

Aspetti metrologici nella valutazione e quantificazione dell'inquinamento luminoso

Giuseppe Rossi

I.N.Ri.M. - Istituto Nazionale Ricerca Metrologica – Torino

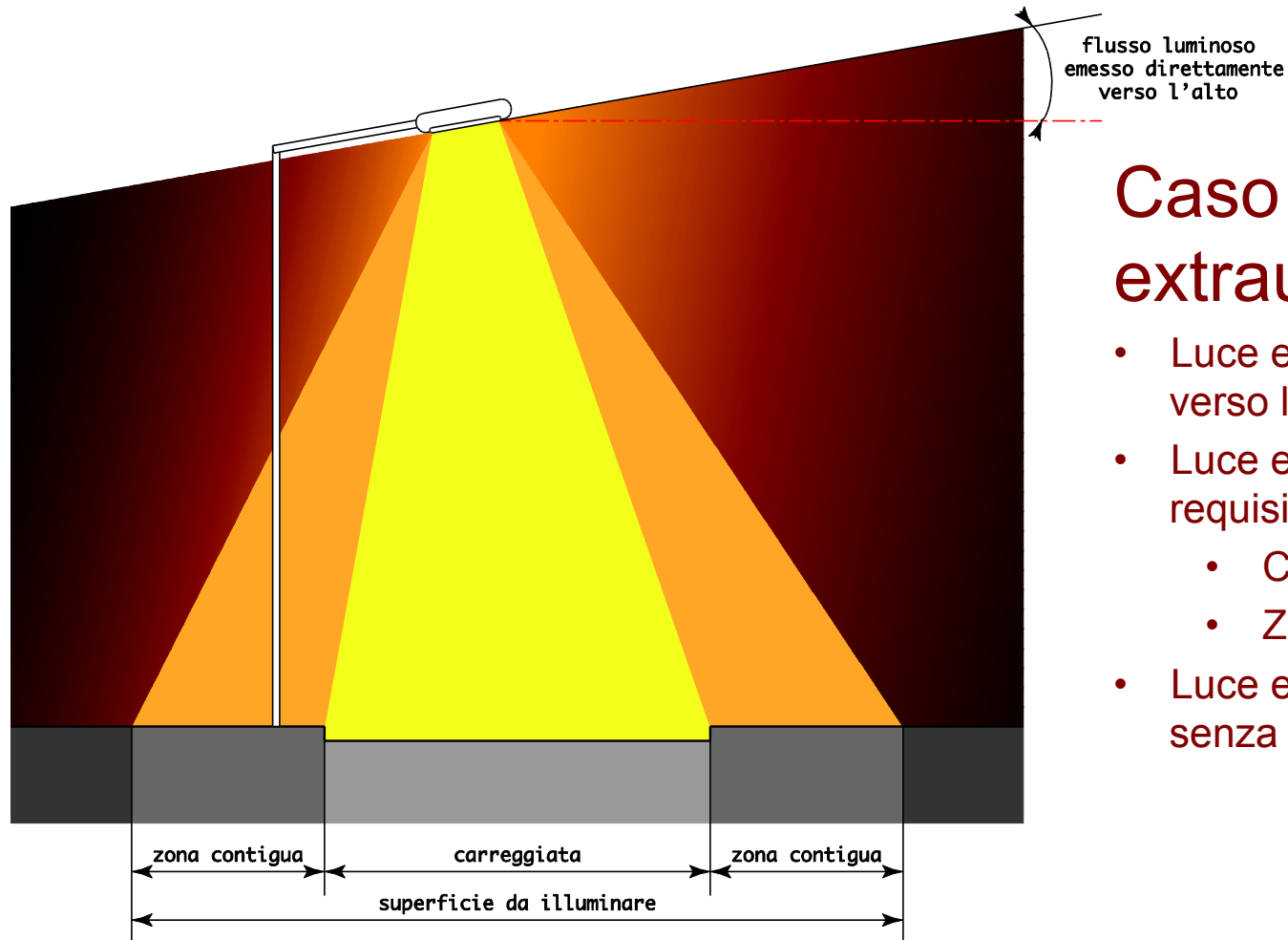
e-mail: g.rossi@inrim.it

Argomenti

- **Aspetti fisici**
- **Aspetti normativi – UNI 11248**
- **Spettro delle sorgenti**
- **Stima - tolleranze**
- **Misurazione**
- **Sviluppi futuri**

Analisi principalmente indirizzata al contributo degli impianti di illuminazione pubblica

Contributi alla luce dispersa verso l'alto

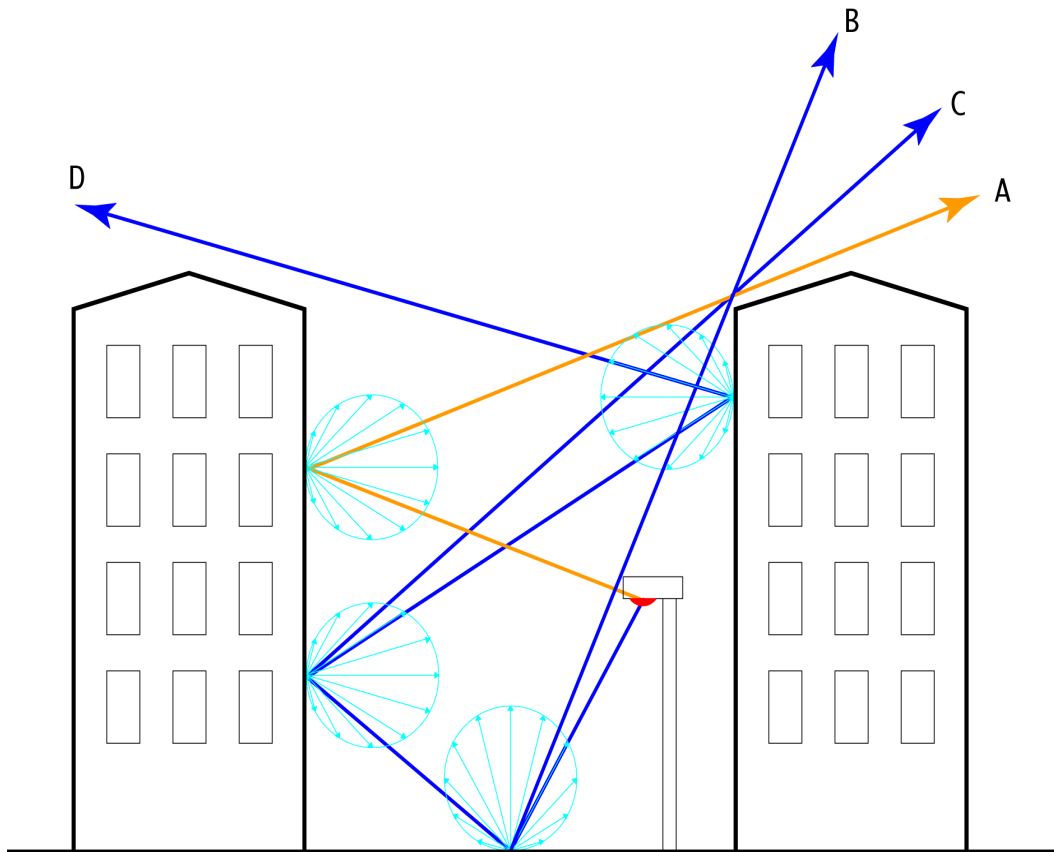


Caso impianto extraurbano

- Luce emessa direttamente verso l'alto
- Luce emessa verso zone con requisiti normativi
 - Carreggiata
 - Zone contigue
- Luce emessa verso zone senza requisiti normativi

Eccettuato il primo contributo tutte le altre componenti sono dovute a radiazione riflessa

Contributi alla luce dispersa verso l'alto



Caso impianto urbano

- Luce emessa direttamente verso l'alto
- Luce emessa verso zone con requisiti normativi
 - Carreggiata
 - Zone contigue
- Luce emessa verso zone senza requisiti normativi

*Tutte le componenti sono dovute a una o più riflessioni
Il fattore spettrale di riflessione delle superfici riduce il contributo globale e modifica lo spettro della radiazione dispersa*

Sviluppo di un modello: contributi

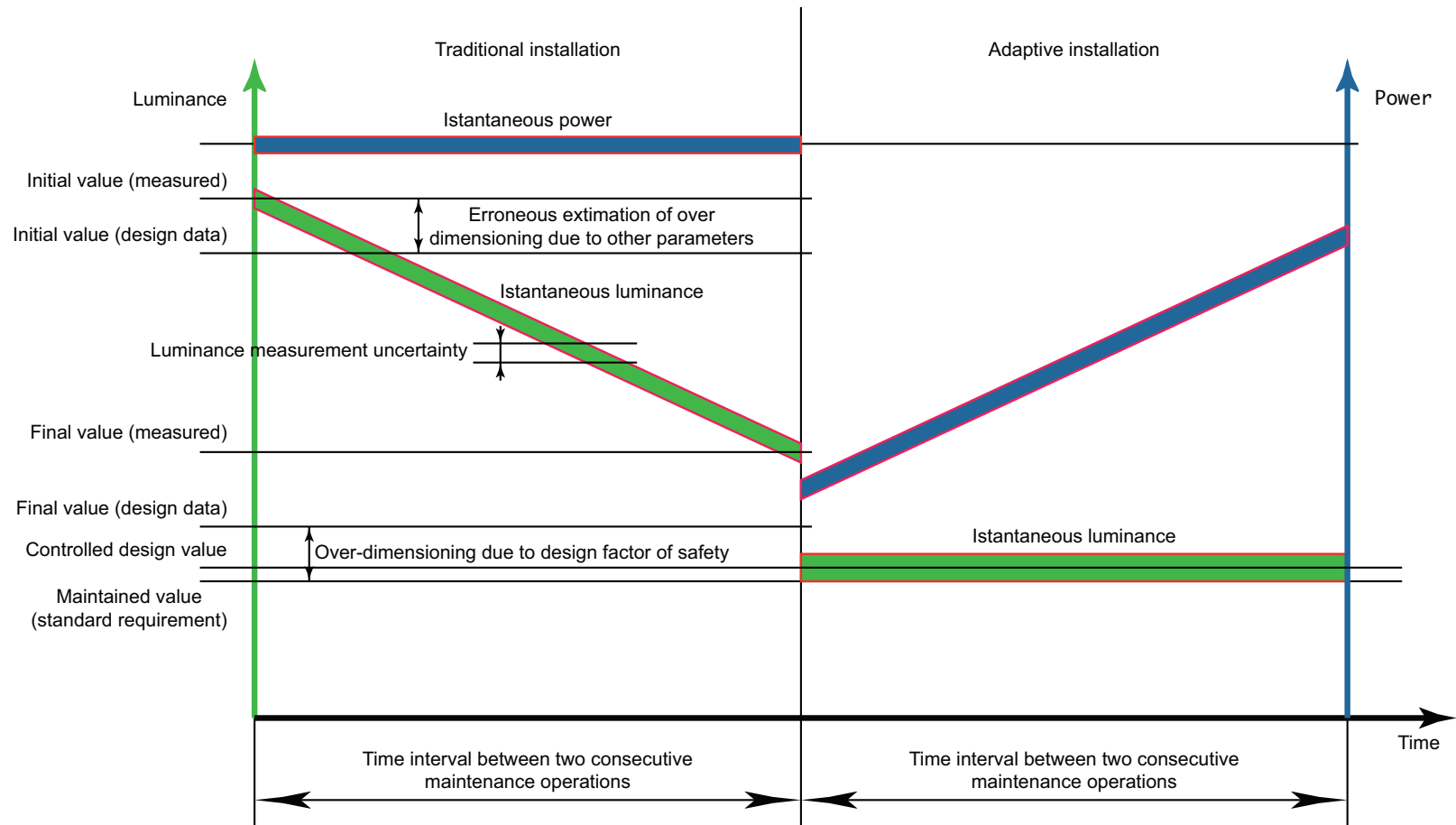
- Eccettuati casi patologici, il contributo della radiazione emessa direttamente verso l'alto è trascurabile.
 - Non esistono problemi concettuali o normativi nel considerare questo contributo
- Il livello di inquinamento luminoso è direttamente proporzionale al flusso luminoso dell'apparecchio di illuminazione
 - Per ridurre il livello di inquinamento luminoso occorre migliorare l'efficienza *illuminotecnica* dell'apparecchio (minor flusso luminoso emesso a parità di requisiti della categoria illuminotecnica)

Sviluppo di un modello: contributi

- L'effetto sul deterioramento del contrasto corpo– sfondo nell'osservazione dei corpi celesti dipende dalla frazione di energia dispersa verso l'alto nei vari angoli
 - All'aumentare del percorso in atmosfera
 - Maggior attenuazione
 - Maggior diffusione
 - Definizione di una funzione ponderale normativa
- Il fattore di riflessione delle superfici illuminate interviene pesantemente nel definire quantità e direzione del flusso luminoso disperso
 - ✓ Valori misurati del fattore spettrale di riflessione delle superfici illuminate
 - ✓ Valori normativi, per stime progettuali
 - ✓ Tipi di superfici
 - ✓ Con riflessione isotropa (lambertiana) -> fattore di riflessione ρ
 - ✓ Con riflessione anisotropa -> coefficiente di luminanza q

Norma UNI 11248: sistemi adattivi

Flusso luminoso minimo per garantire il requisito normativo



Sviluppo di un modello, anzi due

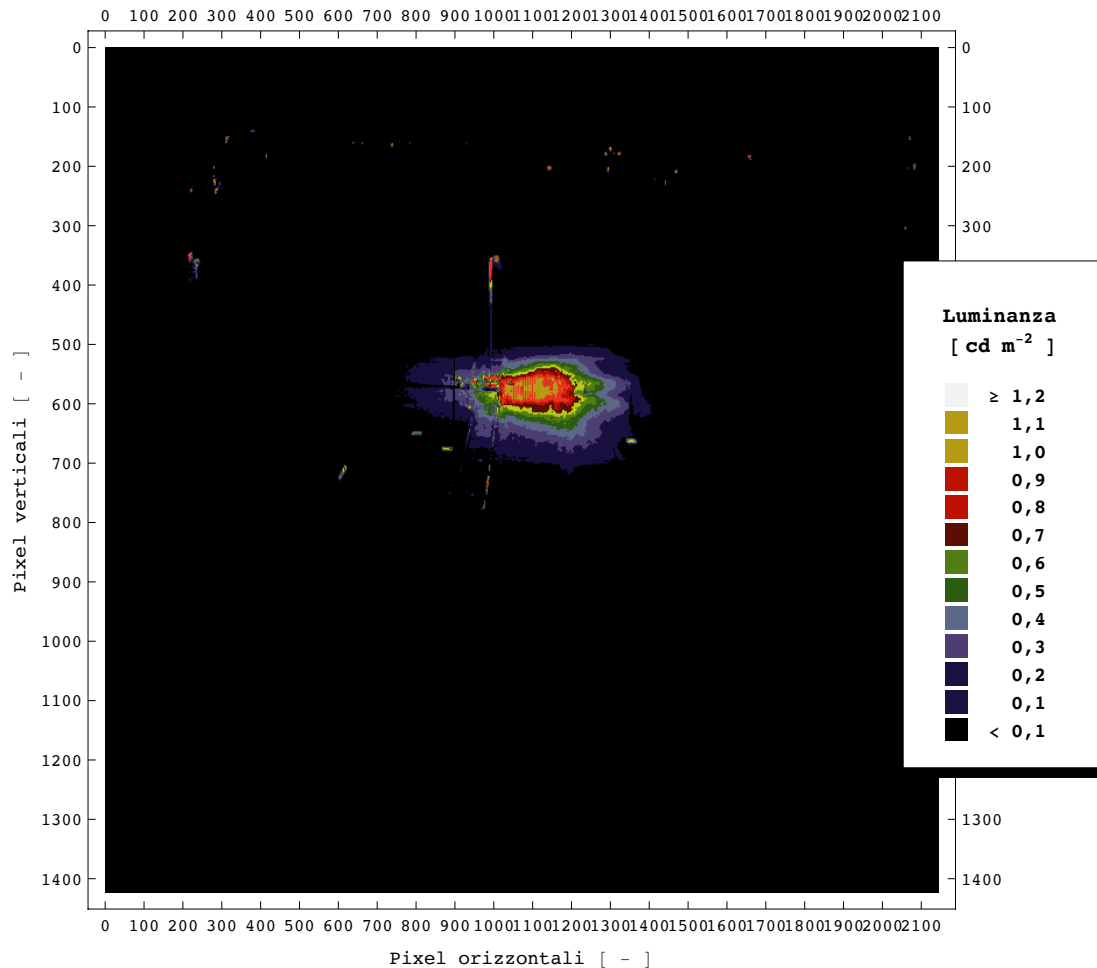
- Modello che preveda l'incremento di luminanza della volta celeste in un dato luogo e in una data direzione in funzione delle caratteristiche dell'impianto di illuminazione installato alla distanza d
 - ✓ Non ha finalità immediatamente progettuali
 - ✓ Permette di definire dimensioni e requisiti illuminotecnici delle zone di protezione
- Modello che preveda l'emissione verso l'alto dell'impianto di illuminazione
 - ✓ Ripartizione dell'intensità luminosa o flusso luminoso per definiti angoli
 - ✓ Permette di definire le caratteristiche dell'impianto rispetto all'inquinamento luminoso conseguente

Misure per lo sviluppo di un modello (secondo tipo)

- L'impianto viene considerato come una unica sorgente luminosa
 - ✓ Sovrapposizione degli effetti per considerare più apparecchi di illuminazione
 - ✓ Misure di ripartizione dell'intensità luminosa eseguite con la tecnica di campo vicino

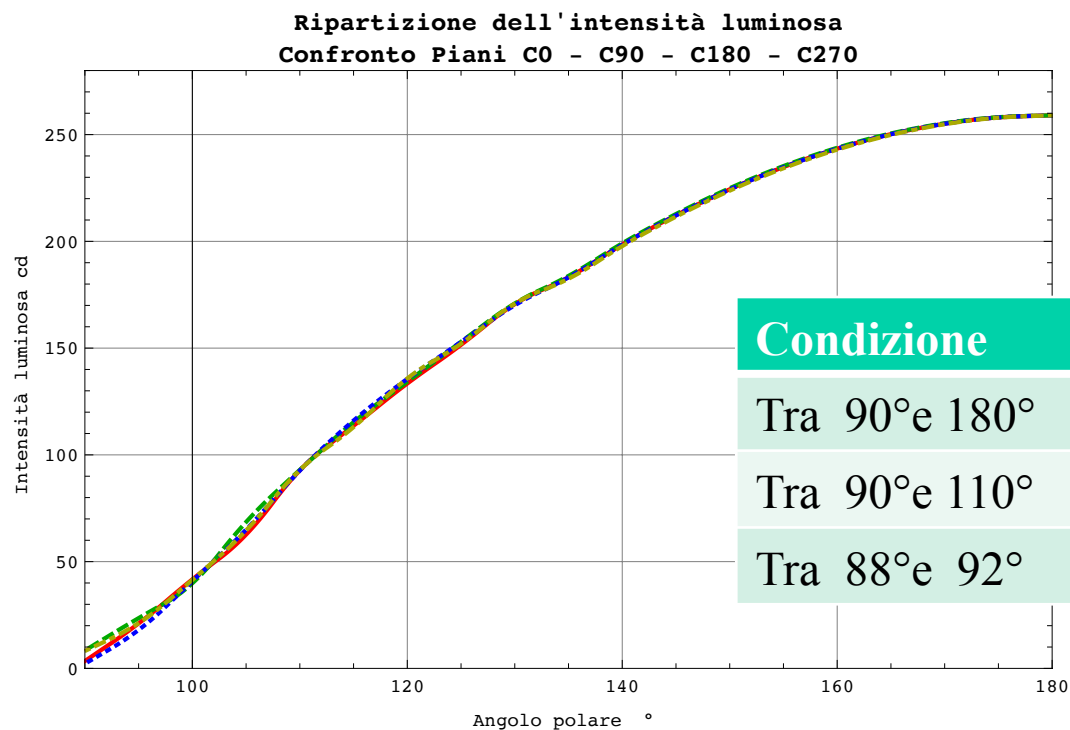


Esempio dei risultati



- Per angoli di osservazione superiori a circa 10° il manto stradale si comporta come una superficie lambertiana
 - ✓ La luminanza è proporzionale all'illuminamento
- Il contributo della parte di palo illuminato è superiore a quella dell'apparecchio di illuminazione (vetro non piano)
- Risulta critica la corretta orizzontalità dell'apparecchio (in particolare se con vetro piano)

Esempio dei risultati



- La tabella riassume risultati tipici del flusso luminoso emesso verso l'alto, nei quali si evidenzia il preponderante contributo della radiazione diffusa in vari settori sferici

Caratteristiche delle superfici

- Le superfici illuminate significative per la radiazione diretta sono:
 - Manto stradale
 - Zone contigue
 - ✓ Marciapiede
 - ✓ Prati
- Le superfici illuminate significative per la radiazione indiretta sono
 - Pareti edifici (lambertiane e direzionali)
 - Superfici vetrate (direzionali)

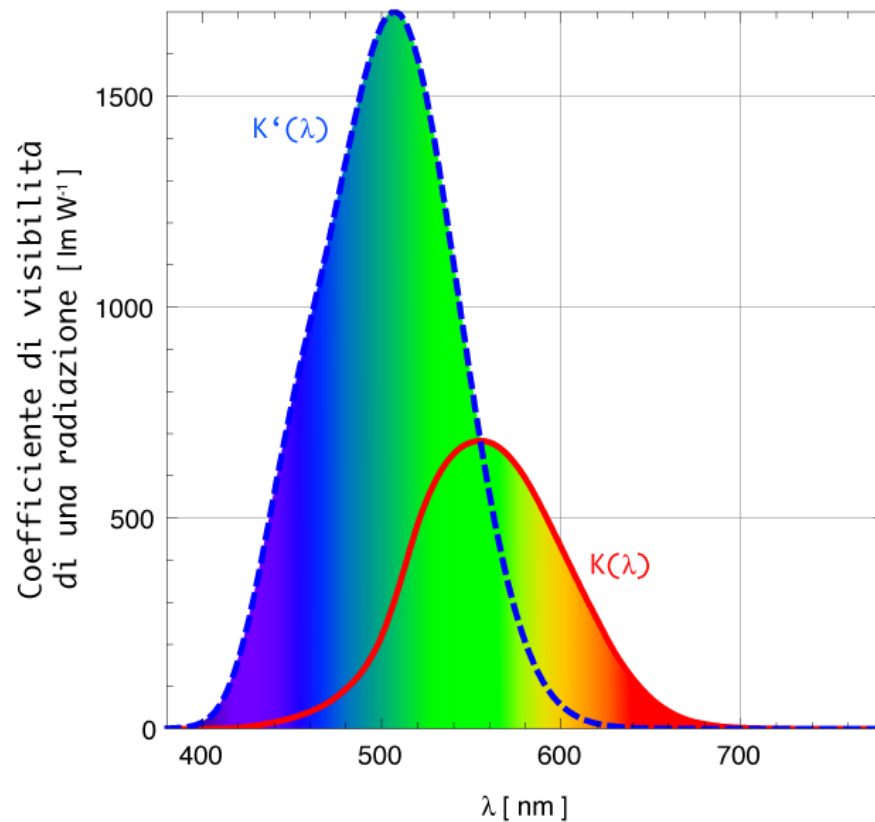
Sinergia tra differenti aspetti della smart city come, per esempio, le superfici studiate per ridurre l'effetto estivo di bolla di calore

- *Asfalti chiari*
- *Superfici che riflettono maggiormente verso la direzione di incidenza*

Effetti spettrali

■ Visione fotopica – scotopica e mesopica

Coefficiente di visibilità di una radiazione per la visione in condizioni fotopiche $K(\lambda)$ e scotopiche $K'(\lambda)$

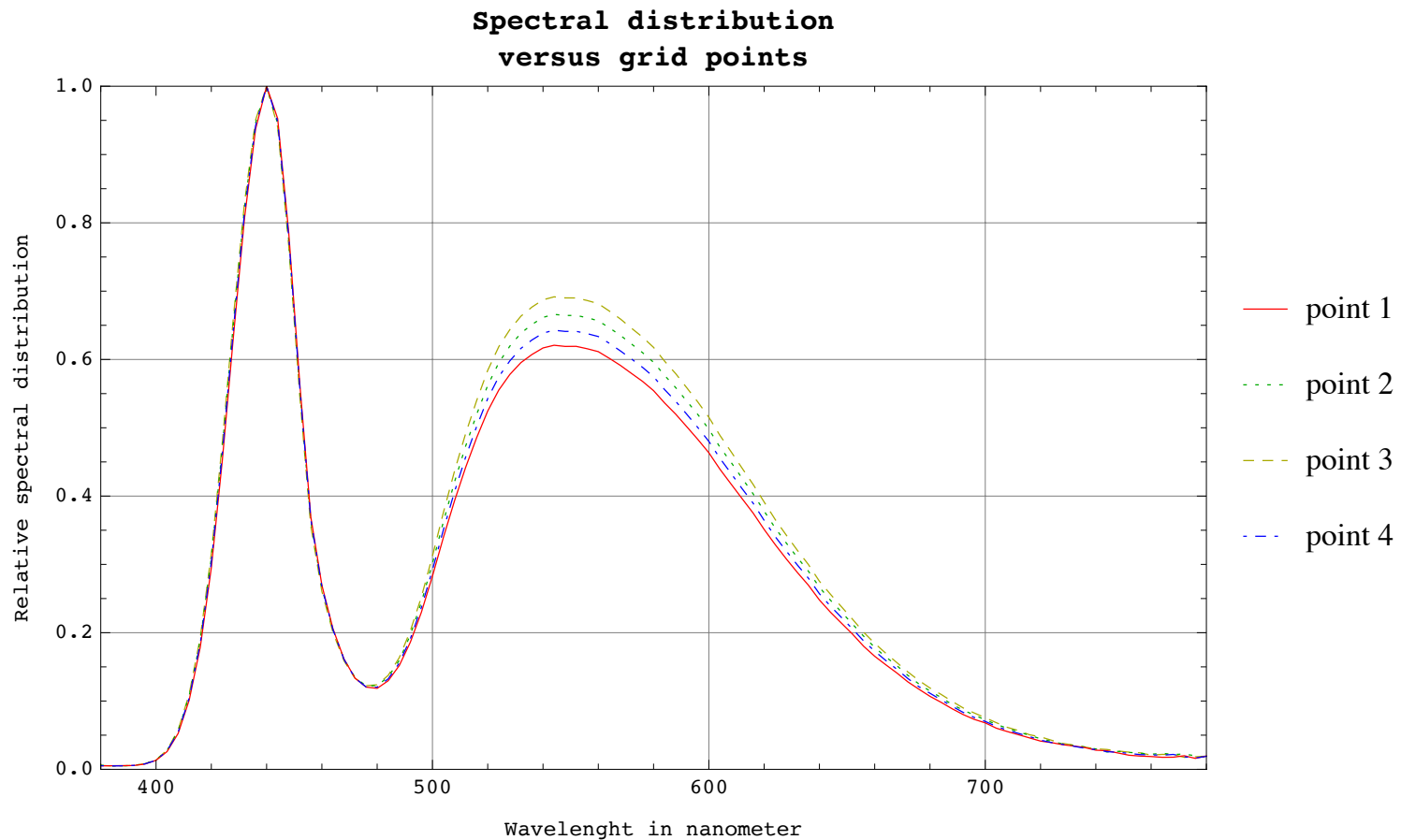


Attenzione nel confrontare spettri normalizzati: quello che conta è lo spettro a parità di luminanza

S/P rapporto visione scotopica – visione fotopica

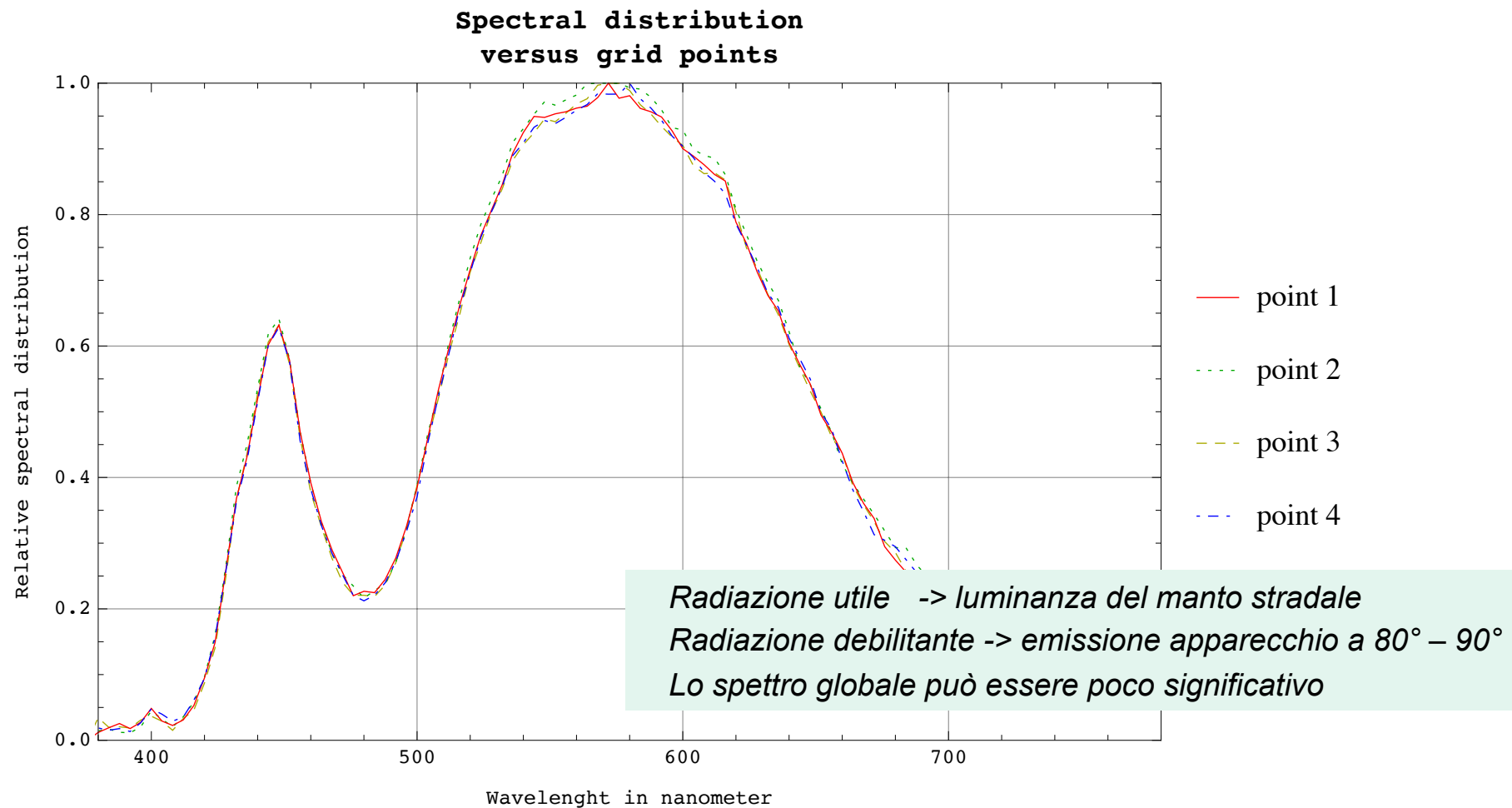
Esempio di distribuzione spettrale

Distribuzione spettrale della radiazione emessa dall'apparecchio di illuminazione verso alcuni punti della griglia normativa di calcolo



Esempio di distribuzione spettrale

Distribuzione spettrale della radiazione riflessa verso l'osservatore dagli stessi punti della griglia normativa di calcolo



Modello (proposta)

- Caratteristiche dell'apparecchio di illuminazione
 - Già richieste per i calcoli illuminotecnici
- Tolleranze di installazione
 - Requisito minimo normativo
- Parametri minimi dell'ambiente illuminato
 - Altezza edifici
 - Distanza trasversale tra gli edifici
 - Indicazioni normative sulle caratteristiche delle superfici illuminate
- Algoritmo di calcolo
- Parametri di qualità
 - Indice di potenziale di inquinamento luminoso
 - ✓ Funzione ponderale sulla direzione di emissione
 - ✓ Funzione ponderale spettrale per l'osservazione astronomica

Misure

- Luminanza e radianza spettrale
 - Permette di identificare i vari contributi e analizzare quelli più significativi
 - Da postazioni elevate
 - Con droni
- Luminanza della volta celeste
 - Metodologia critica per l'elevata influenza delle condizioni atmosferiche
- Valutazioni su intere città
 - Problemi di attenuazione atmosferica e di luminanza atmosferica
- Valutazioni su singoli impianti
 - Indicazioni normative per la semplificazione delle metodologie di acquisizione

Conclusioni

- Concrete possibilità di
 - Valutare a priori l'impatto ambientale di un impianto di illuminazione
 - Verificare in termini quantificare le reali prestazioni di un impianto ai fini dell'inquinamento luminoso
 - Il progetto europeo 16NRM02 SURFACE prevede caratterizzazioni del manto stradale anche ai fini della valutazione dell'inquinamento luminoso
- Stime prevedono che nel 2050 il traffico motorizzato sarà prevalentemente formato da veicoli a guida autonoma
 - Spariranno le categorie illuminotecniche M?
- I risultati esposti derivano da ricerche finanziate in toto o in parte dai seguenti progetti di ricerca
 - ENEA Report Ricerca di Sistema Elettrico - Tecnologie per il risparmio energetico nell'illuminazione pubblica
 - ENEA Report Ricerca di Sistema Elettrico - Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione
 - EMRP Joint Research Project (JRP) "ENG05 Metrology for Solid State Lighting"
 - EMRP Joint Research Project (JRP) "ENG62 MESaIL Metrology for Efficient and Safe Innovative Lighting"