

**Report AIFM**

---

**SISTEMI PER LA VISUALIZZAZIONE  
DI IMMAGINI MEDICHE  
PROTOCOLLO PER I CONTROLLI  
DI QUALITÀ**

A cura del:  
Gruppo di Lavoro  
Radiologia Digitale



---

**N. 9 (2013)**



# **Report AIFM N.9 (2013)**

## **Sistemi per la visualizzazione di immagini mediche Protocollo per i controlli di qualità**

a cura del:

Gruppo di Lavoro

*Radiologia Digitale*



**Report AIFM  
N.9 (2013)**

**Sistemi per la visualizzazione di immagini mediche  
Protocollo per i controlli di qualità**

**Coordinatore del progetto**

**Giacomo Belli**, Azienda USL 8, Arezzo

**Autori:**

**Simone Busoni**, Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi, Firenze

**Giacomo Belli**, Azienda USL 8, Arezzo

**Silvia Mazzocchi**, Azienda Sanitaria di Firenze, Firenze

**Collaboratori e revisori:**

**Nicoletta Paruccini**, A.O. San Gerardo Monza

**Simona Farnedi**, Azienda USL Ravenna

**Paola Colombo**, A.O. Niguarda Ca' Granda Milano

**Christian Fulcheri**, Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi, Firenze

**Realizzazione digitale e grafica interni:**

Ediplan Editrice, Milano

**A cura del Gruppo di Lavoro**

***Radiologia Digitale***



Roma, 31 gennaio 2013, ISBN 978-88-907973-1-6

La riproduzione della presente pubblicazione è consentita citando la fonte:  
'Sistemi per la visualizzazione di immagini mediche - Protocollo per i controlli di qualità'  
a cura del Gruppo di Lavoro AIFM 'Radiologia Digitale' - Report AIFM, N.9, 2013, Roma,  
31 gennaio 2013, ISBN 978-88-907973-1-6  
Grafica di copertina: Omicron Editrice, Genova

# INDICE

<b>Premessa</b>	9
<b>1 Introduzione</b>	11
<b>1.1 Campo di applicabilità</b>	11
<b>1.2 Scopo</b>	12
<b>1.3 Contenuto</b>	13
<b>1.4 Riferimenti</b>	15
<b>2 Definizioni</b>	17
<b>2.1 Glossario</b>	17
<b>2.2 Grandezze fotometriche</b>	23
2.2.1 Luminanza	24
2.2.2 Illuminamento	24
2.2.3 Diagramma colorimetrico CIE 1976 UCS	24
<b>2.3 GSDF DICOM</b>	27
<b>2.4 Simboli</b>	32
<b>2.5 Abbreviazioni</b>	32
<b>3 Strumenti ed accessori necessari per i controlli di qualità</b>	35
<b>3.1 Strumentazione</b>	35
3.1.1 Misuratore di luminanza	35
3.1.2 Misuratore di illuminamento	37
3.1.3 Colorimetro	38
3.1.4 Sorgente di illuminamento	38
3.1.5 Varie	38
<b>3.2 Immagini di test</b>	38
<b>3.3 Strumenti software</b>	39
<b>4 Operazioni preliminari e configurazione del sistema di visualizzazione</b>	41

<b>4.1</b>	<b>Operazioni preliminari</b>	41
4.1.1	Prerequisiti specifici per il test di accettazione	41
4.1.2	Posizionamento dei monitor	42
4.1.3	Illuminamento ambientale	42
4.1.4	Misura della luminanza ambientale	44
4.1.5	Pulizia dei dispositivi di visualizzazione	44
<b>4.2</b>	<b>Configurazione del sistema di visualizzazione</b>	45
4.2.1	Impostazione dei valori di luminanza massima e minima	45
4.2.2	Curva di calibrazione	46
<b>5</b>	<b>Valutazioni di base</b>	47
<b>5.1</b>	<b>Valutazione delle riflessioni sullo schermo</b>	50
<b>5.2</b>	<b>Difetti fisici</b>	52
<b>5.3</b>	<b>Valutazione globale delle prestazioni</b>	52
<b>5.4</b>	<b>Risposta di luminanza massima e minima: valutazione quantitativa</b>	55
<b>5.5</b>	<b>Conformità alla GSDF e valutazione della risposta in luminanza</b>	57
5.5.1	Conformità alla GSDF: valutazione quantitativa	57
5.5.2	Conformità alla GSDF: valutazione qualitativa	60
5.5.3	Valutazione visiva della risposta in luminanza: profondità di digitalizzazione	62
<b>5.6</b>	<b>Uniformità della luminanza</b>	62
5.6.1	Valutazione qualitativa	63
5.6.2	Valutazione quantitativa	63
<b>5.7</b>	<b>Rumore del dispositivo di visualizzazione: valutazione qualitativa</b>	65
<b>5.8</b>	<b>Dipendenza della luminanza dall'angolo di visione</b>	67
5.8.1	Valutazione qualitativa	67
<b>5.9</b>	<b>Veiling Glare</b>	69
5.9.1	Valutazione qualitativa	71
<b>5.10</b>	<b>Pixel difettosi</b>	72
<b>5.11</b>	<b>Uniformità della cromaticità del sistema di visualizzazione</b>	76
5.11.1	Valutazione qualitativa	76
<b>5.12</b>	<b>Risoluzione spaziale</b>	78
5.12.1	Valutazione qualitativa	78

<b>6</b>	<b>Valutazioni di livello avanzato</b>	<b>81</b>
<b>6.1</b>	<b>Dipendenza della luminanza dall'angolo di visione: valutazione quantitativa</b>	<b>81</b>
<b>6.2</b>	<b>Veiling Glare: valutazione quantitativa</b>	<b>83</b>
<b>6.3</b>	<b>Rumore del dispositivo di visualizzazione: valutazione quantitativa</b>	<b>84</b>
<b>6.4</b>	<b>Valutazione quantitativa della MTF</b>	<b>87</b>
<b>6.5</b>	<b>Misura della riflettività dello schermo</b>	<b>89</b>
6.5.1	Riflessione speculare: valutazione quantitativa	89
6.5.2	Riflessione diffusa: valutazione quantitativa	91
<b>6.6</b>	<b>Uniformità della cromaticità del sistema di visualizzazione: valutazione quantitativa</b>	<b>94</b>
<b>6.7</b>	<b>Dipendenza angolare della cromaticità del sistema di visualizzazione: valutazione quantitativa</b>	<b>96</b>
<b>6.8</b>	<b>Ulteriori valutazioni</b>	<b>97</b>
6.8.1	Flicker	97
6.8.2	Cross-talk elettronico	97
6.8.3	Velocità di risposta	98
	<b>Appendice A</b>	<b>101</b>
	<b>Appendice B</b>	<b>107</b>
	<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>109</b>



# PREMESSA

Un programma di assicurazione di qualità per le apparecchiature utilizzate in diagnostica per immagini ha, oltre allo scopo di mantenere un elevato livello qualitativo delle immagini cliniche prodotte, anche l'obiettivo di ottimizzare i livelli di dose assorbita dai pazienti in funzione del livello qualitativo ritenuto idoneo dal medico specialista in radiodiagnostica (D.Lgs 187/2000) [1].

Il sistema di visualizzazione, ultimo anello della catena di acquisizione e presentazione dell'immagine medica, ricopre un ruolo importante al pari della modalità di acquisizione e del sistema di trattamento dell'immagine stessa.

Il presente protocollo, redatto considerando le principali fonti tecniche e linee guida attualmente presenti nel panorama internazionale [1][2][3][7] e sulla base dell'esperienza acquisita dal Gruppo di Lavoro sulla Radiologia Digitale dell'Associazione Italiana di Fisica Medica, fornisce gli strumenti per poter effettuare i controlli di qualità su sistemi di visualizzazione delle immagini in ambito diagnostico, sia in fase di accettazione che per prove di stato e di costanza.



# 1

## Introduzione

### 1.1 Campo di applicabilità

---

Il presente protocollo si applica ai sistemi di visualizzazione di immagini mediche basati su monitor singoli o multipli. I sistemi di visualizzazione di immagini mediche vengono definiti come sistemi primari se progettati e utilizzati per scopi di diagnosi e refertazione.

Si consiglia che i sistemi di visualizzazione definiti come sistemi secondari vengano utilizzati solamente per revisione o acquisizione di immagini mediche, senza finalità di refertazione diagnostica.

Per sistema di visualizzazione si intende il complesso composto da:

- insieme dei monitor di visualizzazione
- scheda video di pilotaggio
- calcolatore dotato di hardware e software di controllo e calibrazione relativamente alla sola gestione della visualizzazione.

Per le procedure di controllo descritte in questo documento si deve far riferimento a tale sistema nella sua interezza.

Le prove devono riguardare anche le diverse impostazioni eseguibili in fase di calibrazione.

Il presente protocollo adotta come funzione di calibrazione di riferimento la Grayscale Standard Display Function (GSDF) DICOM (Paragrafo 2.3).

Non vengono esaminati nel presente documento i differenti metodi con i quali il software applicativo di visualizzazione clinica tratta le immagini archiviate con diverse modalità all'interno di un sistema PACS (compressione) o gestisce le ti-

pologie di rappresentazione del contrasto tramite Look-Up Table (LUT, VOI-LUT, P-LUT). Tale separazione permette di tenere sotto controllo gli aspetti propri del solo "sistema di visualizzazione" dalle problematiche di conformità delle immagini nel flusso radiologico.

## 1.2 Scopo

---

Il protocollo definisce la tipologia di controlli da effettuare sul sistema di visualizzazione in fase di prova di accettazione al fine di valutare i livelli e i requisiti minimi di qualità, nonché i metodi per verificare che i valori di tali parametri permangano, nel tempo, all'interno dei limiti stabiliti. Per alcuni tipi di controlli vengono descritte valutazioni sia di tipo quantitativo che qualitativo.

Per quanto riguarda le prestazioni dei sistemi di visualizzazione in relazione alle tecnologie costruttive e di conseguenza anche ai valori di tolleranza proposti, così come per le valutazioni più tecniche di alcuni parametri che esulano da quelli indicati per la stesura di un programma di assicurazione della qualità, si rimanda ai documenti tecnico-scientifici già presenti in letteratura [2][3][4][5].

Oggetto dei controlli di qualità sono i sistemi di visualizzazione basati su tecnologia *flat-matrix* LCD (in futuro LED/OLED ecc.) e sulla tecnologia CRT, con minore attenzione rivolta a questi ultimi vista la loro progressiva e quasi totale sostituzione con le nuove tecnologie a geometria "flat".

La tipologia di rappresentazione delle immagini riguarda sia immagini monocromatiche in scala di grigi visualizzate su sistemi monocromatici o a colori, che immagini a colori visualizzate su sistemi a colori.

Dove applicabile, vengono proposti i livelli di tolleranza e la periodicità prevista per l'effettuazione delle misure in funzione della tipologia di controllo. Alla luce del diffondersi di strumenti di gestione automatica di alcune tipologie di controlli, vengono definite periodicità più frequenti nel caso che siano utilizzati anche tali tipi di programmi applicativi. Sistemi di gestione remota e automatica di alcuni aspetti dei controlli di qualità rendono possibile la stesura di un programma di garanzia della qualità più accurato a parità di risorse umane disponibili.

### 1.3 Contenuto

All'interno del presente protocollo vengono definite due categorie di prove da effettuare all'interno di un programma di garanzia della qualità. La prima categoria contiene le misure e le valutazioni essenziali per l'implementazione di un protocollo di controlli di qualità e che nello stesso tempo non richiedono strumentazione complessa o misure onerose dal punto di vista dell'impegno temporale. Quando è possibile le valutazioni vengono effettuate in modo qualitativo. La seconda categoria raccoglie invece prove di livello avanzato, facoltative, che integrano quelle di base e possono in alcuni casi sostituirle, ma che richiedono normalmente strumentazione e procedure più complesse.

Fra le prove di livello avanzato sono inserite anche le valutazioni di parametri non direttamente integrabili nel programma di garanzia della qualità ma che possono essere utili in fase di valutazione comparativa di tecnologie o delle prestazioni di un determinato sistema di visualizzazione.

Tipo di misura o parametro da valutare	Tipologia di prove e paragrafo di riferimento	
	Prove di base	Prove avanzate
Riflessioni sullo schermo	Visiva (5.1)	Quantitativa (6.5)
Ricerca di eventuali difetti fisici	Visiva (5.2)	
Misura illuminamento ambientale	Quantitativa (4.1.3)	
Valutazione generale della qualità dell'immagine	Visiva (5.3)	
Distorsione immagine	Visiva (5.3)	Quantitativa (5.3)
Valore minimo e massimo di luminanza	Quantitativa (5.4)	
Risposta in luminanza (GSDF)	Quantitativa (5.5)	
Uniformità della luminanza	Quantitativa (5.6)	
Rumore	Visiva (5.7)	Quantitativa (6.3)
Dipendenza angolare	Visiva (5.8.1)	Quantitativa (6.1)
Veiling glare	Visiva (5.9.1)	Quantitativa (6.2)
Pixel difettosi	Visiva (5.10)	
Uniformità della cromaticità	Visiva (5.11.1)	Quantitativa (6.6)
Risoluzione spaziale	Visiva (5.12.1)	Quantitativa (6.4)

In Sezione 2 è riportato un glossario dei principali termini utilizzati per la valutazione delle caratteristiche e della qualità dei sistemi di visualizzazione e un paragrafo dedicato alla definizione delle più importanti grandezze fotometriche.

In Sezione 3 viene indicata la strumentazione e il materiale necessario per effettuare le misure e le valutazioni all'interno di un controllo di qualità dei dispositivi di visualizzazione.

In Sezione 4 sono indicate le operazioni preliminari necessarie per l'esecuzione di ciascun tipo di controllo di qualità, quali le modalità di posizionamento dei dispositivi di visualizzazione, la valutazione delle condizioni ambientali di illuminamento, la configurazione e la calibrazione dei dispositivi.

In Sezione 5, limitatamente alla prima categoria di prove (gruppo di prove di base, definite in seguito anche di primo livello), sono elencati i parametri da valutare e le grandezze da misurare in funzione delle varie tipologie di controllo di qualità, la periodicità dei controlli, le procedure operative da seguire per la misurazione di ogni parametro, i rispettivi valori di riferimento e le tolleranze.

In Sezione 6 sono riportate analoghe informazioni per le prove avanzate (di secondo livello).

In Appendice A è riportato il diagramma di flusso sintetico per l'esecuzione dei controlli di qualità.

In Appendice B è riportato un modello di registrazione dei dati per agevolare la gestione dei CQ.

Eventuali future emanazioni di norme e protocolli da parte delle istituzioni governative nazionali o di comitati tecnico-scientifici e agenzie internazionali potranno portare alla revisione e all'aggiornamento delle indicazioni fornite in questo documento.

## 1.4 Riferimenti

---

Il presente protocollo è stato predisposto basandosi sull'esperienza maturata dal Gruppo di Lavoro di Radiologia Digitale dell' Associazione Italiana di Fisica Medica e sui contenuti dei seguenti documenti e norme tecniche:

- IEC 62563-1 (2009)  
"Medical Electrical Equipment – Medical image display systems – Part 1: Evaluation methods"
- IEC 61223-2-5 (1994)  
"Evaluation and Routine Testing in Medical Imaging Departments – Part 2-5: Constancy Tests - Image Display Devices"
- ISO 13406-2 (2001)  
"Ergonomic requirements for work with visual displays based on flat panels - Part 2: Ergonomic requirements for flat panel displays"
- ISO 11664-1 (2007)  
"Colorimetry – Part 1: CIE standard colorimetric observers"
- EUREF (2006)  
"European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis – Fourth Edition"
- AAPM TG18 on line Report n.3 (2005)  
"Assessment of Display Performance For Medical Imaging Systems"
- NEMA PS 3.14-2008 (2008)  
"Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Part 14: Grayscale Display Standard Function"

- DIN V 6868-57 (2001)  
“Image Quality Assurance in X-Ray Diagnosis Part 57: Acceptance Testing for Image Display Devices”
  
- VESA (2001)  
“Flat Panel Display Measurements Standard (FPDM), Version 2.0”
  
- JIRA (2005)  
“Quality Assurance (QA) Guideline for Medical Imaging Display Systems”,  
JESRA X-0093-2005

## 2

# Definizioni

### 2.1 Glossario

---

**Accuratezza:** grado di concordanza fra il risultato di una misura ed il valore di riferimento accettato. Può essere espressa in percentuale o in valore assoluto [6]

**Bad Pixel:** vedere "Pixel difettoso"

**Brillantezza:** luminanza come percepita dal sistema visivo umano. È un parametro soggettivo, a differenza della luminanza che è una grandezza fisica

**Candela:** unità di misura dell'intensità luminosa, definita come la quantità di luce convenzionale (energia nell'unità di tempo) in una determinata direzione dovuta a una sorgente che emette a una lunghezza d'onda  $\lambda = 555 \text{ nm}$  e la cui intensità energetica sia  $1/683 \text{ watt/sr}$

**Contrasto in luminanza (CR, Contrast Ratio):** rapporto fra la differenza di valori di luminanza  $L_1$  e  $L_2$  di due aree dello schermo e la media dei valori di luminanza in esame.

$$CR = 2 \cdot (L_1 - L_2) / (L_1 + L_2)$$

**Controllo di qualità di accettazione:** serie di prove effettuate dopo l'installazione di un nuovo dispositivo o dopo che sono state apportate importanti modifiche ad un dispositivo installato, al fine di verificare la conformità alle specifiche contrattuali [1][7]

**Controllo di qualità di stato:** serie di prove effettuate per verificare lo stato funzionale di un dispositivo ad un determinato momento, ad esempio dopo la sostituzione di un componente [1]

**Controllo di qualità di costanza:** serie di prove effettuate per assicurare che le prestazioni funzionali del dispositivo siano conformi ai criteri stabiliti [1]

**CRT (Cathode Ray Tube):** vedere "Tubo a raggi catodici"

**Curva di risposta fotopica:** curva che descrive la sensibilità relativa dell'occhio umano al variare della lunghezza d'onda della radiazione luminosa

**Digital Driving Level (DDL):** valore digitale fornito come dato in ingresso ad un dispositivo di visualizzazione di immagini. Il DDL viene convertito dal dispositivo di visualizzazione in un valore di luminanza. La mappatura dei DDLs in valori di luminanza fornisce la curva caratteristica del sistema

**Digital Level o Digital Value (DL, DV):** valore digitale del singolo pixel di una matrice immagine che può essere rielaborato numericamente prima di venire inviato ad un sistema di visualizzazione

**Dimensione del pixel:** dimensione del lato dell'area attiva del pixel. Tipicamente le dimensioni dei pixel nelle due direzioni ortogonali sono identiche (pixel isotropo)

**Dispositivo di visualizzazione di immagini:** dispositivo usato per la visualizzazione di immagini tramite un'interfaccia analogica o digitale. Sinonimo di *monitor*

**Flat Panel:** dispositivo di visualizzazione di immagini caratterizzato da uno spessore sottile e una superficie piana (ad esempio Liquid Crystal Display LCD, Organic Light Emitting Display OLED)

**Flicker:** percezione, da parte dell'osservatore, di una indesiderata fluttuazione nel tempo del valore di luminanza dello schermo (sfarfallio)

**Flusso luminoso:** grandezza fisica definita come l'energia luminosa emessa da una sorgente nell'unità di tempo. È l'equivalente psicofisico del flusso raggianti (watt), essendo pesato per la curva fotopica di sensibilità relativa dell'occhio umano. La sua unità di misura nel S.I. è il lumen (lm) con  $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$

**Grandezze fotometriche e radiometriche:** le grandezze fotometriche si definiscono a partire dalle grandezze radiometriche mediante pesatura con la curva di risposta spettrale dell'occhio umano. Ad esempio il flusso raggianti di  $1 \text{ W}$  @  $555 \text{ nm}$  equivale ad un flusso luminoso di  $683 \text{ lm}$ . La Tabella 2.1 mette in corrispondenza le grandezze fisiche radiometriche con quelle fotometriche

Grandezze radiometriche	Grandezze fotometriche
Energia raggianti (per irraggiamento) [J]	Luce convenzionale $[\text{lm} \cdot \text{s}] = [\text{J}]$
Flusso raggianti [W]	Flusso luminoso $[\text{lm}] = [\text{cd} \cdot \text{sr}]$
Intensità energetica = Flusso raggianti nell'angolo solido unitario in una data direzione $[\text{W}/\text{sr}]$	Intensità luminosa = Flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario in una data direzione [cd]
Radianza = Intensità energetica emessa dall'unità di superficie $[\text{W}/(\text{sr} \cdot \text{m}^2)]$	Brillanza o Luminanza = Intensità luminosa in una direzione per unità di superficie normale alla direzione stessa $[\text{cd}/\text{m}^2] = [\text{nit}]$ oppure [lambert]
Irradiazione $[\text{W}/\text{m}^2]$	Illuminamento = Flusso luminoso per unità di superficie illuminata $[\text{lux}] = [\text{cd} \cdot \text{sr} / \text{m}^2] = [\text{lm} / \text{m}^2]$

Tabella 2.1 Grandezze radiometriche e fotometriche con le loro unità di misura

**Grayscale Standard Display Function (GSDf):** funzione analitica o tabella di conversione fra DDL e valori di luminanza che si basa sul modello di Barten dell'osservatore umano [8][9]

**Illuminamento:** grandezza fotometrica definita come il flusso luminoso incidente su una superficie per unità di area. La sua unità di misura nel S.I. è il lux (lx), con  $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$

**Intensità luminosa:** grandezza fotometrica definita come il rapporto fra flusso luminoso e angolo solido nel quale viene emesso. La sua unità di misura nel S.I. è la candela (cd)

**Immagine di riferimento clinica:** immagine medica tipica rappresentativa delle immagini per cui è impiegato un sistema di visualizzazione

**JND (Just Noticeable Difference):** minima differenza di luminanza in un dato dettaglio che, in determinate condizioni di visualizzazione, l'osservatore umano medio riesce a percepire

**JND index (indice JND):** valore di ingresso alla GSDF, tale che la variazione di una unità dell'indice JND risulta in una differenza di luminanza pari a 1 JND

**Livelli di grigio:** valori di luminanza di un dispositivo di visualizzazione monocromatico basato su una rappresentazione cromatica di toni di grigio

**Luminanza:** grandezza fotometrica definita come il rapporto fra l'intensità luminosa irradiata in una data direzione e la proiezione della superficie emittente sull'ortogonale alla direzione stessa. La sua unità di misura nel S.I. è  $\text{cd/m}^2$ . Valori tipici di luminanza massima per i sistemi di visualizzazione di immagini mediche per refertazione variano tipicamente circa 200 e  $1200 \text{ cd/m}^2$

**Luminosità:** percezione soggettiva della luce da parte del sistema visivo umano. La grandezza fisica misurabile che più si avvicina concettualmente alla luminosità è la luminanza

**LUT (Look Up Table):** tabella che permette di associare ad una determinata combinazione di dati in ingresso dei corrispondenti dati in uscita

**Monitor primario o secondario:** dispositivo di visualizzazione relativo a un "sistema di visualizzazione primario" o "sistema di visualizzazione secondario"

**Pitch:** distanza fra i punti centrali di due pixel adiacenti

**Pixel (picture element):** la più piccola unità dell'immagine o della matrice LCD che possa essere rappresentata o controllata in modo indipendente (Figura 2.1)

**Pixel difettoso:** per i monitor LCD, un pixel che permane in uno stato di accensione o spegnimento permanente, o la cui luminanza non sia controllabile (intermittente o difettoso), secondo le definizioni della norma ISO 13406-2:2001 [11]

**Pixel Value (PV):** valore digitale assegnato ad un pixel di visualizzazione

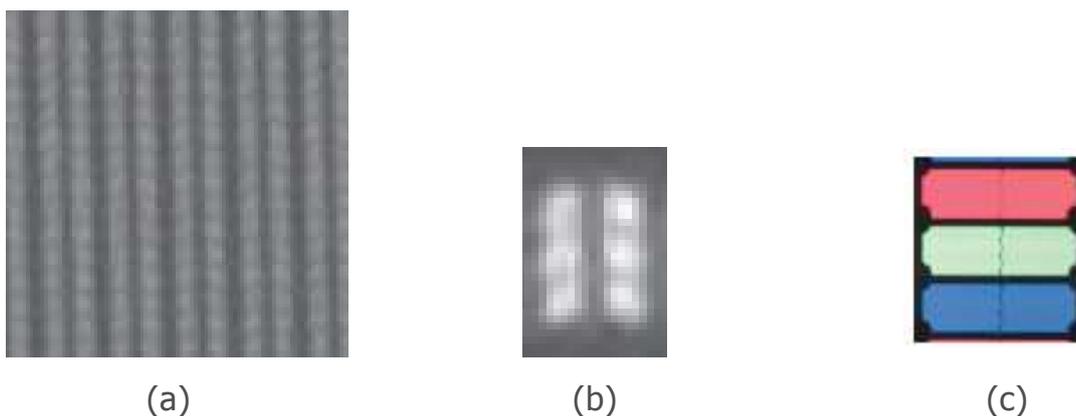


Figura 2.1 Immagine di una porzione di matrice LCD acquisita con telecamera CCD (a) e relativa struttura dei sub-pixels (b) [20] . Struttura di un pixel di schermo a colori con tecnologia IPS (In Plane Switching) (c)

**Pixel Size:** vedere "dimensione del pixel"

**Precisione:** grado di convergenza fra i valori ottenuti da più misure indipendenti del medesimo osservabile fisico, in condizioni sperimentali ripetibili [6]

**Presentation LUT (Dicom):** tabella di corrispondenza che fornisce in uscita dei valori digitali che coincidono con P-Values

**Presentation Values (P-Values):** valori digitali in ingresso ad un "dispositivo di visualizzazione standard" (vedere Par. 2.3 - GSDF DICOM), ovvero ad un sistema che implementa una funzione di luminanza linearizzata a livello percettivo; definizione concettuale che prescinde dalla modalità di realizzazione di tale risposta in un monitor reale (Figura 2.2)

**Rapporto di contrasto:** rapporto fra le luminanze massima e minima del dispositivo di visualizzazione delle immagini, come percepito dall'osservatore. È funzione anche dell'illuminamento ambientale

**ROI (Region Of Interest):** una regione specifica dell'immagine o dello schermo

**Scheda video o scheda grafica:** componente elettronico di un sistema di visualizzazione che assume la funzione di interfaccia digitale-analogica o digitale-digitale fra l'hardware del calcolatore della stazione di refertazione e il dispositivo di visualizzazione. Nelle schede video sono implementate le LUT per le diverse curve di luminosità e contrasto gestibili direttamente dal software applicativo

**Schermo (o Display):** superficie di visualizzazione sulla quale la distribuzione di luminanza rappresenta l'immagine

**Sistema di visualizzazione di immagini:** stazione composta dal dispositivo di visualizzazione di immagini, scheda video, calcolatore con hardware e software relativi alla sola gestione della visualizzazione

**Sistema di visualizzazione di immagini primario:** sistema di visualizzazione di immagini progettato ed utilizzato per l'interpretazione diagnostica delle immagini mediche. Talvolta si trova indicato anche come "stazione di visualizzazione diagnostica"

**Sistema di visualizzazione di immagini secondario:** sistema di visualizzazione di immagini mediche, avente prestazioni e funzionalità inferiori ai sistemi primari, il cui impiego è consigliato solamente per revisione o acquisizione, senza scopi diagnostici, di immagini mediche

**Sorgente Lambertiana:** sorgente la cui intensità luminosa varia con il coseno dell'angolo di vista rispetto alla normale alla superficie emittente. In modo equivalente può essere definita come una sorgente la cui luminanza non varia al variare dell'angolo di vista

**Stazione (o Workstation) di visualizzazione:** sistema di visualizzazione di immagini completo anche di hardware e software per la gestione e/o per la refertazione di immagini

**Sub-pixel:** elemento di ulteriore suddivisione del pixel in sottoregioni indipendenti, di forma non quadrata, per la gestione del colore o per l'ottimizzazione della risposta angolare

**Tubo a raggi catodici:** componente di un sistema di visualizzazione in cui le immagini sono riprodotte per mezzo di un pennello sottile di elettroni che, colpendo uno schermo rivestito di fosfori in una piccola area ("spot"), provoca l'emissione di radiazione luminosa

**Veiling glare:** incremento indesiderato della luminanza in una regione più ampia del pixel dello schermo attivato, dovuto a processi di diffusione interna e laterale della radiazione luminosa

## 2.2 Grandezze fotometriche

---

In questo paragrafo vengono trattati gli aspetti relativi alle grandezze fotometriche luminanza e illuminamento con particolare attenzione al loro contributo alle prestazioni dei sistemi di visualizzazione.

Per una trattazione più approfondita delle grandezze fotometriche e colorimetriche si rimanda a testi specifici [2][4].

### □ 2.2.1 Luminanza

La luminanza è la grandezza fotometrica definita come il flusso luminoso emesso da una superficie per angolo solido unitario, in una data direzione per unità di area proiettata lungo tale direzione. Nel S.I. l'unità di misura della luminanza è  $\text{cd}/\text{m}^2$  [2][4].

Dalla definizione di luminanza si evince che quando una superficie emette una intensità luminosa che varia con il coseno dell'angolo di visione rispetto alla normale alla superficie, la luminanza è costante indipendentemente dall'angolo di visione. Tali sorgenti luminose sono dette Lambertiane.

La misura di luminanza della superficie di visualizzazione di un monitor può essere effettuata a contatto o a distanza. Nel primo caso, con misura effettuata tramite sensori di luminanza esterni o integrati nel monitor, non viene tenuto conto del contributo dell'illuminamento ambientale alla luminanza ( $L_{\text{amb}}$ ).

Il contributo di luminanza  $L_{\text{amb}}$ , dovuto all'illuminamento ambientale che provoca una riflessione sulla superficie del monitor, deve essere misurato a distanza con il monitor spento.

La luminanza percepita dall'osservatore  $L'$  è legata alla luminanza propria del monitor  $L$  dalla relazione  $L' = L + L_{\text{amb}}$ .

Analoghe considerazioni e relazioni valgono per i valori massimi e minimi di luminanza  $L'_{\text{max}}$  e  $L'_{\text{min}}$ .

### □ 2.2.2 Illuminamento

È la grandezza fotometrica che descrive la quantità di luce visibile che incide su una superficie. La sua unità di misura è  $\text{lm}/\text{m}^2$ , o lux, ed ha le dimensioni di una potenza per unità di superficie.

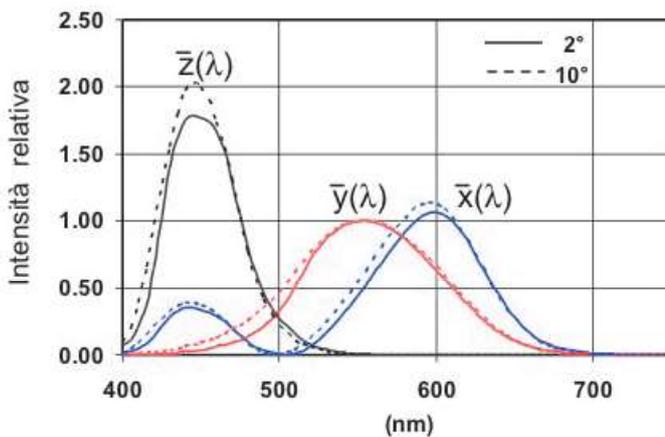
### □ 2.2.3 Diagramma colorimetrico CIE 1976 UCS

Al fine di quantificare numericamente il concetto di colore è stata introdotta una serie di grandezze e di parametri che si basano sul meccanismo di risposta dell'occhio umano a stimoli cromatici.

Nel 1931, CIE (Commision International d'Eclairage) introdusse delle funzioni di adattamento al colore dell'occhio umano, che sono i valori di tri-stimolo (connes-

si alla visione cromatica a coni dell'occhio), in funzione della lunghezza d'onda per uno spettro piatto in energia.

Sempre nel 1931, CIE definì i valori di tri-stimolo X Y Z che quantificano la cromaticità di un oggetto in funzione della sua riflettività spettrale  $R(\lambda)$  e dello spettro della sorgente che lo illumina  $S(\lambda)$  (Tabella 2.2).



(a)

$$X = K \cdot \int_{380nm}^{780nm} S(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \cdot \int_{380nm}^{780nm} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \cdot \int_{380nm}^{780nm} S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380nm}^{780nm} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda}$$

dove:

$S(\lambda)$  è la distribuzione spettrale relativa della sorgente illuminante

$\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  sono le curve di sensibilità spettrale delle tre tipologie di sensori di colore (coni) dell'occhio umano, secondo la definizione dell'Osservatore standard CIE 1931 o 1964.

$R(\lambda)$  è la riflettività spettrale dell'oggetto illuminato

(b)

Tabella 2.2 Funzioni di adattamento al colore della visione umana per osservatore standard ad un angolo di visione di 2° e 10° (osservatore CIE 1931 e CIE 1964, rispettivamente) (a), definizione dei valori di tri-stimolo XYZ (b)

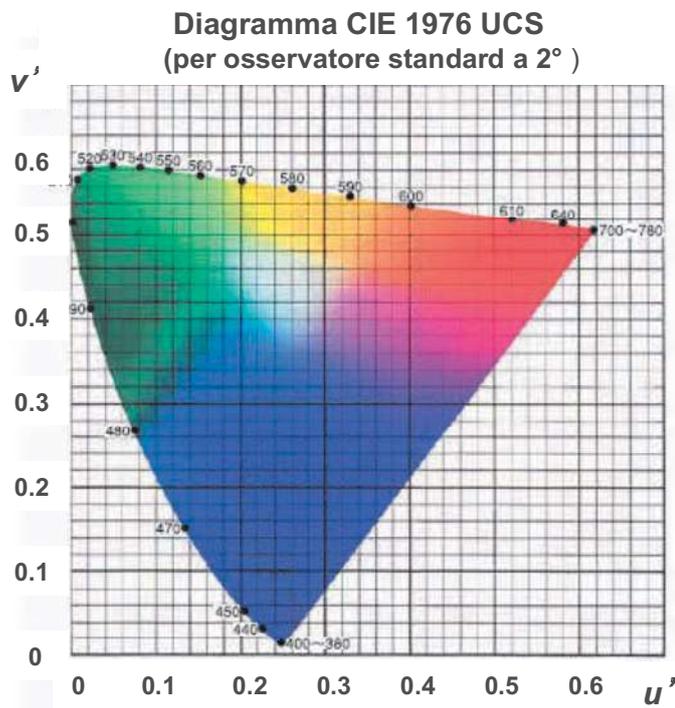
A partire dai valori di tri-stimolo X Y Z vengono infine definite 3 coordinate di cromaticità x y z definite come:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y$$

Nel 1976 la CIE introdusse una nuova rappresentazione delle coordinate di colore su un diagramma bi-dimensionale, chiamato diagramma CIE 1976 UCS. Il diagramma CIE 1976 UCS ha lo scopo di fornire una spaziatura a livello percettivo più uniforme nello spazio delle coordinate di colore per colori che hanno approssimativamente la stessa luminanza. A tal fine vengono definite due nuove coordinate di colore,  $u'$  e  $v'$ , in funzione dei valori di tristimolo (Tabella 2.3).



$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v' = \frac{9X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{9y}{-2x + 12y + 3}$$

dove:

XYZ sono i valori di tristimolo

xyz sono le coordinate di cromaticità

(b)

Tabella 2.3 Diagramma colorimetrico CIE-1976 UCS (a) e definizione delle coordinate di colore  $u'$  e  $v'$  (b)

## 2.3 GSDF DICOM

La calibrazione di un sistema di sistema di visualizzazione di immagini secondo una funzione standard (Figura 2.2) consente la rappresentazione coerente ("consistent") di un'immagine su supporti diversi sia per tipologia (monitor per refertazione, proiettori, negatoscopio) che per condizioni ambientali (luce ambiente). Lo standard DICOM è stato introdotto nel 1984 dalla NEMA e dall'ACR con lo scopo di fornire un riferimento per quanto riguarda la trasmissione e gestione delle immagini medicali in forma digitale. All'interno dello standard DICOM è stata definita una funzione di visualizzazione standard di un'immagine in toni di grigio (GSDF Grayscale Standard Display Function) che consente di ottenere una rappresentazione delle immagini basata sul modello di Barten [9] per la visione dei contrasti del sistema occhio-cervello.

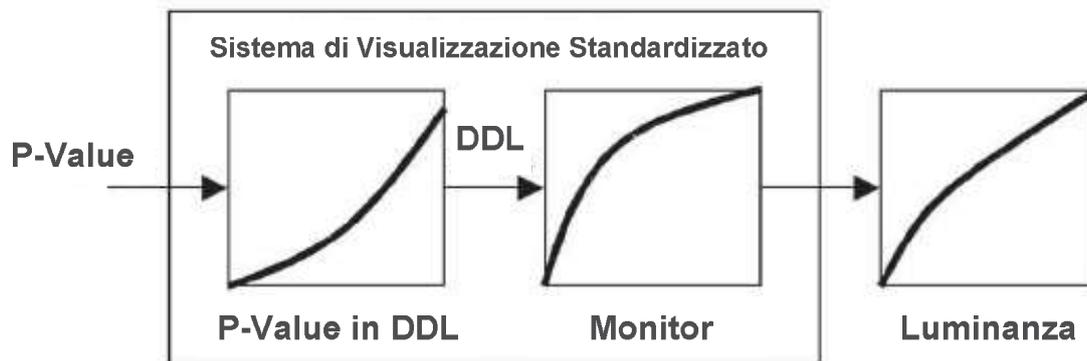


Figura 2.2 Modello concettuale di un sistema di visualizzazione standardizzato. I P-Values sono associati a valori di luminanza attraverso un passaggio intermedio di trasformazione in livelli di pilotaggio digitali (Digital Driving Levels DDL) di un sistema di visualizzazione non standardizzato

Lo scopo della GSDF è di poter visualizzare le immagini mediche su dispositivi diversi in modo da garantire una rappresentazione *consistente* delle informazioni iconografiche in esse contenute.

La *consistenza* è ottenuta attraverso una linearizzazione della percezione secondo la quale uguali variazioni nel valore digitale devono produrre analoghi cambiamenti nella luminanza percepita. Con la GSDF non si ottiene necessariamente

la migliore ottimizzazione possibile nella percezione del contrasto delle strutture di interesse per tutte le tipologie di immagini radiologiche, ma si garantisce principalmente un'ottima coerenza relativamente alla visualizzazione delle stesse fra dispositivi diversi.

La GSDF associa ad ogni valore di un indice di "minima differenza di contrasto percepibile" (Just-noticeable-difference o JND) un valore di luminanza percepita dall'osservatore. Tale funzione (di tipo logaritmico) è tabulata e disponibile in forma analitica (Equazione 1) mediante coefficienti precalcolati [9].

$$\text{Log}_{10} L(j) = \frac{a + c \cdot \ln(j) + e \cdot [\ln(j)]^2 + g \cdot [\ln(j)]^3 + m \cdot [\ln(j)]^4}{1 + b \cdot \ln(j) + d \cdot [\ln(j)]^2 + f \cdot [\ln(j)]^3 + h \cdot [\ln(j)]^4 + k \cdot [\ln(j)]^5} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} a &= -1.3011877 \\ b &= -2.584019 \times 10^{-2} \\ c &= 8.0242636 \times 10^{-2} \\ d &= -1.0320229 \times 10^{-1} \\ e &= 1.3646699 \times 10^{-1} \\ f &= 2.8745620 \times 10^{-2} \\ g &= -2.5468404 \times 10^{-2} \\ h &= -3.1978977 \times 10^{-3} \\ k &= 1.2992634 \times 10^{-4} \\ m &= 1.3635334 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

dove  $j$  è l'indice del JND considerato,  $L$  il corrispondente livello di luminanza, e  $a, b, c, \dots, m$  sono i coefficienti che permettono di definire la relazione fra  $L$  e JND. La relazione inversa è data dall'Equazione (2).

$$\begin{aligned} j(L) &= A + B \cdot \log_{10}(L) + C \cdot [\log_{10}(L)]^2 + D \cdot [\log_{10}(L)]^3 + E \cdot [\log_{10}(L)]^4 + F \cdot [\log_{10}(L)]^5 \\ &+ G \cdot [\log_{10}(L)]^6 + H \cdot [\log_{10}(L)]^7 + I \cdot [\log_{10}(L)]^8 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 A &= 71.498068 \\
 B &= 94.593053 \\
 C &= 41.912053 \\
 D &= 9.8247004 \\
 E &= 0.28175407 \\
 F &= -1.1878455 \\
 G &= -0.18014349 \\
 H &= 0.14710899 \\
 I &= -0.017046845
 \end{aligned}$$

La GSDF si riferisce alla luminanza percepita dall'osservatore, e dunque deve tenere in considerazione il contributo dovuto all'illuminamento ambientale che si traduce in una luminanza diffusa dallo schermo del monitor.

Valgono le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}
 L'_{\max} &= L_{\max} + L_{\text{amb}} \\
 L'_{\min} &= L_{\min} + L_{\text{amb}} \\
 L'(p) &= L(p) + L_{\text{amb}}
 \end{aligned}$$

dove  $p$  è il valore digitale dell'immagine (P-Value).

La GSDF dipende dai valori minimo e massimo di luminanza osservabile.

Una volta misurate  $L'_{\max}$  e  $L'_{\min}$  è possibile risalire agli indici JND corrispondenti,  $J_{\max}$  e  $J_{\min}$ .

Gli indici dei JND corrispondenti ai valori intermedi di  $L'(p)$  devono essere uniformemente spazati nell'intervallo dei JND e legati linearmente ai *P-Values* attraverso la relazione:

$$J_i = J_{\min} + \frac{P_i (J_{\max} - J_{\min})}{\Delta P} \quad (3)$$

dove  $\Delta P$  è l'intervallo complessivo dei *P-Values* a disposizione (esempio 256 o 1024 *P-Values*).

Si noti come al valore minimo (zero) di *P-Value* non corrisponda necessariamente il valore più basso di JND ma semplicemente il valore minimo ottenibile, per un dato sistema di visualizzazione, il quale dipende unicamente dal valore minimo di luminanza.

Un altro aspetto da considerare è quello del rapporto fra il numero dei *P-Values* a disposizione (immagini a 8bit-10bit-12bit) e il numero complessivo dei JND disponibili in un dato sistema calibrato. Ad esempio con schede grafiche dotate "on-board" di LUT con profondità di 8bit in ingresso (e relativo software di visualizzazione) non potrà essere sfruttata del tutto la risoluzione di contrasto a disposizione qualora l'intervallo di luminanza sia tale per cui gli indici JND risultino in numero maggiori di 256.

Un esempio di GSDF, calcolata su un intervallo di circa 1000 JND, è mostrato in Figura 2.3.

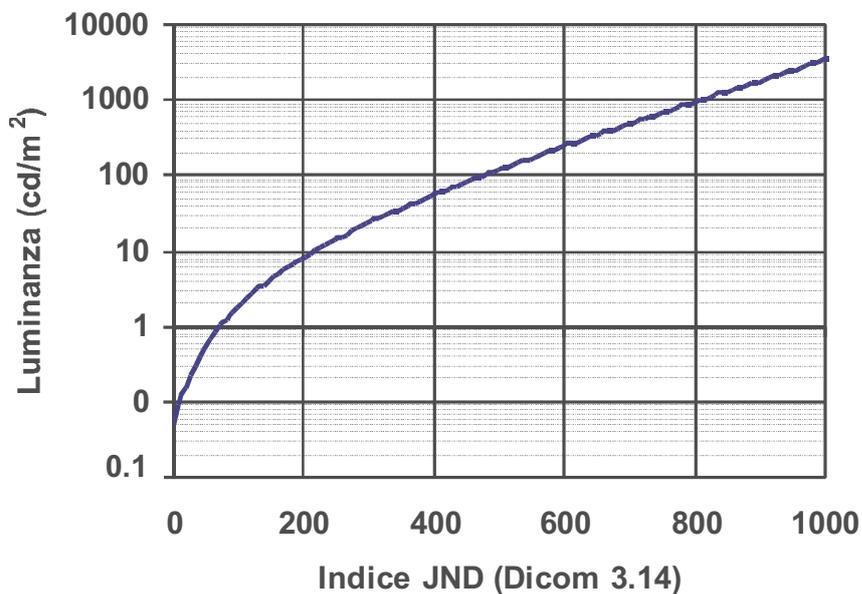


Figura 2.3 Funzione GSDF, calcolata su un intervallo di circa 1000 JND

La GSDF può anche essere visualizzata in termini di contrasto osservato  $\delta_i$ , definito, per ogni intervallo  $i$  fra due indici JND consecutivi, come:

$$\delta_i = \frac{2(L'_i - L'_{i-1})}{(L'_i + L'_{i-1})(J_i - J_{i-1})} @ 0.5(J_i + J_{i-1})$$

$\delta_i$  è rappresentato in funzione dell'indice medio di JND.

È in termini di risposta in contrasto che viene empiricamente valutata la conformità alla GSDF (Paragrafo 5.5).

Un esempio della funzione di contrasto in funzione di JND è mostrato in Figura 2.4.

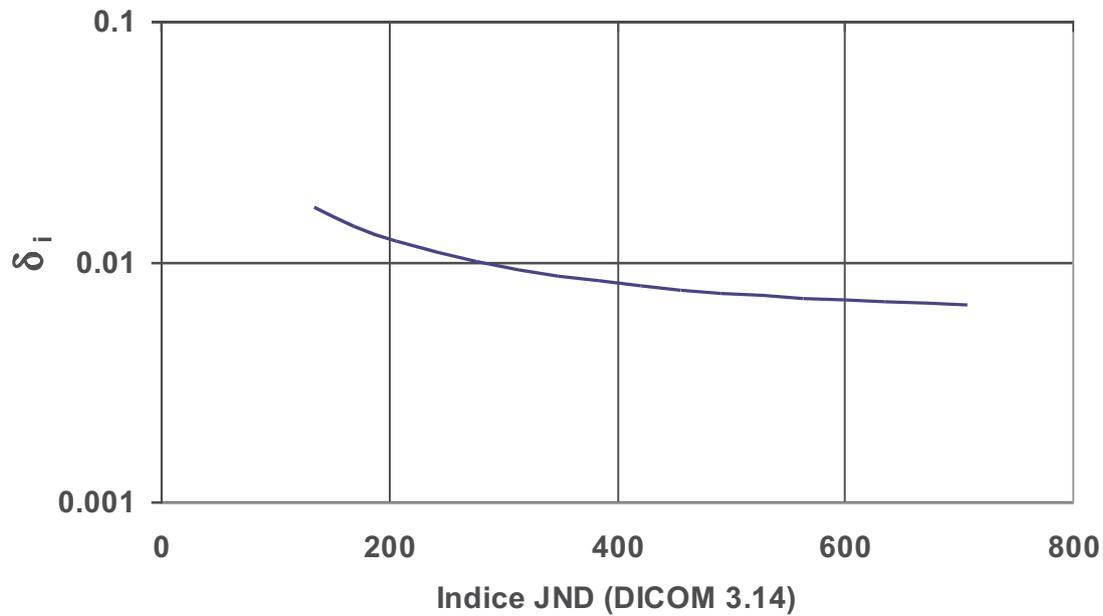


Figura 2.4 Esempio di funzione di contrasto  $\delta_i$  in funzione degli indici JND

## 2.4 Simboli

Abbreviazione	Relazione con altre grandezze	Definizione
$L_{amb}$		luminanza prodotta dalla luce ambiente sullo schermo del monitor, quando il dispositivo di visualizzazione è spento
$L_{min}$		luminanza minima sullo schermo del monitor senza il contributo della luce ambiente
$L_{max}$		luminanza massima sullo schermo del monitor senza il contributo della luce ambiente
$L'_{min}$	$L_{min} + L_{amb}$	luminanza minima ottenibile sullo schermo del monitor, con il contributo della luce ambiente e del <i>veiling glare</i>
$L'_{max}$	$L_{max} + L_{amb}$	luminanza massima ottenibile sullo schermo del monitor, con il contributo della luce ambiente e del <i>veiling glare</i>
$r'$	$L'_{max} / L'_{min}$	rapporto di contrasto in luminanza del dispositivo di visualizzazione delle immagini
$R_d$		Coefficiente di riflettività diffusa
$R_s$		Coefficiente di riflettività speculare
$D(u',v')$		Differenza fra i valori attesi e quelli misurati delle coordinate di cromaticità definite da CIE 1976 CIELUV
$u',v'$		coordinate di cromaticità definite da CIE 1976 CIELUV

## 2.5 Abbreviazioni

CIE	Commision International d'Eclairage
CQ	Controllo di qualità
CRT	Cathode Ray Tube
DDL	Digital Driving Level
DL	Digital Level
DICOM	Digital Imaging and Communication in Medicine
GSDF	Grayscale Standard Display Function
JND	Just Noticeable Difference
LCD	Liquid Crystal Display

LED	Light Emitting Diode
LUT	Look Up Table
OLED	Organic Light Emitting Diode
PV	Pixel Value



# 3

## Strumenti ed accessori necessari per i controlli di qualità

Svariate prove delle prestazioni di un sistema di visualizzazione possono essere effettuate in modo qualitativo utilizzando immagini di test, mentre le valutazioni più accurate e oggettive basate su misure quantitative richiedono l'utilizzo di strumentazione specifica per la misura di grandezza fotometriche.

### 3.1 Strumentazione

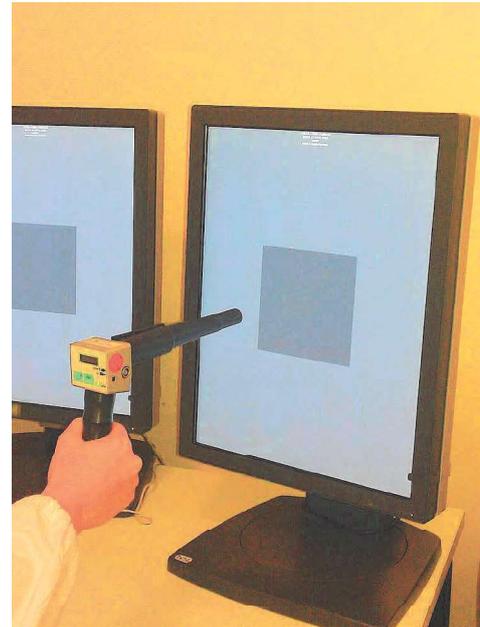
---

#### □ 3.1.1 Misuratore di luminanza

Le misure di luminanza del monitor di visualizzazione, in termini di risposta e uniformità, richiedono un misuratore di luminanza (talvolta chiamato impropriamente fotometro). In commercio esistono due tipologie di strumenti in relazione alle modalità di effettuazione della misura: un tipo idoneo per misure a contatto, in cui il sensore è tenuto vicino alla superficie emissiva del monitor (Figura 3.1-a), e un altro di tipo telescopico per misure a distanza, in cui il sensore deve essere puntato ortogonalmente alla superficie del monitor da una distanza di circa 1 metro (Figura 3.1-b).



(a) Misura di luminanza a contatto



(b) Misura di luminanza a distanza

Figura 3.1 Modalità di misura della luminanza

Alcuni strumenti consentono di effettuare la misura di luminanza in entrambe le modalità, oltre ad essere solitamente progettati anche per misure di illuminamento (fotometri).

Per valutare riflettività, *veiling glare* e risposta angolare è necessario effettuare misure di luminanza a distanza.

Al fine di mantenere una consistenza fra le misure effettuate in condizioni ambientali diverse e su monitor diversi, particolare attenzione deve essere posta nello schermare la luce ambiente; per i sensori a contatto viene applicato un disco opaco intorno all'area sensibile, per le misure a distanza viene utilizzato un cono collimatore.

Il misuratore di luminanza deve coprire l'intervallo di luminanza del sistema di visualizzazione ed è consigliabile comunque almeno fra  $0.05$  e  $1000 \text{ cd/m}^2$ , con una precisione almeno pari al 5% e un'accuratezza del 10% [7][3] (il report n.3 del Task Group 18 dell'AAPM [2] suggerisce una precisione di almeno l'1% e un'accuratezza del 5%). Inoltre deve essere sottoposto a taratura periodica, in accordo con le specifiche fornite dal produttore, e la taratura deve essere riferibile ad uno standard di misura primario.

L'angolo di accettazione non deve superare i 5° per misure a contatto, mentre per misure telescopiche l'angolo di accettazione dovrebbe essere inferiore ad 1° per una focalizzazione all'infinito [2]. Il misuratore di luminanza dovrebbe essere in accordo entro il 3% con la risposta spettrale fotopica standard CIE (CIE S 010/E:2004) [2][7].

Quando uno strumento per misure a contatto viene utilizzato per misure di luminanza assoluta su dispositivi con una distribuzione non-Lambertiana di luce (ad esempio LCD), l'angolo di apertura deve essere tenuto in considerazione, e devono essere usati dei fattori correttivi se non già applicati dallo strumento. Alcuni monitor sono dotati di sensori di luminanza integrati, che devono soddisfare le prestazioni citate in questo paragrafo. Nel caso di utilizzo dei sensori integrati per i controlli di qualità e le calibrazioni automatiche dei sistemi di visualizzazione, si ritiene comunque necessario che vengano effettuate periodicamente delle misure indipendenti di luminanza con un sensore esterno, vista la difficoltà o l'impossibilità da parte dell'utilizzatore ad effettuare tarature periodiche sui sensori integrati.

### **□ 3.1.2 Misuratore di illuminamento**

Per la misura dell'illuminamento ambientale e per la valutazione del contributo delle riflessioni è richiesto un sensore di illuminamento, che potrebbe essere lo stesso strumento per la misura della luminanza dotato anche della funzionalità di fotometro.

Il misuratore di illuminamento deve coprire un intervallo fra 1 e 1000 lux, con precisione almeno pari al 5% e una accuratezza almeno del 10% e dovrebbe essere in accordo con la risposta spettrale fotopica standard CIE entro il 3% [2] [7] (il report n.3 del Task Group 18 dell'AAPM [2] suggerisce un'accuratezza del 5% come valore ottimale). La risposta angolare deve seguire un andamento cosinusoidale su  $2\pi$  sr (risposta Lambertiana) con una accuratezza del 5% entro 50° dalla direzione centrale [2].

Il sensore di illuminamento deve essere sottoposto a taratura periodica, in accordo con le specifiche fornite dal produttore, se previste. La taratura deve essere riferibile ad uno standard di misura primario.

### □ 3.1.3 Colorimetro

La valutazione quantitativa della cromaticità richiede l'utilizzo di un colorimetro conforme alle specifiche CIE (CIE 1976) per le coordinate di colore. Le modalità di misura possono essere anche in questo caso a contatto o a distanza. Il colorimetro dovrebbe avere una taratura riferibile ad uno standard di misura primario ed essere capace di valutare le coordinate di colore CIE con una accuratezza migliore di 0.004 nello spazio  $u',v'$  (0.007 nello spazio  $x,y$ ) in un intervallo di luminanza compreso fra 1 e 1000  $\text{cd/m}^2$  [7][2].

### □ 3.1.4 Sorgente di illuminamento

Al fine di misurare la corretta risposta dell'eventuale sensore di illuminamento ambientale integrato nei monitor è necessario avere a disposizione una sorgente di luce diffusa con intensità variabile tramite potenziometro. A tale scopo può essere utilizzato anche un diafanoscopio portatile. La stessa sorgente può essere impiegata per la misura del coefficiente di riflettività dello schermo.

### □ 3.1.5 Varie

Ulteriori strumenti utili per l'esecuzione dei controlli di qualità sono:

- metro
- goniometro
- tessuto di colore nero di spessore sufficiente a realizzare eventuali schermature della radiazione ambientale diretta o riflessa
- schermo opaco con foro centrale di circa 5 mm di diametro per la misura del *Veiling Glare* (vedere Paragrafo 5.9)

## 3.2 Immagini di test

---

Le immagini di test necessarie per l'esecuzione delle misure e valutazioni previste dal presente protocollo sono un sottoinsieme di quelle prodotte dal gruppo di lavoro TG18 dell'AAPM [2] e liberamente scaricabili dal relativo sito internet.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <http://deckard.duhs.duke.edu/~samei/tg18.htm>

Per la valutazione dei bad pixel è utile avere a disposizione immagini di test che producano la massima e minima luminanza sull'intera superficie dello schermo, non presenti all'interno del pacchetto AAPM TG18.

Le immagini di prova dovrebbero essere memorizzate sulle stazioni di lavoro in modo da essere disponibili per successivi test di costanza.

Le immagini devono essere visualizzate utilizzando preferibilmente l'applicativo impiegato durante il processo diagnostico e comunque un software che non applichi ulteriori funzioni di post-processing.

Inoltre in molti casi è necessario avere una relazione diretta uno a uno (zoom uguale a 1) fra i pixel dell'immagine e quelli del dispositivo di visualizzazione. Le immagini del pacchetto AAPM, fornite nella duplice versione DICOM e TIFF 16 bit, devono essere visualizzate con Window Width (WW) pari a 4096 e Window Level (WL) pari a 2048, ad eccezione delle immagini TG18-PQC, TG18-LN e TG18-AFC per le quali si deve impostare WW=4080 e WL=2040.

Per il set di immagini DICOM e TIFF a 8 bit deve essere impostata WW=256 e WL=128 ad eccezione delle immagini TG18-PQC, TG18-LN e TG18-AFC per le quali si deve impostare WW=255 e WL=127.

### **3.3 Strumenti software**

---

Gli applicativi di base di cui deve essere dotata la stazione di refertazione sono quelli che permettono la configurazione e calibrazione del sistema di visualizzazione e, se disponibile, la gestione dei controlli di qualità in tutte le sue forme (locale, remota, automatica).

Può essere utile disporre, oltre all'applicativo utilizzato in fase di refertazione, anche di un software indipendente per la visualizzazione di immagini test<sup>2</sup>, in particolare immagini conformi allo standard DICOM.

Per la registrazione dei risultati dei controlli di qualità è consigliato l'utilizzo di un foglio di calcolo.

---

<sup>2</sup> Esempi di applicativi liberamente disponibili per la visualizzazione di immagini DICOM sono i software:

ImageJ (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>)

k-PACS (<http://www.k-pacs.net/>)



# 4

## Operazioni preliminari e configurazione del sistema di visualizzazione

Prima di procedere ad effettuare un controllo di qualità è necessario effettuare una serie di operazioni preliminari riguardanti il corretto posizionamento e configurazione dei dispositivi di visualizzazione e la registrazione e conservazione delle misure effettuate.

### 4.1 Operazioni preliminari

---

#### □ 4.1.1 Prerequisiti specifici per il test di accettazione

In fase di controllo di qualità di accettazione, devono essere confrontate le specifiche tecniche del sistema di visualizzazione rispetto a quelle indicate nel capitolato di acquisizione; inoltre è opportuno registrare le specifiche sia gestionali che tecniche dei monitor, quali: produttore, modello e numeri di serie dei monitor, data di produzione, localizzazione all'interno della struttura sanitaria, modello di scheda grafica associata, dimensioni matrice, dimensioni del pixel, luminanza minima e massima, software di gestione del sistema di visualizzazione, immagini di prova disponibili sul sistema.

È consigliato conservare i manuali ed i software sia per quanto riguarda la visualizzazione delle immagini cliniche che per l'esecuzione dei controlli di qualità.

Devono essere annotate le caratteristiche dei sensori di grandezze fotometriche forniti o utilizzati.

#### □ 4.1.2 Posizionamento dei monitor

I monitor di refertazione devono essere posizionati in modo da evitare riflessioni di ogni tipo di sorgente (lampade a soffitto o a parete, diafanoscopi, finestre, altri sistemi di visualizzazione). Metodi per prevenire o ridurre le riflessioni sono descritti negli standard ISO 13406-1 [10] e 13406-2 [11].

Alcuni sistemi di visualizzazione, quali ad esempio quelli basati su tecnologia CRT, sono alterati da campi magnetici e pertanto non devono essere posizionati in zone con elevato campo magnetico a meno di non essere adeguatamente schermati. I monitor devono essere posizionati ergonomicamente per evitare affaticamento del collo e della schiena, con il punto di lettura localizzato leggermente sotto il livello dell'occhio.

#### □ 4.1.3 Illuminamento ambientale

L'illuminamento ambientale influenza o altera la capacità diagnostica di un sistema di visualizzazione in quanto è responsabile di eventuali riflessioni (sia di tipo speculare che diffuso) che possono compromettere o ridurre l'efficienza diagnostica del dispositivo.

In particolare la sala di refertazione dovrebbe essere illuminata solo da luci diffuse e orientate in modo da impedire riflessioni dirette da parte degli schermi. Mentre la componente speculare è sempre fonte di artefatti, la componente diffusa della luce deve essere comunque tenuta in conto in fase di calibrazione in quanto incide sulla curva di calibrazione standard GSDF.

La presenza di artefatti dovuti alle riflessioni da parte della superficie dello schermo dipende dal livello di illuminamento ambientale oltre che dalle caratteristiche dello schermo (trattamento antiriflesso, luminanza massima impostata). La valutazione delle riflessioni, descritte nel paragrafo 5.1 di questo documento, permette di stabilire il livello massimo suggerito di illuminamento ambientale per un dato dispositivo di visualizzazione delle immagini, a seconda delle caratteristiche di riflessione e luminanza massima dello schermo. In Tabella 4.1 sono riportati valori tipici di illuminamento misurati sulla superficie dei dispositivi di visualizzazione per varie tipologie di sale di refertazione o ambienti di lavoro.

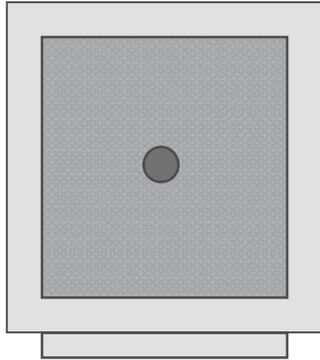
Tipologia di sala di ambiente di lavoro	Illuminamento (lux)
Sala refertazione (CR/DR/Mammo)	2 - 10
Sala refertazione (CT/MR/NM)	15 - 60
Ambulatorio	50 - 180
Pronto soccorso	150 - 300
Sala operatoria	300 - 400

Tabella 4.1 Valori di illuminamento tipici per varie tipologie di sale di refertazione o ambienti di lavoro

L'illuminamento ambientale di una sala di refertazione deve essere regolabile in intensità in funzione della tipologia di refertazione che si vuole effettuare. Durante i controlli di qualità l'illuminamento ambientale deve essere impostato al livello normalmente usato durante la pratica diagnostica. L'illuminamento ambientale deve essere misurato con un fotometro calibrato e, se presente, con il sensore integrato sul dispositivo di visualizzazione. Tale valore deve essere registrato sulla relazione del controllo di qualità.

I livelli di illuminamento ambientale devono essere misurati nel punto di riferimento al centro dello schermo, con il sensore orientato verso la sala di refertazione, ed è opportuno annotare la posizione e orientamento del monitor al momento della prova così da poter riprodurre in futuro le condizioni di test (Tabella 4.2). Per sistemi di visualizzazione mammografici primari, l'illuminamento ambientale dovrebbe essere inferiore a 10 lux [3].

<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì
	Prova di Stato *	Sì
	Prova di Costanza	n.p.
* da effettuarsi solo se cambiano le condizioni di illuminamento ambientale durante l'utilizzo del monitor (spostamento, orientamento, nuove sorgenti di illuminamento...)		
<i>Materiale</i>	Fotometro con sensore di illuminamento	



Posizionamento del sensore per misure di illuminamento ambientale sulla superficie esterna del monitor



Esempio di fotometro per misure di luminanza (a sinistra) dotato di un ulteriore sensore esterno per misure di illuminamento ambientale (a destra)

Tabella 4.2 Periodicità e modalità di misura dell'illuminamento ambientale

#### □ 4.1.4 Misura della luminanza ambientale

La valutazione del contributo dell'illuminamento ambientale alla luminanza, detto in seguito luminanza ambientale  $L_{amb}$ , può essere effettuata in due modi: in modo indiretto conoscendo le caratteristiche di riflettività della superficie del monitor e misurando l'illuminamento su di essa, e in modo diretto misurando a distanza la luminanza dovuta alle riflessioni della luce ambientale sulla superficie del monitor quando quest'ultimo è spento. Per le modalità di misura indiretta di  $L_{amb}$  si rimanda agli specifici capitoli nelle pubblicazioni [2][4]. Alcuni modelli di sistemi di visualizzazione effettuano la calibrazione dei dispositivi di visualizzazione sulla base di un valore di  $L_{amb}$  stimato a partire dalle condizioni di illuminamento ambientale dichiarate dall'utilizzatore.

#### □ 4.1.5 Pulizia dei dispositivi di visualizzazione

Prima di procedere con le misure e valutazioni sulla qualità del dispositivo di visualizzazione occorre verificare che lo schermo sia pulito, secondo le istruzioni fornite dal costruttore. In mancanza di indicazioni è comunque opportuno pulire la superficie con un panno morbido inumidito con acqua senza altre sostanze detergenti.

## 4.2 Configurazione del sistema di visualizzazione

Prima di poter valutare le prestazioni del sistema di visualizzazione di immagini, occorre verificare la corretta configurazione dei monitor in termini di valori di luminanza massima e minima e curva di calibrazione prescelta.

Il sistema di visualizzazione deve essere in funzione (*non in stand-by*) dal tempo previsto dal costruttore (tipicamente 30') prima di procedere con l'eventuale calibrazione e con le misure previste dai controlli di qualità.

### □ 4.2.1 Impostazione dei valori di luminanza massima e minima

I valori di luminanza massima  $L_{\max}$  e minima  $L_{\min}$  devono essere impostati in funzione dei livelli richiesti di luminanza e del rapporto di contrasto in luminanza  $r'$  desiderato. Quest'ultimo dipende dalle caratteristiche del sistema e dall'illuminamento ambientale.

La luminanza massima  $L_{\max}$  deve essere impostata ad un valore, inferiore a quello massimo utilizzabile, per il quale il produttore assicuri la possibilità di effettuare la calibrazione secondo lo standard DICOM. Il valore impostato risulta da un compromesso fra il valore massimo utilizzabile e la durata del sistema di retroilluminazione e la risoluzione.  $L_{\max}$  incide, oltre che sulla calibrazione della curva GSDF, anche sul rapporto di luminanza massimo ottenibile.

Il valore di  $L_{\min}$  deve essere impostato al valore minimo possibile, tenendo in considerazione anche la luminanza ambientale: come regola generale  $L_{\min}$  dovrebbe almeno essere maggiore di  $1.5 * L_{\text{amb}}$ . Come obiettivo di qualità dovrebbe risultare  $L_{\text{amb}} \leq 0.25 L_{\min}$  (o  $L_{\text{amb}} \leq 0.20 L'_{\min}$ ) (vedere anche paragrafo 6.5.2).

Alcune tipologie di sistemi di configurazione dei monitor impostano in modo automatico  $L_{\min}$  ad un valore ottimale, derivato dalle caratteristiche costruttive del monitor e non modificabile dall'utente. Si consideri inoltre la dipendenza dell'intervallo di luminosità dalla tecnologia: ad esempio  $L_{\min}$  nei monitor CRT è più bassa rispetto alla tecnologia LCD mentre vale il contrario per  $L_{\max}$ .

#### **□ 4.2.2 Curva di calibrazione**

Il presente protocollo adotta la GSDF come curva di calibrazione da applicarsi al sistema di visualizzazione. Tale impostazione è necessaria per almeno la tipologia di test sulla GSDF [2][3][7].

## 5

# Valutazioni di base

In questa sezione sono descritte le prove di base da effettuare per la valutazione dei dispositivi di visualizzazione durante i controlli di qualità. L'ordine di esecuzione non è importante una volta effettuate le operazioni preliminari. Le tipologie di test da effettuare sono in ogni caso legate al programma di assicurazione di qualità predisposto dal Responsabile dell'Impianto Radiologico in collaborazione con l'Esperto in Fisica Medica e possono non includere alcuni test o introdurne dei nuovi anche in funzione della tecnologia del dispositivo di visualizzazione.

La Tabella 5.1 mostra un elenco delle diverse prove con indicazione della tipologia di valutazione (visiva o quantitativa) e del materiale e strumentazione necessari per effettuarle. Tutte le prove visive devono essere eseguite in condizioni e distanze tipiche di lavoro dell'operatore, a meno che non sia espressamente dichiarato in modo diverso.

La Tabella 5.2 riporta l'insieme minimo delle prove da effettuarsi in funzione del tipo di controllo di qualità (CQ di accettazione, CQ di stato, CQ di costanza), e la loro frequenza per quanto riguarda i soli controlli di qualità di Costanza. In base alle caratteristiche tecniche di ogni singolo sistema, al carico di lavoro e ai risultati dei controlli di costanza, nei controlli di stato potranno essere sottoposti a verifica tutti o solo una parte dei parametri riportati, sufficienti comunque a formulare un motivato giudizio di merito.

Misura da effettuare o parametro da valutare	Tipologia di valutazione	Immagine di test da utilizzare	Strumentazione necessaria	Par.
Riflessioni sullo schermo	Visiva	TG18-AD		(5.1)
Ricerca di eventuali difetti fisici	Visiva	TG18-UN80		(5.2)
Illuminamento ambientale	Quantitativa		Sensore di illuminamento	(4.1.3)
Valutazione generale della qualità dell'immagine	Visiva	TG18 -QC		(5.3)
Distorsione immagine	Quantitativa	TG18 -QC	Righello millimetrato	(5.3)
Valore minimo e massimo di luminanza	Quantitativa	TG18-LN-01 TG18-LN-18	Sensore luminanza	(5.4)
Risposta in luminanza (GSDf)	Quantitativa	TG18-LN-xx	Sensore luminanza	(5.5)
Uniformità della luminanza	Visiva	TG18-UN-xx		(5.6.1)
Uniformità della luminanza	Quantitativa	TG18-UNL-xx	Sensore luminanza	(5.6.2)
Rumore	Visiva	TG18-AFC		(5.7)
Dipendenza angolare	Visiva	TG18-CT IEC-ANG	Goniometro	(5.8.1)
Veiling glare	Visiva	TG18-GV TG18-G-VN	Schermo	(5.9.1)
Pixel difettosi	Visiva	TG18-UN-xx Immagini con $L_{max}$ e $L_{min}$		(5.10)
Cromaticità	Visiva	TG18-UN80		(5.11.1)
Risoluzione spaziale	Visiva	TG18-QC o TG18-CX		(5.12.1)

Tabella 5.1 Misure e valutazioni da effettuare per un programma esaustivo di controlli di qualità

Misura da effettuare o parametro da valutare	Tipologia di valutazione	Prova di accettazione	Prova di stato	Prova di costanza	Frequenza (1)	Paragrafo
Valutazione delle riflessioni sullo schermo	Visiva	X	X	X	Annuale	(5.1)
Ricerca di eventuali difetti fisici	Visiva	X	X	X	Annuale	(5.2)
Misura illuminamento ambientale	Quantitativa	X	X			(4.1.3)
Valutazione generale della qualità dell'immagine	Visiva	X	X	X	Annuale	(5.3)
Distorsione immagine	Quantitativa	X	X			(5.3)
Valore minimo e massimo di luminanza	Quantitativa	X	X	X	Annuale (2)	(5.4)
Risposta in luminanza (GSDF)	Quantitativa	X	X	X	Annuale (2)	(5.5)
Uniformità della luminanza	Visiva	X	X	X	Annuale	(5.6.1)
Uniformità della luminanza	Quantitativa	X	X	X	Annuale	(5.6.2)
Rumore	Visiva	X	X	X	Annuale	(5.7)
Dipendenza angolare della luminanza	Visiva	X	X			(5.8.1)
Veiling glare	Visiva	X (3)	X (3)			(5.9.1)
Pixel difettosi	Visiva	X	X	X	Annuale	(5.10)
Cromaticità	Visiva	X	X	X	Annuale	(5.11.1)
Risoluzione spaziale	Visiva	X	X	X	Annuale	(5.12.1)

(1) per sistemi di visualizzazione per mammografia la frequenza proposta è semestrale

(2) se non è presente il sistema di controllo automatico della luminanza, la frequenza suggerita è semestrale, trimestrale per i monitor mammografici

(3) da valutare solo al variare del modello

Tabella 5.2 Insieme minimo di prove da effettuarsi in funzione del tipo di controllo di qualità (CQ di accettazione, CQ di stato, CQ di costanza). La frequenza è relativa ai controlli di qualità di costanza effettuati dall'operatore in modo manuale, per sistemi di visualizzazione non mammografici

Nei paragrafi successivi sono riportate indicazioni su come effettuare le prove e i valori di tolleranza ove applicabili.

Nel caso di utilizzo di sistemi automatici di controllo di qualità, è auspicabile che le frequenze dei controlli relativi a  $L_{\max}$ ,  $L_{\min}$  e GSDF siano maggiori, così da rispondere ad un obiettivo di monitoraggio continuo senza con questo richiedere l'impiego di risorse umane se non nella fase di valutazione di eventuali problemi. In presenza di tali sistemi si suggerisce un controllo quotidiano per la verifica del valore di  $L_{\max}$  e  $L_{\min}$ , e mensile per la verifica della conformità alla GSDF.

Ulteriori misure e valutazioni relative a prove avanzate (di II livello) delle prestazioni dei dispositivi di visualizzazione sono descritte nella Sezione 6. Fra queste prove rientrano la misura del rumore, della MTF, della cromaticità.

## 5.1 Valutazione delle riflessioni sullo schermo

---

La presenza di sorgenti luminose all'interno dei locali di refertazione o di impiego dei dispositivi di visualizzazione può creare riflessioni speculari e diffuse sullo schermo, che riducono il contrasto dell'immagine e compromettono la ottimale rappresentazione dell'immagine.

Da un punto di vista quantitativo la conoscenza o la misura del coefficiente di riflessione dello schermo permette il calcolo del massimo illuminamento ambientale consentito sullo schermo per garantire una certa soglia di contrasto minima. Anche senza dover ricorrere a strumentazione e procedure complesse è comunque possibile valutare l'effetto della luce ambiente sulla superficie del monitor utilizzando l'immagine di prova TG18-AD (Figura 5.1).

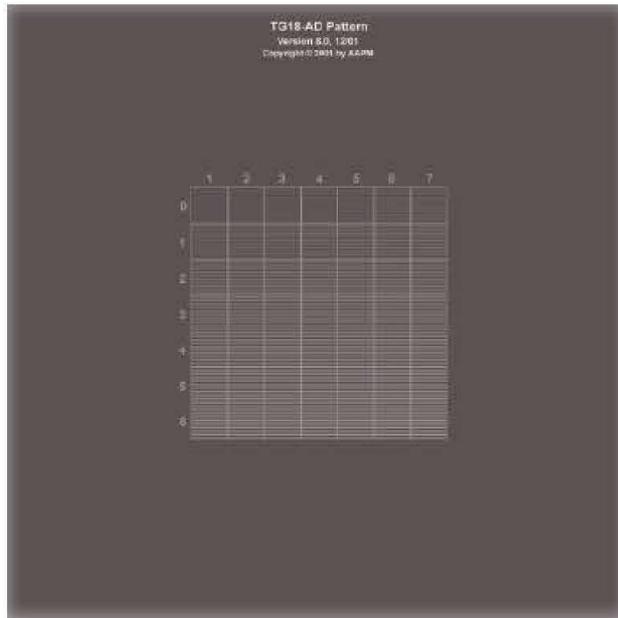


Figura 5.1 Immagine di test TG18-AD

### **Riflessione speculare: valutazione visiva**

- 1 Impostare il livello di illuminamento ambientale in condizioni simili a quelle di utilizzo del dispositivo di visualizzazione.
- 2 Portare il dispositivo di visualizzazione in uno stato di risparmio energetico o spengerlo.
- 3 Posizionarsi ad una distanza compresa fra 30 e 60 cm.
- 4 La comparsa di immagini riflesse dallo schermo provenienti da sorgenti luminose implica la non appropriata posizione dello schermo nella stanza.
- 5 La comparsa di immagini riflesse dallo schermo provenienti da oggetti altamente riflettenti (come badge di identificazione, camici o magliette o mura bianche) è un indice che l'illuminamento della stanza deve essere ridotto.

### **Riflessione diffusa: valutazione visiva**

- 1 Visualizzare l'immagine di test TG18-AD (Figura 5.1).
- 2 Valutare la soglia di visibilità degli oggetti a basso contrasto presenti nell'immagine. Il livello di soglia di contrasto deve essere valutato in condizioni di illuminazione normale della stanza e in condizioni di quasi oscurità. La condizione di quasi oscurità può essere raggiunta attraverso l'utilizzo di un

panno nero sopra il monitor in esame. La soglia di visibilità degli oggetti a basso contrasto in condizioni di quasi oscurità non deve essere diversa da quella in condizioni operative, altrimenti l'illuminamento ambientale sta causando un'eccessiva perdita di contrasto e deve essere ridotto.

## 5.2 Difetti fisici

---

Lo schermo dei monitor può presentare dei difetti fisici originari (micro bolle, fessurazioni) o creatisi durante l'uso (graffi e abrasioni, opacizzazioni). A questi si aggiungono eventuali difetti dovuti al degradamento delle prestazioni dei fosfori nei sistemi CRT, ad esempio nel caso di mancato utilizzo di salvaschermo. Tali difetti possono essere valutati ispezionando lo schermo quando è visualizzata un'immagine di test uniforme TG18-UN80 (Figura 5.16).

## 5.3 Valutazione globale delle prestazioni

---

Una valutazione preliminare delle prestazioni del sistema di visualizzazione può essere effettuata visualizzando una sola immagine di test (TG18-QC, Figura 5.2) (in Tabella 5.3 sono riportate periodicità e riferimenti). Questa immagine infatti contiene molteplici pattern e consente di valutare:

- Risoluzione spaziale
- Artefatti
- Distorsioni geometriche
- Risposta in luminanza

L'immagine di test deve essere visualizzata a schermo intero.

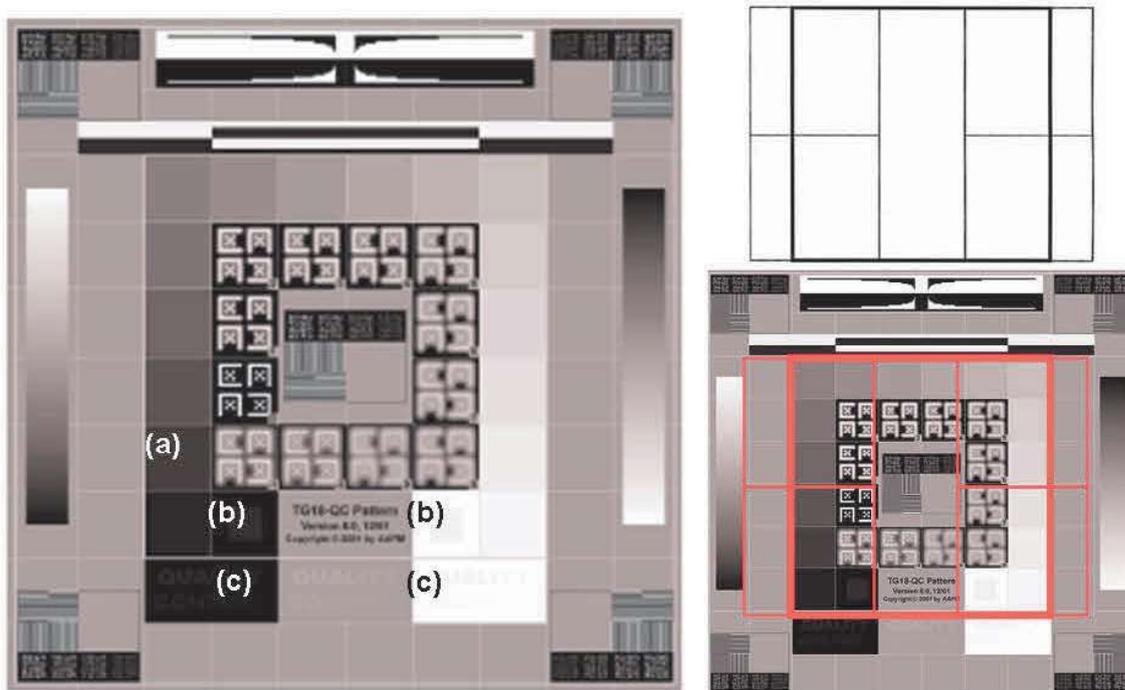


Figura 5.2 Immagine di test TG18-QC con le strutture utilizzate per la valutazione visiva della qualità dell'immagine

Per quanto riguarda la valutazione della risoluzione spaziale si rimanda al Paragrafo 5.12.

La struttura dell'immagine di test dovrebbe apparire senza significative distorsioni geometriche e in modo tale da far apparire la griglia a celle quadrate. Le linee dovrebbero apparire senza nessun tipo di curvatura ed equispaziate. Per quanto riguarda la corretta calibrazione e impostazione dell'illuminamento ambientale si deve verificare la visibilità distinta dei 16 livelli di luminanza presenti nella cornice centrale del test pattern (elementi indicati con (a) in Figura 5.2) e che siano visibili i dettagli a basso contrasto nelle celle ai lati della scritta con il tipo dell'immagine di test (elementi indicati con (b) in Figura 5.2). Registrare anche il numero di caratteri a basso contrasto che risultano visibili nei tre riquadri (a sfondo nero, grigio e bianco) nella zona inferiore dell'immagine di test (elementi indicati con (c) in Figura 5.2).

Frequenza	Prova di Accettazione	Sì
	Prova di Stato	Sì
	Prova di Costanza*	Annuale (Semestrale per monitor mammografici)
*è consigliata l'esecuzione del test da parte del medico specialista con frequenza quotidiana per refertazione mammografica e settimanale per refertazione di immagini RX, CT, RM, MN		
Materiale	Immagine di test TG18-QC	
Riferimenti	AAPM-TG18 [2], IEC 62563-1 [7], EUREF [3]	

Tabella 5.3 Valutazione qualitativa delle prestazioni globali del sistema

Per quanto riguarda la profondità in livelli di grigio rappresentabili dal sistema verificare la continuità delle barre di luminanza variabile dal nero verso il bianco presenti alla destra (dall'alto verso il basso) ed alla sinistra del test pattern (variabile da nero a bianco dal basso verso l'alto).

La misura della distorsione geometrica consiste nel misurare con un metro flessibile le due dimensioni del quadrato centrale che racchiude le ROI a differente luminanza e dei quattro quadranti evidenziati nello schema a destra in Figura 5.2. Gli scarti percentuali fra le due dimensioni non devono essere superiori al 2% per i monitor primari e al 5% per i monitor secondari (Tabella 5.4).

<i>Limiti di accettabilità</i>		<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>
	Scarto percentuale fra le dimensioni dei quadrati in due direzioni ortogonali	< 2 %	<5 %
	Scarto fra dimensioni di monitor multipli	<2%	n.a.
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì	
	Prova di Stato	Sì	
	Prova di Costanza	LCD: No CRT: Annuale	
<i>Materiale</i>	Immagine di test TG18-QC, metro		
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2], IEC 62563-1 [7], EUREF [3]		

Tabella 5.4 Valutazione quantitativa delle distorsioni geometriche del sistema di visualizzazione

## 5.4 Risposta di luminanza massima e minima: valutazione quantitativa

I valori  $L_{\max}$  e  $L_{\min}$  devono essere misurati con un sensore di luminanza a contatto o a distanza, dove nel secondo caso si tiene conto del contributo dell'illuminamento ambientale. In Tabella 5.5 sono riportati i limiti di accettabilità, la frequenza, i materiali e i riferimenti per la misura della risposta in luminanza.

Valgono le seguenti relazioni:

$$L'_{\max} = L_{\max} + L_{\text{amb}}$$

$$L'_{\min} = L_{\min} + L_{\text{amb}}$$

$$r' = L'_{\max} / L'_{\min} \text{ con } r' \text{ rapporto di luminanza}$$

Come obiettivo di qualità dovrebbe risultare  $L_{\text{amb}} \leq 0.25 L_{\min}$  (o  $L_{\text{amb}} \leq 0.20 L'_{\min}$ ) (vedere anche paragrafo 6.5.2).

<i>Limiti di accettabilità</i>	<p>Il valore assoluto dello scarto relativo fra il valore di luminanza massima impostato (<math>L_{\max}</math> o <math>L'_{\max}</math>) e il valore misurato deve essere inferiore al 10%. Il valore assoluto della differenza fra il valore di luminanza minima impostato (<math>L_{\min}</math> o <math>L'_{\min}</math>) e il valore misurato deve essere inferiore a 0.25 cd/m<sup>2</sup> (livello di qualità) o 0.5 cd/m<sup>2</sup> (livello di tolleranza). Gli stessi criteri si adottano per lo scarto fra il valore letto dall'eventuale sensore di luminanza integrato nel monitor e il valore misurato.</p>	
	<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>
Luminanza massima $L_{\max}$	$\geq 170$ cd/m <sup>2</sup> (*)	$\geq 100$ cd/m <sup>2</sup>
Rapporto di luminanza $r' = L'_{\max} / L'_{\min}$	$\geq 250$	$\geq 100$
<p>(*) per monitor a colori per i quali questo criterio non sia applicabile, dovrebbe essere valido comunque il criterio su <math>r'</math></p>		
<p>La differenza fra le luminanze massime dei monitor appartenenti alla stessa stazione di refertazione deve essere inferiore al 10%. Per stazioni di refertazione mammografiche tale limite è del 5%.</p>		
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì
	Prova di Stato	Sì
	Prova di Costanza	Annuale ** Semestrale per monitor mammografici **
<p>** con misura di <math>L_{\max}</math> giornaliera se il sistema dispone di applicativi per la gestione automatica di tale misura. Se il sistema non dispone di applicativi per la gestione automatica della misura di luminanza, la frequenza del controllo deve essere semestrale (trimestrale per i monitor mammografici).</p>		
<i>Materiale</i>	<p>Immagini test TG18-LN-01, TG18-LN-12, TG18-GQB Fotometro con sensore di luminanza e illuminamento, metro</p>	
<i>Riferimenti</i>	<p>AAPM-TG18 [2], IEC 62563-1 [7], EUREF [3]</p>	

Tabella 5.5 Valutazione quantitativa delle risposta in luminanza

L'immagine test da utilizzare per la misura di  $L_{\max}$  è il TG18-LN-18, la cui versione ad esempio a 12 bit ha una ROI centrale con valore digitale pari a 4080 (WC = 2040 e WW = 4080), o TG18-GQB che ha una ROI centrale con il massimo valore digitale possibile pari a 4095 per la versione a 12 bit (WC = 2048 e WW =

4096). L'immagine test da utilizzare per la misura di  $L_{\min}$  è il TG18-LN12-01 che ha una ROI centrale con il minimo valore digitale possibile (pari a 0).

I valori di luminanza devono essere confrontati con quanto impostato in fase di calibrazione (con l'eventuale contributo di  $L_{\text{amb}}$  se del caso) e con quanto misurato dal sensore di luminanza integrato se presente.

In Figura 5.3 sono riportate le immagini di test da utilizzare per la misura di  $L_{\max}$  e  $L_{\min}$ .



Figura 5.3 Immagini di test per la misura di  $L_{\max}$  e  $L_{\min}$

## 5.5 Conformità alla GSDF e valutazione della risposta in luminanza

La verifica della conformità alla curva GSDF viene effettuata dopo che i valori di  $L_{\max}$  e  $L_{\min}$  sono stati impostati e/o verificati e il sistema di visualizzazione è stato calibrato secondo lo standard DICOM [2][6][9].

### □ 5.5.1 Conformità alla GSDF: valutazione quantitativa

Il test viene eseguito misurando i valori di luminanza  $L'(p) = L(p) + L_{\text{amb}}$  prodotti da un insieme di immagini di test con valori noti e proporzionalmente crescenti di *presentation value (P-Values)*.

La luminanza deve essere misurata al centro delle immagini, visualizzate a schermo intero, del subset TG18-LN12 da 0 a 18 per la classe a 12 bit e TG18-LN8 da 0 a 18 per la classe a 8 bit (Figura 5.4).

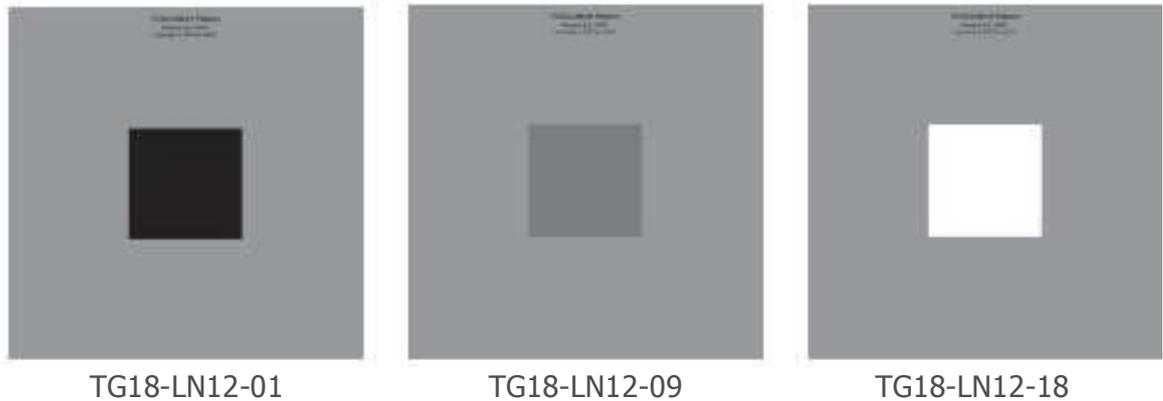


Figura 5.4 Esempi di immagini test per la misura della luminanza al variare del valore digitale dell'immagine

In caso di misura con sensore di luminanza a contatto,  $L_{amb}$  deve essere misurata o stimata in modo indipendente.

A partire dalla definizione di GSDF e dai valori di  $L'_{max}$  e  $L'_{min}$  si devono calcolare gli indici JND corrispondenti  $J_{max}$  e  $J_{min}$  e per ogni *P-Value*  $P_i$  delle immagini di test il corrispondente JND  $J_i$ . Gli indici dei JND corrispondenti ai valori intermedi di  $L'(p)$  devono essere uniformemente spazati nell'intervallo dei JND e legati linearmente ai valori di  $p$  attraverso la relazione:

$$J_i = J_{min} + \frac{P_i(J_{max} - J_{min})}{\Delta P}$$

dove  $\Delta P$  è l'intervallo dei *P-Values* (ad esempio 256 o 4096 *P-Values*) e  $i = 0, \dots, 18$ . Dai singoli  $J_i$  si risale infine al valore di luminanza atteso [2][9].

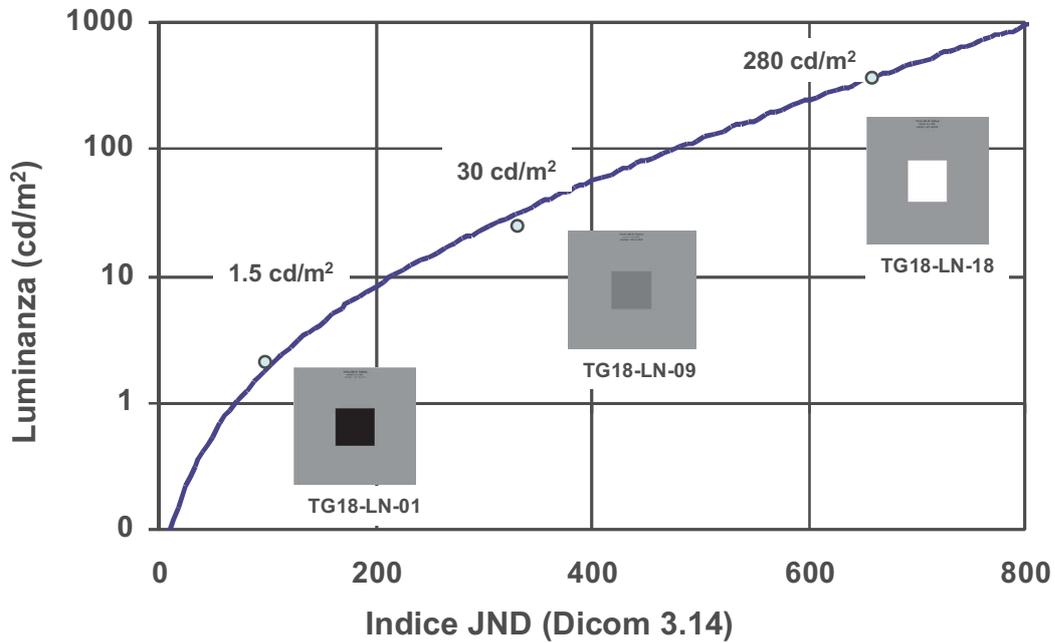


Figura 5.5 Esempio della risposta in luminanza di un monitor utilizzando i test pattern della serie AAPM TG18-LN

La valutazione della conformità alla GSDF viene effettuata in termini di risposta in contrasto  $\delta_i$  :

$$\delta_i = \frac{2(L'_i - L'_{i-1})}{(L'_i + L'_{i-1})(J_i - J_{i-1})} @ 0.5(J_i + J_{i-1})$$

in funzione del valor medio di due indici JND consecutivi (Figura 5.6).

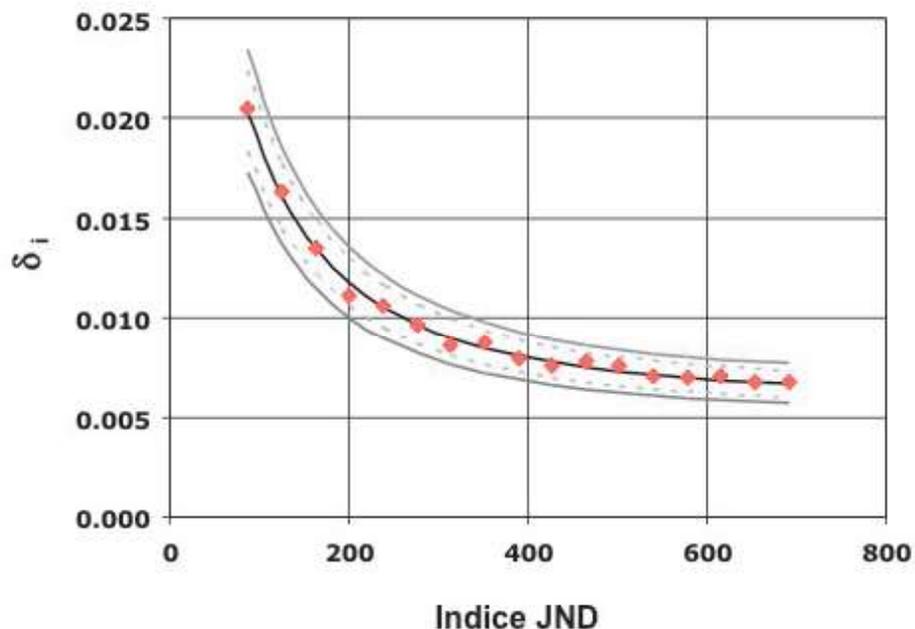


Figura 5.6 Esempio di curva di contrasto in luminanza misurato e atteso in relazione alla calibrazione GSDF. Sono rappresentate anche le curve di tolleranza al 10% e 15%

Viene definito un indice di scarto massimo  $k_{\delta} = \text{Max}(|\delta_i - \delta_i^d|)$ .

Per ogni valore misurato il valore assoluto dello scarto fra il valore di contrasto misurato  $\delta_i^d$  e quello atteso  $\delta_i$  deve essere inferiore al 15%. In Tabella 5.6 sono riportati i limiti di accettabilità, la frequenza, i materiali e i riferimenti per la misura di conformità alla GSDF.

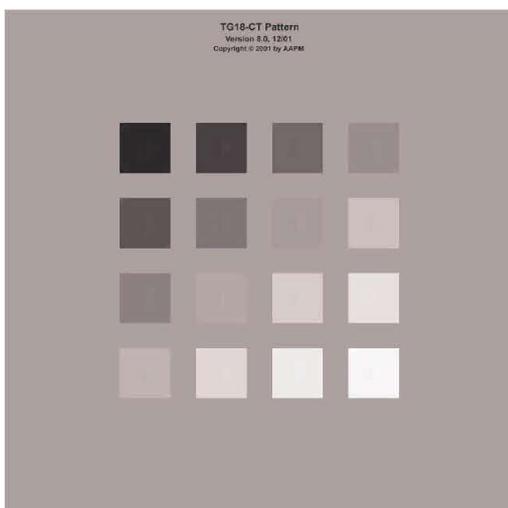
### □ 5.5.2 Conformità alla GSDF: valutazione qualitativa

Il sistema visivo umano percepisce la luminanza in modo non-lineare. Idealmente la rappresentazione dei valori digitali di un'immagine su un sistema di visualizzazione, in termini di valori di luminanza, dovrebbe seguire questa non-linearità in modo tale che a parità di incremento del valore digitale dell'informazione contenuta nell'immagine siano percepiti uguali incrementi di contrasto. La risposta secondo la GSDF serve appunto a linearizzare tale risposta percettiva.

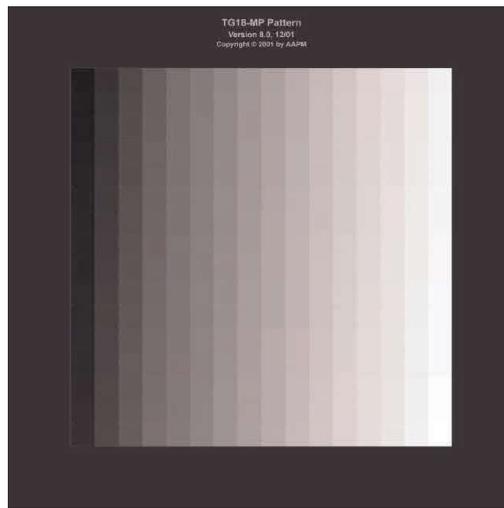
La valutazione qualitativa della conformità alla GSDF può essere effettuata utilizzando l'immagine di test TG18-CT (Figura 5.7), che deve essere analizzata da una distanza di 30 cm.

<i>Limiti di accettabilità</i>	Si considera il valore assoluto dello scarto massimo $k_s$ fra il valore di contrasto atteso $\delta_i^d$ e quello misurato $\delta_i$ per le 18 immagini di test									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><i>Monitor primari</i></th> <th><i>Monitor secondari</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Scarto massimo fra il contrasto misurato e il contrasto atteso</td> <td>&lt; 15 %</td> <td>&lt; 30 %</td> </tr> <tr> <td><math>k_s = \text{Max}( \delta_i - \delta_i^d )</math></td> <td>&lt; 10 % (mammografici)</td> <td>&lt; 20 % (mammografici)</td> </tr> </tbody> </table>		<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>	Scarto massimo fra il contrasto misurato e il contrasto atteso	< 15 %	< 30 %	$k_s = \text{Max}( \delta_i - \delta_i^d )$	< 10 % (mammografici)
	<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>								
Scarto massimo fra il contrasto misurato e il contrasto atteso	< 15 %	< 30 %								
$k_s = \text{Max}( \delta_i - \delta_i^d )$	< 10 % (mammografici)	< 20 % (mammografici)								
Frequenza	Prova di Accettazione	Sì								
	Prova di Stato	Sì								
	Prova di Costanza	Annuale*								
* con controllo automatico mensile e con una calibrazione semestrale se il sistema dispone di applicativi per la gestione automatica di tale misura										
Materiale	Immagini test TG18-LN12-01,.... TG18-LN12-01 Misuratore di luminanza e illuminamento, metro									
Riferimenti	AAPM-TG18 [2], IEC 62563-1 [7], EUREF [3]									

Tabella 5.6 Valutazione quantitativa della conformità alla GSDF



TG18-CT



TG18-MP

Figura 5.7 Immagini test per la valutazione qualitativa della risposta in luminanza

Tale test non permette di valutare in senso stretto la conformità alla GSDF, ma soltanto se viene sempre percepito dall'osservatore un contrasto in presenza di una variazione di P-Value che corrisponde ad una variazione di JND.

Dopo aver visualizzato l'immagine di prova TG18-CT, bisogna assicurarsi della completa visibilità delle mezze lune al centro di ognuno dei 16 quadrati a diversa luminanza, e dei quattro particolari a basso contrasto presenti agli angoli di ogni quadrato.

### □ 5.5.3 Valutazione visiva della risposta in luminanza: profondità di digitalizzazione

L'immagine TG18-MP (Figura 5.7), che deve essere analizzata da una distanza di 30 cm, permette di verificare la profondità di bit del sistema di visualizzazione (scheda grafica, software di gestione della presentazione dell'immagine, monitor). Nel caso dell'immagine di prova TG18-MP bisogna accertarsi che la variazione di contrasto percepito all'interno di ciascuna delle 16 colonne verticali avvenga al massimo con un passo pari a quello indicato dai marker più lunghi (8 bit).

## 5.6 Uniformità della luminanza

---

L'uniformità della luminanza viene valutata misurando la massima variazione della luminanza quando un'immagine di prova uniforme è visualizzata sullo schermo. Poiché il sistema visivo umano non è molto sensibile alle basse frequenze spaziali (inferiori a  $1 \text{ cm}^{-1}$ ) una graduale disomogeneità che si estende attraverso tutta la superficie del monitor non comporta problemi diagnostici a meno che non sia eccessivamente pronunciata. Disomogeneità a scala inferiore sono più significative e non dovrebbero essere visibili quando viene guardata un'immagine di test uniforme.

Questo test si riferisce alla valutazione della uniformità a grande scala spaziale, su ROI delle dimensioni dell'ordine dei centimetri, mentre la valutazione su scale spaziali inferiori al centimetro rientra nel test di valutazione dei difetti fisici (Paragrafo 5.2) e del rumore (Paragrafo 5.7).

### □ 5.6.1 Valutazione qualitativa

La valutazione qualitativa consiste nel visualizzare le immagini di test TG18-UN10 (PV pari al 10% del valore massimo) e TG18-UN80 (PV pari al 80% del valore massimo) e verificare, da una distanza di circa 30 cm, che non siano visibili evidenti disomogeneità di luminanza su dimensioni spaziali dell'ordine del centimetro o superiori.

L'analisi deve essere effettuata partendo dal centro verso la periferia dello schermo.

<i>Limiti di accettabilità</i>	Non devono essere visibili disomogeneità su scale spaziali dell'ordine del centimetro o superiori.	
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì
	Prova di Stato	Sì
	Prova di Costanza	Annuale
<i>Materiale</i>	Immagini test TG18-UN10, TG18-UN80 Metro	
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2], IEC 62563-1 [7]	

Tabella 5.7 Valutazione qualitativa della uniformità della luminanza

### □ 5.6.2 Valutazione quantitativa

Viene misurata la luminanza in corrispondenza di una ROI centrale e delle 4 ROI laterali delle immagini di test TG18-UNL10 e TG18-UNL80 (Figura 5.8). Per ciascun insieme di 5 misure si considerano i valori di luminanza massimo ( $L_{MAX}$ ) e minimo ( $L_{MIN}$ ) ottenuti.

L'indice percentuale  $D$  che esprime la disomogeneità della luminanza, a grande scala spaziale, è calcolato per ogni monitor come la differenza fra il valore massimo e minimo di luminanza diviso la loro media:

$$D = \frac{(L_{MAX} - L_{MIN})}{\frac{(L_{MAX} + L_{MIN})}{2}} * 100$$

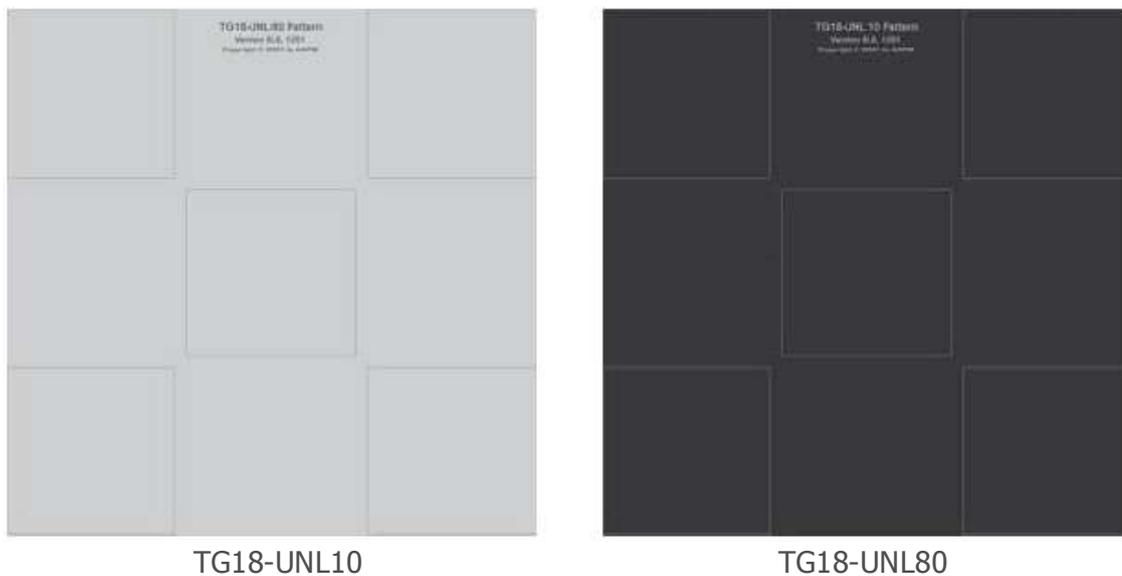


Figura 5.8 Immagini test per la valutazione quantitativa dell'uniformità

In Tabella 5.8 sono riportati i limiti di accettabilità, la frequenza, i materiali e i riferimenti per la misura della uniformità della luminanza.

<i>Limiti di accettabilità</i>		<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>
	$D = \frac{(L_{MAX} - L_{MIN})}{\frac{(L_{MAX} + L_{MIN})}{2}} * 100$	< 30 % (<20% valore auspicabile)	< 30 % (<20% valore auspicabile)
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì	
	Prova di Stato	Sì	
	Prova di Costanza	Annuale	
<i>Materiale</i>	Immagini test TG18-UNL10, TG18-UNL80 Misuratore di luminanza, metro		
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2], IEC 62563-1 [7], EUREF [3]		

Tabella 5.8 Valutazione quantitativa della uniformità della luminanza

## 5.7 Rumore del dispositivo di visualizzazione: valutazione qualitativa

La rivelabilità di dettagli piccoli o a basso contrasto dipende non solo dalla loro dimensione e contrasto e dal rumore intrinseco dell'immagine digitale, ma anche dal rumore introdotto dal sistema di visualizzazione. Per gli scopi di questo protocollo il rumore è definito come ogni fluttuazione di luminanza indesiderata che possa influire sulla rivelazione del segnale originario e che avvenga su scale spaziali inferiori al centimetro.

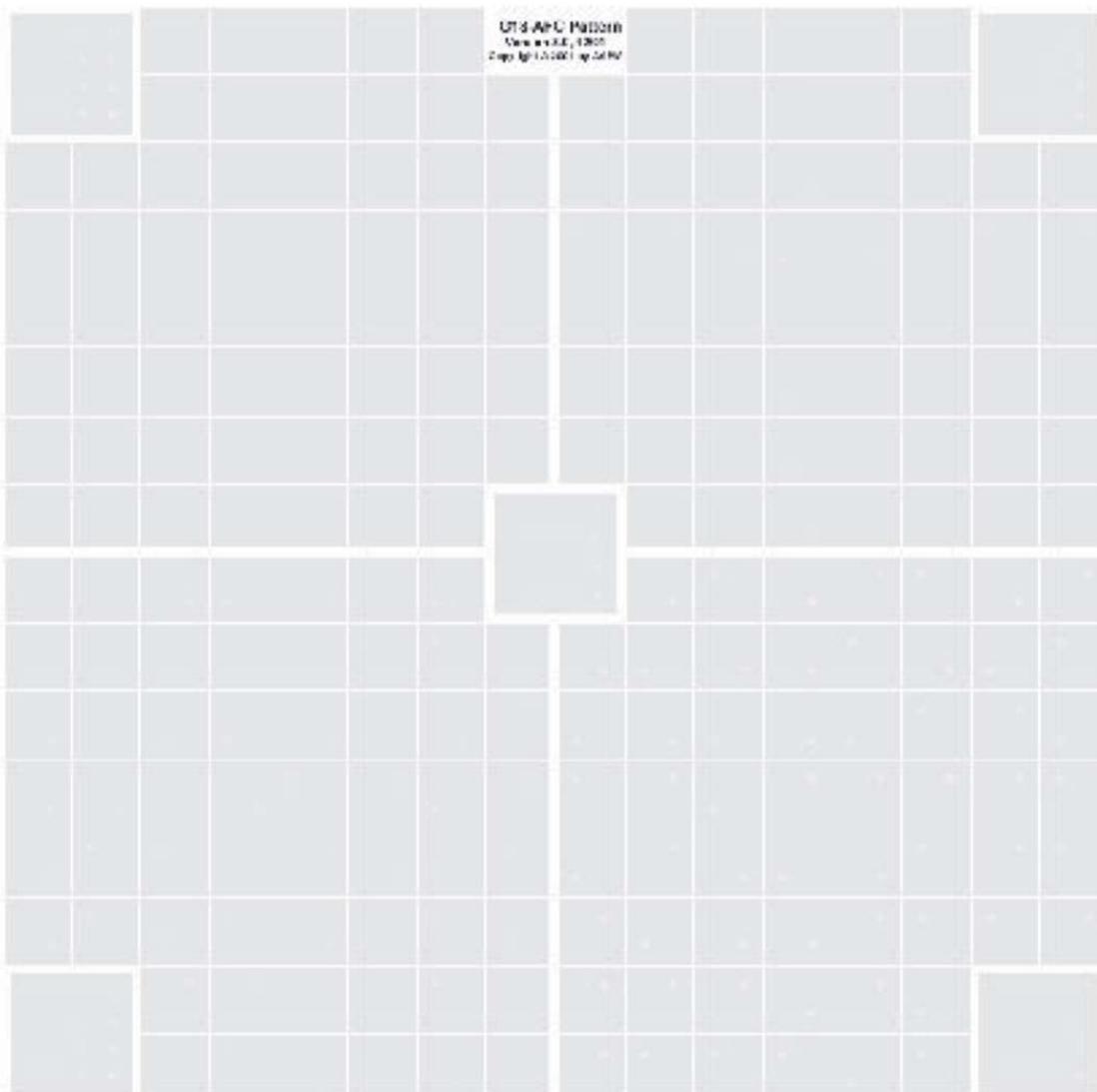


Figura 5.9 Immagine di test TG18-AFC per la valutazione qualitativa del rumore

Il protocollo prevede di effettuare solo una valutazione qualitativa del rumore del sistema di visualizzazione in fase di controllo di qualità di accettazione o di stato.

La valutazione qualitativa del rumore spaziale di un monitor viene effettuata per mezzo dell'immagine di test TG18-AFC (Figura 5.9) andando a cercare i dettagli con minime differenze di luminanza percepibili in funzione delle loro dimensioni, da una distanza di 30 cm. L'immagine di test è divisa in quattro quadranti e contiene 5 ROI più piccole ai vertici e al centro.

I dettagli sono posizionati in maniera variabile nei quattro angoli dei riquadri in ciascun quadrante per cui la valutazione si basa su un tipico esperimento di percezione a quattro possibilità. Nelle ROI ai quattro angoli dell'immagine i 16 dettagli a contrasto variabile sono invece disposti in modo regolare.

Per monitor primari devono essere visibili tutti i dettagli in tre quadranti ad eccezione di quello con i dettagli più piccoli e devono essere visibili almeno 15 dei 16 dettagli nelle ROI ai quattro angoli. Per monitor secondari devono essere visibili tutti i dettagli nei due quadranti in basso.

In Tabella 5.9 sono riportati i limiti di accettabilità, la frequenza, i materiali e i riferimenti per la valutazione del rumore del dispositivo di visualizzazione.

Limiti di accettabilità		<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>
	Quadranti con tutti i dettagli visibili	≥ 3	≥ 2
	Numero dettagli visibili nelle ROI ai vertici	≥ 15	n.p.
Frequenza	Prova di Accettazione	Sì	
	Prova di Stato	Sì	
	Prova di Costanza	Annuale	
Materiale	Immagine test TG18-AFC Metro		
Riferimenti	AAPM-TG18 [2]		

Tabella 5.9 Valutazione qualitativa del rumore del dispositivo di visualizzazione

## 5.8 Dipendenza della luminanza dall'angolo di visione

Scopo del test è valutare l'influenza dell'angolo di visualizzazione sul contrasto in luminanza, per diverse luminanze di sfondo. Tale test è opportuno per superfici con emissione non-Lambertiana (esempio LCD), mentre è meno utile per superfici con emissione Lambertiana (esempio CRT). I dispositivi di visualizzazione, per le loro caratteristiche costruttive, presentano una luminanza, un contrasto e una cromaticità, che dipendono dall'angolo di visione, ovvero in funzione della direzione di visione rispetto alla normale della superficie emissiva (angolo lungo la direzione orizzontale o verticale) [2]. Un esempio di variazione del rapporto di contrasto con l'angolo di visione è riportato in Figura 5.10.

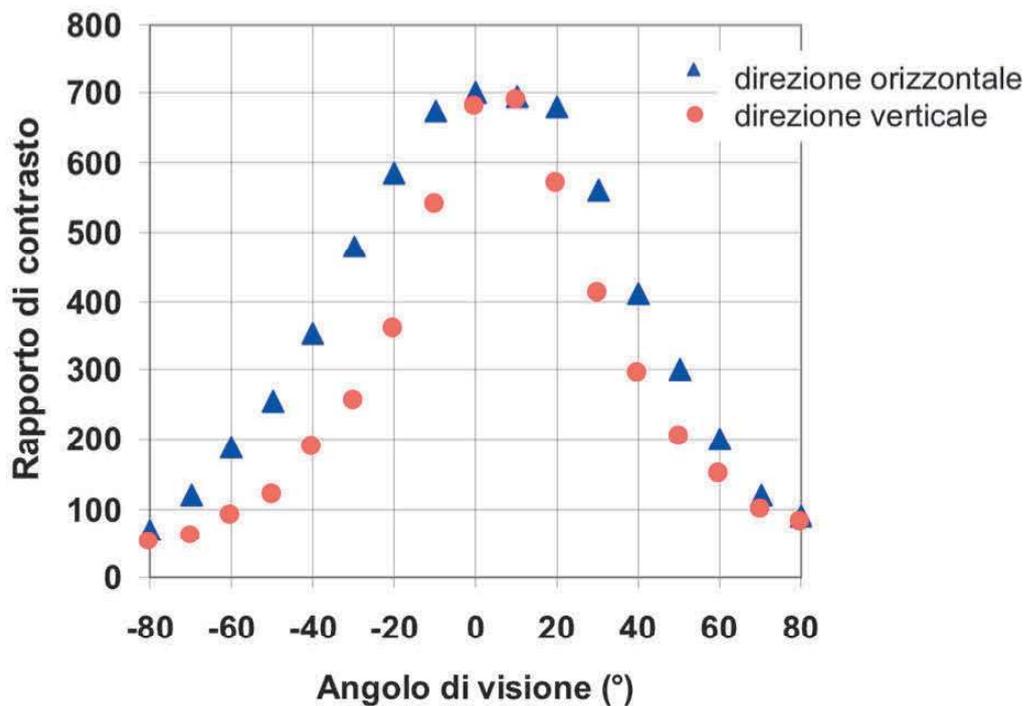


Figura 5.10 Grafico del rapporto di contrasto in funzione dell'angolo di visione [20]

### □ 5.8.1 Valutazione qualitativa

L'immagine di test da visualizzare ed analizzare da una distanza di 30 cm è TG18-CT (Figura 5.11). La procedura operativa consiste nel misurare l'apertura-

ra angolare del cono, a partire dalla normale allo schermo centrata su un dettaglio, oltre la quale uno qualsiasi dei dettagli a basso contrasto al centro dei quadrati diventa invisibile.

L'angolo di vista massimo che consente la visione di tutti i dettagli attraverso la valutazione visiva del test pattern TG18-CT deve coincidere con quanto riportato dal costruttore del dispositivo di visualizzazione.

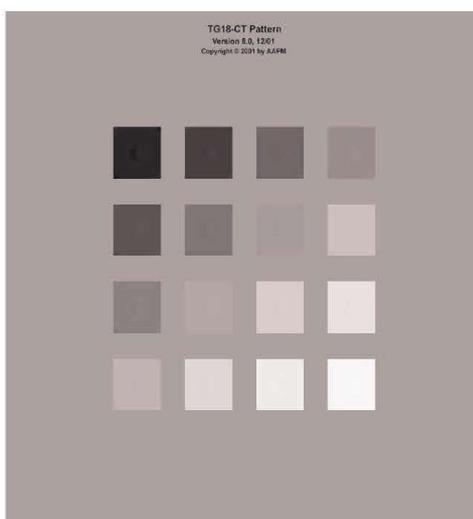


Figura 5.11 Immagine di test TG18-CT

In Tabella 5.10 sono riportati i limiti di accettabilità, la frequenza, i materiali e i riferimenti per la valutazione della dipendenza della luminanza dall'angolo di visione.

<i>Limiti di accettabilità</i>	La dipendenza angolare della luminanza deve essere in accordo con quanto dichiarato dal costruttore	
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì
	Prova di Stato	Sì
	Prova di Costanza	No
<i>Materiale</i>	Immagine test TG18-CT Metro, goniometro	
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2], IEC 62563-1 [7]	

Tabella 5.10 Valutazione qualitativa della dipendenza della luminanza dall'angolo di visione

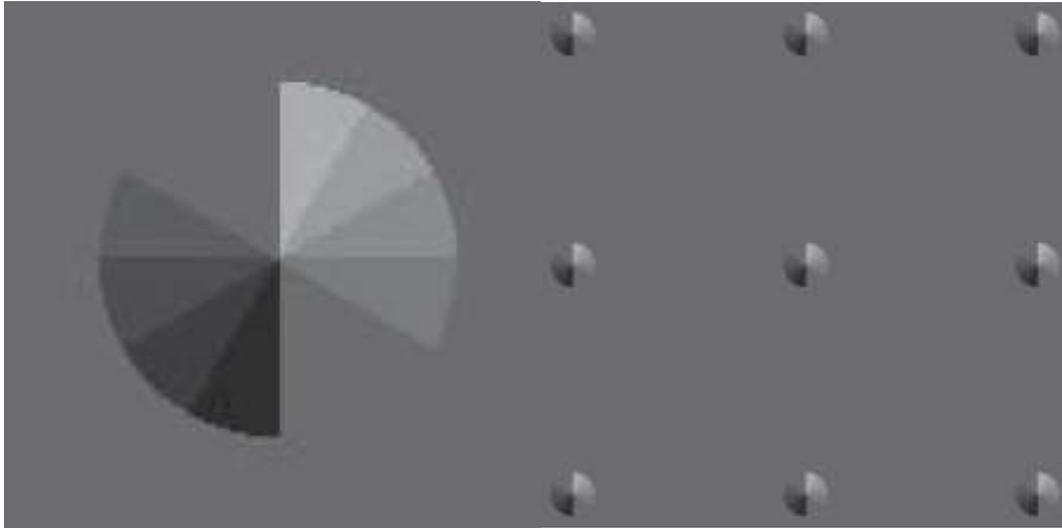


Figura 5.12 Immagine di test IEC - ANG

**NOTA:**

IEC propone un'immagine di test (denominata ANG) da visualizzare ed analizzare da una distanza di 30 cm per la valutazione dell'effetto dell'angolo di visione all'interno della superficie emissiva. L'osservatore deve posizionarsi in modo da avere una direzione di vista ortogonale rispetto alla superficie del monitor e con visione centrata su di esso. Il test consiste nel misurare il rapporto fra gli spicchi visibili in ciascun cerchio periferico rispetto a quelli visibili nel cerchio al centro. La misura non permette un confronto diretto sulla valutazione dell'angolo di visione con quanto riportato dal costruttore, ma solo l'effetto dell'angolo di visione sulla rivelabilità di dettagli periferici per un osservatore posizionato centralmente.

## 5.9 Veiling Glare

La diffusione di luce all'interno dei dispositivi di visualizzazione produce una luminanza diffusa che altera la distribuzione di luminanza intrinseca dell'immagine. Tale effetto è legato solo alle proprietà intrinseche del monitor e dell'immagine visualizzata, a differenza della riflessione che dipende anche dalle condizioni di illuminamento ambientale. Nei monitor CRT monocromatici i principali contributi al *veiling glare* sono dovuti alle riflessioni interne

degli elettroni sullo strato di alluminio interno, la generazione di elettroni secondari negli strati di fosforo e alluminio e la diffusione di luce nel vetro dello schermo. Nei monitor CRT a colori il contributo principale è legato alla retrodiffusione di elettroni da parte dei bordi delle strutture deputate alla resa cromatica. Nei monitor LCD domina la diffusione locale nello spessore dello schermo.

L'effetto del *veiling glare* è quello di ridurre il contrasto percepibile, in modo maggiore nelle regioni più scure dell'immagine (Figura 5.13).

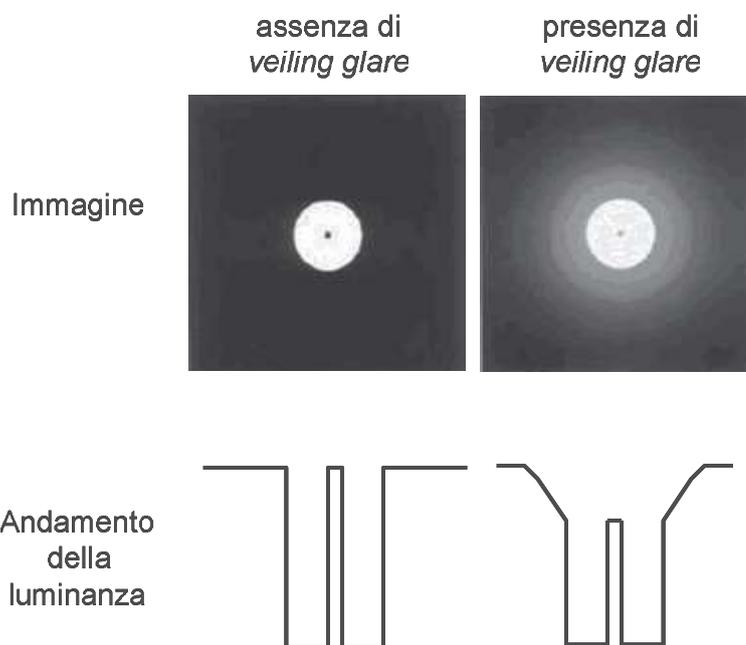


Figura 5.13 Effetto del *veiling glare*

Poiché il fenomeno del *veiling glare* è legato essenzialmente alla tecnologia costruttiva del monitor può risultare sufficiente valutarlo solo per ogni tipo di modello di monitor a disposizione in fase di accettazione. Durante le prove di costanza questo test non è necessario se non si sospettano effetti di degrado della struttura dello schermo.

Il *veiling glare* viene quantificato utilizzando un'immagine di test con una regione centrale scura circondata da una regione ad elevata luminanza.

### □ 5.9.1 Valutazione qualitativa

La valutazione qualitativa prevede l'analisi di due immagini di test in cui al centro si trova la stessa serie di dettagli a basso contrasto. In una di queste (TG18-GVN) lo sfondo è a luminanza minima mentre l'altra immagine (TG18-GV) presenta intorno, in un'area circolare, un fondo a luminanza massima con la possibilità quindi di creare l'effetto del *veiling glare*. L'immagine TG18-GV deve essere visualizzata in modo che la regione circolare bianca abbia un diametro di 20 cm.

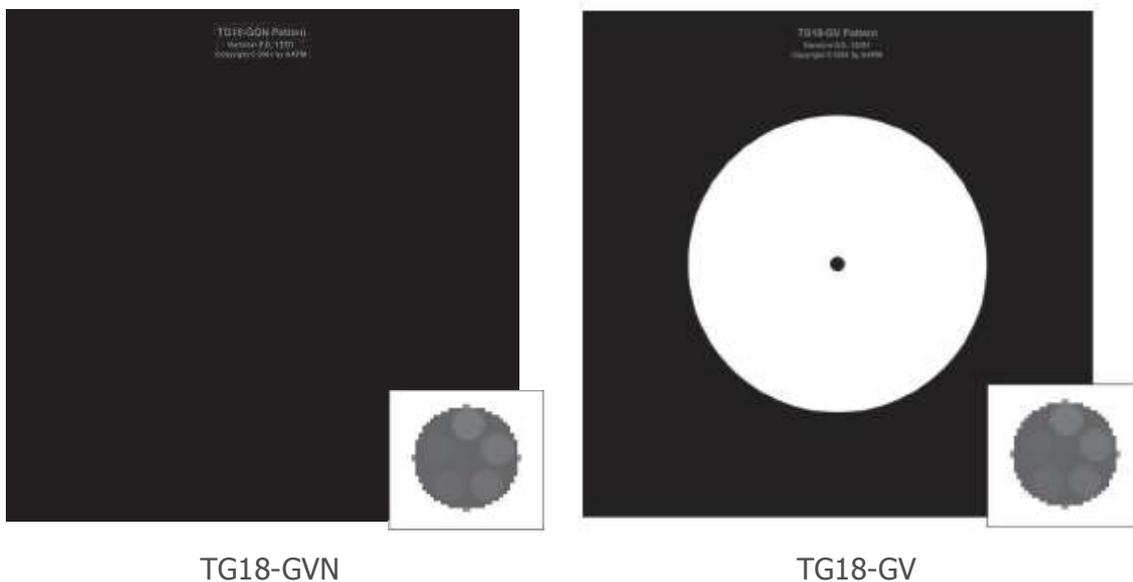


Figura 5.14 Immagini di test per la valutazione qualitativa dell'effetto *veiling glare*

Per la valutazione del numero di dettagli a basso contrasto percepibili nell'immagine di test TG18-GV è necessario schermare completamente l'occhio dalla luce emessa dalla regione brillante e sue eventuali riflessioni; questo perché il sistema visivo umano subisce un adattamento diverso al passaggio da uno sfondo a bassa luminanza ad uno ad alta luminanza.

Una soluzione possibile è quella di procurarsi uno schermo opaco che copra interamente la superficie radiante del monitor ad eccezione del disco centrale del diametro di 10 mm in corrispondenza delle strutture a basso contrasto centrali. In alternativa è possibile utilizzare un foglio nero avvolto a forma di tronco di cono con l'apertura minore appoggiata sullo schermo e combaciante con il disco centrale dell'immagine.

Il test consiste nel contare i dettagli centrali visibili nel TG18-GVN e successivamente nel TG18-GV con la regione bianca schermata. Non devono essere visibili significative riduzioni nel contrasto osservato nei due casi. Nel caso di dispositivi di visualizzazione primari devono essere visibili almeno 3 dettagli, per i secondari almeno 1. In Tabella 5.11 sono riportati i limiti di accettabilità, la frequenza, i materiali e i riferimenti per la valutazione qualitativa dell'effetto del *veiling glare*.

<i>Limiti di accettabilità</i>	Non devono essere visibili significative riduzioni nel contrasto osservato nei due casi	
	<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>
	Numero di dettagli visibili	$\geq 3$
		$\geq 1$
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì
	Prova di Stato	Sì
	Prova di Costanza	No
<i>Materiale</i>	Immagini test TG18-GV, TG18-GVN Schermatura delle dimensioni del monitor con foro centrale del diametro di 10 mm	
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2]	

Tabella 5.11 Valutazione qualitativa dell'effetto del *veiling glare*

## 5.10 Pixel difettosi

La valutazione del numero di pixel difettosi si applica solo ai dispositivi di visualizzazione basati su matrice attiva. I pixel difettosi sono classificati in tre classi in base al loro comportamento (norma IEC 62563-1 [7]):

tipo A: sub-pixel normalmente in stato di luminanza massima

tipo B: sub-pixel normalmente in stato di luminanza minima

tipo C: sub-pixel non funzionante correttamente il cui comportamento non sia quello di tipo A o tipo B.

Per quanto riguarda la loro distribuzione sulla superficie dello schermo si definisce "cluster" l'insieme di due o più pixel difettosi che rientrano in una ROI di 5x5 pixels.

I difetti di tipo A devono essere contati usando l'immagine test TG18-UN10 o comunque un'immagine uniforme con il valore digitale minimo (pari a 0).

I difetti di tipo B devono essere contati usando l'immagine test TG18-UN80 o comunque un'immagine uniforme con il valore digitale massimo.

I difetti di tipo C devono essere contati usando le immagini di test TG18-UN10 e TG18-UN80.

È opportuno registrare, oltre al numero di pixel difettosi, anche le zone in cui si trovano.

Le definizioni e tolleranze descritte per i pixel difettosi possono essere applicate anche per la valutazione di piccoli difetti della superficie del monitor (graffi, macchie indelebili).

#### Limiti di accettabilità

La norma IEC 62563-1 [7] propone a titolo indicativo alcuni valori di accettabilità per i monitor primari, riportati in Tabella 5.12.

Tipo monitor	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Cluster con più di un difetto di tipo A, B o C
Primario 3 MP	1	1	2	0

Tabella 5.12 Tolleranze riportate come esempio in appendice della norma IEC 62563-1 [7]

In ogni caso il numero di pixel difettosi deve essere in accordo con quanto dichiarato dal costruttore.

<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì
	Prova di Stato	Sì
	Prova di Costanza	Annuale
<i>Materiale</i>	Immagini test TG18-UN10 e TG18-UN80	
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2], IEC 62563-1 [7]	

Tabella 5.13 Valutazione dei *pixel* difettosi

Per completezza si riporta anche la classificazione dei difetti secondo la norma ISO 13406-2 [11]) (Figura 5.15) :

tipo 1: pixel normalmente in stato di luminosità massima

tipo 2: pixel normalmente in stato di luminosità minima

tipo 3: pixel o subpixel non funzionante correttamente il cui comportamento non sia quello di tipo 1 o tipo 2

"cluster" : insieme di due o più pixel o subpixel difettosi che rientrano in una ROI di 5x5 pixel sulla superficie dello schermo.

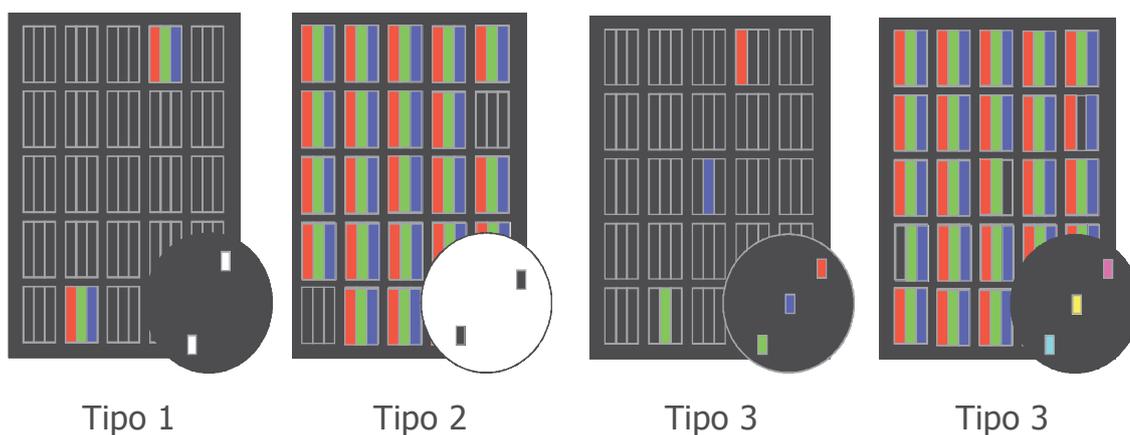


Figura 5.15 Tipologia di difetti dei pixel dei monitor LCD (classificazione norma ISO 13406-2 [11] )

I difetti di tipo 1 devono essere contati usando l'immagine test TG18-UN10 o una immagine uniforme con il valore digitale minimo (pari a 0).

I difetti di tipo 2 devono essere contati usando l'immagine test TG18-UN80 o una immagine uniforme con il valore digitale massimo.

I difetti di tipo 3 e i "cluster" devono essere contati usando le immagini di test TG18-UN10 e TG18-UN80.

La norma ISO13406-2 [11] definisce quattro classi di monitor relativamente al numero massimo di pixel difettosi e al tipo di difetti.

I dispositivi di visualizzazione primari dovrebbero essere di classe II (idealmente di classe I, anche se quest'ultima specifica è virtualmente impossibile da realizzare ad oggi su scala industriale).

Massimo numero di difetti per tipo e per milione di pixel					
Classe monitor	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Cluster con più di un difetto di tipo 1 o tipo 2	Cluster con difetti di tipo 3
I	0	0	0	0	0
II	2	2	5	0	2
III	5	15	50	0	5
IV	50	150	500	5	50

Tabella 5.14 Classificazione dei monitor relativamente al numero massimo di pixel difettosi e al tipo di difetti in base alla norma ISO13406-2 [11]

## 5.11 Uniformità della cromaticità del sistema di visualizzazione

La valutazione dell'uniformità della cromaticità di un dispositivo di visualizzazione è utile per evidenziare eventuali disomogeneità delle coordinate cromatiche (vedere paragrafo 2.2.3 per la definizione delle coordinate cromatiche) sia all'interno di un singolo monitor che fra i monitor appartenenti ad una stessa stazione di visualizzazione.

La valutazione di tale parametro è importante anche nel caso di monitor monocromatici, nei quali il tono monocromatico di base è scelto in modo da simulare le pellicole di tipo "clear base" o "blue base".

### □ 5.11.1 Valutazione qualitativa

La valutazione qualitativa viene effettuata visualizzando sui monitor l'immagine di test TG18-UN80. Non devono essere visibili significative differenze di colore fra i monitor e all'interno della superficie di ogni singolo monitor (Tabella 5.15).



Figura 5.16 Immagine di test TG18-UN80 per la valutazione qualitativa dell'uniformità della luminanza, dell'uniformità della cromaticità e del flicker

<i>Limiti di accettabilità</i>	Non devono essere visibili significative differenze di colore fra i monitor e all'interno della superficie di ogni singolo monitor	
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì
	Prova di Stato	Sì
	Prova di Costanza	Annuale
<i>Materiale</i>	Immagine test TG18-UN80	
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2]	

Tabella 5.15 Valutazione qualitativa della cromaticità

## 5.12 Risoluzione spaziale

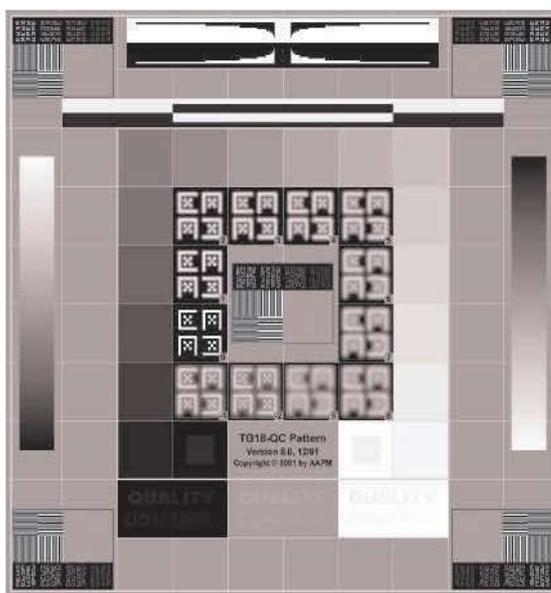
La risoluzione spaziale di un dispositivo per la visualizzazione delle immagini è legata alla capacità di rappresentare i dettagli spaziali di una immagine. Un monitor può degradare la risoluzione intrinseca contenuta nella matrice digitale dell'immagine anche nel caso di visualizzazione con rapporto 1:1 fra il numero di pixel originali e quelli rappresentati sullo schermo.

I fattori che contribuiscono a tale parametro sono molteplici. Nel caso di monitor LCD la risoluzione spaziale dipende non solo dall'estensione spaziale di ciascun pixel ma anche dalla sua struttura interna. A causa dei vari processi ottici ed elettronici che contribuiscono alla formazione dell'immagine, il "pattern" di luminanza prodotto da un solo pixel dello schermo può non coincidere con le dimensioni geometriche del pixel stesso. Per tale motivo può essere utile valutare la risoluzione spaziale del monitor senza assumere che coincida con le dimensioni fisiche del pixel.

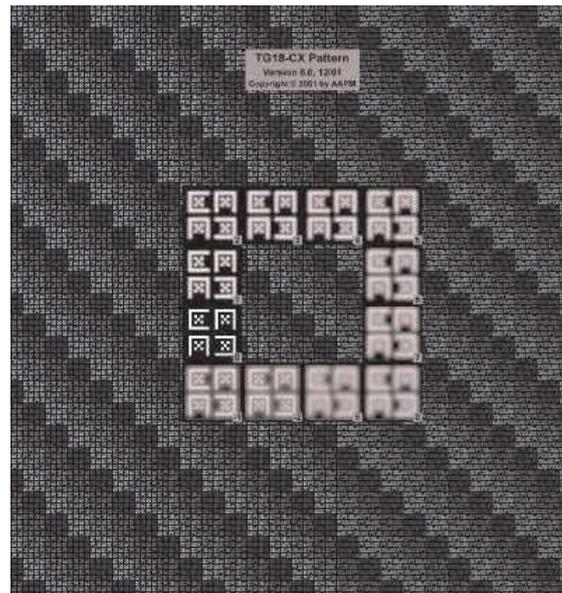
Considerazioni analoghe possono essere fatte per i monitor di tipo CRT, dove però la formazione dello *spot* luminoso del pixel viene guidata dalla focalizzazione del pennello elettronico.

### □ 5.12.1 Valutazione qualitativa

Per effettuare la valutazione qualitativa della risoluzione spaziale possono essere utilizzate le immagini di prova TG18-QC o TG18-CX (Figura 5.17) all'interno delle quali si deve valutare il grado di "sfumatura" dei dettagli cosiddetti "Cx". I pattern devono essere valutati utilizzando il software associato al dispositivo per la visualizzazione in modo tale che ogni pixel dell'immagine originaria corrisponda ad un pixel visualizzato su monitor (1:1 o zoom uguale a 1). Se necessario utilizzare una lente di ingrandimento per prescindere dal potere risolvante dell'occhio. Il modo in cui appaiono sfumati i dettagli "Cx" al centro e ai 4 angoli del TG18-QC o sulla superficie intera del monitor nel TG18-CX deve essere confrontato con i riferimenti al centro delle immagini di test e deve essere attribuito loro il punteggio indicato.



TG18-QC



TG18-CX

Figura 5.17 Immagine di test TG18-QC e TG18-CX per la valutazione qualitativa della risoluzione spaziale

Inoltre vi sono delle coppie di linee in orizzontale e verticale ai quattro angoli dello schermo, con spaziatura pari alla frequenza di Nyquist e alla sua metà, che devono essere valutate in termini di visibilità.

Nella valutazione visiva del test pattern TG18-QC o TG18-CX, gli elementi del

bersaglio "Cx" devono avere punteggi compresi fra 0 e 4, per i monitor primari, e fra 0 e 6 per monitor secondari. Per entrambe le classi di schermi le coppie di linee presenti nelle immagini di test devono risultare completamente visibili in ogni posizione e direzione previste dal test pattern.

<i>Limiti di accettabilità</i>		<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>
	Punteggio dei dettagli "Cx"	Fra 0 e 4	Fra 0 e 6
	Test a barre (coppie di linee)	Devono essere completamente visibili	
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì	
	Prova di Stato	Sì	
	Prova di Costanza	No	
<i>Materiale</i>	Immagini test TG18-QC, TG18-CX, TG18-PX Lente di ingrandimento		
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2]		

Tabella 5.16 Valutazione qualitativa della risoluzione spaziale



## 6

# Valutazioni di livello avanzato

Le misure o valutazioni di seguito descritte sono da intendersi facoltative, da effettuarsi solo per la valutazione comparativa delle prestazioni tecnologiche o per una più approfondita verifica delle prestazioni dei dispositivi dichiarate dalle ditte costruttrici.

In questo contesto non si ritiene necessario ripetere le misure su più monitor dello stesso tipo (medesima marca e modello) a meno non venga ravvisata una specifica necessità.

### 6.1 Dipendenza della luminanza dall'angolo di visione: valutazione quantitativa

Si valuta l'effetto dell'angolo di visualizzazione sulla luminanza per diversi valori di luminanza e sul rapporto di contrasto.

La dipendenza della luminanza al variare dell'angolo di visualizzazione deve essere valutata per diversi valori di luminanza. Si effettua puntando il fotometro al centro dello schermo ed eseguendo la misura in modo telescopico al variare dell'angolo formato fra fotometro e perpendicolare alla superficie dello schermo. Deve essere prestata attenzione nel misurare la stessa area dell'immagine durante le diverse posizioni angolari in modo che tale zona diventi idealmente il fulcro della rotazione. La luminanza ambientale deve essere ridotta al valore più basso possibile. I valori di luminanza da misurare sono  $L'_{\max}$ ,  $L'_{\min}$  ed una serie di valori intermedi. Dalle misure effettuate è possibile ricostruire la dipendenza angolare di  $r' = L'_{\max} / L'_{\min}$ .

La misura deve essere ripetuta lungo le direzioni principali della matrice di pixel del dispositivo di visualizzazione.

In Figura 6.1 è riportato un esempio della dipendenza del rapporto di contrasto dall'angolo di visione, misurato per diverse tipologie di monitor primari LCD [20].

<i>Limiti di accettabilità</i>	La dipendenza della luminanza e del rapporto di contrasto devono essere in accordo con quanto dichiarato dal costruttore.	
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	*
	Prova di Stato	No
	Prova di Costanza	No
* da effettuarsi, eventualmente, per ciascun modello di dispositivo di visualizzazione		
<i>Materiale</i>	Immagini test TG18-LN, metro o asticella con distanza di riferimento, goniometro	
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2], VESA FPDM [4]	

Tabella 6.1 Valutazione qualitativa della risoluzione spaziale

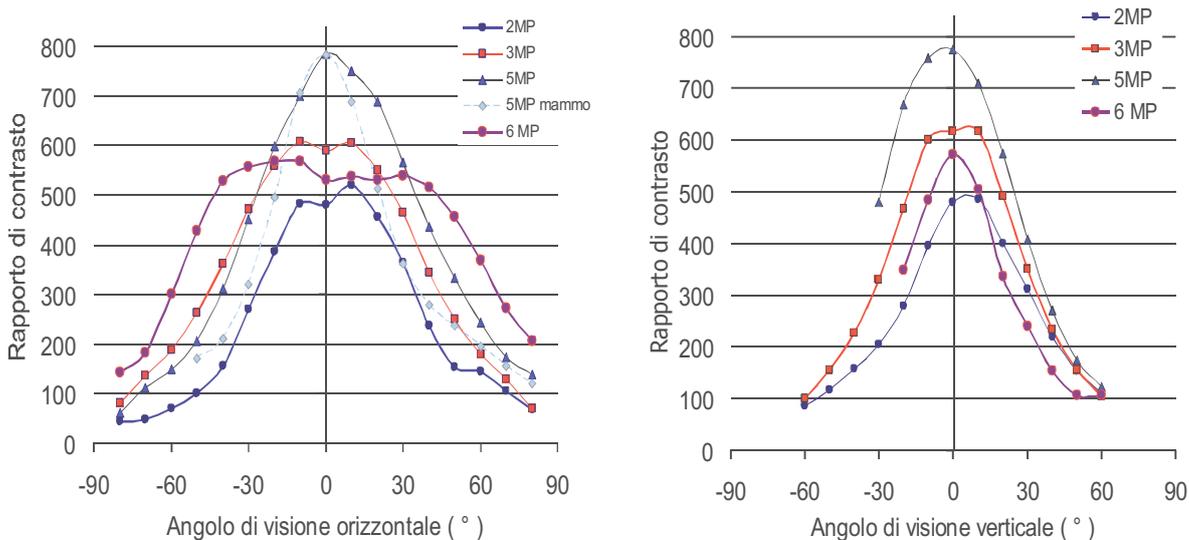


Figura 6.1 Dipendenza del rapporto di contrasto dall'angolo di visione [20]. Il modello 6 MP è dotato di tecnologia IPS-PRO

## 6.2 Veiling Glare: valutazione quantitativa

Per una trattazione generale del fenomeno del *veiling glare* si rimanda al paragrafo 5.9.

La valutazione quantitativa del *veiling glare* prevede inizialmente la misura del valore di luminanza massima e minima al centro di una ROI sufficientemente estesa da non poter essere influenzata dal *glare* dovuto alle regioni circostanti con luminanza diversa. A tal fine si utilizza la regione centrale dell'immagine test TG18-GQN per misurare la luminanza minima  $L_N$  e la regione centrale del TG18-GQB per la luminanza massima  $L_B$ . Successivamente si misura la luminanza minima  $L$  nella ROI nera centrale del TG18-GQ in condizioni affette dal fenomeno del *veiling glare* (Figura 6.2).

Il parametro che quantifica il *veiling glare* è il rapporto di glare GR:

$$GR = (L_B - L_N) / (L - L_N)$$

È importante verificare che le immagini siano visualizzate con le dimensioni corrette (il disco centrale delle immagini di test TG18-GQB e TG18-GQ deve avere diametro pari a 20 cm). Il sensore di luminanza, sia in modalità di misura a distanza che a contatto, deve essere collimato in corrispondenza del dettaglio centrale di 10 mm di diametro dell'immagine di test TG18-GQ, in modo tale da non risentire del contributo diretto delle regioni circostanti. A tal fine è utile realizzare uno schermo che copra l'intera superficie del monitor, dotato di un foro di 10 mm da posizionare in corrispondenza del dettaglio centrale delle immagini di test. Fra le tre misure in successione è necessario non spostare il sensore.

In generale si consiglia di effettuare le misure di cui sopra a contatto. In caso di misure a distanza, l'illuminamento ambientale deve essere al massimo di pochi lux.

Tale procedura è sufficientemente accurata per valutare il GR fino a valori dell'ordine delle centinaia. Per valori di GR superiori, una collimazione e schermatura più sofisticata dalla luce esterna risultano necessari [2].



Figura 6.2 Immagini di test per la valutazione quantitativa del *veiling glare*

Come criterio indicativo viene raccomandato un GR maggiore di 400 per sistemi di visualizzazione primari, e maggiore di 150 per sistemi di visualizzazioni secondari.

		<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>
<i>Limiti di accettabilità</i>	GR	≥ 400	≥ 150
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	*	
	Prova di Stato	No	
	Prova di Costanza	No	
	* da effettuarsi, eventualmente, per ciascun modello di dispositivo di visualizzazione		
<i>Materiale</i>	Immagini test TG18-GQN, TG18-GQB, TG18-GQ Schermatura delle dimensioni del monitor con foro centrale del diametro di 10 mm		
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2]		

Tabella 6.2 Valutazione quantitativa del *veiling glare*

### 6.3 Rumore del dispositivo di visualizzazione: valutazione quantitativa

Da un punto di vista quantitativo il rumore spaziale di un sistema di visualizzazione può essere quantificato, adottando metriche utilizzate anche per i sistemi

di rivelazione digitale, in termini di rapporto segnale/rumore della luminanza, in termini di Noise Power Spectrum (NPS) normalizzato o in termini di varianza del segnale temporale dei singoli pixel. Tutti i metodi si basano sull'acquisizione da parte di una telecamera di un'immagine uniforme visualizzata sul dispositivo (ad esempio la regione centrale dell'immagine di test TG18-NS). Per una trattazione più dettagliata sul tipo di test da effettuare si rimanda ad esempio al documento AAPM-TG18 [2].

La telecamera deve essere di tipo scientifico con digitalizzazione a 8-10bit, monocromatica e a basso rumore, accoppiata ad un obiettivo ad elevato *f-number* per ridurre il *veiling glare* nella telecamera. L'ingrandimento deve consentire un sovra-campionamento della superficie del monitor, fino ad un livello di circa 40 lp/grado [2]. Si può considerare un sovra-campionamento di circa 10-20 pixel della telecamera per pixel del monitor.

Deve essere nota o misurata la funzione di trasferimento fra valori di luminanza e segnale misurato dalla telecamera.

Le immagini acquisite devono inoltre essere corrette per il *flat field*, per eventuali differenze di guadagno della telecamera e deconvolute rispetto alla PSF del sistema di acquisizione ottico della telecamera. Per eliminare eventuali fluttuazioni temporali della luminanza, l'immagine deve essere acquisita con tempi di integrazione dell'ordine del secondo, in condizioni di illuminamento ambientale inferiore a 3 lux. Le immagini acquisite devono inoltre essere di tipo non compresso e i valori di pixel convertiti a valori di luminanza relativa se la funzione di trasferimento è non lineare (linearizzazione del segnale in luminanza).

Il NPS viene valutato su un set di immagini aventi tre valori diversi di luminanza dello sfondo (minimo, massimo e intermedio).

Utilizzando i marker presenti sull'immagine di test originale si deve risalire alla dimensione che il pixel reale del monitor ha nell'immagine ottica acquisita (calibrazione del pixel). La ROI centrale dell'immagine acquisita deve essere suddivisa in N ROI non sovrapposte di 128x128 o 256x256 pixel, che determinano l'intervallo di campionamento del NPS.

Si raccomanda di utilizzare almeno 20 ROI diverse per la valutazione del NPS, acquisendo diverse regioni dell'immagine test spostando la telecamera.

Successivamente deve essere effettuata la Fast Fourier Transform (FFT) bidimensionale su ognuna delle N ROI, calcolando il corrispondente NPS normalizzato (NNPS) e successivamente mediando gli N spettri NNPS acquisiti. Per NNPS si intende il NPS diviso il valore medio del segnale della ROI.

Il NPS medio ottenuto deve essere infine corretto per il rumore della telecamera. Nell'ipotesi che il rumore della telecamera e del monitor siano incorrelati, tale operazione può essere effettuata sottraendo al NPS dell'immagine test il NPS di immagini di buio della telecamera acquisite con lo stesso tempo di integrazione.

L'analisi del NPS può essere fatta ispezionando direttamente l'immagine dello spettro bidimensionale. È comunque più significativa e diretta una rappresentazione monodimensionale ottenuta dalla media di profili adiacenti e paralleli ai due assi principali della matrice di acquisizione (una delle due frequenze spaziali nulla), escludendo però gli stessi assi principali.

Un esempio di NPS per uno schermo LCD, da cui emerge il differente andamento lungo le due direzioni parallele ai lati dei pixels dovuto alla struttura dei subpixel, è riportato in Figura 6.3.

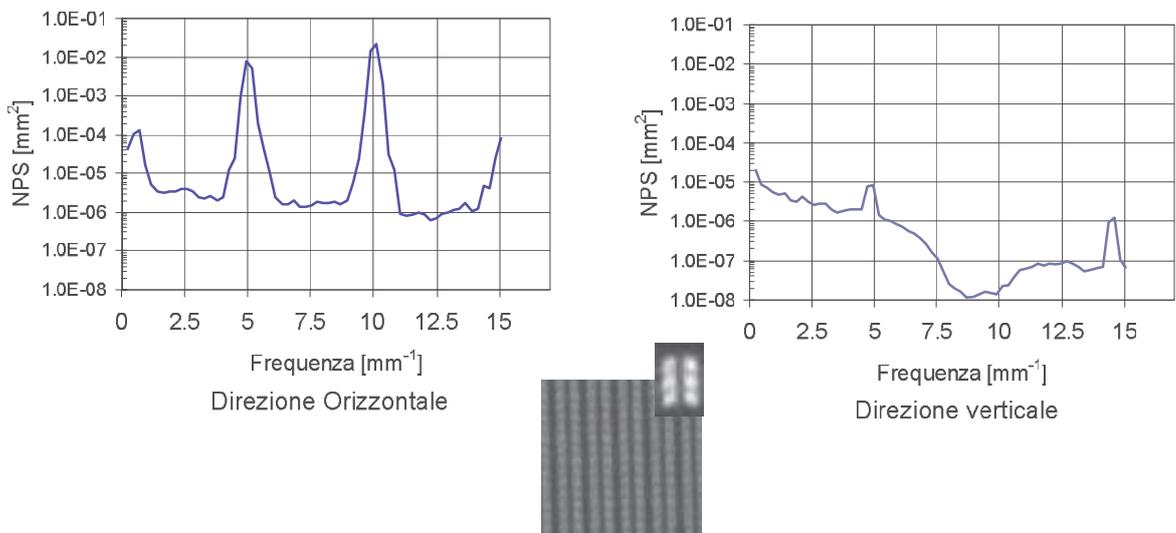


Figura 6.3 Esempio di andamento del NPS lungo le due direzioni principali della superficie di un monitor LCD [20]. È evidente il diverso comportamento dovuto alla geometria dei subpixel

## 6.4 Valutazione quantitativa della MTF

---

La valutazione quantitativa della Modulation Transfer Function (MTF) del monitor può essere eseguita partendo dalla registrazione delle immagini di test TG18-RV o TG18-RH mediante telecamera. Nell'immagine test è presente una riga o colonna di pixel pilotati con massima luminanza rispetto a tutto il resto del fondo uniforme che è a più bassa luminanza. La matrice di acquisizione della telecamera deve essere leggermente inclinata di qualche grado (fra circa 2° e 5°) rispetto all'orientamento della matrice di pixel del monitor. La MTF di precampionamento può essere calcolata a partire da profili di intensità campionati trasversalmente alla linea luminosa, secondo la metodica della trasformata di Fourier della Line Spread Function LSF, come diffusamente riportato in letteratura [2]. Nei monitor con tecnologia a matrice (tipo LCD) il profilo ricampionato può presentare delle code molto rumorose a causa della struttura granulare del pattern di luminanza del fondo dell'immagine. In tali casi si raccomanda di ricavare un profilo di risposta della linea partendo da una funzione modello non solo adattandola nella parte centrale del profilo ma estrapolando anche le code in modo da minimizzare l'effetto delle fluttuazioni.

Se si vuole tener conto del potere risolvibile del sistema ottico occorre correggere la risposta ottenuta dal campionamento della linea per la risposta dell'obiettivo della telecamera. Tale correzione può essere eseguita a livello analitico tramite deconvoluzione, conoscendo i dati dell'obiettivo usati nella registrazione. In molti casi tale correzione può essere trascurabile.

Conviene rappresentare l'MTF risultante (Figura 6.5) in funzione di una frequenza spaziale normalizzata rispetto alla frequenza di Nyquist. La frequenza di Nyquist è pari alla frequenza corrispondente all'alternanza di righe con distanza pari al pitch del monitor.

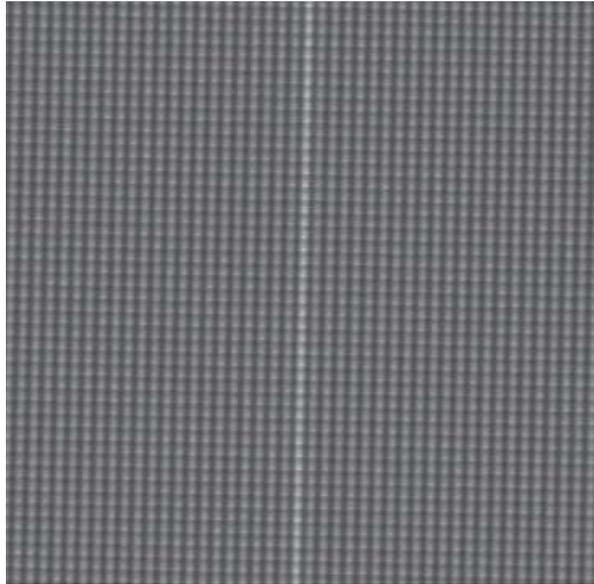


Figura 6.4 Particolare dell'immagine di test TG18-RV usato per la valutazione quantitativa della MTF

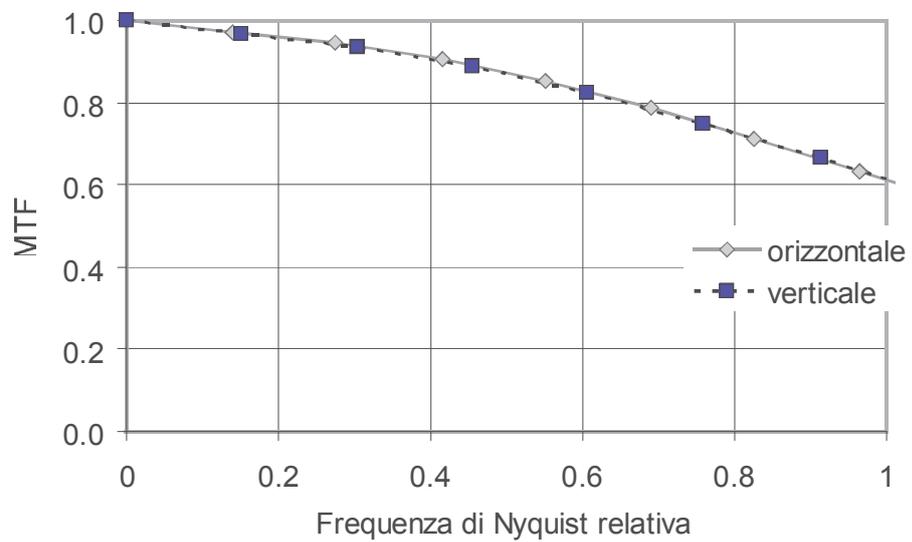


Figura 6.5 Esempio di misura della MTF di un monitor LCD [20]

## 6.5 Misura della riflettività dello schermo

### □ 6.5.1 Riflessione speculare: valutazione quantitativa

Il coefficiente di riflessione speculare per un dispositivo di visualizzazione può essere misurato avendo a disposizione una sorgente di luce diffusa bianca, di diametro minore delle dimensioni dello schermo. Il monitor deve essere spento e deve essere rimossa ogni ulteriore fonte di illuminamento.

La sorgente di luce bianca deve sottendere un angolo di circa  $15^\circ$  dal centro dello schermo, essere orientata a  $15^\circ$  dalla direzione normale dello schermo e a una distanza  $d_1$  dal centro di quest'ultimo. La luminanza riflessa  $L_{\text{riflessa}}$  deve essere misurata in modalità telescopica con un sensore di luminanza, posto ad una distanza  $d_2$  dal centro dello schermo e orientato a circa  $15^\circ$  dalla normale dello schermo in modo speculare rispetto alla direzione del fascio luminoso incidente.

La luminanza diretta  $L_{\text{diretta}}$  della sorgente deve essere infine misurata a distanza  $d_1 + d_2$ .

Il coefficiente di riflessione speculare  $R_s$  è definito come:

$$R_s = \frac{L_{\text{riflessa}}}{L_{\text{diretta}}}$$

Dal valore di  $R_s$  si può stimare la massima luminanza consentita ad oggetti presenti in una sala di refertazione. Infatti il massimo valore di luminanza  $L_0$  di un oggetto riflesso dalla superficie di un monitor deve essere tale da non comportare una luminanza riflessa maggiore della minima differenza di luminanza percepibile (JND) per valori prossimi a  $L_{\text{min}}$ :

$$R_s \cdot L_0 \leq C_t \cdot L_{\text{min}}$$

dove  $C_t = \Delta L/L$  è la soglia di contrasto della GSDF a  $L_{\text{min}}$  di cui un esempio è riportato in Figura 6.6.

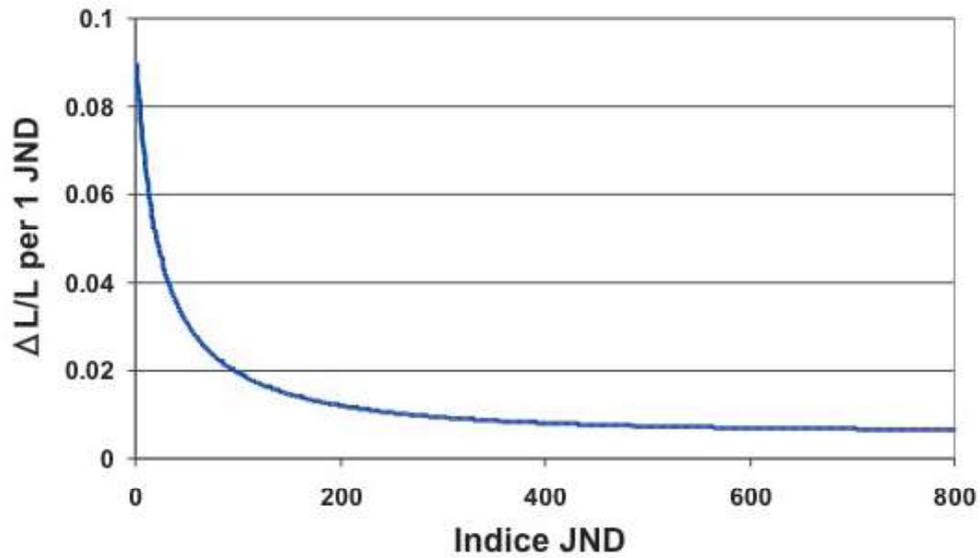


Figura 6.6 Andamento della soglia di contrasto  $\Delta L/L$  per una variazione unitaria di JND in funzione del valore dell'indice JND, secondo la GSDF

La luce riflessa dallo schermo può provenire anche da un oggetto (parete, camicia) illuminato indirettamente da una sorgente luminosa che è fuori dal campo di vista dell'osservatore.

L'entità di questa riflessione dipende dalle caratteristiche di riflettanza diffusiva  $R_d$  (ipotizzata lambertiana) e dall'illuminamento  $E$  incidente sull'oggetto secondo la relazione:

$$L_0 = R \cdot \frac{E}{\pi}$$

Ad esempio, supponendo una riflettanza  $R_d$  del 90% da parte di una parete della sala di refertazione, il massimo illuminamento ambientale consentito per non avere perdite di contrasto per riflessioni speculari è dato da:

$$E \leq \frac{\pi \cdot C_t \cdot L_{\min}}{0.9 \cdot R_s}$$

Valori tipici di  $R_s$  per schermi in vetro senza trattamento antiriflesso variano fra circa 0.004 e 0.005.

In Tabella 6.3 sono riportati a titolo di esempio i valori massimi di illuminamento permessi in funzione dei valori di calibrazione del sistema di visualizzazione e dei coefficienti di riflettività speculare della superficie del monitor.

$L_{\max} - L_{\min}$ ( $\text{cd/m}^2$ )	$C_t$	Valori massimi di illuminamento (lux)				
		$R_s = 0.002$	$R_s = 0.004$	$R_s = 0.008$	$R_s = 0.020$	$R_s = 0.040$
5000 - 20	0.010	349	175	87	35	17
2500 - 10	0.011	192	96	48	19	10
1000 - 4	0.015	105	52	26	10	5
500 - 2	0.018	63	31	16	6	3
250 - 1	0.024	42	21	10	4	2

Tabella 6.3 Valori massimi di illuminamento permessi in funzione delle impostazioni di calibrazione del sistema di visualizzazione ( $L_{\max}$  e  $L_{\min}$ ) e dei coefficienti di riflettività speculare della superficie del monitor [2]

### 6.5.2 Riflessione diffusa: valutazione quantitativa

Il coefficiente di riflettività diffusa per un dispositivo di visualizzazione può essere misurato con una sorgente di luce diffusa bianca estesa, che illumini la superficie del monitor con un angolo solido prossimo a  $2\pi$  radianti.

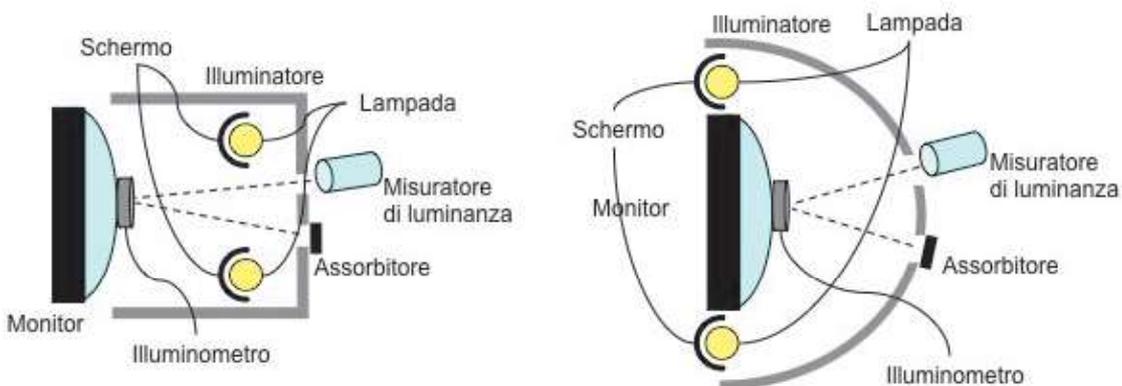


Figura 6.7 Esempio di sorgente di illuminamento e *setup* sperimentale per misura del coefficiente di riflettività diffusa della superficie del monitor [2]

Il monitor deve essere spento e deve essere rimossa ogni ulteriore fonte di illuminamento.

L'illuminamento  $E$  deve essere misurato al centro del monitor con il sensore parallelo alla superficie dello schermo. La luminanza indotta  $L_{amb}$  deve essere misurata in modo telescopico al centro dello schermo con un sensore di luminanza orientato in direzione leggermente inclinata rispetto alla normale ( $10^\circ$  circa) e un dispositivo assorbitore posto in posizione speculare così da ridurre eventuali interferenze da fenomeni di riflettività speculare (Figura 6.7).

Il coefficiente di riflettività diffusa è definito come il rapporto fra la luminanza indotta e l'illuminamento:

$$R_D = \frac{L_{amb}}{E}$$

e si misura in  $sr^{-1}$ .

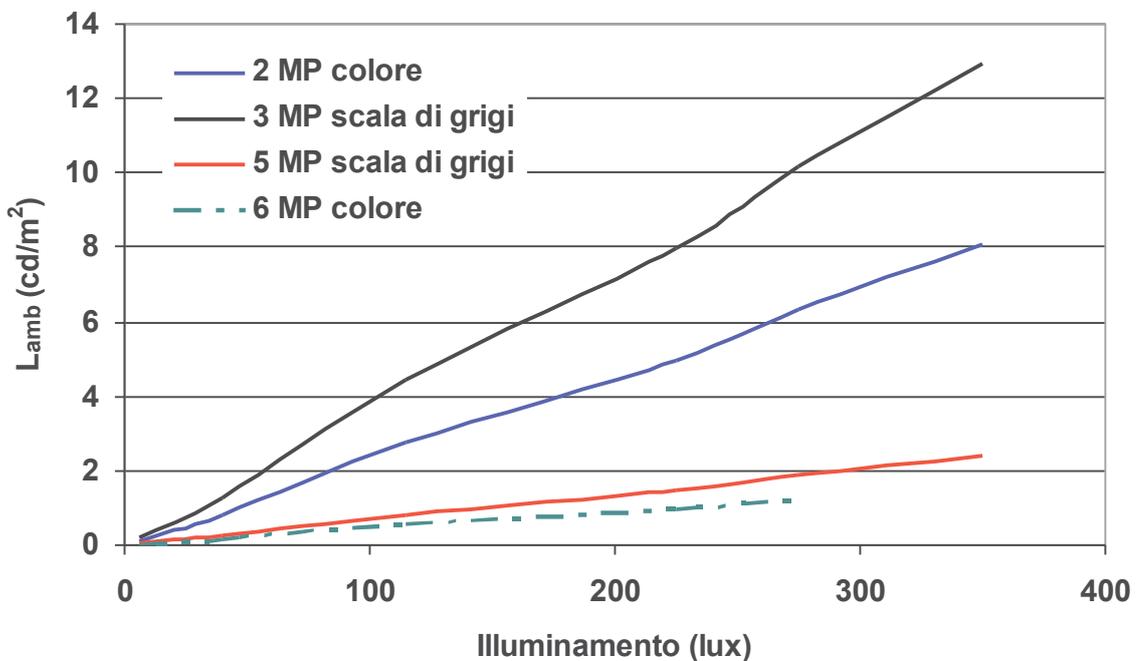


Figura 6.8 Esempi di relazioni fra  $L_{amb}$  e illuminamento per dispositivi di visualizzazione LCD per refertazione

Valori tipici di  $R_D$  variano fra  $0.005 \text{ sr}^{-1}$  e  $0.03 \text{ sr}^{-1}$  (Figura 6.8).

La presenza di  $L_{amb}$  riduce la soglia di contrasto in luminanza, con particolare effetto nelle regioni a bassa luminanza, in quanto si somma a  $L$  riducendo il contrasto relativo:

$$C_t = \frac{\Delta L}{(L + L_{amb})}$$

In genere i sistemi di calibrazione consentono di calibrare il sistema di visualizzazione tenendo conto del contributo di  $L_{amb}$ , mantenendo costante il contrasto percepito al variare della luminanza, ma questo comporta necessariamente una riduzione del rapporto di luminanza.

In generale, per sistemi di visualizzazione il cui sistema di calibrazione non tenga in considerazione il contributo di  $L_{amb}$  alla luminanza percepita dall'osservatore dovrebbe essere limitato l'illuminamento ambientale così da avere:

$$L_{amb} \leq 0.25 \cdot L_{min}$$

$$E \leq \frac{0.25 \cdot L_{min}}{R_d}$$

mentre per sistemi di calibrazione che considerano il contributo di  $L_{amb}$  alla luminanza percepita dall'osservatore, si dovrebbe garantire in ogni caso la condizione:

$$L_{amb} \leq L_{min} / 1.5$$

per ridurre l'effetto di eventuali fluttuazioni dell'illuminamento ambientale.

$L_{\max} - L_{\min}$ (cd/m <sup>2</sup> )	Valori massimi di illuminamento (lux)				
	$R_d = 0.005$	$R_d = 0.010$	$R_d = 0.020$	$R_d = 0.040$	$R_d = 0.060$
5000 - 20	1000	500	250	125	83
2500 - 10	500	250	125	62	42
1000 - 4	200	100	50	25	17
500 - 2	100	50	25	12	8
250 - 1	50	25	12	6	4

Tabella 6.4 Esempi di valori massimi di illuminamento in funzione delle impostazioni di calibrazione del sistema di visualizzazione e dei coefficienti di riflettività diffusiva della superficie del monitor per mantenere l'80% in contrasto nelle aree a bassa luminanza [2].

## 6.6 Uniformità della cromaticità del sistema di visualizzazione: valutazione quantitativa

Il sistema di misura della cromaticità adottato è la scala di cromaticità CIELUV [12] che si basa sulle due coordinate di colore  $u'$  e  $v'$ .

Un colorimetro è utilizzato per la misura delle coordinate  $u'$  e  $v'$  in una ROI centrale e nelle quattro ROI ai vertici della superficie di visualizzazione. Deve essere eseguito un confronto di uniformità anche fra i diversi monitor appartenenti allo stesso sistema di visualizzazione.

La distanza fra le coppie di punti  $(u'_i, v'_i)$  nello spazio  $(u', v')$  è direttamente proporzionale alle differenze di colore percepita. La metrica adottata per misurare l'uniformità di colore è la distanza  $D$  fra le coppie delle coordinate di colore:

$$D(u', v')_{i,j} = \sqrt{(u'_i - u'_j)^2 + (v'_i - v'_j)^2}$$

La misura della cromaticità è importante anche nel caso di monitor monocromatici. Le misure di non uniformità vengono effettuate visualizzando sui monitor l'immagine di test TG18-UN80.

**Uniformità della cromaticità all'interno di una dispositivo di visualizzazione**

Devono essere misurate le coordinate di colore nella ROI centrale e nelle quattro ROI ai vertici della superficie di visualizzazione. La non uniformità  $NU_{croma}$  è valutata in termini di distanza massima fra i cinque punti nello spazio  $(u'_i, v'_i)$ , con  $i$  e  $j$  che variano da 1 a 5 :

$$NU_{croma} = \max[D(u', v')_{i,j}]$$

Il limite di accettabilità è  $NU_{croma} < 0.01$  .

**Uniformità della cromaticità fra monitor multipli di un sistema di visualizzazione**

Deve essere calcolata la media delle coordinate di colore nella ROI centrale e nelle quattro ROI ai vertici della superficie di visualizzazione, per ciascun monitor  $m$  :

$$(\bar{u}', \bar{v}')_m = \frac{1}{5} \sum_{R=1}^5 (u'_R, v'_R)$$

La non uniformità della cromaticità fra i monitor multipli  $NU_{croma\_multi}$  è valutata in termini di distanza massima, nello spazio  $(u', v')$ , delle medie delle 5 ROI:

$$NU_{croma\_multi} = \max[D(\bar{u}', \bar{v}')_{m,n}]$$

con  $m$  e  $n$  indici identificativi dei monitor componenti il sistema di visualizzazione.

Limiti di accettabilità		Monitor primari	Monitor secondari
	$NU_{croma} = \max[D(u', v')_{i,j}]$	< 0.01	--
	$NU_{croma\_multi} = \max[D(\bar{u}', \bar{v}')_{m,n}]$	< 0.01	--
Frequenza	Prova di Accettazione		Sì
	Prova di Stato		Sì
	Prova di Costanza		Sì
Materiale	Immagine test TG18-UNL80 Misuratore di luminanza con sensore di cromaticità		
Riferimenti	AAPM-TG18 [2]		

Tabella 6.5 Valutazione quantitativa dell'uniformità della cromaticità

## 6.7 Dipendenza angolare della cromaticità del sistema di visualizzazione: valutazione quantitativa

Alcuni dispositivi, in particolare alcune tipologie di monitor LCD, possono mostrare uno spostamento delle coordinate cromatiche al variare dell'angolo di visione. Tale spostamento deve essere inferiore ad una certa soglia entro l'angolo di visione dichiarato dal costruttore.

Le coordinate di colore  $(u'_i, v'_i)$  al variare dell'angolo di visione  $i$  sono misurate in una ROI centrale.

La non uniformità  $NU_{croma\_ang}$  è valutata in termini di distanza massima nello spazio  $(u'_i, v'_i)$  fra le misure ai vari angoli di visione, con  $i$  e  $j$  indici relativi all'angolo di visione:

$$NU_{croma\_ang} = \max[D(u', v')_{i,j}]$$

Il limite di accettabilità è  $NU_{croma\_ang} < 0.01$ .

<i>Limiti di accettabilità</i>		<i>Monitor primari</i>	<i>Monitor secondari</i>
	$NU_{croma\_ang} = \max[D(u', v')_{i,j}]$	< 0.01 (nel cono visuale dichiarato dal costruttore)	--
<i>Frequenza</i>	Prova di Accettazione	Sì	
	Prova di Stato	Sì	
	Prova di Costanza	No	
<i>Materiale</i>	Immagine test: TG18-UNL80 Misuratore di luminanza con sensore di cromaticità Goniometro		
<i>Riferimenti</i>	AAPM-TG18 [2]		

Tabella 6.6 Valutazione quantitativa della dipendenza angolare della cromaticità

## 6.8 Ulteriori valutazioni

---

In aggiunta alle valutazioni descritte nei paragrafi precedenti, a titolo informativo e per completezza vengono di seguito citati ulteriori test, spesso opportuni solo per alcune tipologie di dispositivi di visualizzazione (ad esempio per CRT o LCD). Tali test possono essere presi in considerazione per particolari applicazioni del sistema di visualizzazione o in presenza di artefatti che non rientrino nei casi precedentemente discussi.

Per approfondimenti si rimanda a letteratura specifica [2][4].

### □ 6.8.1 Flicker

Il *flicker* (dall'inglese tremolio, sfarfallio) è definito come la percezione di una rapida variazione temporale della luminanza su un'immagine statica [4].

Tale artefatto è spesso legato alla percezione da parte del sistema visivo umano del *refresh* verticale dell'immagine sul monitor così come dell'interferenza fra il *refresh rate* e altre sorgenti periodiche di illuminamento. L'interferenza con lampade a fluorescenza è fra le principali cause di percezione del *flicker*. L'artefatto si manifesta maggiormente ad alti valori di luminanza, per *refresh rate* inferiore a 65 Hz e in caso di visione periferica, principalmente su dispositivi di visualizzazione di tipo CRT, dipendendo dal tempo di decadimento della luminescenza dei fosfori dello schermo CRT.

La presenza di *flicker* può essere valutata andando ad ricercare, da una distanza di circa 30 cm, eventuali indesiderate variazioni temporali della luminanza sull'immagine di test TG18-QC (Figura 5.2) e TG18-UN80 (Figura 5.16), sia per visione periferica che foveale.

Per possibili metodi di valutazione quantitativa del flicker si rimanda alla consultazione dello standard VESA [4].

### □ 6.8.2 Cross-talk elettronico

Nella valutazione delle prestazioni dei dispositivi LCD ad alta risoluzione, con elevato numero di livelli di grigio, si può presentare l'artefatto detto di *cross-talk*, dovuto ad un indesiderato accoppiamento elettrico (con conseguente interfe-

renza) dei circuiti che controllano pixel adiacenti o vicini fra loro. L'interferenza può essere dovuta a correnti che scorrono nell'interruttore elettronico (Thin Film Transistor) derivanti da un accoppiamento capacitivo parassita. Il cross-talk viene dunque a dipendere dall'immagine visualizzata. La valutazione del cross talk viene effettuata visualizzando immagini di test a barre, con piccoli dettagli a grandi differenze di luminanza dallo sfondo, orientati lungo le due direzioni principali della matrice di pixels. Per una valutazione visiva può essere utilizzata l'immagine di test TG18-QC.

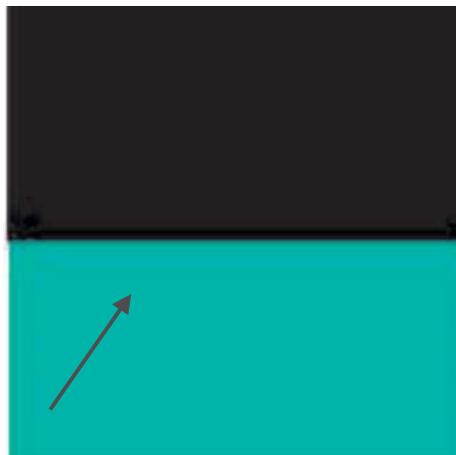


Figura 6.9 Esempio di cross-talk elettronico in un sistema di visualizzazione LCD

L'effetto di cross-talk è visto come uno shift della luminanza in una regione in cui sono presenti elevate variazioni della luminanza in direzione orizzontale o verticale. Per approfondimenti e metodi per la valutazione quantitativa del cross talk si rimanda a [2][4].

### □ 6.8.3 Velocità di risposta

Per particolari applicazioni (visualizzazione di grandi insiemi di immagini volumetriche, sequenze dinamiche), la risposta temporale del dispositivo può essere un parametro importante ai fini di mantenere una adeguata capacità diagnostica. La risposta temporale dei sistemi di visualizzazione basati su tecnologia LCD può rappresentare un elemento di debolezza, a causa delle dinamiche di riassetto dei cristalli liquidi in seguito ad una variazione temporale del segnale di

pilotaggio. Una descrizione dei metodi per la valutazione della risposta temporale di dispositivi di visualizzazione di immagini mediche esula dai contenuti del presente documento; per approfondimenti si rimanda alla letteratura specifica [19].



# Appendice A

Esempio di modulo di registrazione dei risultati di un controllo di qualità.  
Un modello di foglio di calcolo realizzato a cura della SOD Fisica Sanitaria della  
Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi è scaricabile all'indirizzo:  
<http://www.fisicamedica.it/aifm/report/>



## AOUC Controllo di qualità monitor



<b>Risultato del controllo</b>		<b>OK</b>			
(*) Informazioni Necessarie					
<b>Informazioni generali</b>					
Data della prova (*)	1-gen-01				
Controllo <input type="checkbox"/> effettuato da (*)	EFM1 - Esperto in Fisica Medica TSRM1 - TSRM				
Software di calibrazione					
<b>Localizzazione</b>					
S.O.D. (*)	Radiologia1				
Padiglione (*)	Pronto Soccorso				
Sala (*)	Refertazione1				
Workstation (*)	WS 1				
Monitor (*)	Mod1				
Numero Seriale Monitor (*)	Serial SX				
Posizione (*)	<b>Sx</b>				
<b>Caratteristiche Fotometro</b>					
Marca (*)	Fotometro 1				
Modello (*)	Mod 1				
Serial Number (*)	-				
Tipo misura (*)	Sensore a contatto (Luce ambiente non inclusa)				
<b>Tipologia sala di refertazione</b>					
Condizioni di illuminamento considerate per la calibrazione	CT/MR/NM				
<b>Tipo di test</b>					
Tipologia Controllo (*)	Prova di Costanza				
Sono presenti le informazioni richieste?		<b>OK</b>			
<b>Condizioni illuminamento - Sensore illuminamento</b>					
Misura di Illuminamento ambientale (lx) (*)	Al centro del monitor (lx)	Misura Sensore integrato (lx)	Scarto (lx)	Scarto %	Risultato
Intervallo [0 - 10 lx]					<b>n.m.</b>
Intervallo [10 - 70 lx]					<b>n.m.</b>
Intervallo [70 - 300 lx]					<b>n.m.</b>
Note				<b>CQ</b>	<b>n.m.</b>
<b>Valutazione Distorsione Geometrica (TG18-QC)</b>					
<b>Valutazione qualitativa (visiva)</b>					
				Risposta	Risultato
1. Tutte le linee appaiono prive di distorsioni geometriche?				<b>Si</b>	<b>OK</b>
2. Le griglie sono equispaziate e formano dei quadrati? (Non considerare i				<b>Si</b>	<b>OK</b>
3. E' visibile un significativo effetto "pincushion" o "barile" ?				<b>No</b>	<b>OK</b>
Note				<b>CQ</b>	<b>OK</b>
<b>Valutazioni delle riflessioni dello schermo (TG-AD)</b>					
<b>Valutazione qualitativa (visiva)</b>					
				Risposta	Risultato
1. E' visibile una differenza in visibilità delle linee quando viste in oscurità totale o in condizioni operative?				<b>No</b>	<b>OK</b>
2. Spingere il monitor. Sono visibili oggetti riflessi in modo evidente?				<b>No</b>	<b>OK</b>
Note				<b>CQ</b>	<b>OK</b>

**Risposta in luminanza - GSDF**

**Valutazione qualitativa (visiva) (AAPM TG-CT)**

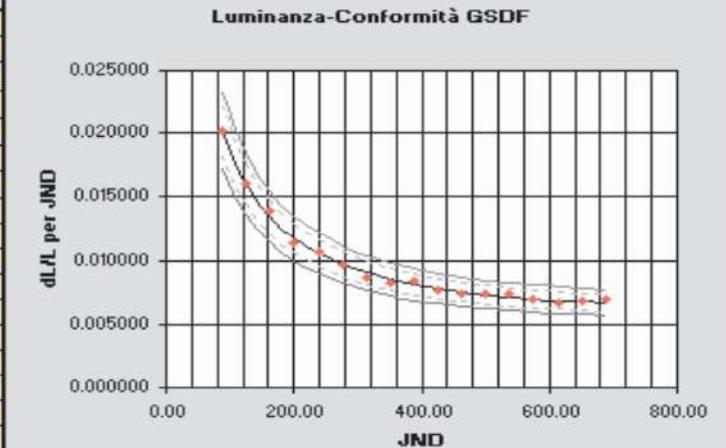
	Risposta	Risultato
1. Sono visibili i 4 oggetti a basso contrasto negli angoli di ognuno delle 16 regioni a differente luminanza?	<b>Si</b>	<b>OK</b>
2. Sono visibili le due mezze lune al centro di ognuna delle 16 diverse regioni di luminanza?	<b>Si</b>	<b>OK</b>
Note	<b>CQ</b>	<b>OK</b>

**Valutazione Quantitativa (AAPM TG-GQB e da TG-LN01 a LN18)**

Lmin misurata	0.76	cd/m2	Luminanza misurata a contatto (TG18-LN01)
Lmax misurata	501.4	cd/m2	Luminanza misurata a contatto (TG18-GQB o LN18)
Lmax impostata	500.0	cd/m2	Luminanza massima impostata in calibrazione (es 240, 500, 600)
Lamb impostata	0.19	cd/m2	Luminanza effettiva dovuta alla luce ambiente (desunta dal valore di calibrazione associato alla reading room)
Lmax sensore integrato	500.6	cd/m2	Luminanza massima dichiarata dal sistema di calibrazione (Auto Calibration Test).
Lmin sensore integrato	0.81	cd/m2	Luminanza minima dichiarata dal sistema di calibrazione.
Rapporto di luminanza	528.0		Rapporto di luminanza (L'max/L'min)

Rapporto di contrasto maggiore di 250	Risultato prova	<b>OK</b>
L'max entro +/-10% da L'max atteso	Risultato prova	<b>OK</b>
L'max è maggiore di 170 cd/m2	Risultato prova	<b>OK</b>
L'min entro +/-30% da L'min atteso	Risultato prova	<b>OK</b>
Valori di luminanza misurati entro tolleranza GSDF	Risultato prova	<b>OK</b>

	Misure
1	0.76
2	1.92
3	3.74
4	6.50
5	10.12
6	15.22
7	22.06
8	30.71
9	41.90
10	57.44
11	76.90
12	101.50
13	134.50
14	177.80
15	231.10
16	297.90
17	385.40
18	501.40



Note	<b>CQ</b>	<b>OK</b>
------	-----------	-----------

**Uniformità della Luminanza**

**Valutazione qualitativa (visiva) (TG18-UN10 e TG18-UN80)**

	Risposta	Risultato
1. L'immagine è priva di grosse disomogeneità dal centro ai bordi (TG18-UN10)?	<b>Si</b>	<b>OK</b>
2. L'immagine è priva di grosse disomogeneità dal centro ai bordi (TG18-UN80)?	<b>Si</b>	<b>OK</b>
Note	<b>CQ</b>	<b>OK</b>

**Valutazione Quantitativa**

	TG18-UNL10 (cd/m2)	TG18-UNL80 (cd/m2)	
Alto Sinistra	3.25	209.4	
Alto Destra	3.29	209.7	
Centro	3.14	207.8	
Basso Sinistra	2.97	209.9	
Basso Destra	3.23	210.1	
Valore Massimo	3.29	210.1	
Valore Minimo	2.97	207.8	
Scarto massimo %	10.22%	1.10%	
Scarto massimo luminanza per TG18-UNL10 =		30.0%	Risultato prova <b>OK</b>
Scarto massimo luminanza per TG18-UNL80 =		30.0%	Risultato prova <b>OK</b>
Note			<b>CQ</b> <b>OK</b>

<b>Risoluzione</b>			
<i>Valutazione qualitativa (visiva) (TG18-QC)</i>			
ROI 1: per la prima domanda		ROI 2: per le rimanenti domande	
		Risposta	Risultato
1. Gli elementi Cx nel centro degli angoli sono visibili almeno quanto l'immagine di riferimento n.4?		Sì	OK
2. E' visibile ogni linea della struttura a barre nelle ROI evidenziate		Sì	OK
3. Esiste una significativa differenza fra lo spessore delle linee bianche e		No	OK
4. Le coppie di linee hanno la stessa luminanza apparente nelle direzioni verticale e orizzontale?		Sì	OK
Note		CQ	OK
Valutazione quantitativa (solo per monitor CRT)			
<b>Valutazione Rumore</b>			
<i>Valutazione qualitativa (visiva) (TG18-AFC)</i>			
		Risposta	Risultato
1. E' visibile un unico punto in ogni piccolo quadrato nel 3° (basso a sinistra) e 4° (basso a destra) quadrante?			n.m.
2. Sono visibili almeno 15 punti in ogni struttura angolare?			n.m.
Note		CQ	n.m.
<b>Valutazione Rumore</b>			
<i>Valutazione qualitativa (visiva) (TG18-AFC)</i>			
		Risposta	Risultato
1. E' visibile un unico punto in ogni piccolo quadrato nel 3° (basso a sinistra) e 4° (basso a destra) quadrante?			n.m.
2. Sono visibili almeno 15 punti in ogni struttura angolare?			n.m.
Note		CQ	n.m.
<b>Veiling Glare Test</b>			
<i>Valutazione qualitativa (visiva) (TG18-GV)</i>			
Utilizzare il fantoccio TG18-GV per la prima domanda, il TG18-GVN per la seconda			
		Risposta	Risultato
1. Diaframmare l'immagine in modo da vedere solo il cerchio nero al centro dello schermo. Sono visibili almeno 3 dischi a basso contrasto nel cerchio centrale?		Sì	OK
2. Sono visibili almeno 3 dischi a basso contrasto nel cerchio centrale?		Sì	OK
Note		CQ	OK
Valutazione quantitativa (TG18-GQ - GQB - GQN)			
	(cd/m2)	(cd/m2)	(cd/m2)
Veiling Glare		####	
Glare Ratio minimo		400	Risultato prova
			n.m.
Note		CQ	n.m.
<b>Uniformità della cromaticità</b>			
<i>Valutazione qualitativa (visiva) (TG18-UNL80)</i>			
Utilizzare il fantoccio TG18-UN80			
		Risposta	Risultato
1. Sono visibili significative differenze di colore sulla superficie del		No	OK
Note			
Valutazione Quantitativa (Opzionale)			
E' stato effettuato il test con un colorimetro?			
Quali sono le coordinate di colore fornite dal colorimetro?		(u',v')	

Workstation: WS 1

Numero di inventario: 1

Situata nella sala 'Refertazione1' della S.O.D. Radiologia1 - Padiglione Pronto Soccorso

Responsabile dell'impianto radiologico : Dr Medico1 - Esperto in Fisica Medica: EFM1 - TSRM: TSRM1

	Limite Consentito	Monitor Sx	Monitor Dx	Risultato
		Serial SX	Serial DX	
Numero di serie del monitor		OK	OK	OK
Assenza distorsione geometrica	(valutazione visiva)	OK	OK	OK
Differenza dalla luminanza massima impostata	10%	0.3%	-3.1%	OK
Differenza dalla luminanza minima impostata	30%	-5.0%	-8.4%	OK
Luminanza massima misurata (L'max) (cd/m2)	> 170	501.6	484.6	OK
Massimo scarto dal Contrasto Atteso GSDF	15%	4.2%	6.6%	OK
Scarto Uniformità Luminanza TG18 UNL10	30%	10.2%	21.0%	OK
Scarto Uniformità Luminanza TG18 UNL80	30%	1.1%	3.2%	OK
Sensore Illuminamento	--	n.m.	n.m.	n.m.
Veiling glare (valutazione qualitativa)	(valutazione visiva)	OK	OK	OK
Veiling glare (valutazione quantitativa)	400	n.m.	n.m.	n.m.
Risoluzione	(valutazione visiva)	OK	OK	OK
Rumore	(valutazione visiva)	n.m.	OK	n.m.
Uniformità della cromaticità	(valutazione visiva)	n.m.	OK	n.m.
Uniformità della cromaticità	(valutazione visiva)	OK	OK	OK
Differenza % luminanza massima fra 2 monitor	<0.01	n.m.	n.m.	n.m.
Differenza cromaticità fra 2 monitor	10%		3.4%	OK
	<0.01		n.m.	n.m.

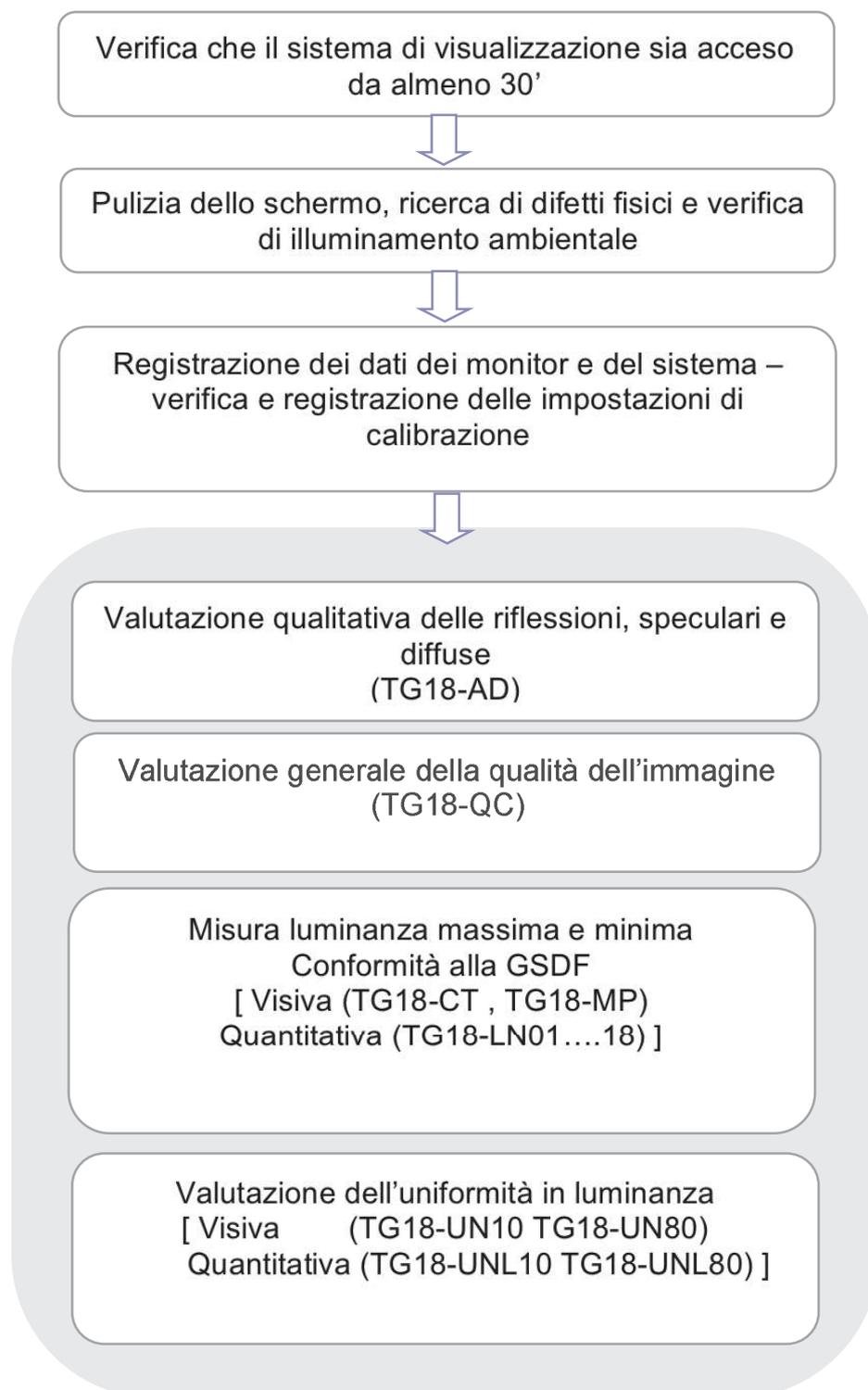
L'Esperto in Fisica Medica  
(EFM1)





# Appendice B

Esempio di flusso di lavoro nell'esecuzione dei controlli di qualità





# Riferimenti bibliografici

- [1] D.Lgs. 26 maggio 2000 n.187, "Attuazione della direttiva 97/43/EURATOM in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche"
- [2] Samei E., Badano A. et al., "Assessment of Display Performance for Medical Imaging Systems", Report of the American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Task Group 18, Medical Physics Publishing, Madison, WI, AAPM On-Line Report No. 03, 2005
- [3] EUREF, "European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis – Fourth Edition", European Communities, 2006
- [4] Video Electronics Standards Association (VESA), "Flat Panel Display Measurements Standard (FPDM), Version 2.0", 2001
- [5] A. Badano, M.J. Flynn, J. Kanicki, "High-Fidelity Medical Imaging Displays", SPIE Press Book, 2004
- [6] Bureau international des poids et mesures, "International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)", JCGM 200:2008, 2008
- [7] International Electrotechnical Commission (IEC), "Medical Electrical Equipment – Medical image display systems – Part 1: Evaluation methods", IEC 62563-1, 2009
- [8] Barten P. G. J., "Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on Image Quality", Bellingham, WA: SPIE Press, 1999
- [9] National Electrical Manufacturers Association (NEMA), "Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Part 14: Grayscale Display Standard Function", NEMA PS 3.14-2008, 2008

- [10] International Organization for Standardization, "Ergonomic requirements for work with visual displays based on flat panels - Part 1: Introduction", ISO 13406-1:1999, 1999
- [11] International Organization for Standardization, "Ergonomic requirements for work with visual displays based on flat panels - Part 2: Ergonomic requirements for flat panel displays", ISO 13406-2:2001, 2001
- [12] International Organization for Standardization, "Colorimetry – Part 1: CIE standard colorimetric observers", ISO 11664-1:2007, 2007
- [13] Deutsches Institute für Normung-German Standard Institute (DIN), "Image Quality Assurance in X-Ray Diagnosis Part 57: Acceptance Testing for Image Display Devices", DIN V 6868-57, 2001
- [14] Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE), "Specifications for Medical Diagnostic Imaging Test Pattern for Television Monitors and Hard-Copy Recording Cameras", SMPTE RP 133, 1991
- [15] IPEM Report n.91, "Recommended standards for the routine performance testing of diagnostic X-ray equipment", IPEM 2005
- [16] Japan Industries Association of Radiological Systems (JIRA), "Quality Assurance (QA) Guideline for Medical Imaging Display Systems", JESRA X-0093-2005, 2005
- [17] International Organization for Standardization, "Photometry - The CIE system of physical photometry", ISO/CIE 23539:2005, 2005
- [18] ISO/CIE, "Photometry -- The CIE system of physical photometry", ISO/CIE 23539:2005, 2005
- [19] International Electrotechnical Commission (IEC), "Evaluation and Routine Testing in Medical Imaging Departments - Part 2-5", IEC 61223-2-5, 1994
- [20] S. Busoni, G. Belli et al., "Performance evaluation of a full line of medical diagnostic displays and test of a web-based service for remote calibration and quality assurance", Proc. SPIE 7263, 72630A, 2009
- [21] Liang H., Badano A., "Temporal response of medical liquid crystal displays", Med Phys. 2007 Feb;34(2):639-46, 2007

