impronta del retro riflettometro, al fine di facilitarne l'inserimento e quindi l'esecuzione delle misure, come mostrato in Figura 5.17.



Figura 5.17: Retroriflettometro posizionato all'interno dell'area di test delimitata dal cordolo in silicone.

Nota l'area di test data da un rettangolo di dimensioni 60x22 cm è stato possibile individuare il quantitativo in peso di acqua, pari a 26 g, necessario per realizzare uno spessore idrico medio di 0,2 mm.

Nello specifico la prova è stata ripetuta, aggiungendo 26 g di acqua ad ogni iterazione, ovvero aumentando di 0,2 mm il velo idrico, fintanto che non si è ottenuto di retroriflettenza pari a zero.

Nelle Tabelle 5.58, 5.59 e 5.60 sono riportati gli spessori idrici simulati ed i corrispondenti valori del coefficiente di luminanza retro riflessa R_L , rispettivamente per le tre tipologie di microsfere studiate.

| MICROSFERE TYPE I | |
|--------------------------|---|
| Altezza velo idrico [mm] | Valore di R_L [mcd/lux/m ²] |
| 0 | 205 |
| 0,2 | 86 |
| 0,4 | 73 |
| 0,6 | 45 |
| 0,8 | 37 |
| 1 | 23 |
| 1,2 | 16 |
| 1,4 | 7 |
| 1,6 | 10 |
| 1,8 | 0 |

Tabella 5.58: Corrispondenza tra valori di altezza del velo idrico simulato e del parametro R_L bagnato.

| MICROSFERE TYPE III | |
|--------------------------|---|
| Altezza velo idrico [mm] | Valore di R_L [mcd/lux/m ²] |
| 0 | 587 |
| 0,2 | 121 |
| 0,4 | 103 |
| 0,6 | 88 |
| 0,8 | 85 |
| 1 | 67 |
| 1,2 | 43 |
| 1,4 | 34 |
| 1,6 | 21 |
| 1,8 | 8 |
| 2 | 0 |

Tabella 5.59: Corrispondenza tra valori di altezza del velo idrico simulato e del parametro R_L bagnato.

| MICROSFERE ICAO | |
|--------------------------|---|
| Altezza velo idrico [mm] | Valore di R_L [mcd/lux/m ²] |
| 0 | 474 |
| 0,2 | 188 |
| 0,4 | 172 |
| 0,6 | 163 |
| 0,8 | 145 |
| 1 | 118 |
| 1,2 | 90 |
| 1,4 | 85 |
| 1,6 | 62 |
| 1,8 | 44 |
| 2 | 27 |
| 2,2 | 18 |
| 2,4 | 3 |
| 2,6 | 0 |

Tabella 5.60: Corrispondenza tra valori di altezza del velo idrico simulato e del parametro R_L bagnato.

Si nota subito come le prestazioni, in termini di visibilità notturna in condizioni di bagnato, di differenti tipologie di microsfere vengano azzerate in corrispondenza di spessori idrici notevolmente diversi, soprattutto se si rapportano le microsfere ICAO con le altre due tipologie.

Si sottolinea inoltre che, per completezza, prima di eseguire la prova descritta, è stata effettuata una misura di retro riflettenza sulla superficie asciutta, in modo da ottenere un valore di R_L da considerare come punto di partenza.

Per rendere diretto e agevole il confronto sono stati rappresentati sul Grafico 5.35 i legami tra spessore del velo idrico e coefficiente di luminanza retro riflessa di tutte e tre le tipologie di sistema segnaletico analizzato.

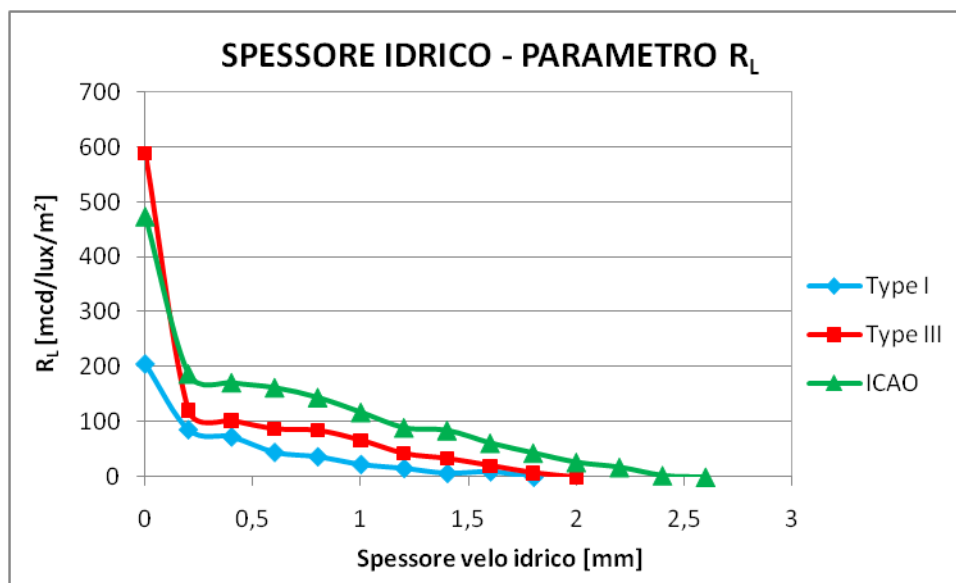


Grafico 5.35: Legami tra spessore del velo idrico e parametro R_L per microsfere Type I, Type III e ICAO.

L'osservazione del grafico mostra come nel passaggio da totale assenza di acqua sulla superficie segnaletica alla presenza invece di un velo idrico, sebbene di spessore decisamente ridotto, si abbia un drastico decremento delle proprietà retroriflettive delle microsfere.

In particolare, considerando il fenomeno in maniera proporzionale, le microsfere Type I sono quelle che presentano la minor riduzione di visibilità, come evidenziato dalla ridotta pendenza del primo tratto della curva che ne rappresenta il legame tra spessore idrico ed R_L .

Nonostante questa constatazione rimane comunque invariata la superiorità prestazionale delle altre due tipologie di microsfere testate.

Le microsfere ICAO, anche durante l'esecuzione di questa prova peculiare, come nel caso del test secondo normativa, si configurano come una buona soluzione per il miglioramento della visibilità notturna in condizioni di bagnato, senza presentare eccessive diminuzioni in condizioni asciutte rispetto alle altre microsfere ad alto indice di rifrazione.

Durante l'analisi sperimentale si è verificata l'occasione di effettuare misurazioni di retro riflettanza durante un episodio piovoso di media intensità. Sia sui fazzoletti delle TDZ, realizzati mediante pittura bianca, sia sulle stop bars, caratterizzate invece da pittura di colorazione gialla, è stato riscontrato un valore nullo del coefficiente di luminanza retroriflessa R_L , indipendentemente dal tipo di microsfera sperimentata.

Si sottolinea che la pioggia presente non si è configurata come un evento particolarmente importante, ma il film idrico formatosi sulla superficie segnaletica, a causa della continua alimentazione dovute alla precipitazione, presentava spessori sufficienti ad annullare completamente i vantaggi forniti dalla presenza degli elementi catadiottrici.

Tali constatazioni presentano importanti ripercussioni sul grado di sicurezza garantito, in quanto pare emergere che non vi sia una sufficiente visibilità della segnaletica orizzontale qualora si presentino simultaneamente condizioni di visibilità notturna e di pioggia.

Questa osservazione permette di avanzare una proposta relativa ad un ulteriore studio focalizzato sulla determinazione sperimentale di sistemi segnaletici completi in grado di fornire un livello minimo di sicurezza, in termini di visibilità, in presenza di pioggia.

Conclusioni

Nel presente lavoro di tesi è stata descritta l'analisi sperimentale, condotta presso l'aeroporto internazionale di Milano Malpensa, riguardante l'utilizzo di sistemi innovativi per la realizzazione della segnaletica orizzontale su infrastrutture aeroportuali.

Dopo una dettagliata analisi delle conoscenze acquisite fino ad oggi ed ufficialmente riconosciute dalla comunità scientifica relativamente ai materiali ed alle tecnologie realizzative impiegati nella realizzazione della segnaletica orizzontale, gli autori hanno voluto intraprendere uno studio orientato all'ottenimento di specifiche da applicare ad un ambito strettamente aeroportuale.

Tuttavia, come punto di partenza del lavoro svolto, sono stati esaminati anche documenti relativi alle applicazioni stradali, in quanto, racchiusi in essi, sono stati individuati principi e considerazioni che possono essere generalizzati e quindi applicati al peculiare ambito studiato.

Il riferimento iniziale alla letteratura, nonché alle normative, di valenza stradale si è reso necessario in quanto attualmente l'autorità legislativa riconosce le prescrizioni stradali come direttamente applicabili anche alla realizzazione degli impianti segnaletici orizzontali all'interno delle infrastrutture aeroportuali.

Parallelamente alla ricerca letteraria condotta in ambito stradale, anche dal punto di vista sperimentale è stato studiato un impianto segnaletico progettato ad hoc per applicazioni autostradali, in modo tale da permettere un diretto confronto tra tali materiali, comunemente adottati all'interno degli aeroporti italiani, e quelli innovativi proposti specificatamente per il contesto aeroportuale.

Partendo quindi da concetti e assunzioni proprie dello stato dell'arte di ambito stradale, il lavoro svolto ha voluto sperimentare innovativi sistemi segnaletici, considerati come insieme di pittura, microsfere e tecnologia applicativa, progettati appositamente al fine di condurre in futuro ad una netta distinzione tra prodotti adatti al contesto automobilistico e prodotti specifici per la sicurezza degli aerodromi.

L'analisi sperimentale effettuata ha permesso di realizzare uno studio comparato tra differenti sistemi segnaletici considerando, quali variabili, tipologia e colorazione dei materiali impiegati, superficie di base su cui effettuare la stesa e differenti condizioni atmosferiche.

La ricerca svolta testando differenti applicazioni e simulando condizioni esterne eterogenee ha permesso la raccolta di numerosi dati, i quali, debitamente analizzati ed elaborati, hanno condotto all'individuazione delle seguenti considerazioni ed osservazioni:

- Le microsfere Type III si configurano come il dispositivo catadiottrico complessivamente a più alte prestazioni.

Confrontandoli con microsfere Type I e microsfere ICAO, durante le normali condizioni di esercizio caratterizzate dall'assenza di veli idrici superficiali, gli elementi catadiottrici Type III hanno sempre fornito valori del parametro R_L indubbiamente superiori.

In particolare tale considerazione risulta valida per applicazioni di postspruzzatura su ogni tipologia di vernice, indifferentemente dalla composizione chimica e dal colore che la caratterizzano. Pur rimanendo indiscussa la supremazia prestazionale delle microsfere Type III, le microsfere ICAO, grazie ad un elevato indice di rifrazione, possono essere in una certa qual misura rapportate alle Type III, mentre la rimanente categoria presenta valori di retro riflettenza notevolmente inferiori.

- Le microsfere ICAO presentano lievi vantaggi in condizioni di bagnato.

Durante l'esecuzione della prova standard di retro riflettenza in condizioni di superficie bagnata e nel corso delle simulazioni sperimentali con spessori idrici controllati, è stato evidenziato un migliore comportamento, in termini di visibilità notturna, delle microsfere ICAO rispetto alle altre tipologie impiegate.

Tuttavia, considerando che in condizioni asciutte le microsfere ICAO presentano performance inferiori rispetto alle microsfere Type III e che il vantaggio che offrono rispetto a queste ultime, in condizioni di bagnato, è comunque ridotto, un loro impiego appare giustificato solo a seguito di opportune considerazioni relative alle condizioni climatiche caratteristiche dell'ambito di inserimento dello specifico aeroporto. Inoltre tali dispositivi catadiottrici, come d'altronde tutti quelli attualmente presenti in commercio, non risultano in grado di garantire il minimo valore di retro riflettenza in presenza di un evento piovoso anche di modesta intensità.

- La visibilità notturna viene garantita anche considerando una geometria tipicamente aeroportuale.

In una fase iniziale dello studio condotto è stata avanzata la possibilità che la differenza tra la geometria del veicolo stradale e quella caratterizzante un aeromobile rendesse impossibile il realizzarsi del processo di retroriflessione. Infatti, più volte in letteratura,

viene riportata un'imprescindibile condizione base affinché tale fenomeno possa avere luogo, ovvero la necessità di avere una ridotta distanza tra fonte luminosa (faro) e ricevitore (occhio del pilota) al fine di evitare un'eccessiva dispersione dei raggi retroriflessi.

Tuttavia dall'analisi fotografica cui si è avvalsa la ricerca svolta, è stato possibile affermare che anche da un'altezza pari a quella del cockpit di un velivolo di medie dimensioni è possibile distinguere con chiarezza impianti segnaletici orizzontali realizzati mediante differenti tipologie di microsfere.

- Nei piazzali, ovvero in presenza di torri faro, non si notano differenze di percezione visiva tra microsfere a basso e ad alto indice di rifrazione.

La presenza di potenti torri faro che illuminano a giorno i piazzali aeroportuali tende ad appianare le differenze prestazionali tra le tipologie di microsfere, in quanto in tali condizioni il fenomeno di riflessione prevale su quello di retroriflessione.

Tale osservazione, condotta mediante l'ausilio di un reportage fotografico, permette certamente di affermare l'assenza di convenienza nell'impiego di microsfere ad alto indice di rifrazione, oltre ad indurre addirittura l'ipotesi di una mancata utilità nell'impiego di qualsivoglia tipologia di microsfere in quelle aree in cui è costantemente presente una condizione di illuminazione diffusa.

- È stato individuato un legame di proporzionalità inversa tra la macrorugosità della pavimentazione e retro riflettenza dell'impianto segnaletico ivi applicato.

Partendo dalla constatazione che sulla pista 35L e sul raccordo Charlie-Alfa sono stati riscontrati valori differenti rispetto a quelli ottenuti in corrispondenza delle medesime applicazioni realizzate nella zona Cargo Sud, è stata introdotta, nel corso del lavoro di tesi un'ulteriore sperimentazione volta all'individuazione di un eventuale legame tra macrotessitura e retro riflettenza. Le prove svolte a tale scopo hanno evidenziato come all'aumentare della macrorugosità della pavimentazione la retro riflettenza del segnale applicativi subisse un notevole decremento.

Si sottolinea però che tale risultato è stato ottenuto in corrispondenza di applicazioni caratterizzate dal medesimo quantitativo di vernice e microsfere. Tale precisazione risulta necessaria in quanto occorre ricordare che in presenza di una superficie caratterizzata da un'elevata altezza in sabbia lo spessore di vernice utile all'inglobamento delle microsfere

appare ridotto, compromettendo quindi il fenomeno della retro riflessione che risulta massimizzato in corrispondenza di un inglobamento delle microsfere pari al 50-60% rispetto al diametro.

- Nel corso della sperimentazione è emersa l'importanza di una corretta calibrazione dei macchinari prima delle operazioni di stesa.

Prima dell'esecuzione delle applicazioni previste dal piano sperimentale sono stati calibrati i macchinari di stesa in termini di velocità di avanzamento e di pressione, al fine di ottenere i corretti quantitativi rispettivamente di pittura e microsfere per unità di superficie.

Durante tale fase è emerso che la prassi procedurale per la stesa degli impianti segnaletici si basa essenzialmente sull'esperienza degli applicatori senza l'effettuazione di preventive prove ad hoc. Questa modalità di esecuzione può comportare notevoli problematiche rispetto all'inglobamento delle microsfere a causa di ridotti spessori di vernice o di velocità di stesa tali da comportare la formazione di un film superficiale sulla pittura che impedisce la corretta penetrazione degli elementi di vetro.

- È stata rilevata una scarsa utilità nel rilievo dei valori del coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa Q_d .

Dall'analisi dei dati relativi al parametro Q_d , valutato sia in condizioni asciutte sia in condizioni bagnate, ottenuti durante le campagne di prova eseguite, è stato sempre riscontrato un comportamento costante indipendentemente dal tipo di microsfera impiegata per l'esecuzione delle stese segnaletiche.

Infatti le uniche differenze sostanziali che si sono rilevate sono relative alle tonalità di colore con cui il segnale orizzontale si presenta. In particolare gli impianti segnaletici realizzati con pitture di colorazione bianca o comunque più chiara presentano un maggiore valore di Q_d . Tuttavia sono state individuate variazioni di tale coefficiente dovute esclusivamente al tipo di microsfera adottato, specialmente nel confronto tra applicazioni bianche. Tale circostanza non sembra però dipendere dalle proprietà di visibilità notturna degli elementi catadiottrici, bensì dalla loro differente colorazione dovuta al tipo di vetro con cui sono prodotte, che appare più evidente su sfondo bianco.

- L'evoluzione tecnologica ha permesso l'ottenimento di pitture ad acqua con tempi di essiccazione molto ridotti.

Durante l'analisi sperimentale condotta è stato possibile mettere a confronto pitture a base d'acqua e pitture a base di solvente, cercando di giungere ad una conclusione su quale potesse essere il materiale più indicato da associare alla postspruzzatura delle microsferiche per la realizzazione di segnali orizzontali in ambito aeroportuale.

Storicamente in Italia sono sempre state impiegate vernici a solvente grazie all'elevata rapida con cui formano un film solido superficiale. Esse però presentano alcuni svantaggi, come l'infiammabilità, che le rendono poco indicate per l'esecuzione delle lavorazioni nel contesto aeroportuale.

Uno dei risultati del lavoro condotto è stato quello di verificare l'effettivo tempo di presa di una moderna pittura all'acqua, che è risultato addirittura inferiore rispetto a quello di una classica vernice a solvente. Interessante è sottolineare che, benché specialmente in America, questo progresso tecnologico sia ben noto, in Italia gli applicatori sembrano tuttora ignorarne l'esistenza.

Al termine della ricerca svolta è stato dimostrato come ad oggi i prodotti all'acqua possano configurarsi come diretti concorrenti di quelli a solvente grazie alla maggiore sicurezza che garantiscono agli applicatori, a parità di prestazioni forniti in termini di retro riflettanza.

- I segnali orizzontali di colorazione gialla hanno riportato valori di retroriflettanza generalmente dimezzati rispetto ad analoghe applicazioni bianche.

Poiché all'interno degli aeroporti segnaletica bianca e segnaletica gialla si equivalgono in termini di importanza ed estensione, è stato utile confrontare direttamente applicazioni del tutto identiche fuorché per la colorazione della vernice.

È stato quindi verificato quanto già unanimemente riconosciuto dagli esperti in materia, secondo cui la visibilità notturna offerta da impianti segnaletici gialli appare ridotta di circa il 50% rispetto a quella fornita da medesimi sistemi di colorazione bianca.

- La retro riflettanza in condizioni bagnate valutata su segnali orizzontali realizzati su una superficie in calcestruzzo appare ridotta rispetto a quanto riscontrato su superfici in conglomerato bituminoso.

L'assenza di una forte macrorugosità delle superfici in calcestruzzo componenti le piazzole di sosta rende più lento il deflusso delle acque superficiali, causando quindi la formazione di considerevoli spessori idrici. Tale circostanza comporta una riduzione del parametro R_L , rispetto alla condizione asciutta, maggiore di quella riscontrata nel caso di pavimentazioni in conglomerato bituminoso.

- L'impiego di granuli antiderapanti permette un miglioramento delle proprietà di resistenza al derapaggio offerte dalla superficie, a discapito però dei valori di retroriflettenza.

Nel corso del lavoro di tesi è stato possibile realizzare e testare una miscela antiskid composta da microsferi Type III e aggregati anti derapanti costituiti da materiale vetroso.

La raccolta dei dati condotta in sito durante le campagne di prova eseguite ha permesso di riconoscere un'effettiva utilità nell'utilizzo degli aggregati nei del parametro SRT. Tale soluzione appare interessante in quanto permette di adeguare i valori di resistenza al derapaggio della segnaletica orizzontale agli standard imposti dalla normativa, senza compromettere in maniera eccessiva le proprietà retroriflettive dell'impianto segnaletico.

- La prova di retroriflettenza in condizioni bagnate si è dimostrata scarsamente attendibile. A seguito dell'eccessiva casualità intrinseca nelle modalità di esecuzione della prova di retroriflettenza in condizioni di bagnato, secondo quanto prescritto dalla normativa vigente, si ottengono dati caratterizzati da una eccessiva variabilità che li rende scarsamente attendibili.

Il lavoro di tesi presentato si è limitato all'individuazione di tale variabilità, delegando a successivi studi di approfondimento l'ideazione di una nuova procedura di misurazione del parametro R_L in condizioni bagnate, meno affetta da soggettività realizzative.

- La presenza di più strati sovrapposti di pittura è probabilmente responsabile di una riduzione prestazionale degli impianti segnaletici.

Le misure eseguite sui fazzoletti di TDZ della pista 35L hanno riportato un evidente decremento dei valori del parametro R_L rispetto alle medesime applicazioni effettuate all'interno della zona Cargo Sud. Poiché l'unica differenza che intercorre tra le due stese risiede nella superficie di posa, è stata avanzata l'ipotesi di un ruolo negativo giocato dalla presenza di vecchi sistemi segnaletici nei confronti della retro riflettenza dell'impianto più

recente. Non essendoci state le condizioni necessarie a permettere uno studio approfondito di tale circostanza, si propone l'esecuzione di una futura ricerca focalizzata sull'individuazione della specifica influenza che una mancata rimozione delle vecchie stese ha sulle performance delle nuove realizzazioni.

Dalle osservazioni riportate si evince come, a partire da conoscenze per lo più adatte all'ambito stradale, il lavoro di tesi si sia concluso individuando una prima serie di risultati che aprono le porte allo sviluppo di un argomento ancora scarsamente considerato ma di notevole interesse ed importanza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ente Nazionale Aviazione Civile (ENAC), *Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Aeroporti*, Edizione 2, Roma, Italia, 21 ottobre 2003.
- [2] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Annex 14 – Aerodromes – Volume I – Aerodrome Design and Operations*, Edizione 6, Montreal, Canada, luglio 2013.
- [3] P. Di Mascio, L. Domenichini, A. Ranzo, *Infrastrutture Aeroportuali*, Roma, Italia, Edizioni Ingegneria 2000, Febbraio 2009.
- [4] Ente Nazionale Aviazione Civile (ENAC), Circolare Serie Aeroporti APT13A, *Aiuti Visivi – Aeroporti Civili*, 27 luglio 2005.
- [5] Ente Nazionale Aviazione Civile (ENAC), Circolare Serie Aeroporti APT24, *Piazzali Aeromobili – Segnaletica Orizzontale*, 28 luglio 2006.
- [6] Innovative Pavement Research Foundation (IPRF), *Research Report IPRF 01-G-002-05-1, 'Airfield Marking Handbook'*, settembre 2008.
- [7] Azienda Nazionale Autonoma delle Strade (ANAS), *Segnaletica Stradale Orizzontale – Normativa, Materiali, Caratteristiche Tecniche e Metodologie di Controllo*, novembre 2007.
- [8] Federal Aviation Administration (FAA), Federal Specifications TT-B-1325D, *Beads (Glass Spheres) Retro-Reflective*, 17 maggio 2012.
- [9] National Cooperative Highway Research Programme (NCHRP), *Report 743, 'Predicting the Initial Retroreflectivity of Pavement Markings from Glass Bead Quality'*, Washington D.C., 2013.
- [10] Flex-O-Lite, Potters Industries Inc., *Glass Beads and Reflectorization*, 125 Cassens Court Fenton, MO.
- [11] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Aerodrome Design Manual – Part 4 – Visual Aids*, Edizione 4, Montreal, Canada, 2004.
- [12] R. G. McGinnis, *Report FHWA-PA-2001-027-97-04, 'Pavement Marking Benchmarking'* Pennsylvania State University, University Park, ottobre 2001.
- [13] R. L. Austin, R. J. Schultz, *Guide To Retroreflection Safety Principles and Retroreflectivity Measurements*, RoadVista, San Diego, CA, 2006.
- [14] J. Migletz, J. K. Fish, J. L. Graham, *Roadway Delineation Practices Handbook*, Publication n° FHWA-SA-93-001, Washington D.C., agosto 1994.

- [15] W. J. Rasdorf, G. Zhang, J. E. Hummer, *'The Impact of Directionality on Paint Pavement Marking Retroreflectivity'*, *Public Works Management & Policy*, Volume 13 n° 3, gennaio 2009.
- [16] R. J. Benz, A. M. Pike, S. P. Kuchangi, R. Q. Brackett, *'Serviceable Pavement Marking Retroreflectivity Level: Technical Report'*, Report n° 0-5656-1, Texas A&M University System, College Station, TX, marzo 2009.
- [17] D. M. Burns, T. P. Hedblom, T. W. Miller, *'Modern Pavement Marking System: Relationship Between Optics and Nighttime Visibility'*, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n° 2056, Washington D.C., 2008.
- [18] Ente Nazionale Aviazione Civile (ENAC), Circolare Serie Aeroporti APT10, *'Rilevazione dei Valori di Aderenza delle Piste di Volo in Presenza di Acqua'*, 22 novembre 2001.
- [19] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Norma Europea UNI EN 1436, *'Materiali per Segnaletica Orizzontale – Prestazioni della Segnaletica Orizzontale per gli Utenti della Strada'*, dicembre 2008.
- [20] Ente Nazionale Aviazione Civile (ENAC), *'Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Aeroporti'*, Edizione 2, 21 ottobre 2003.
- [21] M. Sadino, P. Marangon, *Strade & Autostrade 'La Certificazione per i Prodotti da Segnaletica Orizzontale'*, aprile 2006.
- [22] M. Sadino, P. Marangon, *European Coatings, 'New Issues for the Road Marking Products'*, luglio 2004.
- [23] Federal Aviation Administration (FAA), *Advisory Circular AC n° 150/5340-1L, 'Standards for Airport Markings'*, 27 settembre 2013.
- [24] Federal Aviation Administration (FAA), *Advisory Circular AC n° 150/5370-10F, 'Standards for Specifying Construction of Airports'*, 30 settembre 2011.
- [25] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Norma Italiana UNI EN 1424, *'Materiali per Segnaletica Orizzontale – Microsfere di Vetro da Premiscelare'*, aprile 2004.
- [26] Federal Aviation Administration (FAA), *Technical Note DOT/FAA/AR TN03-22, 'Development of Methods of Determining Airport Pavement Marking Effectiveness'*, marzo 2003.
- [27] Federal Aviation Administration (FAA), *Report to Congress on 'Specifications and Standards for Airfield Pavement Markings'*, 23 novembre 2010.

- [28] Sightline, *'Airfield Marking Durability Study'*, 15483 Enterprise Way Culpeper, VA 22701, 12 marzo 2014.
- [29] Sightline, *'Pilot Visibility Study'*, 15483 Enterprise Way Culpeper, VA 22701, 10 maggio 2012.
- [30] L. Brighenti, *Strade & Autostrade 'Come Migliorare la Segnaletica Stradale in Italia'*, gennaio 2007.
- [31] National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), *Research Results Digest 346, 'Optical Sizing and Roundness Determination of Glass Beads Used in Traffic Markings'*, settembre 2010.
- [32] T. Grosjes, *ScienceDirect, Optical Materials, 'Retroreflection of Glass Beads for Traffic Road Stripe Paints'*, 2007.
- [33] M. H. Khan, S. Senadheera, D. D. Gransber, R. Stempork, *'Influence of Pavement Surface Characteristics on Nighttime Visibility of Object'*, Paper n° 99-0728, 1999.
- [34] G. Zhang, J. E. Hummer, W. Rasdorf, N. Mastin, *Public Works Management and Commercial Policy, Sage, 'The Impact of Pavement Type and Roughness on Paint Marking Retroreflectivity'*, 10 aprile 2012.
- [35] J. Lee, T. L. Maleck, W. C. Taylor, *'Pavement Marking Material Study in Michigan'*, *Institute of Transportation Engineers Journal* n° 69, 1999.
- [36] W. E. Sitzabee, J. E. Hummer, W. Rasdorf, *'Pavement Marking Degradation Modeling and Analysis'*, *Journal of Infrastructure Systems* n° 15, 2009.
- [37] J. Perrin, P. T. Martin, B. G. Hansen, *Transportation Research Board Annual Meeting, 'A Comparative Analysis of Pavement Marking Materials'*, 1998.
- [38] A. L. Andradý, *'Pavement Marking Materials: Assessing Environment-friendly Performance'*, *NCHRP Report 392*, 1997.
- [39] W. N. Craig, W. E. Sitzabee, J. E. Hummer, W. Rasdorf, *'Impact of Line Location on Pavement Marking Retroreflectivity Degradation'*, *Journal of Public Works Management and Policy*, n° 12, 2007.
- [40] A. Thamizharasan, W. A. Sarasua, D. B. Clarke, W. J. Davis, *'A Methodology for Estimating the Lifecycle of Interstate Highway Pavement Marking Retroreflectivity'*, *TRB Paper n° 03-3867*, 1 agosto 2002.

- [41] T. J. Gates, H. G. Hawkings, E. R. Rose, *'Effective Pavement Marking Materials and Applications for Portland Cement Concrete Roadways'*, Report 4150-2, Texas Transportation Institute, luglio 2003.
- [42] D. Weinkein, R. Branham, V. Ginder, *'Report on Phase 1 and 2 on the Pavement Marking Management System Research Projects'*, Project RI-98-029, Missouri Department of Transportation, novembre 2002.
- [43] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Norma Europea UNI EN 1423, *'Materiali per Segnaletica Orizzontale – Materiali da Postspruzzare – Microsfere di Vetro, Granuli Antiderapanti e loro Miscele'*, marzo 2012.
- [44] International Civil Aviation Organization (ICAO), *'Airport Services Manual – Part 2 – Pavement Surface Conditions'*, quarta edizione, 2002.
- [45] A. J. Previti, D. W. Gallagher, H. Cyrus, *'Evaluation of Retroreflective Beads to Increase Airport Surface Marking Conspicuity'*, Report n° DOT/FAA/AR-TN10/10, maggio 2010.
- [46] H. R. Al Masaeid, K. C. Sinha *'Analysis of Accident Reduction Potential of Pavement Markings'*, *Journal of Transportation Engineering*, settembre 1994.
- [47] J. Migletz, J. Graham, D. W. Harwood, K. M. Bauer *'Service Life of Durable Pavement Markings'*, *Transportation Research Record 1749, TRB*, 2001.
- [48] N. Abboud, B. L. Bowman, *'Cost and Longevity-Based Scheduling of Paint and Thermoplastic Striping'*, *Transportation Research Record 1794, n° 02-2170*, 2002.
- [49] W. A. Sarasua, D.B. Clarke W. J. Davis, *'Evaluation of Interstate Pavement Marking Retroreflectivity'*, *Report to South Carolina DOT n° FHWA-SC-03-01*, 2003.
- [50] S. Lundkvist, S. Astrom, *'The Performance of Wet Visibility Road Markings'*, Report 465A, *Swedish National Road and Transport Research Institute*, 2000.
- [51] R. B. Gibbons, M. J. McElheny, C. Edwards, *'The Impact of Pavement Marking Width on Visibility Distance'*, *TRB Annual Meeting*, gennaio 2006.
- [52] M. J. Rich, R. E. Maki, J. Morena, *'Development of a Pavement Marking Management System'*, *Transportation Research Record, Volume 1794*, 2002.
- [53] G. Zhang, J. E. Hummer, W. J. Rasdorf, *'The Impact of Bead Density on Paint Pavement Marking Retroreflectivity'*, marzo 2009.
- [54] R. B. Gibbons, C. Andersen, J. Hankey, *'The Wet Night Visibility Pavement Markings – A Static Experiment'*, *TRB Annual Meeting*, gennaio 2005.

- [55] J. Kalchbrenner, *'Large Glass Beads for Pavement Markings'*, *Transportation Research Record 1230*, 1989.
- [56] P. J. Carlson, J. D. Miles, M. P. Pratt, A. M. Pike, *'Evaluation of Wet-Weather Pavement Markings: First Year Report'*, Texas DOT, settembre 2005.
- [57] R. B. Gibbons, *'Pavement Marking Visibility Requirements During Wet Night Conditions'*, Virginia Tech Transportation Institute, novembre 2006.
- [58] Federal Aviation Administration (FAA), Federal Specifications TT-P-1925E, *'Paint, Traffic and Airfield Marking, Waterborne'*, 6 agosto 2007.
- [A] www.icao.int.
- [B] www.faa.gov.
- [C] www.enac.gov.it.
- [D] www.uni.com.
- [E] www.seamilano.eu.