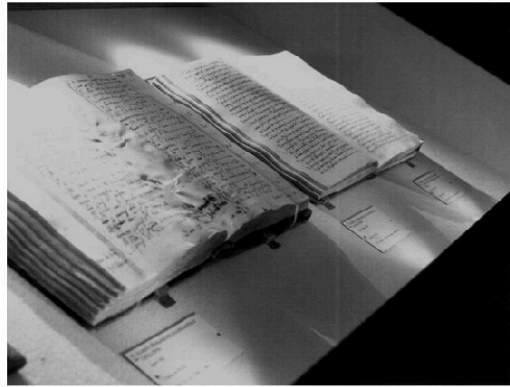


Nuove tecnologie nel progetto di illuminazione per la protezione e valorizzazione delle opere d'arte



Corso di Formazione Ugis -Unione giornalisti italiani scientifici –
Milano 2.12.2015

Maurizio Rossi – Lab. Luce - Politecnico di Milano maurizio.rossi@polimi.it

1 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

Illuminazione delle opere d'arte

- Di cosa parlerò:
 1. Problematiche inerenti l'illuminazione artificiale delle opere d'arte negli interni
 2. Risposte che possono essere fornite dalle nuove tecnologie

2 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

Illuminazione delle opere d'arte

- **Obiettivi:**
 1. **Fruizione e valorizzazione dell'opera**
(illuminamento adeguato per l'apprezzamento visivo)
 2. **Protezione dalle radiazioni causa di degrado**
(limitazione dell'illuminamento, calore, infrarossi, u.v.)
 3. **Limitazione dell'abbagliamento**
(comfort visivo)

3 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Illuminazione delle opere d'arte

- **Il problema progettuale!** L'illuminamento deve essere determinato come compromesso fra:
 1. le esigenze di un buon apprezzamento visivo e
 2. la buona conservazione dell'opera (nel caso in cui sia sensibile agli effetti nocivi dell'illuminazione)

4 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Norme principali per l'illuminazione

- CIE 157:2004 Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation
- UNI CEN/TS 16163:2014 Conservazione dei beni culturali - Linee guida e procedure per scegliere l'illuminazione adatta a esposizioni in ambienti interni (versione italiana della norma Europea CEN/TS 16163)

5

Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Luce e degrado dei materiali

- Il livello con cui i materiali si deteriorano in alcune condizioni di illuminazione dipende da :
 1. Composizione chimica dei materiali
 2. Le caratteristiche spettrali della luce che irradia l'opera
 3. I livelli di illuminamento
 4. La durata della esposizione alla luce

6

Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Luce e degrado dei materiali

- La luce (e le radiazioni vicine alla luce nello spettro: UV e IR) possono danneggiare tramite tre fenomeni principali
 1. Effetto fotochimico
 2. Effetto radiante termico
 3. Effetti biologici: crescita di microorganismi

7

Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Effetto fotochimico

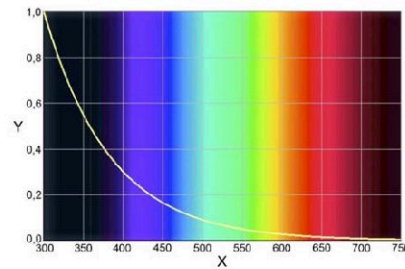
- La luce assorbita dal materiale può indurre cambiamenti chimici, che deteriorano il materiale e il suo colore (alterazione dei pigmenti)
- Il livello del danno dipende da:
 1. Quantità di luce
 2. Contenuto spettrale della luce (distribuzione spettrale)

8

Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Effetto fotochimico

- Il livello del danno cresce esponenzialmente con il diminuire della lunghezza d'onda della radiazione
- Quindi gli UV, sono più dannosi della luce blu, che a sua volta è più dannosa della luce verde, ecc.
- Gli UV hanno lunghezza d'onda $< 380\text{nm}$



(Fonte UNI CEN/TS 16163:2014)

Key
X wavelenght in nm
Y $s(\lambda)_{\text{norm}} = e^{-0.012(\lambda/100)^2}$

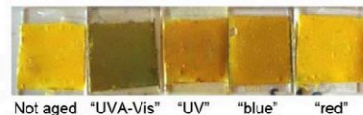
9 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Effetto fotochimico

- Esempio di danneggiamento dei pigmenti colorati causato dall'illuminazione



Test di laboratorio sul Giallo di Cromo



(Fonte Letizia Monico, Koen Janssens, Costanza Miliani, Frederik Vanmeert, Brunetto G. Brunetti, Marine Cotte, Ella Hendriks, Muriel Geldof, The Degradation Process of Lead Chromate Yellows in Paintings by Vincent van Gogh, Microscopy and Microanalysis 2013, Indianapolis, 08/2013)

10 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

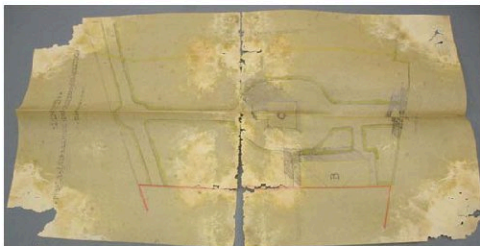
Effetto radiante termico (IR)

- La radiazione assorbita dal materiale causa un aumento della temperatura; questo può provocare danni a causa di due effetti:
 1. L'essiccazione dei materiali organici (variazioni del livello di umidità)
 2. Il ripetuto stress termico di dilatazione e restringimento dovuto alla presenza e assenza della radiazione (luce accesa e spenta), che causa dei danni di natura meccanica alle opere

11 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Effetti biologici

- La crescita di alcuni microorganismi fototropici è favorita da alcune lunghezze d'onda, in particolare se combinato con l'umidità



12 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Il Blue Wool Standard (BWS)

- Sono 8 pezzi di lana blu, certificate per scolorirsi in funzione dell'esposizione alla luce.
- È un metodo semplice usato in alcuni musei per verificare l'effettiva esposizione alla luce
- Le pezze sono numerate da #1 (la più sensibile) a #8 (la meno sensibile) e ciascuna è 2 o tre volte più sensibile della precedente

(Fonte: ISO 105-B08:1995 - Textiles -- Tests for colour fastness -- Part B08: Quality control of blue wool reference materials 1 to 7)



13 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Sensibilità alla luce: Classificazione dei materiali

1. **Nessuna sensibilità** - L'oggetto in esposizione è composto solo di materiali che non sono sensibili alla luce, come: *la maggior parte dei metalli, pietre, gran parte dei vetri, ceramiche, smalti e gran parte dei minerali.*
2. **Bassa sensibilità** - L'oggetto include materiali leggermente sensibili alla luce, come: *la maggior parte dei dipinti a olio e tempera, affreschi, cuoio e legno non dipinti, corno, ossa, avorio, lacca e alcune materie plastiche (BWS #7 e #8)*

14 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Sensibilità alla luce: Classificazione dei materiali

3. **Media sensibilità** - L'oggetto include materiali instabili moderatamente sensibili alla luce, come: *gran parte dei tessuti, acquerelli, pastelli, stampe e disegni, manoscritti, miniature, dipinti con tempera acquosa, carta da parati e gran parte dei campioni di storia naturale (inclusi campioni botanici, pellicce e piume)*. (BWS #4, #5 e #6)
4. **Alta sensibilità** - L'oggetto include materiali altamente sensibili alla luce, come: *seta, coloranti fugaci, gran parte dell'arte grafica e le fotografie*. (BWS #1, #2 e #3)

15 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Quantità di luce e durata

- L'esposizione luminosa è definita in termini di lux per ora all'anno: $lx \cdot h$
- Ad esempio se un'opera d'arte ha un limite massimo di 20.000 $lx \cdot h$ significa che se è illuminata con:
 - 50lx potrà essere illuminate per un max di 400 ore
 - 100lx potrà essere illuminate per un max di 200 ore
 - 150 lx potrà essere illuminate per un max di 133 ore

16 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Quantità di luce e durata: dalla norma CIE 157:2004

Classificazione dei materiali	Limite massimo per esposizione luminosa	Tempo di esposizione massimo all'anno	Illuminamento massimo
1 nessuna sensibilità	nessuno	nessuno	nessuno
2 bassa sensibilità	600.000 lx·h	3.000 h per anno ^a	200 lx
3 media sensibilità	150.000 lx·h	3.000 h per anno ^a	50 lx
4 alta sensibilità	15.000 lx·h	300 h per anno ^b	50 lx

a valore tipico di ore di apertura annuale di un museo
b valore risultante annuale usando 50 lx di illuminamento

17 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Illuminazione delle opere d'arte: tonalità (colore) della luce

Come scegliere la CCT (temperatura di colore)

1. Opere con tonalità calde (ovvero colori con tonalità superiori a 565nm, giallo, arancione, rosso):
luce con temperatura di colore compresa tra 2500-3300°K
2. Opere con tonalità fredde (ovvero colori con tonalità inferiori a 565nm, verde, blu, viola):
luce con temperatura di colore compresa tra 5300-6000°K
3. Opere senza tonalità prevalenti:
luce con temperatura di colore compresa tra 3400-5300°K

Sostituzione: problema della consistenza della CCT

- La foto esalta la differenza di bianco non voluta, che è comunque visibile anche ad occhio nudo
- Problema del Binning del bianco

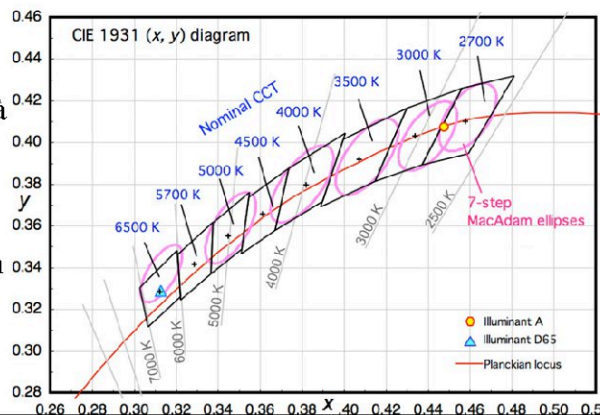


19 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Norma ANSI per il Binning C78.377-2015

	2700 K		3000 K		3500 K		4000 K		4500 K		5000 K		5700 K		6500 K	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Center point	0.4578	0.4101	0.4338	0.4030	0.4073	0.3917	0.3818	0.3797	0.3611	0.3658	0.3447	0.3553	0.3287	0.3417	0.3123	0.3282
Tolerance	0.4813	0.4319	0.4562	0.4260	0.4299	0.4165	0.4006	0.4044	0.3736	0.3874	0.3551	0.3760	0.3376	0.3616	0.3205	0.3481
Quadrangle	0.4373	0.3893	0.4147	0.3814	0.3889	0.3690	0.3670	0.3578	0.3512	0.3465	0.3366	0.3369	0.3222	0.3243	0.3068	0.3113
	0.4593	0.3944	0.4373	0.3693	0.4147	0.3814	0.3898	0.3716	0.3670	0.3578	0.3515	0.3467	0.3366	0.3369	0.3221	0.3261

- I valori nominali della tabella riportati sul diagramma di cromaticità x,y definiscono dei quadrangoli che approssimano alcune delle Ellissi di MacAdam



20 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Illuminazione delle opere d'arte: 2D

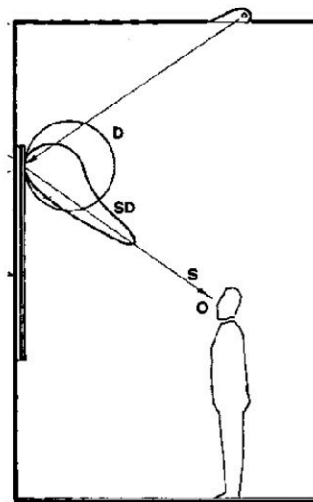
- Per le opere su superfici piane è richiesta una buona **uniformità dell'illuminamento**
- Questa si ottiene quando:

$$\frac{E_{v\text{MINIMO}}}{E_{v\text{MEDIO}}} > 0,75$$
$$\frac{E_{v\text{MASSIMO}}}{E_{v\text{MINIMO}}} < 2,5$$

21 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Illuminazione delle opere d'arte: 2D

- **Resa del contrasto:**
- Per le opere piane con superficie caratterizzata da una parte di riflessione speculare, l'osservatore non deve mai vedere il riflesso della sorgente sull'opera (macchia luminosa)



22 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Illuminazione delle opere d'arte: 2D

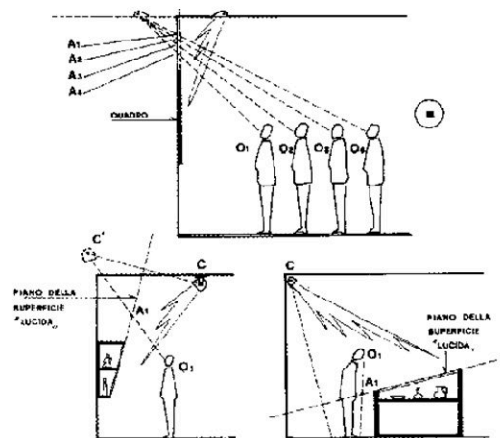
- **Resa del contrasto:**
- Esempio di problema dovuto ad una illuminazione inadeguata



23 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

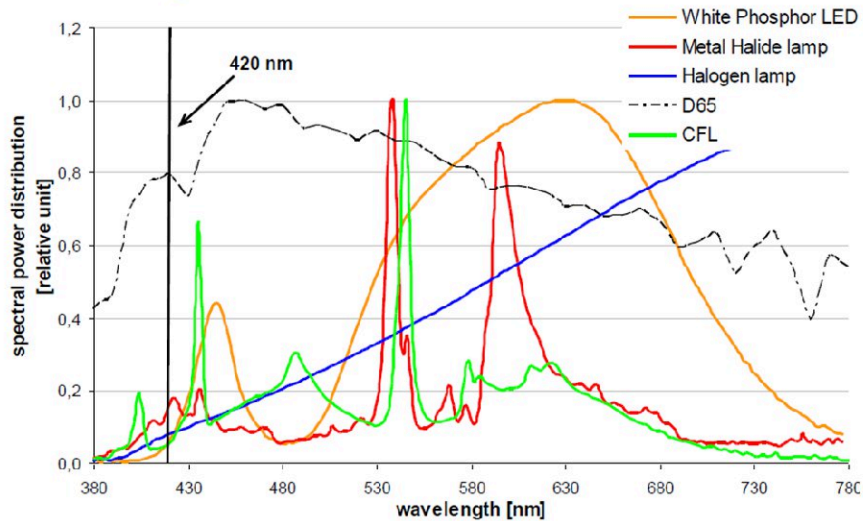
Illuminazione delle opere d'arte: 2D

- Resa del contrasto:



24 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

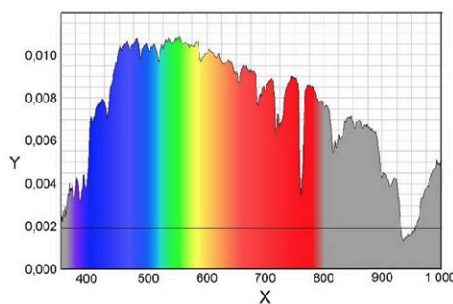
Distribuzione spettrale di alcune sorgenti di luce commerciali



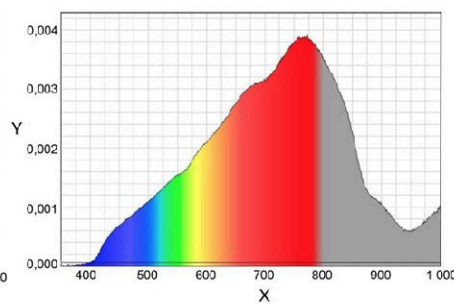
29 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Spettri tipici di alcune sorgenti di luce

Luce naturale (sole+cielo)



Lampada alogena dicroica



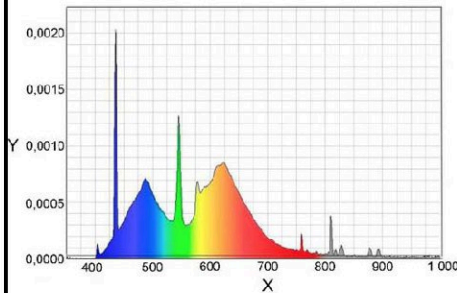
Molto dannosa
Alto contenuto di UV e IR

Buona resa cromatica
Alto contenuto di IR
Bassa durata

30 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

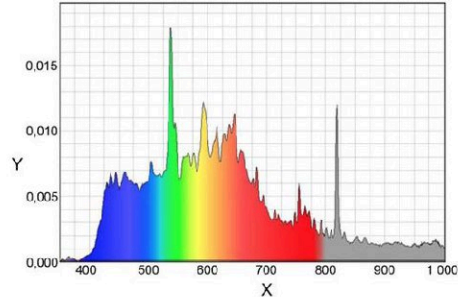
Spettri tipici di alcune sorgenti di luce

Lampada FL da 5.000K



Efficienza
Lunga durata
Discreta resa cromatica
Possibile eccesso di luce blu

Lampada ad alogenuri metallici

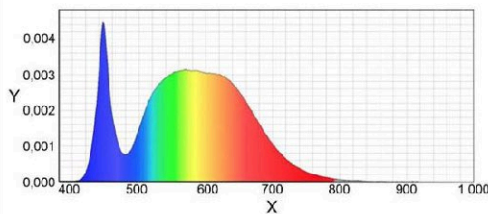


Efficienza
Lunga durata
Discreta resa cromatica
Emette IR e richiede filtro UV

31 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

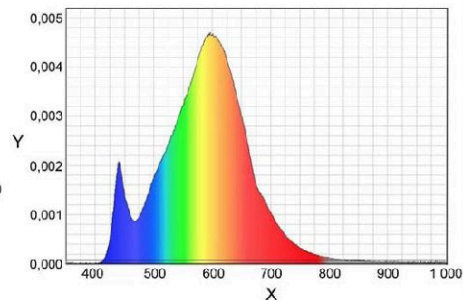
Spettri tipici di alcune sorgenti di luce

LED bianco 4.100K



Totale assenza di UV e IR
Durata molto lunga
Buona resa cromatica
Buona efficienza
CCT controllabile in funzione delle esigenze

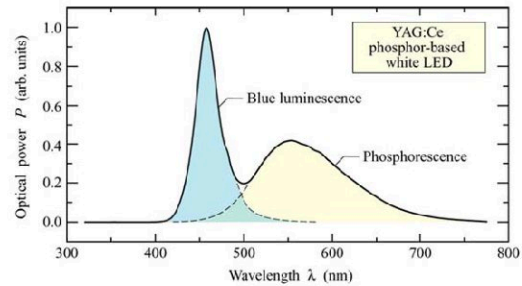
LED bianco 3.100K



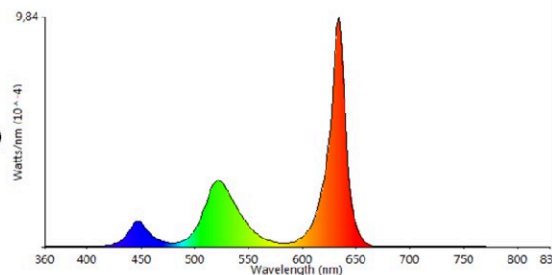
32 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

Resa cromatica dei LED bianchi

- Il LED bianco è stato ottenuto dalla conversione tramite fosfori gialli della luce del LED blu



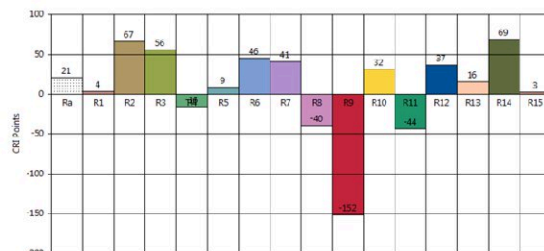
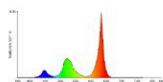
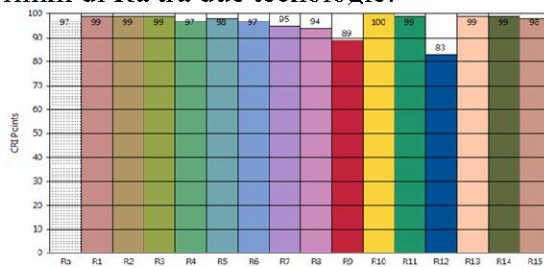
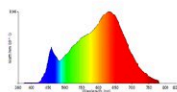
- Oppure dalla somma di LED di più colori, ad esempio R,G,B (ma anche altre combinazioni)



39 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Resa cromatica dei LED bianchi

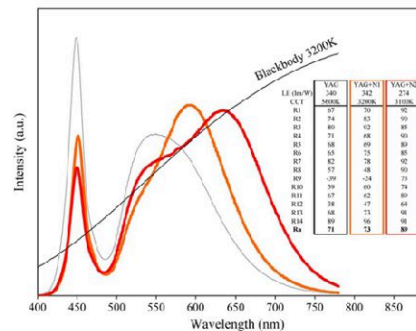
- Il confronto in termini di Ra tra due tecnologie:



40

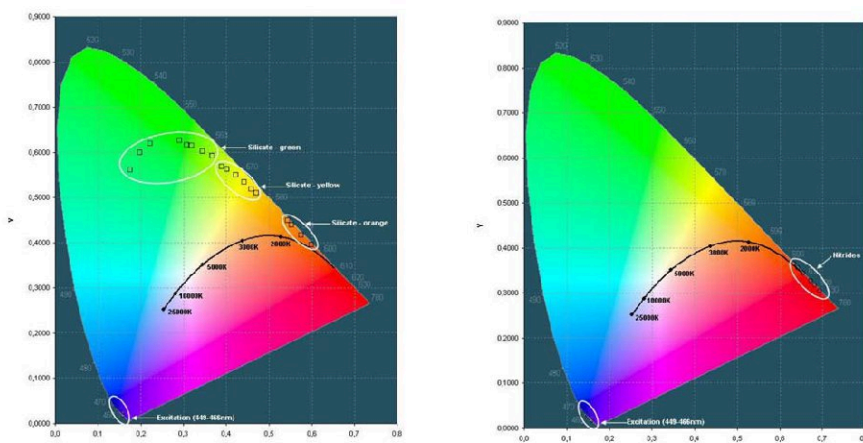
Resa cromatica dei LED bianchi

- Per elevare il CRI è utile usare più tipi di fosfori contemporaneamente
- L'ideale sarebbe la resa del Corpo Nero



41 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

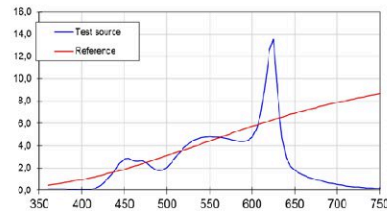
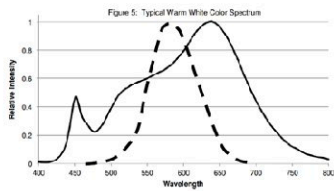
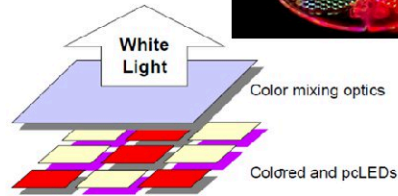
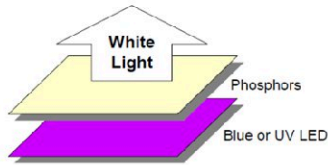
Tipi di fosfori per applicazioni di illuminazione disponibili



- YAG ($Y_3Al_5O_{12}$ Itrio alluminio garnet) drogato con ioni di Cerio (Nichia)
- TAG ($Tb_3Al_5O_{12}$ Terbio alluminio garnet) drogato con ioni di Cerio (Osram)
- SILICATI drogati con ioni di Cerio per conversione su VerdeGiallo, Giallo ed arancio)
- NITRURI drogati con ioni di Cerio o Europio per fosfori rossi, molto costosi a causa delle alte pressioni e temp
- ALLUMINATI (per conversione su verde e giallo) e Solfuri

42 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

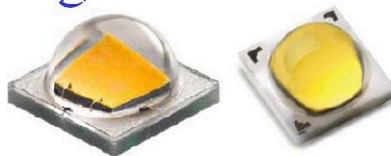
Tecniche miste



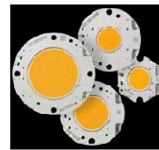
43 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Vari tipi di sorgenti LED

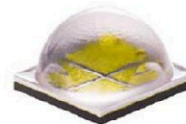
- Power LED (es. CREE XM-L2, LUMILEDS Luxeon-T)



- Array – COB (es. BRIDGELUX Vero)



- Multichip (es. CREE XHP)



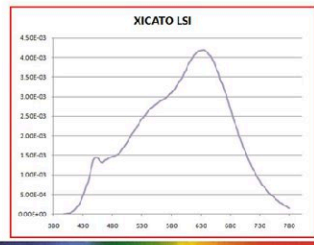
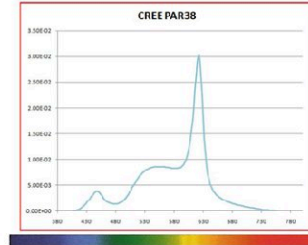
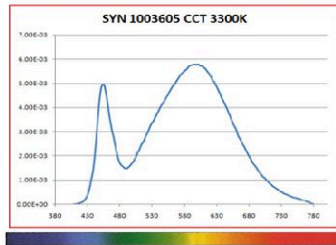
- Moduli ibridi (es. Tridonic TALEXEngine STARK SLE PREMIUM)



44 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

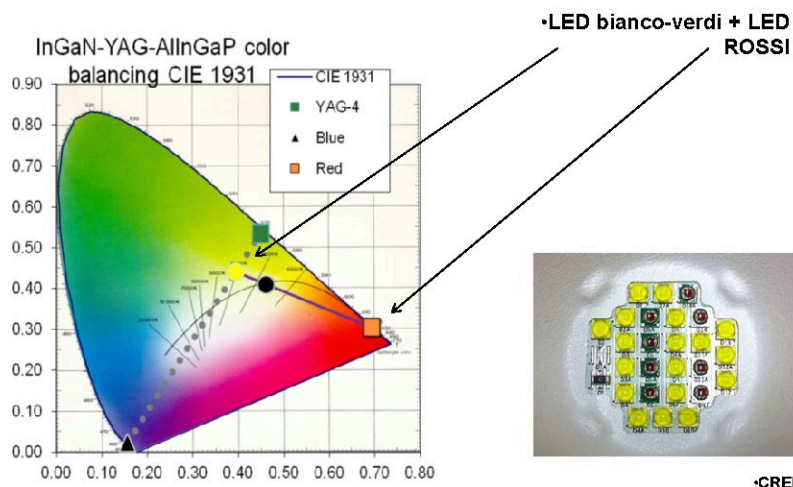
Resa cromatica dei LED bianchi:

- Esempi di spettri di LED bianchi in commercio



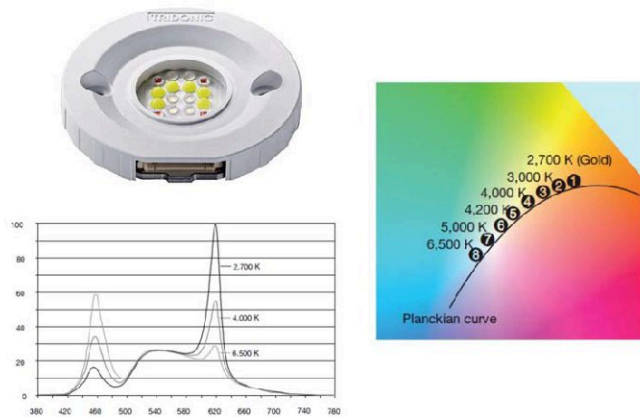
45 Maurizio Rossi - Politecnico di Mil.

Esempio di modulo ibrido



Vantaggi dei moduli ibridi

- CCT controllabile e alta resa cromatica



47 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

Illuminazione delle opere d'arte: 3D

- Per le opere tridimensionali (statue, bassorilievi, altorilievi) vale la regola opposta: è richiesta una marcata **disuniformità dell'illuminamento** al fine di far risaltare la forma dell'oggetto



48 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

Illuminazione delle opere d'arte: 3D

- L'illuminazione di un oggetto tridimensionale deve consentire l'apprezzamento della sua forma tramite una luce prevalentemente **direzionale**
- Tale direzione dipende dall'orientamento delle superfici che maggiormente caratterizzano l'opera
 1. Se l'opera è davanti o sotto gli occhi dell'osservatore medio, la luce deve provenire dall'alto
 2. Se l'opera è sopra gli occhi dell'osservatore medio, la luce deve provenire dal basso

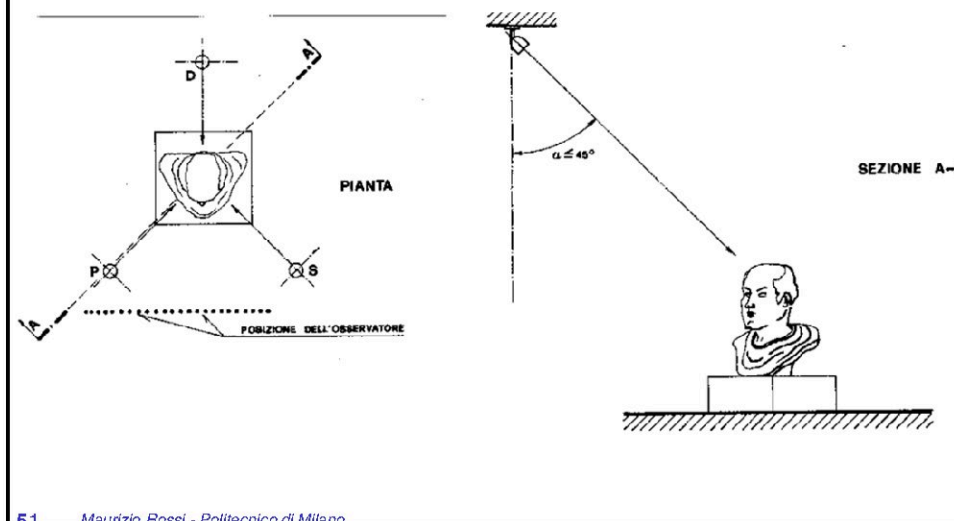
49 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Illuminazione delle opere d'arte: 3D

- L'osservatore **non deve proiettare ombre** sugli oggetti esposti.
- Si deve evitare sempre la visione di sergenti di luce, dirette o indirette, nel **volume d'offesa** dell'osservatore, previsto nelle posizioni tipiche che possono essere individuate dal progetto dell'allestimento
- L'abbagliamento, molesto o disabilitante, diretto o indiretto **va sempre evitato** per evitare una sensazione psicologica negativa da parte dell'osservatore

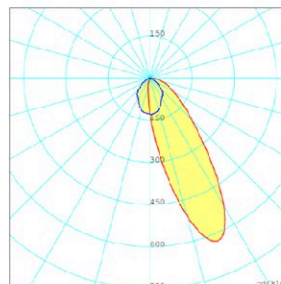
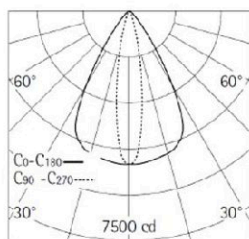
50 Maurizio Rossi - Politecnico di Milano

Illuminazione delle opere d'arte: 3D



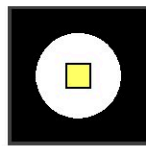
Illuminazione delle opere d'arte: 3D

- È fondamentale quindi poter disporre di apparecchi di illuminazione **orientabili** e con **apertura del fascio otticamente regolabile** (ancor di più se lo spazio è polivalente per allestimenti temporanei) ed eventuali **schermi aggiuntivi regolabili**

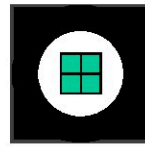


53 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

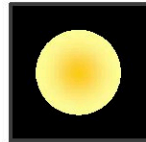
Superficie di Emissione dei LED



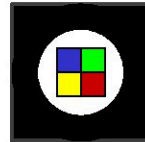
Power LED



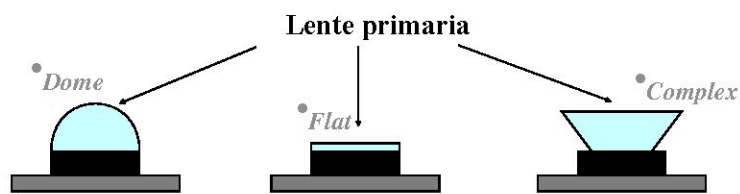
Multi-Chip



Array - COB
Fosfori diffondenti

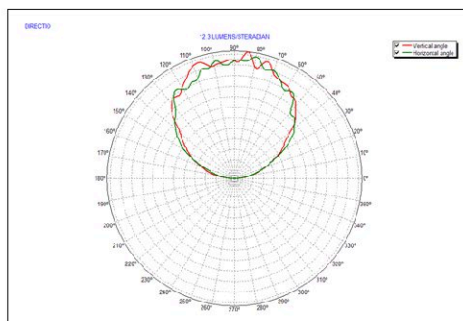


Multi-chip
RGBx

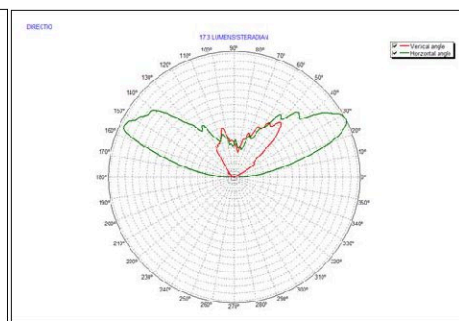


Importanza delle ottiche secondarie

- Aumentano l'efficienza nell'utilizzo del flusso utile

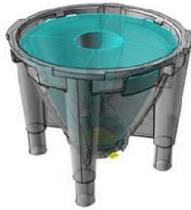


Solido fotometrico senza
ottica secondaria



Solido fotometrico con ottica
secondaria

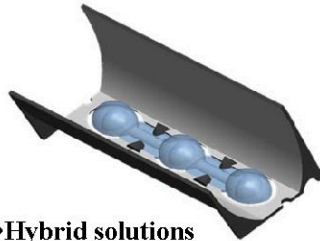
Ottiche per i LED



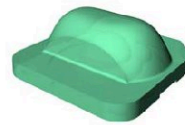
•TIR optics



•Reflectors



•Hybrid solutions



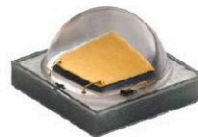
•Free-Form

Esempi di prodotti

- Zumtobel Vivo LED



usa High Power LED



- Reggiani Kylios



usa LED array-COB



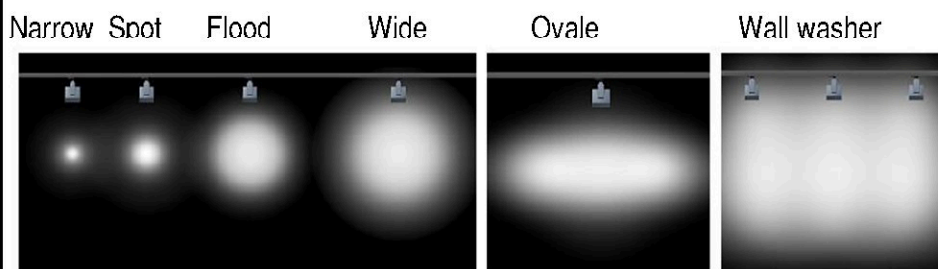
Esempi di prodotti

- ERCO Pollux
- Potenze da
 - 2W (160lm)
 - 6W (600lm)
- Apertura fascio variabile:
 - Narrow spot $< 10^\circ$
 - Spot $10-20^\circ$
 - Flood $25-40^\circ$
 - Wide Flood $> 45^\circ$



58 Maurizio Bossi - Politecnico di Milano

Esempi di fasci luminosi: controllo

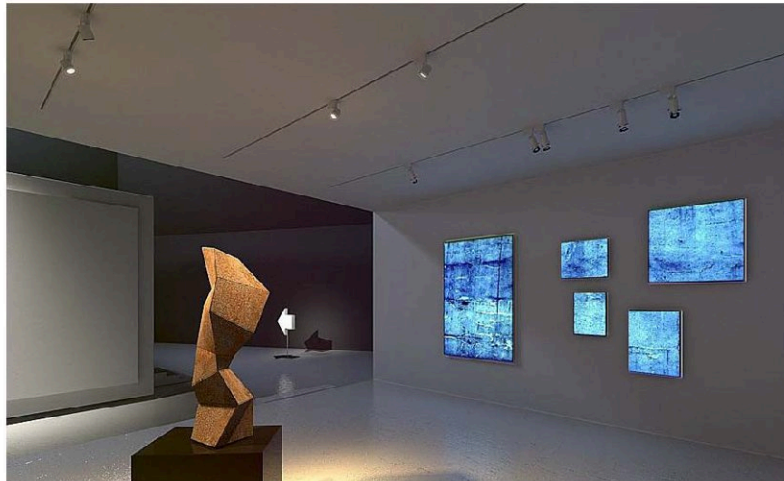


$< 10^\circ$ $10-20^\circ$ $25-40^\circ$ $> 45^\circ$



59 Maurizio Bossi - Politecnico di Milano

Esempi di installazione: ERCO Pollux



Electric Gobo – Lighting Design & Applications

60 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

Esempi di prodotti

- Zumtobel Arcos 3 LED
- Ideale per illuminazione d'accento in musei, esposizioni gallerie d'arte enegozi
- Potenze da:
 - 620 lm (20 W), 750 lm (25 W)
- Resa cromatica: Ra = 90
- **Temperatura di colore:**
 - **Regolabile!** 2700–6500K
- Illuminamento
 - regolabile: 10–100 %



61 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

Esempi di installazione: ARCOS 3 LED



Museum Boijmans van Beuningen, Rotterdam / NL

62 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

Esempi di installazione: ARCOS 3 LED



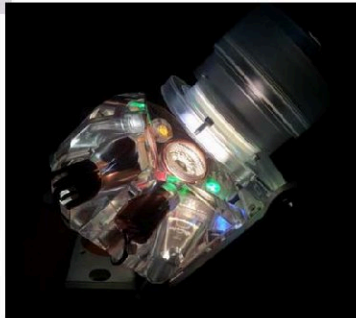
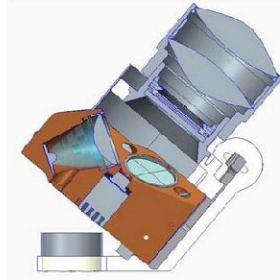
www.architonic.com

63 *Maurizio Rossi - Politecnico di Milano*

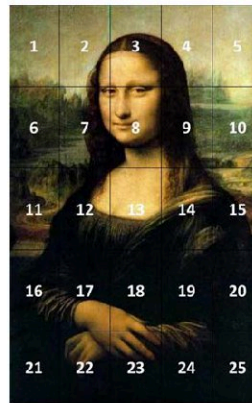
Soluzioni Custom



- FRAEN
- SKLAER
- Pharos-Alef



Quindi: Avionica o paracarri?



Lux medi nelle
singole zone

171	174	176	173	170
177	183	187	184	176
187	190	202	192	186
194	204	206	203	192
195	207	209	206	191

Fine

Grazie!