

Illuminazione a LED degli ambienti di lavoro: analisi tecnico-economica della sostituzione di lampade fluorescenti lineari con LED Tube in uffici e laboratori universitari

Introduzione 1

**Capitolo 1- La tecnologia LED nell' illuminazione degli
ambienti di lavoro** 4

1.1- Principio di funzionamento 5

1.1.1- La ionizzazione 5

1.1.2- Materiali semiconduttori 6

1.1.3- La giunzione P-N 7

1.1.4- Il diodo luminoso 9

1.1.5- Le radiazioni emesse 10

1.1.6- Propagazione della luce 12

1.1.7- Le ottiche primarie 13

1.1.8- L' alimentazione elettrica 13

1.1.9- Il regime termico 15

1.1.10- La luce eterocromatica 17

1.2- Caratteristiche e prestazioni dei LED 20

1.2.1- Tipi di LED 22

(a) LED tipo THT 22

(b) LED tipo SMT a base piatta 24

1.2.2- Le emissioni luminose dei LED 25

1.2.3- Prestazioni colorimetriche e binning 30

1.2.4- Le efficienze dei LED 32

1.2.5- La durata di vita dei LED 36

1.2.6- Il decadimento del flusso luminoso 39

1.3- Esempi di lampade e apparecchi LED 41

1.4- Illuminazione a LED negli ambienti di lavoro 44

| | |
|--|-----|
| Capitolo 2- Rischio da Radiazioni Ottiche Artificiali per sorgenti LED | 50 |
| 2.1- D.Lgs.vo 81-2008 e valori limite di esposizione | 50 |
| 2.2- Interpretazione grafica dei valori limite di esposizione | 57 |
| 2.3- La Norma CEI EN 62471 e la classificazione delle lampade in Gruppi di rischio | 65 |
| 2.3.1- La Norma CEI TR 62778 | 70 |
| 2.4- Dispositivi di protezione individuale per gli occhi | 73 |
| | |
| Capitolo 3- Caso di studio: misure di Radiazioni Ottiche Artificiali emesse dai LED Tube | 78 |
| 3.1- Sorgenti analizzate | 78 |
| 3.1.1- LED Tube | 79 |
| 3.1.2- Altre sorgenti LED analizzate | 79 |
| 3.1.3- Sorgenti standard di confronto analizzate | 79 |
| 3.2- Attività di misura | 83 |
| 3.2.1- Ambiente di misura | 83 |
| 3.2.2- Condizioni di misura | 84 |
| 3.2.3- Strumento di misura | 85 |
| 3.3- Misure di Radiazioni Ottiche Artificiali su LED Tube | 87 |
| 3.3.1- LED Tube 8W 60 cm, temperatura di colore 3000K | 88 |
| 3.3.2- LED Tube 8W 60 cm, temperatura di colore 4000K | 88 |
| 3.3.3- LED Tube 8W 60 cm, temperatura di colore 6000K | 90 |
| 3.3.4- LED Tube 16W 120 cm, temperatura di colore 6000K | 92 |
| 3.3.5- LED Tube 20W 150 cm, temperatura di colore 3000K | 93 |
| 3.3.6- LED Tube 20W 150 cm, temperatura di colore 4000K | 94 |
| 3.3.7- LED Tube 20W 150 cm, temperatura di colore 6000K | 96 |
| 3.3.8- LED Tube 22W 150 cm 330°, temperatura di colore 3000K | 98 |
| 3.4- Discussione e confronto dei risultati delle misure | 98 |
| 3.4.1- Tubi fluorescenti | 99 |
| 3.4.2- Confronto dei risultati delle misure di Radiazioni Ottiche Artificiali nel caso di lampada LED Tube 20W 4000K e lampada fluorescente 58W 4000K | 100 |

| | | |
|--------------------|--|------------|
| 3.4.3- | Confronto dei risultati delle misure di Radiazioni Ottiche Artificiali nel caso di un campione di 16 lampade LED Tube 8W 4000K e una lampada 18W 4000K | 108 |
| 3.5- | Classificazione del rischio delle sorgenti LED Tube ai sensi della Norma CEI EN 62471 | 115 |
| 3.6- | Report di Misura e Data base | 117 |
| 3.6.1- | Guida alla lettura dei Report di Misura | 117 |
| 3.6.2- | Data base dei Report di Misura | 122 |
| Capitolo 4- | Fattori di rischio illuminotecnico | 126 |
| 4.1- | Il rischio illuminotecnico | 126 |
| 4.2- | Estratto da Linee guida ISPESL | 129 |
| 4.3- | Riferimenti legislativi e normativi essenziali | 130 |
| 4.4- | Fattori di rischio illuminotecnico | 131 |
| 4.4.1- | Elenco e descrizione dei fattori | 132 |
| 4.4.2- | Indicatori prestazionali | 134 |
| Capitolo 5- | Caso di studio: analisi della sostituzione di lampade fluorescenti lineari con LED Tube | 136 |
| 5.1- | Descrizione e requisiti illuminotecnici degli ambienti esaminati | 136 |
| 5.1.1- | Ufficio tipo | 138 |
| 5.1.2- | Laboratorio tipo | 144 |
| 5.1.3- | Corridoio tipo | 146 |
| 5.2- | Misure di illuminamento | 151 |
| 5.2.1- | Strumento di misura | 151 |
| 5.2.2- | Griglia di misura | 152 |
| 5.2.3- | Configurazioni di misura | 159 |
| 5.2.4- | Risultati delle misure | 160 |
| A- | Ufficio tipo | 161 |
| B- | Laboratorio tipo | 173 |
| C- | Corridoio tipo | 183 |
| 5.3- | Simulazioni illuminotecniche | 199 |
| 5.3.1- | Ufficio tipo | 199 |
| 5.3.2- | Laboratorio tipo | 204 |

| | |
|---|------------|
| 5.3.3- Corridoio tipo | 210 |
| 5.4- Valutazione dell'indice LENI | 212 |
| 5.4.1- Ufficio tipo | 212 |
| 5.4.2- Laboratorio tipo | 214 |
| 5.4.3- Corridoio tipo | 215 |
| 5.5- Valutazione tecnico-economica dell'intervento | 216 |
| 5.5.1- Ufficio tipo | 216 |
| 5.5.2- Laboratorio tipo | 218 |
| 5.5.3- Corridoio tipo | 220 |
| | |
| Capitolo 6- Considerazioni Conclusive | 222 |
| | |
| Bibliografia | 225 |
| | |
| Allegati: A-Report di Misura | 227 |
| B-Disegni Tecnici | 230 |