

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica

Tesi di laurea

**Effetti della distribuzione spaziale delle sorgenti elementari
in una lampada a LED**

Relatore: Prof. Lorenzo Fellin
Correlatore: Prof. Pietro Fiorentin

Laureando: Mattia Furlanetto

Anno Accademico 2010/2011

Indice

Sommario	1
Introduzione	3
1 Generalità	4
2 Le grandezze fotometriche	4
3 Colorimetria	5
4 Classificazione dei colori	6
5 Descrizione	7
6 Prova con un LED singolo	8
7 Prova con LED in fila	9
8 Prova con LED in fila di sequenza RGB	9
9 Casi con due LED e progressiva riduzione della distanza tra essi	17
10 Casi con più file di LED di sequenza RGB alternate	30
11 Effetti del troncamento	40
12 Configurazione per lampada da tavolo, con sequenze RGB alternate	41
13 Configurazione per lampada da soffitto, con sequenze RGB alternate	43
14 Effetto dei LED bianchi (1)	44
15 Effetto dei LED bianchi (2)	46
16 Conclusioni	49

Sommario

Obiettivo del lavoro è stato quello di valutare gli effetti prodotti su una superficie da diverse distribuzioni spaziali delle sorgenti elementari in lampade a LED, al fine di trovare la configurazione migliore.

Nell'attività sono stati utilizzati LED di colore rosso, verde e blu, oltre a LED bianchi. Per raggiungere l'obiettivo sono state svolte numerose simulazioni di ambienti illuminati, ciascuno corrispondente ad una diversa distribuzione spaziale dei LED, a cui segue un'analisi grafica dei risultati ottenuti, che fanno riferimento a superfici di calcolo poste a determinate distanze dalla sorgente. Gli effetti sono stati valutati caso per caso in termini di scostamento delle coordinate cromatiche x e y ottenute con il calcolo rispetto a quelle teoriche.

Il lavoro ha richiesto un software per la simulazione: DIALux (versione 4.8), e un programma di calcolo: MatLab (versione R2008a).

I risultati ottenuti molto spesso sono coerenti con la teoria ed a volte mettono in evidenza comportamenti inaspettati, che comunque trovano una spiegazione.

Introduzione

LED è l'acronimo di Light Emitting Diode (diodo ad emissione luminosa). Il primo LED è stato sviluppato nel 1962 ed è uno speciale tipo di diodo a giunzione p-n, formato da un sottile strato di materiale semiconduttore drogato. I primi LED erano disponibili solo nel colore rosso. Venivano utilizzati come indicatori nei circuiti elettronici; successivamente vennero sviluppati LED che emettevano luce gialla e verde, e vennero realizzati dispositivi che integravano due LED, generalmente uno rosso e uno verde, nello stesso contenitore permettendo di visualizzare quattro stati (spento, verde, rosso, verde + rosso = giallo) con lo stesso dispositivo. Negli anni novanta vennero realizzati LED con efficienza sempre più alta e in una gamma di colori sempre maggiore fino a quando con la realizzazione di LED a luce blu fu possibile realizzare dispositivi che, integrando tre LED (uno rosso, uno verde e uno blu), potevano generare qualsiasi colore. I LED in questi anni si sono diffusi in tutte le applicazioni in cui serve: elevata affidabilità, lunga durata, elevata efficienza e basso consumo.

Alcuni utilizzi principali sono: nei telecomandi infrarossi, indicatori di stato (lampadine spia), retroilluminazione di display LCD, nei semafori e negli "stop" delle auto, cartelloni a messaggio variabile, illuminazione.

La forza commerciale di questi dispositivi si basa sulla loro potenzialità di ottenere elevata luminosità, basso prezzo, elevata efficienza ed affidabilità (la durata di un LED è di uno-due ordini di grandezza superiore a quella delle classiche sorgenti luminose); inoltre essi non richiedono circuiti di alimentazione complessi, possiedono alta velocità di commutazione e la loro tecnologia di costruzione è compatibile con quella dei circuiti integrati al silicio.

L'ultimo campo di utilizzo citato prima, è quello che interessa questo lavoro: l'illuminazione. I LED sono sempre più utilizzati in ambito illuminotecnico in sostituzione di alcune sorgenti di luce tradizionali. Il loro utilizzo nell'illuminazione domestica, quindi in sostituzione di lampade ad incandescenza, alogene o fluorescenti compatte (comunemente chiamate a risparmio energetico), è oggi possibile con notevoli risultati raggiunti grazie alle tecniche innovative sviluppate nel campo.

Il loro utilizzo diventa molto interessante in ambito professionale, dove l'efficienza luminosa pari a 40-60 lm/W li rende una sorgente appetibile. Come termine di paragone basti pensare che una lampada ad incandescenza ha un'efficienza luminosa di circa 20 lm/W, mentre una lampada alogena di 25 lm/W ed una fluorescente lineare fino a 104 lm/W. Altro loro limite nell'illuminazione funzionale è che le loro caratteristiche di emissione e durata sono fortemente condizionate dalle caratteristiche di alimentazione e dissipazione. Diventa dunque difficile individuare rapporti diretti tra le varie grandezze, tra le quali entra in gioco anche un ulteriore parametro, ovvero l'angolo di emissione del fascio di luce, che può variare in un intervallo compreso tra circa 4 gradi e oltre 120.

Il motivo per cui ho scelto quindi di svolgere questo breve lavoro sui LED sta, prima di tutto, nella mia curiosità riguardo a questa sorgente, e poi nella profonda convinzione che essi rappresentino il futuro nell'illuminazione per la loro competitività in diversi ambiti, dalla versatilità all'economicità, dal rendimento alla durata, oltre ad altri vantaggi rispetto alle attuali lampade. Inoltre sono convinto che la ricerca possa avere ancora un ruolo importante per i LED, che raggiungeranno caratteristiche più spinte.

1 Generalità

La luce è il prodotto sensoriale che una certa gamma di radiazioni esercita sul nostro apparato visivo, facente capo all'occhio. Quando osserviamo un qualsiasi oggetto in un ambiente luminoso, i nostri occhi ricevono da ogni punto di questo oggetto delle radiazioni che danno luogo ad una sensazione visiva solo se rientrano nella gamma delle lunghezze d'onda nei confronti delle quali l'occhio è "reattivo"; la sensazione visiva dipende poi dall'intensità (ovvero la potenza) delle radiazioni e dalle relative lunghezze d'onda.

Quando la radiazione ha la lunghezza d'onda di 555 nm, la risposta dell'occhio è massima, e la curva ha valore 1; per le radiazioni di lunghezza d'onda minore o maggiore di 555 nm, la risposta decresce fino ad annullarsi agli estremi della gamma: a 380 nm e a 780 nm.

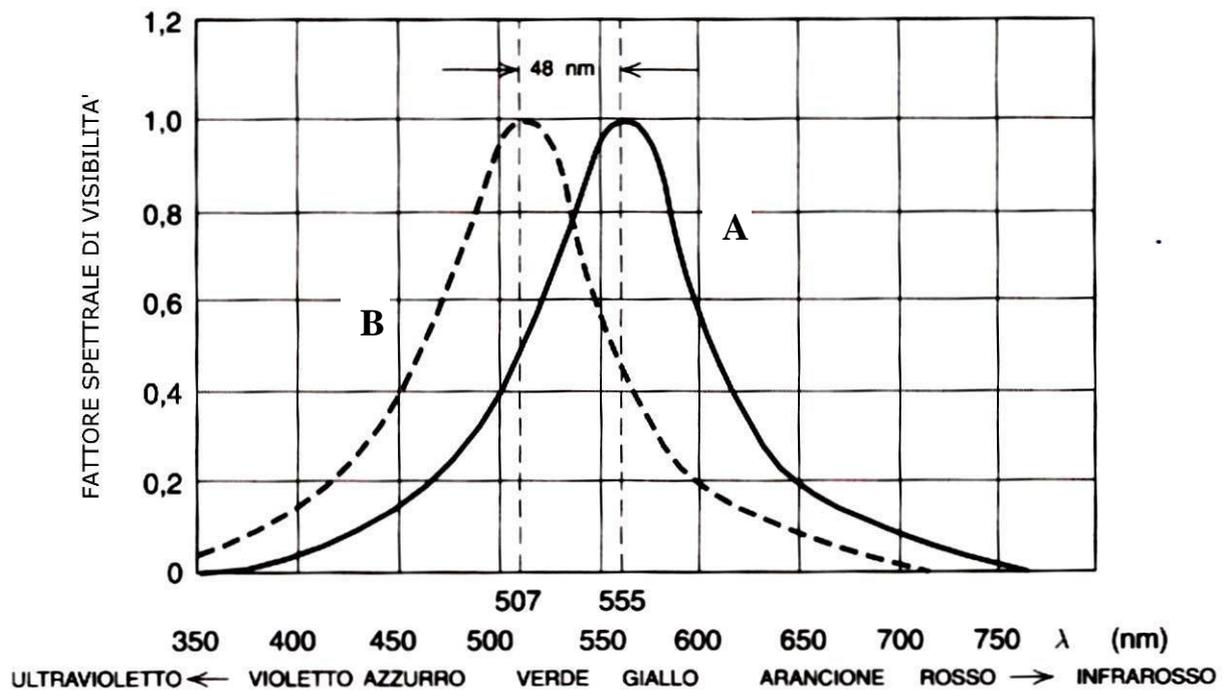


Fig. 1.1 – Curva A: visione fotopica, corrispondente a buona illuminazione.
Curva B: visione scotopica, corrispondente a scarsa illuminazione.

2 Le grandezze fotometriche

Le grandezze utilizzate nell'illuminotecnica sono le seguenti quattro:

Quantità	Simbolo	Unità
Flusso luminoso	Φ	Lumen (lm)
Intensità luminosa	I	Candela (cd)
Illuminamento	E	Lux (lx)
Luminanza	L	Candela al metro quadro (cd/m ²)

Flusso luminoso

Il flusso luminoso esprime la quantità totale di radiazioni emesse nell'unità di tempo da una sorgente primaria o secondaria, pesate secondo la sensibilità spettrale dell'occhio umano. La radiazione che dà luogo al valore massimo di flusso luminoso è quella relativa ad una lunghezza d'onda di 555 nm. Ma la Fig. 1.1 mostra che ad ogni radiazione di una determinata lunghezza d'onda corrisponde una sensazione visiva nell'occhio di un particolare colore, che spazia dal violetto, al giallo, all'arancione e al rosso a mano a mano che le lunghezze d'onda crescono fino a raggiungere il valore limite superiore della gamma, oltre il quale cessa il fenomeno della visione.

Intensità luminosa

L'intensità luminosa esprime la concentrazione di luce in una direzione specifica, radiata per secondo. Essa può essere definita come il rapporto tra il flusso elementare $d\Phi$, contenuto in un angolo solido avente per asse la direzione data $d\omega$, e lo stesso angolo solido:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

Illuminamento

L'illuminamento è il rapporto fra il flusso luminoso ricevuto da un elemento di superficie e l'area di questo elemento di superficie. Il lux è l'illuminamento prodotto da un flusso di 1 lm distribuito in modo uniforme su una superficie di 1 m². L'illuminamento medio prodotto su una superficie risulta essere la media dei valori che l'illuminamento assume nei vari punti della superficie.

Luminanza

La luminanza è definita come il rapporto tra l'intensità emessa da una sorgente luminosa in una data direzione e l'area apparente di quella superficie. La sorgente può essere primaria o secondaria: in quest'ultimo caso essa trasmette o riflette la luce proveniente da una sorgente primaria. L'area apparente della superficie viene valutata proiettando detta superficie su un piano perpendicolare alla direzione considerata.

La luminanza rappresenta la grandezza fondamentale per la visione, perché è la luminanza degli oggetti che "vediamo"; le sue variazioni nel nostro campo visivo, unitamente alle variazioni cromatiche, sono i fattori essenziali per il riconoscimento dei vari oggetti che percepiamo attorno a noi. Tuttavia, nei calcoli illuminotecnici, si tiene conto indirettamente di questa grandezza e si utilizzano più largamente le altre tre grandezze sopra esposte, in quanto attinenti all'impianto da progettare.

3 Colorimetria

Il colore con cui ci appare un oggetto illuminato dipende da due fenomeni distinti: il suo fattore spettrale di riflessione, che caratterizza la proprietà di riflettere in modo diverso la radiazione luminosa al variare della sua lunghezza e la composizione spettrale della luce che lo investe. Se la luce che lo illumina non contiene le radiazioni che possono essere riflesse dall'oggetto, questo appare nero. E' quindi chiaro che il colore di un oggetto può variare a seconda delle caratteristiche della luce che lo illumina: è necessario che la luce sia composta da tutte le radiazioni dello spettro del visibile in composizioni simili per avere una resa perfetta dei colori.

Come nel caso delle vernici, anche per la luce si possono miscelare luci di colori diversi al fine di ottenere un risultato che dipende dalle proporzioni utilizzate. In particolare per ottenere una luce bianca, occorre miscelare almeno tre colori "primari": con tale nome si designano i colori rosso, verde e blu.

4 Classificazione dei colori

Il sistema di classificazione dei colori più diffuso è quello introdotto nel 1931 dalla CIE (Commissione Internazionale de l'Eclairge), il quale si basa sul principio che qualsiasi colore può essere ottenuto con una opportuna miscela dei tre colori primari. Il metodo di classificazione si basa sulle componenti tricromatiche (o valori di tristimolo) CIE X, Y, Z, che sono le tre distribuzioni spettrali di riferimento per la colorimetria. Da esse discendono le funzioni colorimetriche x, y, z.

Le componenti tricromatiche di un colore X Y Z, si ottengono ciascuna come somma dei prodotti delle funzioni colorimetriche corrispondenti (x per X, y per Y, z per Z) per tutte le potenze spettrali della luce.

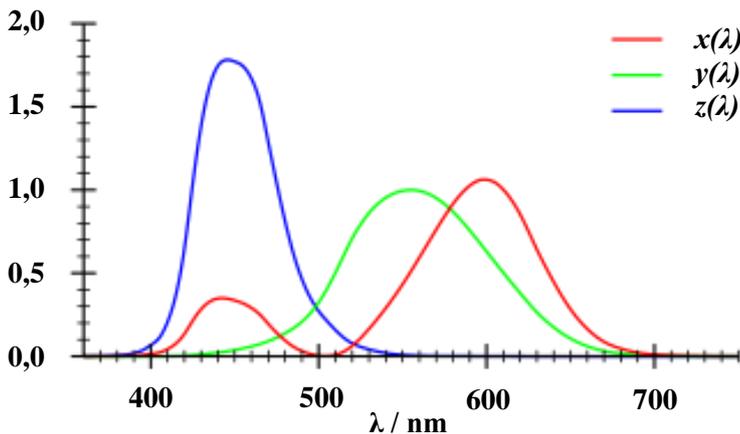


Fig. 4.1 - Funzioni colorimetriche o componenti tricromatiche CIE delle radiazioni monocromatiche

Le coordinate tricromatiche x y z, infine, che ci consentono di rappresentare il punto di colore su un diagramma cartesiano, si ricavano dalle seguenti espressioni:

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

la cui somma è uguale ad 1. E' chiaro quindi che bastano le coordinate x e y per individuare il punto di colore di una luce, dato che z è il complemento ad 1.

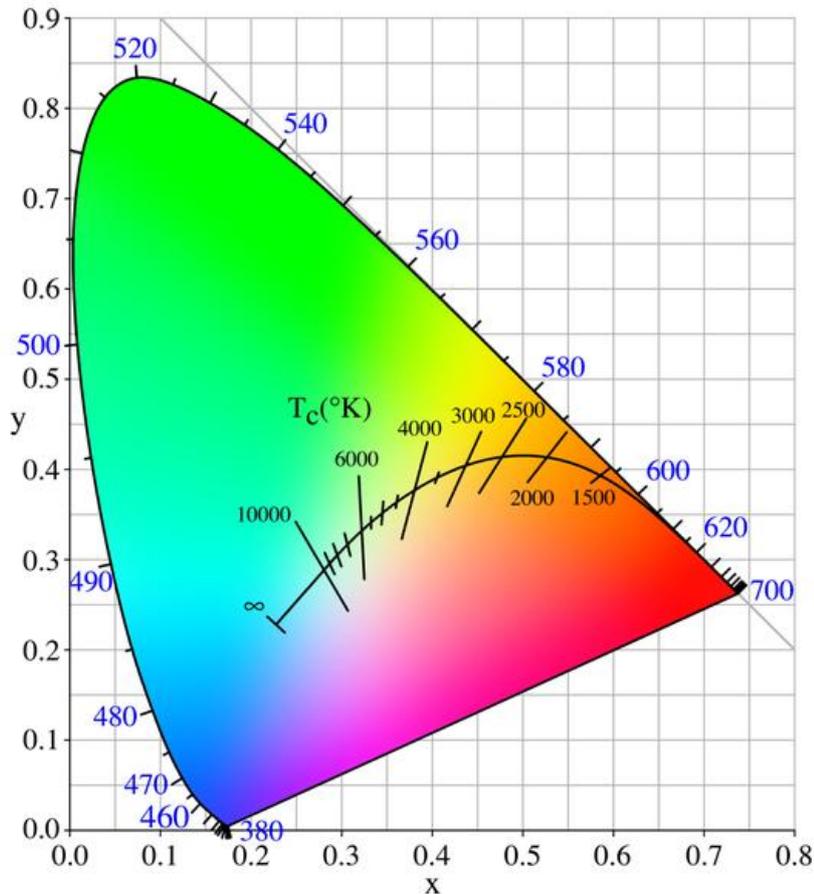


Fig. 4.2 – Il “triangolo dei colori CIE”, il cui perimetro è il luogo di colori spettrali; la linea curva al suo interno è la curva di Plank o luogo del corpo nero; i segmenti rettilinei che lo intersecano sono le rette isoprossimali del colore.

Nella zona centrale del “triangolo” si ha la miscelazione dei tre colori fondamentali ($x = y = z = 1/3$) e quindi una luce perfettamente bianca.

5 Descrizione

Obiettivo del lavoro è stato quello di valutare gli effetti prodotti su una superficie da diverse distribuzioni spaziali delle sorgenti elementari in lampade a LED. Si sono utilizzati LED di colore rosso, verde e blu, oltre a LED bianchi. Gli effetti sono stati valutati in termini di scostamento delle coordinate tricromatiche x e z ottenute con il calcolo rispetto a quelle attese, corrispondenti ai valori del baricentro del triangolo, al fine di trovare la configurazione migliore.

Le prove eseguite hanno richiesto un software per la simulazione, DIALux e un programma di calcolo, MatLab.

Il procedimento inizia con la simulazione di un ambiente illuminato da sorgenti LED di cui si conosce il flusso, la potenza e la curva fotometrica. In ciascuna simulazione sono necessari tanti ambienti quanti sono i colori dei LED che compongono la lampada, ciascuno contenente un solo colore, mantenendo le relative posizioni spaziali. Bisogna poi impostare a che distanza si vuole che venga effettuato il calcolo. Fatto questo, il software procede con la simulazione che produce in uscita le matrici quadrate (64x64) degli illuminamenti. Avremo così una matrice per colore e ciascuna poi viene posta all'ingresso di MatLab dove, attraverso le coordinate cromatiche dei singoli colori, si passa ai relativi valori di tristimolo. Poiché i valori di tristimolo rappresentano uno spazio lineare, si può fare la somma degli X Y Z dei vari colori e poi passare nuovamente a x e z , che in questo caso sono il risultato della miscelazione dei colori, ovvero il colore percepito dai nostri occhi. Tali coordinate si discostano dai valori attesi producendo effetti cromatici che saranno valutati caso per caso.

In ogni simulazione i LED utilizzati sono tutti uguali tra loro in termini di flusso, potenza e curva fotometrica, con un angolo di apertura di 40°; l'ambiente ha sempre dimensioni 3x3x3 metri.

Le coordinate cromatiche x y utilizzate per i colori sono:

Rosso (0.65; 0.3) Verde (0.3; 0.6) Blu (0.16; 0.03)

Dalla Fig. 4.1 si vede come la coordinata y sia unitaria, quindi in ogni caso si ha che Y=E per ciascun colore, di conseguenza le incognite diventano due: X e Z.

$$X = (Y*x)/y = (E*x)/y \quad Z = Y/y - X - Y = [(1-x-y)/y]*E$$

6 Prova con un LED singolo

Il primo caso è elementare e consiste nel considerare un solo LED come sovrapposizione dei tre LED primari R (red), G (green), B (blue). Come detto sopra si ottengono tre matrici degli illuminamenti, in questo caso uguali tra loro e quindi il risultato non potrà che coincidere con il baricentro:

$$x = (0.65 + 0.3 + 0.16)/3 = 0.37$$

$$y = (0.3 + 0.6 + 0.03)/3 = 0.31$$

Pur nella sua banalità, questo caso ha messo in luce un'ipotesi di partenza non indifferente:

Vale la regola del baricentro per la quale si può effettuare la somma degli X Y Z dei colori solo se per ogni colore la somma di X Y Z è uguale.

$$\begin{array}{l} X = X_R + X_G + X_B \\ Y = E_R + E_G + E_B \\ Z = Z_R + Z_G + Z_B \end{array} \quad \Rightarrow \quad X_R + Y_R + Z_R = X_G + Y_G + Z_G = X_B + Y_B + Z_B$$

Per un generico colore C si ha quindi che:

$$X_C + Y_C + Z_C = [x/y + 1 + (1-x-y)/y]*E = E/y$$

Come si deduce dalla precedente, perché la somma dei valori di tristimolo per ogni colore sia uguale, occorre moltiplicare inizialmente la matrice E per la relativa coordinata y in modo che questa sia poi eliminata facendo la somma che in ogni caso dà come risultato E.

$$X_R + Y_R + Z_R = y_R * E / y_R = X_G + Y_G + Z_G = y_G * E / y_G = X_B + Y_B + Z_B = y_B * E / y_B = E$$

Il codice MatLab rende più chiaro il procedimento.

```
%Importo la matrice di E, in questo caso uguale per ogni colore
%perchè R G B li considero sovrapposti
A=load('matrgb.txt');
%Prendo solo i valori di illuminamento eliminando i valori sugli assi
E=A(1:64,2:65);
%Assegno i valori alle coordinate dei colori
xr=0.65;
yr=0.3;
xg=0.3;
yg=0.6;
xb=0.16;
yb=0.03;
%Moltiplico E per la y di ogni colore come detto sopra
Er=E*yr;
Eg=E*yg;
Eb=E*yb;
%Calcolo i valori di tristimolo X e Z per i tre colori
```

```

Xr=(Er*xr)/yr;
Zr=[(1-xr-yr)/yr]*Er;
Xg=(Eg*xg)/yg;
Zg=[(1-xg-yg)/yg]*Eg;
Xb=(Eb*xb)/yb;
Zb=[(1-xb-yb)/yb]*Eb;
%Sommo i valori ottenuti per le X, le Y e le Z
X=Xr+Xg+Xb;
Y=Er+Eg+Eb;
Z=Zr+Zg+Zb;
%Calcolo x e y risultanti dalla miscelazione dei colori
x=X./(X+Y+Z);
y=Y./(X+Y+Z);
%Il risultato coincide con il baricentro x=0.37 y=0.31

```

Il fatto che la somma dei valori di tristimolo debba essere uguale per ogni colore sarà valida in tutte le prove successive.

7 Prova con LED in fila

Il secondo caso, analogo al precedente, analizza non più un singolo LED ma più LED disposti in fila, considerati come la sovrapposizione dei tre colori primari. Il risultato anche ora non può che coincidere con il baricentro, in termini di coordinate cromatiche.

8 Prove con LED in fila di sequenza RGB

Il terzo caso analizza un ambiente illuminato al centro da una fila di LED composta dalla ripetizione regolare della sequenza RGB per dieci volte; i LED distano tra loro 2 cm (vedi Fig. 8.1).

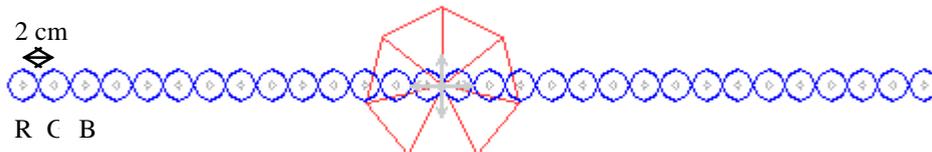


Fig. 8.1 – Posizione dei LED

A questo punto non vale più il discorso fatto per i casi precedenti, ovvero il risultato finale è logico che non coincida con il baricentro ma si avvicini molto ad esso, proprio perché i LED dei tre colori sono separati e non coincidenti. Un'importante considerazione affinché la luce sia il più possibile bianca, è che i tre colori siano presenti in ugual misura in modo da non avere una componente dominante rispetto alle altre.

In DIALux la simulazione sarà fatta su tre ambienti contenenti ciascuno un colore diverso e con quattro superfici di calcolo: a 0.5, 1, 2 e 3 metri dalla sorgente.

Il codice MatLab sarà identico al precedente nel calcolo di x e y, con la differenza che le matrici importate sono tre (una per colore) e si aggiunge la parte grafica di visualizzazione dei risultati.

```

%Importo le tre matrici di E relative a R,G,B
Ar=load('matlr0.txt');
Ag=load('matlg0.txt');
Ab=load('matlb0.txt');
%Prendo solo i valori di illuminamento eliminando i valori sugli assi
Er=[Ar(1:64,2:65)]*yr;
Eg=[Ag(1:64,2:65)]*yg;
Eb=[Ab(1:64,2:65)]*yb;

```

```

%Parte di visualizzazione grafica
%Prendo i valori da dare agli assi x e y
x=Ar(65,2:65);
y=Ar(1:64,1);
[X,Y]=meshgrid(x,y);
%Nel grafico voglio vedere gli scostamenti dalla coordinata del baricentro
%per x e y, quindi creo due matrici con i valori attesi
U=[ones(64,64)]*0.37;
V=[ones(64,64)]*0.31;
diffx=x-U;
diffy=y-V;
mesh(X,Y,diffx);
mesh(X,Y,diffy);

```

Tale codice va eseguito per ogni superficie di calcolo.

8.1 Superficie di calcolo posta a 0.5 m

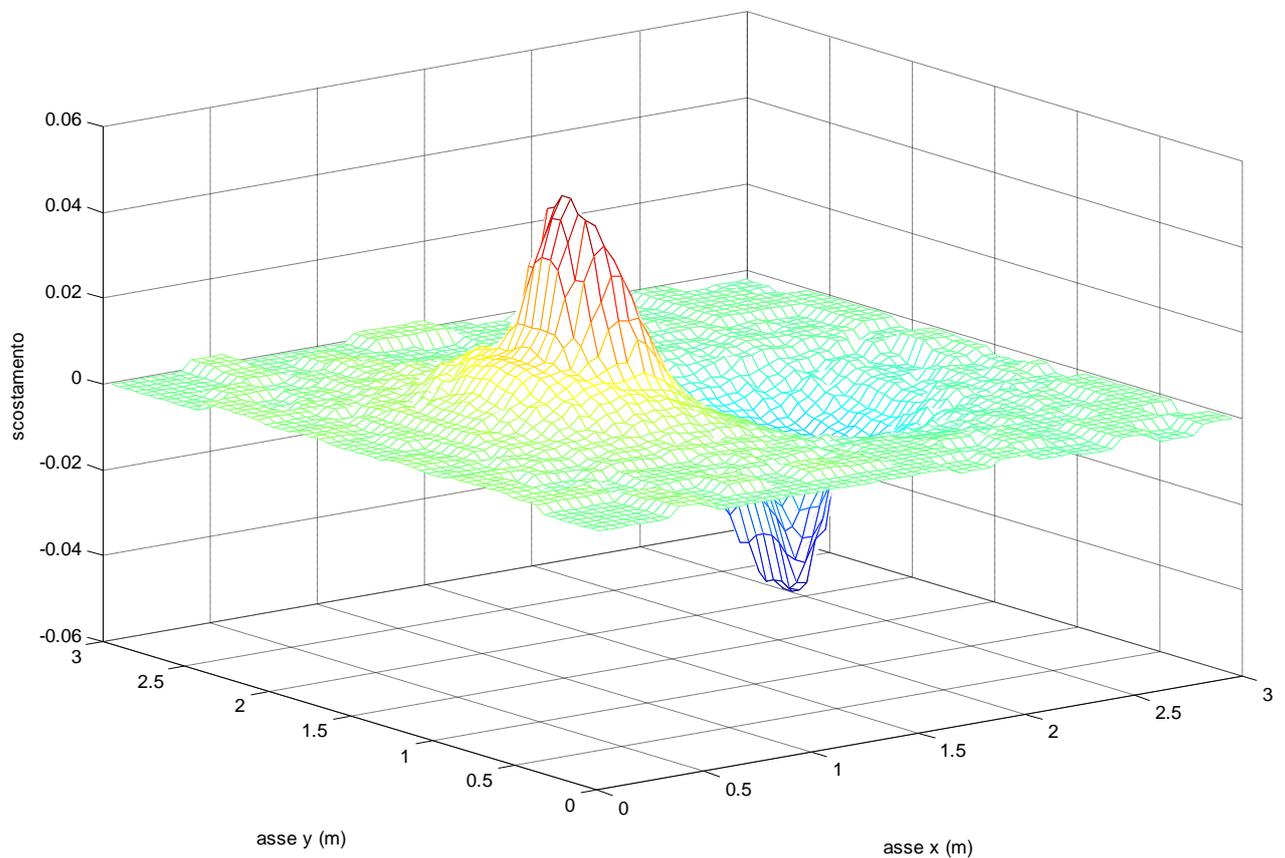


Fig. 8.2 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

La Fig. 8.2 mostra lo scostamento della coordinata x dal valore atteso pari a 0.37, per una superficie di calcolo posta a 50 cm dalla sorgente. Lo scostamento massimo superiore risulta essere pari a 0.0520, mentre quello minimo inferiore è pari -0.0487. La presenza del picco massimo di sinistra è dovuto all'influenza del colore rosso che è il primo della serie; il picco minimo di destra invece è dovuto al colore blu che chiude la serie. Lungo la periferia del grafico si notano variazioni minime dovute al troncamento delle cifre in DIALux.

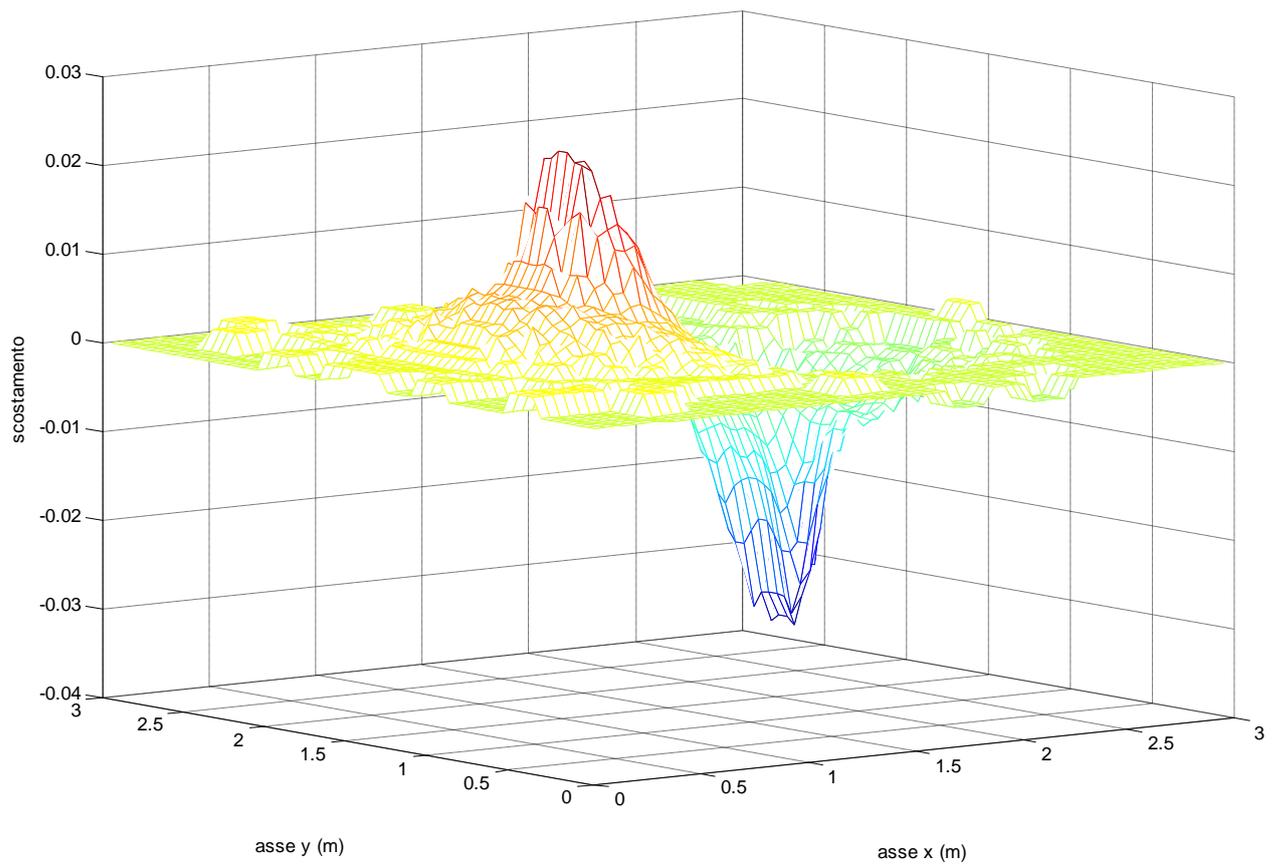


Fig. 8.3 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

La Fig. 8.3 mostra lo scostamento della coordinata y dal valore atteso pari a 0.31, per una superficie di calcolo posta a 50 cm dalla sorgente. Lo scostamento massimo superiore risulta essere pari a 0.0239, mentre quello minimo inferiore è pari -0.0318. E' da notare come le variazioni di y siano ridotte rispetto a x, pur mantenendo sempre la stessa posizione dei picchi e lo stesso andamento alla periferia.

8.2 Superficie di calcolo posta a 1 m

La Fig. 8.4 mostra gli scostamenti della coordinata x, calcolati su una superficie di calcolo posta alla distanza di un metro. Rispetto al caso precedente, già si nota un notevole avvicinamento all'uniformità, nonostante la distanza sia aumentata di soli 50 cm; infatti lo scostamento massimo superiore si è portato a 0.0265 e quello minimo inferiore a -0.0263. Si nota inoltre che il grafico mantiene la stessa posizione dei picchi rispetto al precedente caso, poiché non è cambiata la disposizione dei LED, tuttavia sembrano aver subito un certo allargamento alla base.

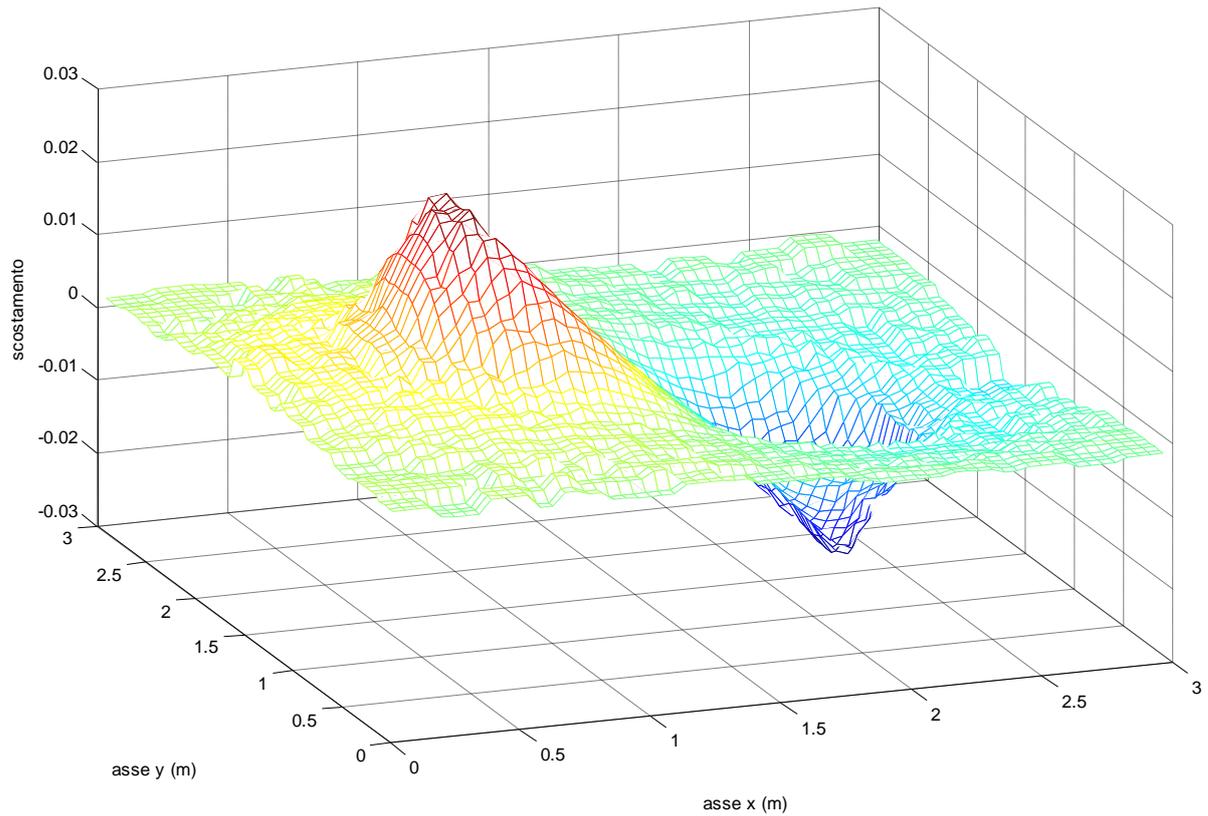


Fig. 8.4 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Anche il grafico degli scostamenti della y in Fig. 8.5 presenta lo stesso andamento di quello della x, con un trend decrescente che porta il massimo superiore a 0.0139 ed il minimo inferiore a -0.0158. Si nota inoltre una maggiore irregolarità ai bordi del grafico, dovuta probabilmente al troncamento delle cifre in DIALux.

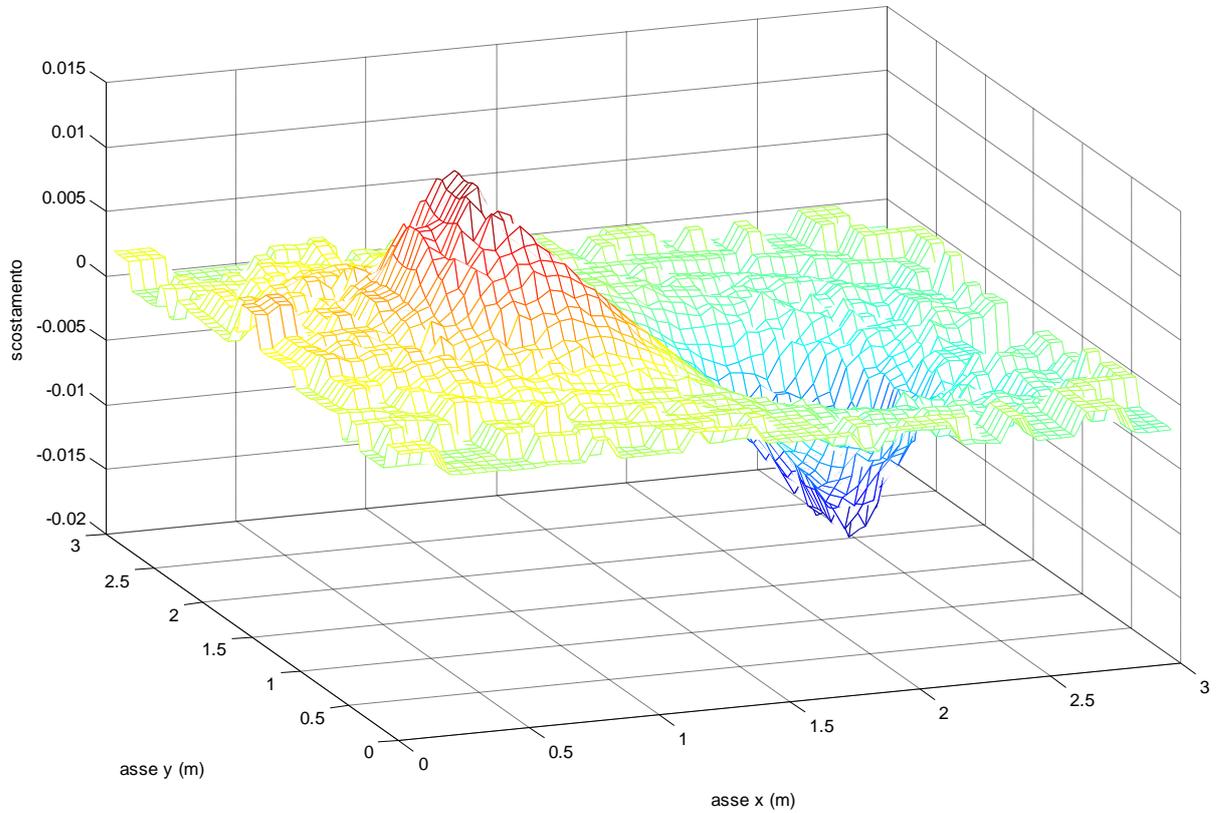


Fig. 8.5 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

8.3 Superficie di calcolo posta a 2 m

Allontanandosi ulteriormente dalla sorgente, il grafico degli scostamenti della x in Fig. 8.6, evidenzia una maggiore uniformità rispetto ai precedenti, portando il valore massimo superiore a 0.0132 ed il minimo inferiore a -0.0134: circa metà rispetto a quanto calcolato alla distanza di un metro. Si nota inoltre un progressivo appiattimento del grafico nella zona centrale, con i due picchi che si allontanano sempre più, quindi la disuniformità cromatica si sposta ai lati.

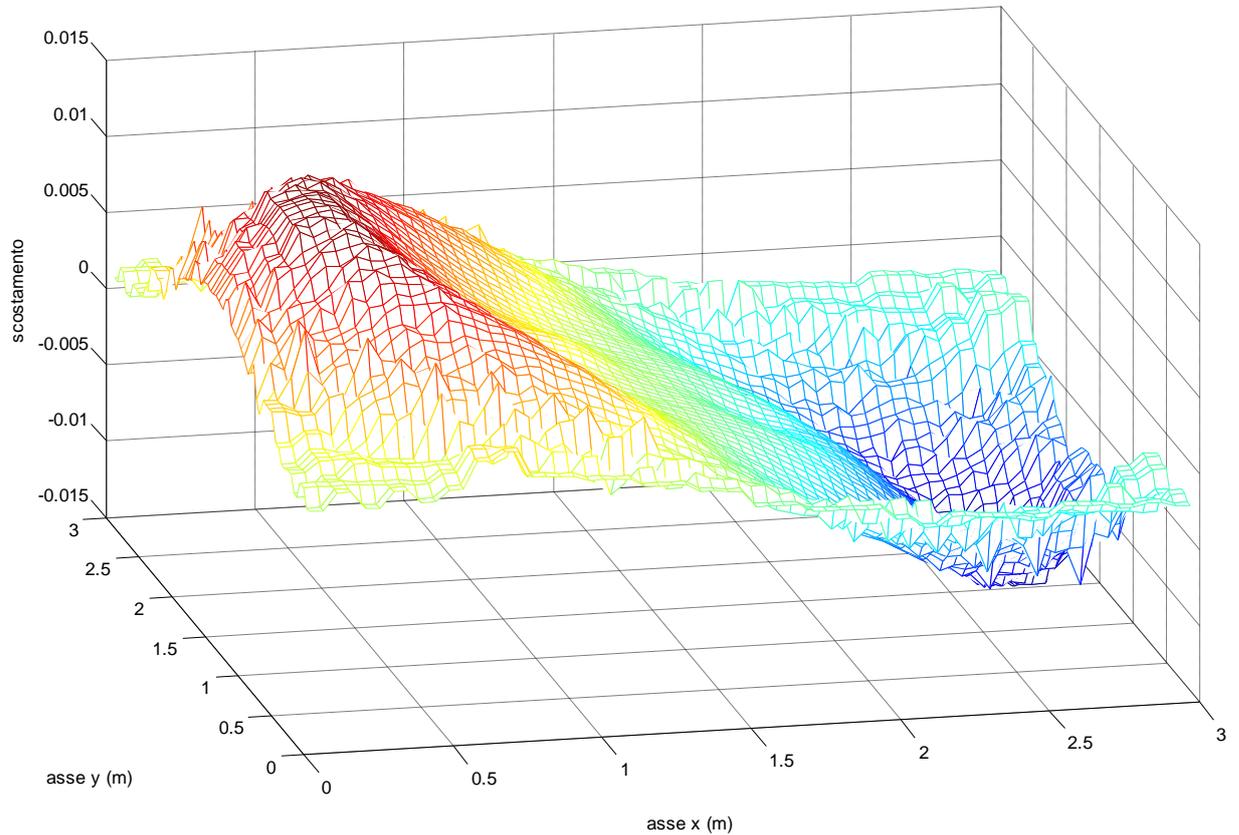


Fig. 8.6 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Per quanto riguarda gli scostamenti della y , il grafico in Fig. 8.7 mostra un andamento simile a quello della x , con la differenza che i valori sono più prossimi al baricentro, infatti il massimo superiore vale 0.0070 mentre il minimo inferiore vale -0.0078 . Quindi anche per la y gli scostamenti sono circa metà rispetto al caso precedente.

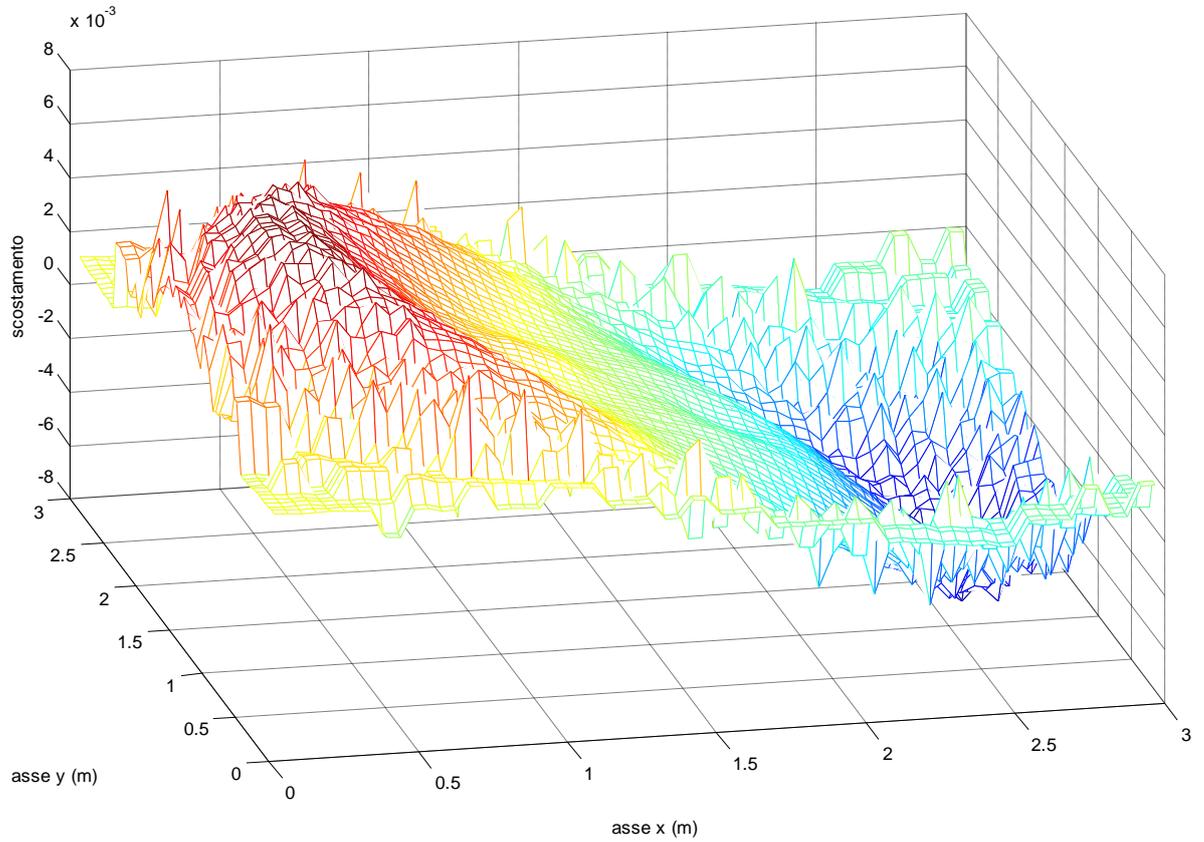


Fig. 8.7 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

8.4 Superficie di calcolo posta a 3 m

A mano a mano che ci si allontana dalla sorgente è logico pensare che ci sia una maggiore miscelazione dei colori e conseguentemente si abbia una luce che si allontana di poco da quella bianca desiderata. Ciò lo si vede in Fig. 8.8 e in Fig. 8.9, che rappresentano gli scostamenti di x e y alla distanza di 3 metri dalla sorgente.

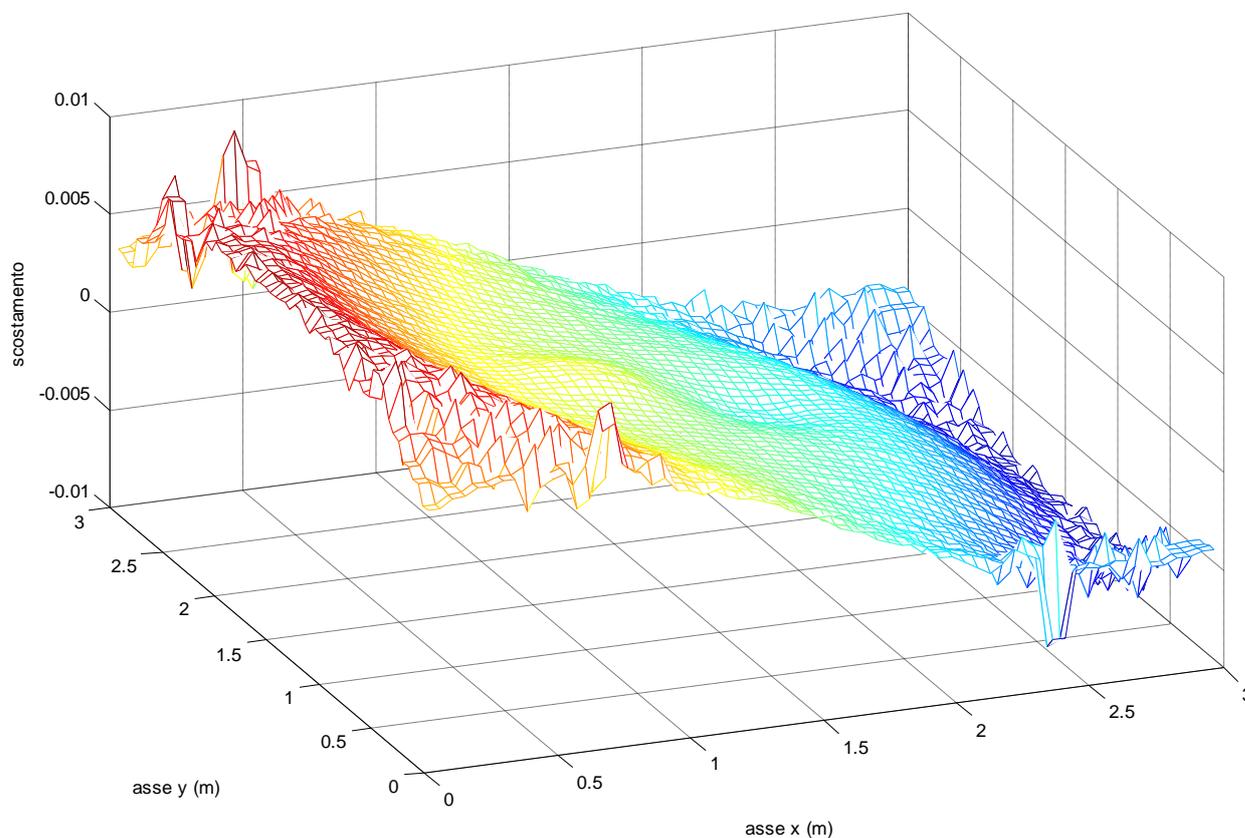


Fig. 8.8 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Come prima cosa, in questo grafico di Fig. 8.8 si nota un appiattimento e la scomparsa dei picchi, che lasciano posto a destra ad una lieve convessità ed a sinistra ad una concavità; ciò trova spiegazione nell'allontanamento della superficie di calcolo. Inoltre gli scostamenti massimi non si verificano più al centro, bensì alle estremità dove raggiungono un valore superiore di 0.0089 e un valore inferiore di -0.0086, quasi un ordine di grandezza in meno rispetto a quanto calcolato alla distanza di 50 cm.

In ultima analisi, agli angoli del grafico si ha un andamento irregolare costituito da numerosi picchi perché in quelle zone l'illuminamento non è sufficientemente elevato e tale da poter trascurare gli effetti degli errori di troncamento nella valutazione dell'illuminamento in DIALux.

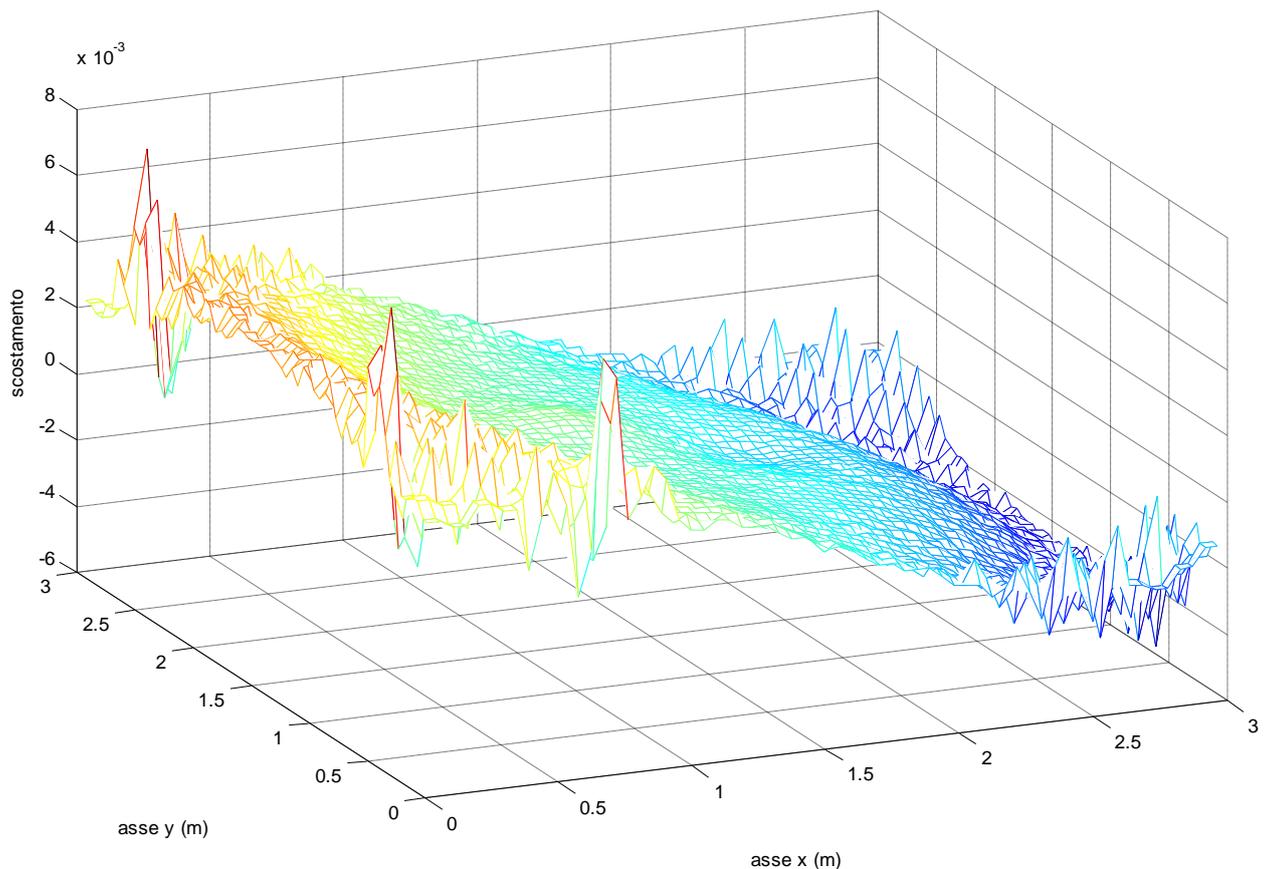


Fig. 8.9 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

Per il grafico della y di Fig. 8.9 vale quanto detto sopra per la x, con la differenza che gli scostamenti sono leggermente inferiori: il massimo superiore vale 0.0078 e il minimo inferiore vale -0.0053. Questa leggera differenza tra gli scostamenti di x e y trova riscontro anche nei calcoli fatti con la superficie di calcolo alla distanza di 50 cm.

Completata l'analisi dei risultati ottenuti con le quattro superfici di calcolo, si può concludere che l'uniformità cromatica si raggiunge quanto più ci si allontana dalla sorgente. Nello specifico, passando da una superficie posta alla distanza di venticinque volte la distanza tra i LED ad una alla distanza di centocinquanta volte la distanza tra i LED, gli scostamenti diventano circa un sesto.

9 Casi con due LED e progressiva riduzione della distanza tra essi

Il quarto caso e i successivi sei, analizzano le variazioni delle coordinate x e y calcolate attraverso delle simulazioni nelle quali sono stati utilizzati solo un LED rosso e uno blu, la cui distanza è stata progressivamente ridotta, partendo da un metro (vedi Fig. 9.1). Ogni simulazione è fatta con una superficie di calcolo alla distanza di 50 cm dalla sorgente e i LED sono posti sempre al centro della stanza. In questi casi tuttavia le coordinate di riferimento sono quelle del baricentro dei due colori e non più dei tre.

$$x = (0.65 + 0.16)/2 = 0.405$$

$$y = (0.3 + 0.03)/2 = 0.165$$

Il codice MatLab sarà diverso solo perché non c'è alcuna riga che fa riferimento al colore verde.

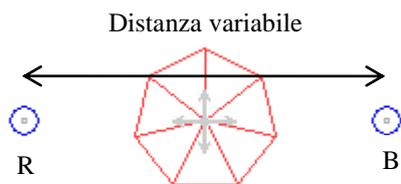


Fig. 9.1 – Posizione dei LED

9.1 Distanza tra i due LED pari a 1m

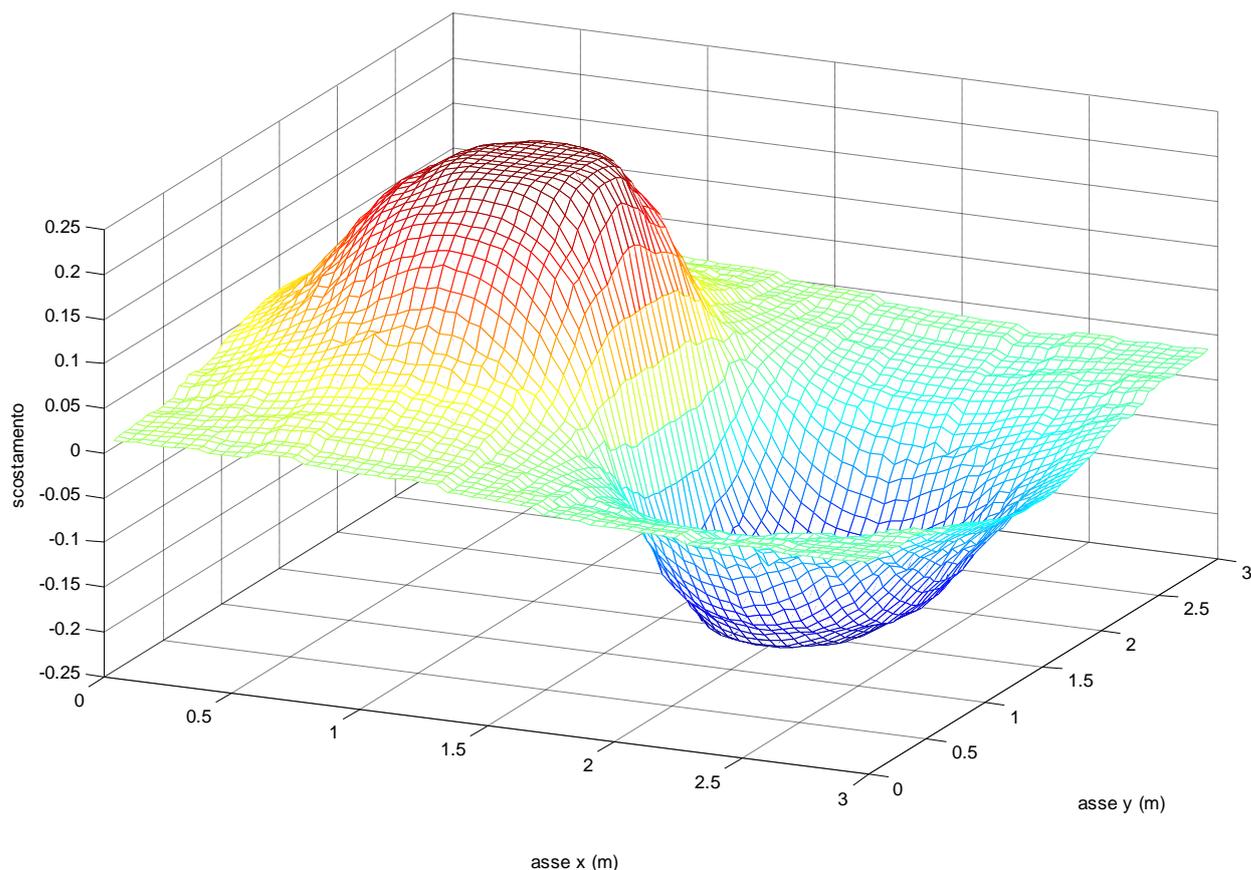


Fig. 9.2 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

La Fig. 9.2 mostra una convessità e una concavità in corrispondenza rispettivamente del LED rosso e di quello blu. La figura evidenzia poi una zona pianeggiante su ciascuna sommità, segno che la cromaticità non varia. Inoltre il valore massimo superiore e minimo inferiore degli scostamenti sono uguali in modulo e pari a 0.2444, per la presenza di due LED.

Il grafico di Fig. 9.3 è analogo a quello di Fig. 9.2 per le stesse motivazioni, con la differenza che il valore massimo superiore e minimo inferiore degli scostamenti è quasi la metà e pari a 0.1347 in modulo.

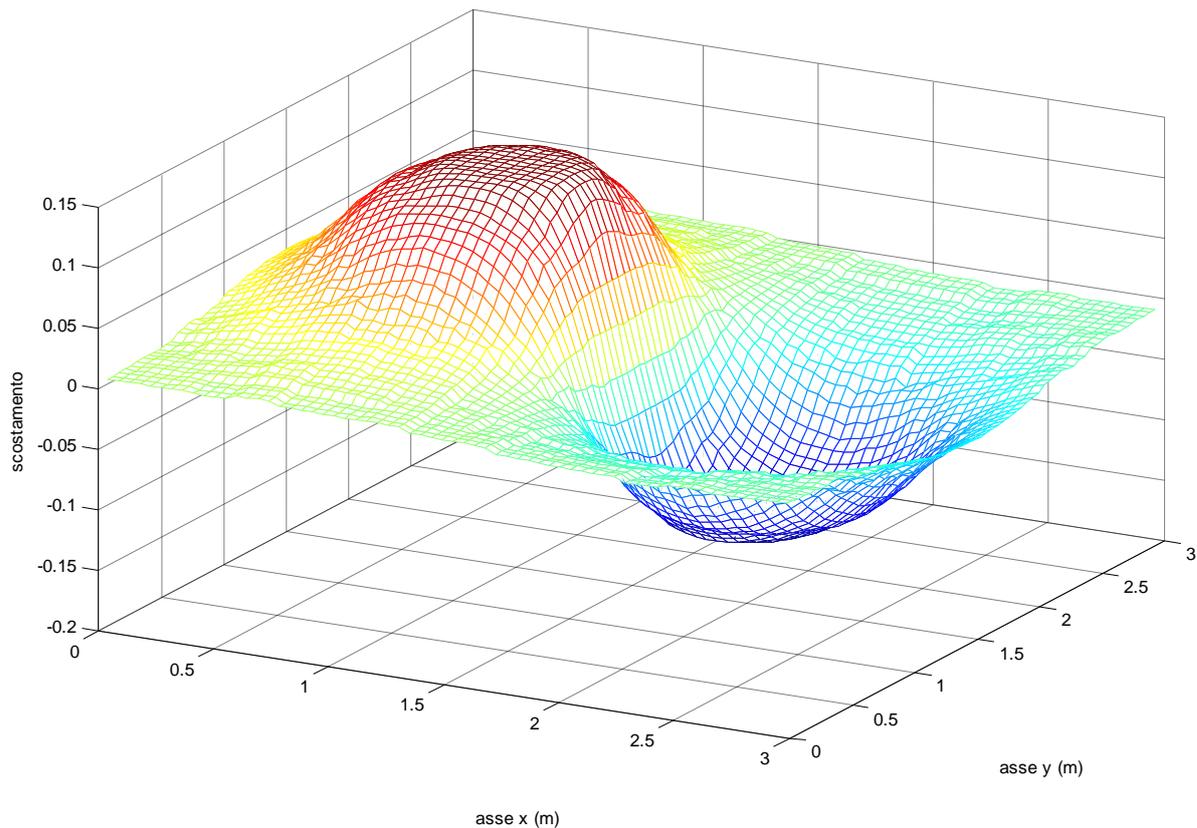


Fig. 9.3 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

9.2 Distanza tra i due LED pari a 50 cm

La configurazione è identica alla precedente con i LED alla distanza di 50 cm.

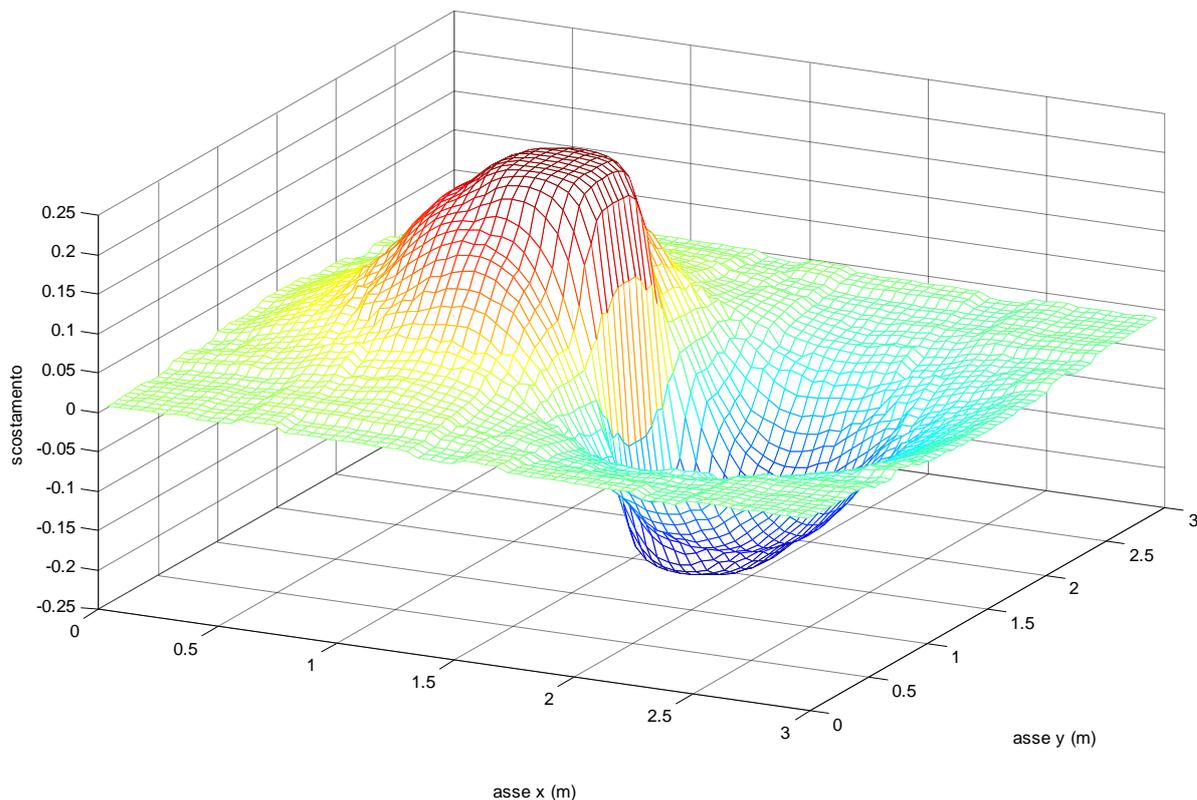


Fig. 9.4 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico di Fig. 9.4 risulta avere lo stesso andamento di quello precedente; il valore in modulo dello scostamento massimo è uguale a quello del minimo e pari a 0.2423, quindi leggermente inferiore a quanto ricavato prima nonostante la distanza tra i LED sia dimezzata. Il grafico infine ci permette di notare come il passaggio dalla zona di influenza del rosso a quella del blu avvenga più rapidamente.

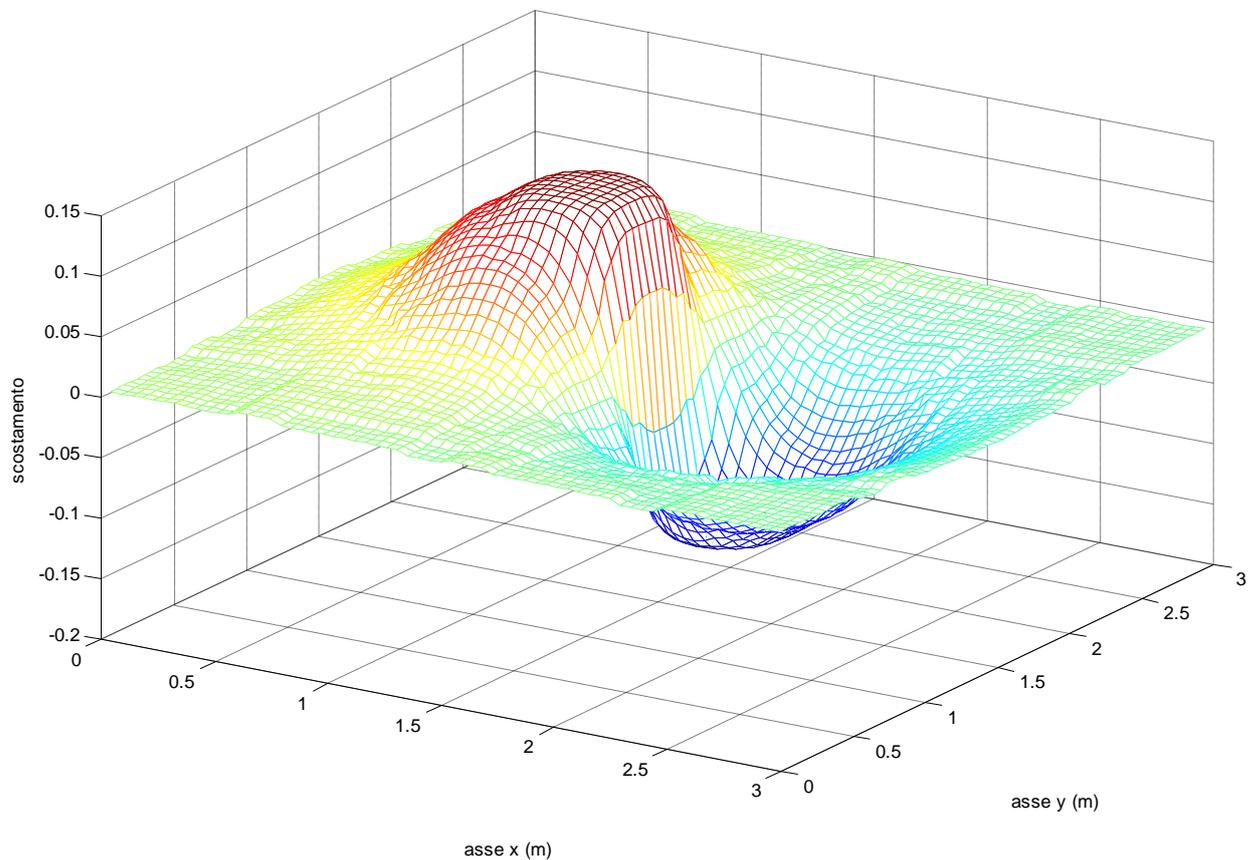


Fig. 9.5 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

Per la Fig. 9.5 i ragionamenti sono analoghi a quelli fatti per la 9.4. Il valore in modulo dello scostamento massimo e minimo coincidono ed è pari a 0.1335.

9.3 Distanza tra i due LED paria a 25 cm

Questo caso prevede sempre l'uso dei due LED rosso e blu, portati alla distanza di 25 cm. Al diminuire della distanza ci si attende una diminuzione progressiva del valore massimo di scostamento, come già si è verificato nei due casi precedenti, sebbene di poco. E' interessante notare come, a partire da questo caso, la posizione spaziale dei picchi nel grafico non segua gli spostamenti dei LED, ovvero i picchi non si spostino allo spostarsi dei LED.

Il grafico di Fig. 9.6 rappresenta le variazioni della x. Rispetto ai precedenti, i due picchi assumono una configurazione più "a punta" ed alla periferia inizia ad apprezzarsi meglio una zona pianeggiante intorno allo zero. Lo scostamento massimo in modulo diminuisce anche in questo caso portandosi al valore di 0.2327, che si mantiene comunque ad un livello elevato, tale da permettere ad un osservatore di distinguere sulla superficie i due colori.

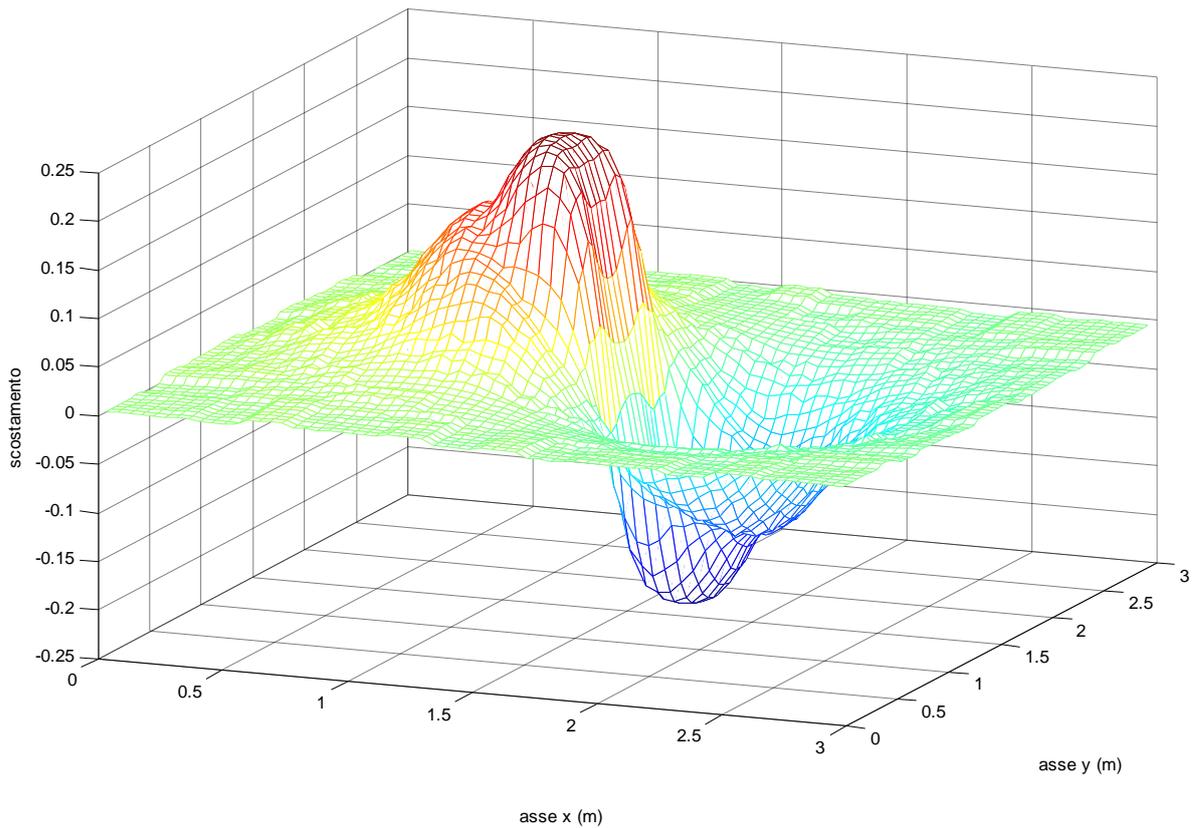


Fig. 9.6 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

La Fig. 9.7 rappresenta il grafico delle variazioni della y per il quale valgono le considerazioni fatte su quello della x. Il valore massimo in modulo dello scostamento si porta al valore di 0.1282.

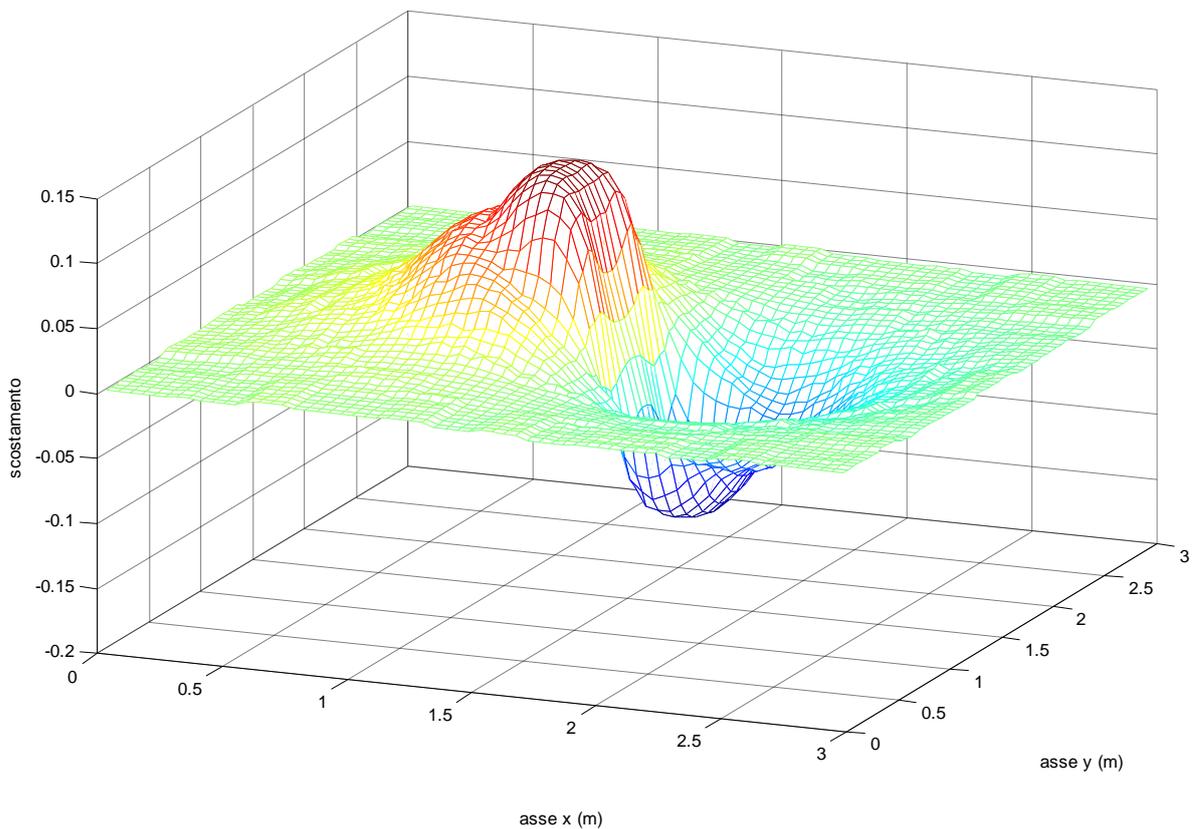


Fig. 9.7 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

9.4 Distanza tra i LED pari a 15 cm

Questo caso prevede che i due LED siano portati alla distanza di 15 cm.

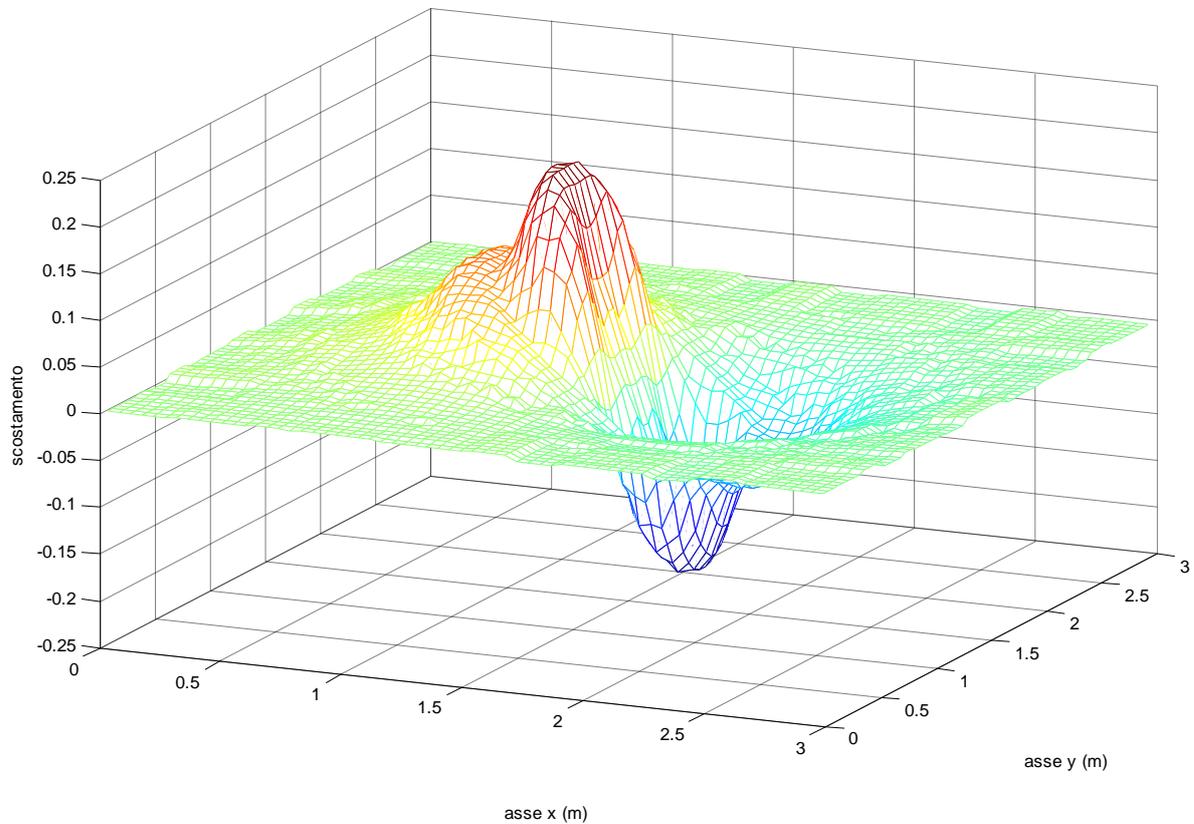


Fig. 9.8 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico delle variazioni della x di Fig. 9.8, mostra i due picchi che diventano ancora più appuntiti con la formazione di un accrescimento a ridosso di essi. Aumenta la superficie pianeggiante in cui la cromaticità è quella del baricentro, quindi diminuisce la superficie in cui è possibile apprezzare la presenza di un colore piuttosto che quella dell'altro. Lo scostamento massimo in modulo raggiunge il valore di 0.2071.

Il grafico delle variazioni della y di Fig. 9.9, ha un andamento pressoché identico a quello precedente della x, per cui valgono le stesse considerazioni; il valore massimo in modulo dello scostamento è pari a 0.1141.

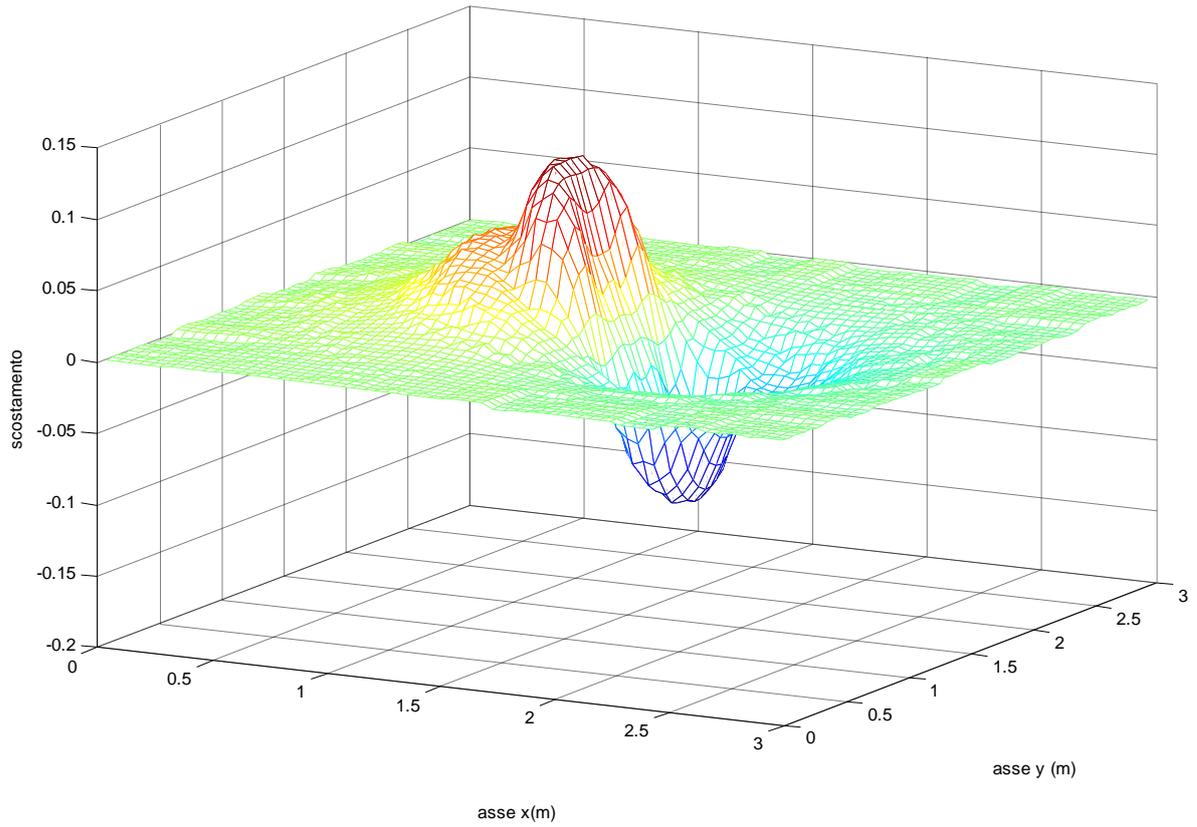


Fig. 9.9 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

9.5 Distanza tra i LED pari a 8 cm

Questo caso porta i LED alla distanza di 8 cm.

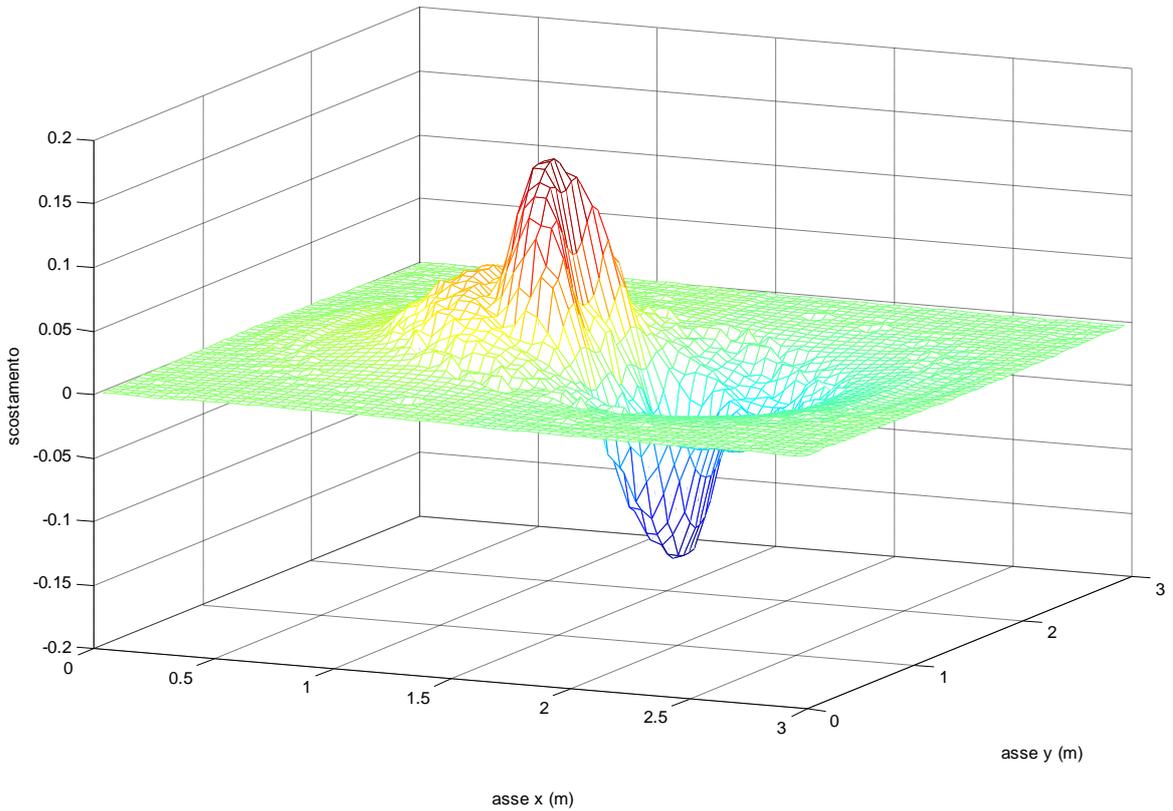


Fig. 9.10 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico delle variazioni della x di Fig. 9.10, ha un andamento simile ai precedenti, con un aumento della zona pianeggiante in corrispondenza dello zero e una diminuzione dello scostamento massimo in modulo che si porta al valore di 0.1517, compiendo una diminuzione apprezzabile rispetto al precedente.

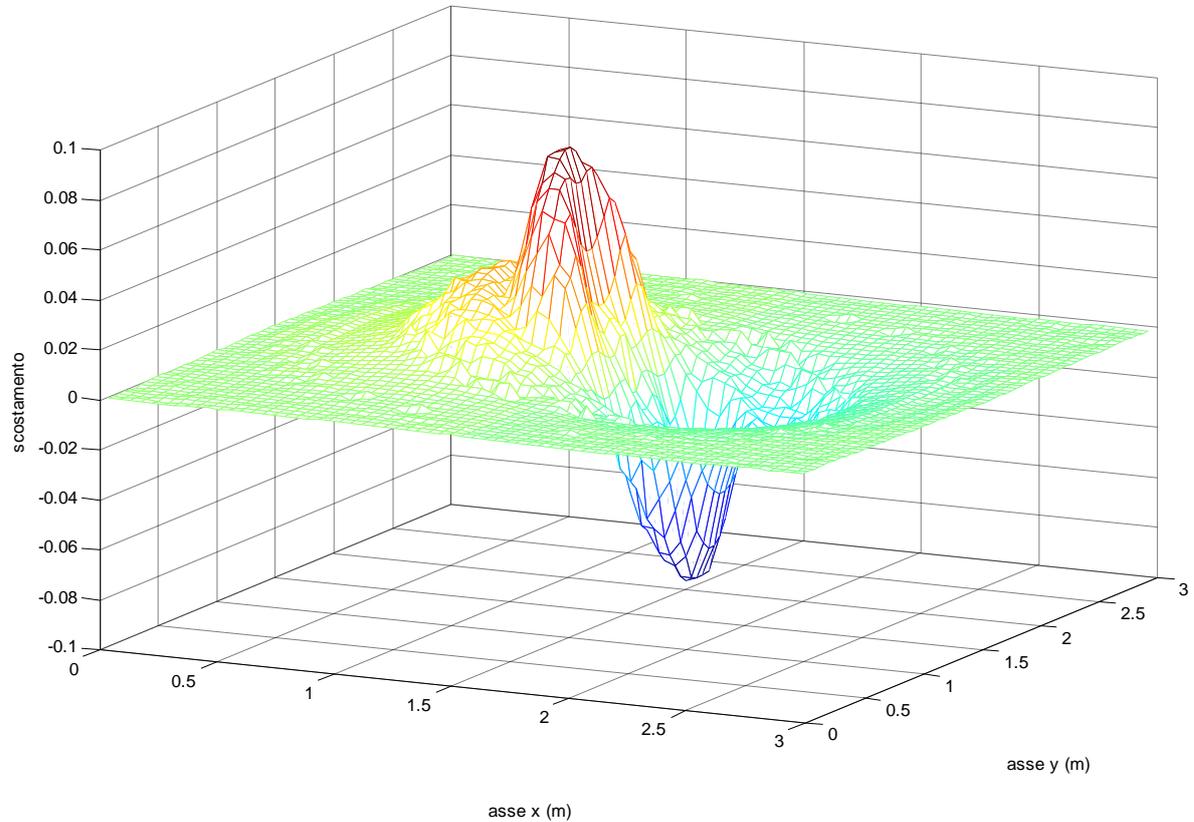


Fig. 9.11 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

Allo stesso modo, il grafico delle variazioni della y di Fig. 9.11 può considerarsi simile al precedente della x di Fig. 9.10, pur con una diminuzione del valore massimo in modulo dello scostamento, che si porta a 0.0836.

9.6 Distanza tra i LED pari a 4 cm

Questo caso riduce ulteriormente la distanza tra i LED fino a 4 cm, mantenendo sempre la stessa configurazione.

Il grafico delle variazioni della x di Fig. 9.12 presenta dei picchi più appuntiti e più ristretti rispetto ai precedenti. E' notevole invece la riduzione dello scostamento massimo in modulo che è circa metà di quello precedente e raggiunge il valore di 0.0891.

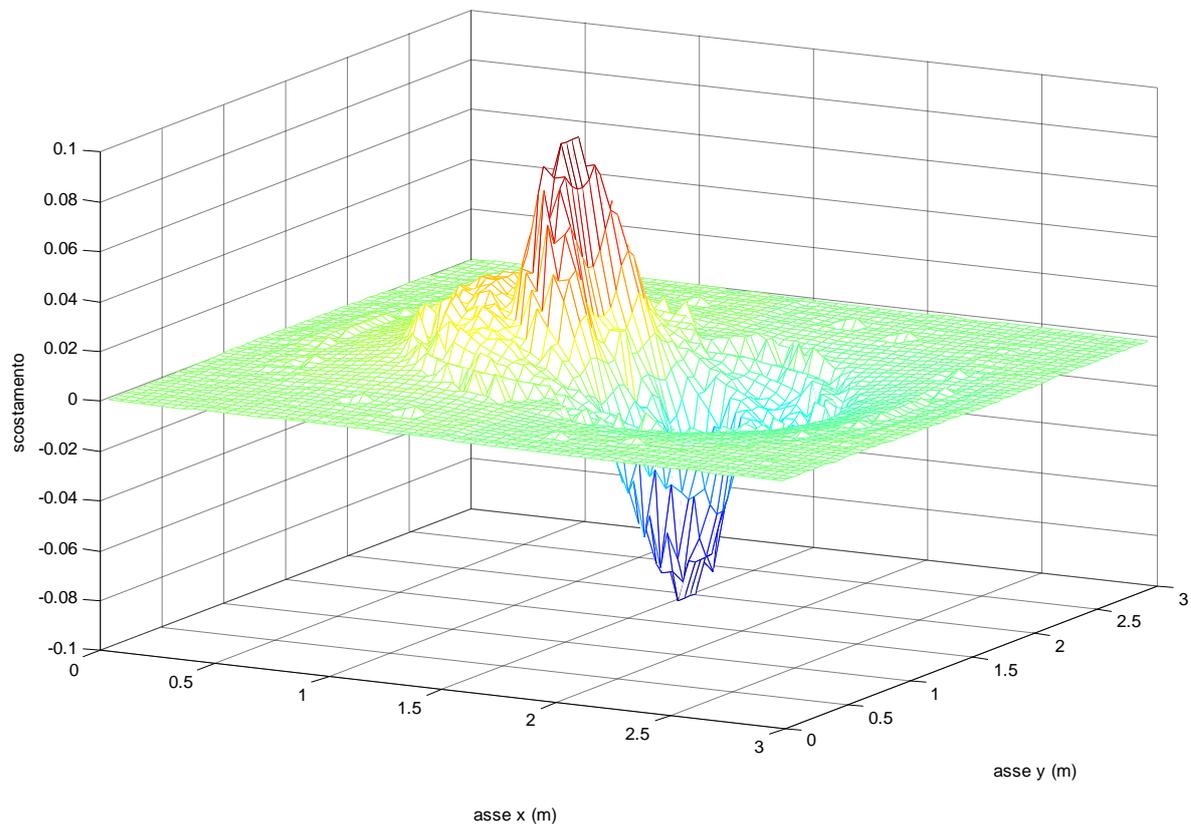


Fig. 9.12 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico di Fig. 9.13 delle variazioni della y ha un andamento simile a quello della x di Fig.9.12, per cui valgono le stesse considerazioni. Lo scostamento massimo in modulo si riduce di circa metà raggiungendo il valore di 0.0491.

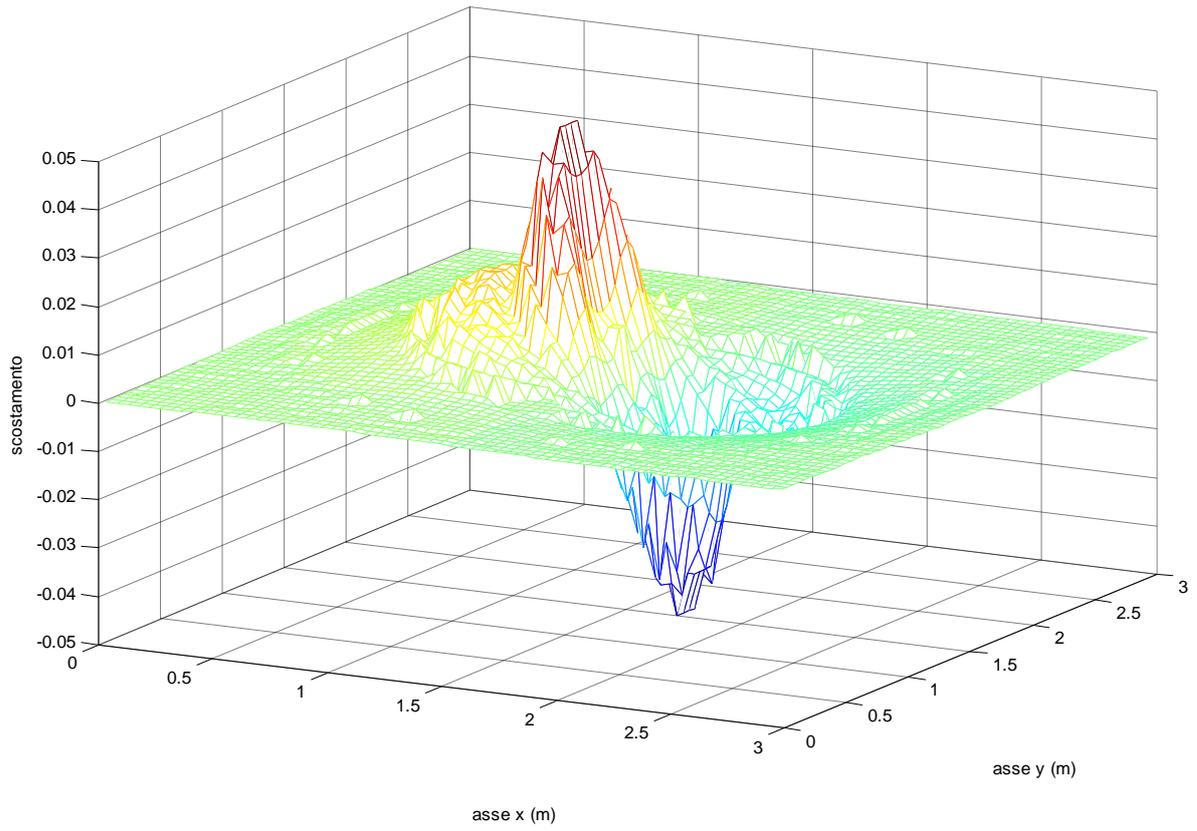


Fig. 9.13 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

9.6 Distanza tra i LED pari a 2 cm

L'ultimo caso porta i due LED alla distanza limite inferiore di 2 cm, al di sotto della quale non si riesce ad andare per ragioni pratiche, dal momento che ciascun LED ha una base circolare di diametro pari a 2 cm.

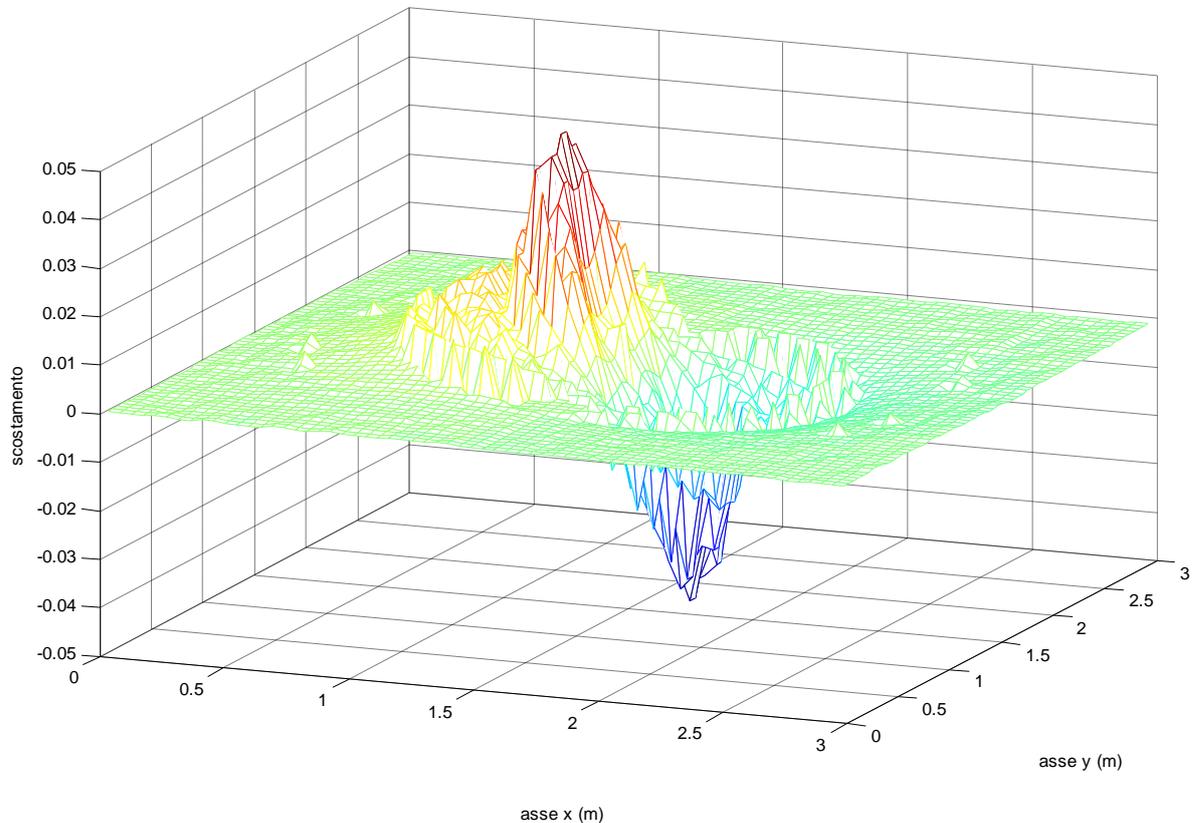


Fig. 9.14 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico delle variazioni della x di Fig. 9.14 ottenuto in questo caso, accentua maggiormente come sia brusco il passaggio dalla zona pianeggiante, in cui si è sul baricentro, alla zona in cui inizia a prevalere la cromaticità di un colore o dell'altro. Infine lo scostamento massimo in modulo si dimezza rispetto al precedente raggiungendo il valore di 0.0470, al di sotto del quale non è possibile andare.

Il grafico seguente delle variazioni della y di Fig. 9.15 ci permette di fare le stesse considerazioni fatte per quello della x di Fig. 9.14, data la somiglianza. Anche per la y si ha una diminuzione dello scostamento massimo in modulo di circa metà rispetto al precedente, raggiungendo così il valore limite inferiore di 0.0259.

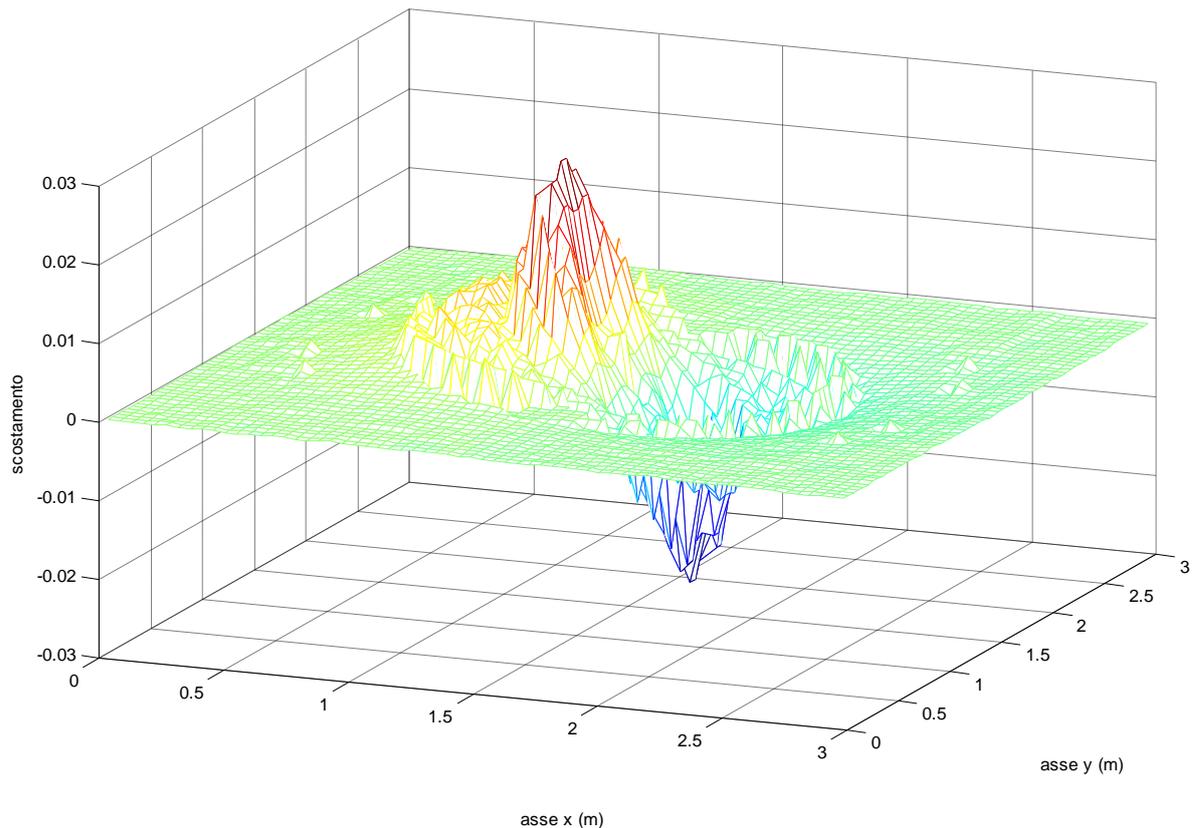
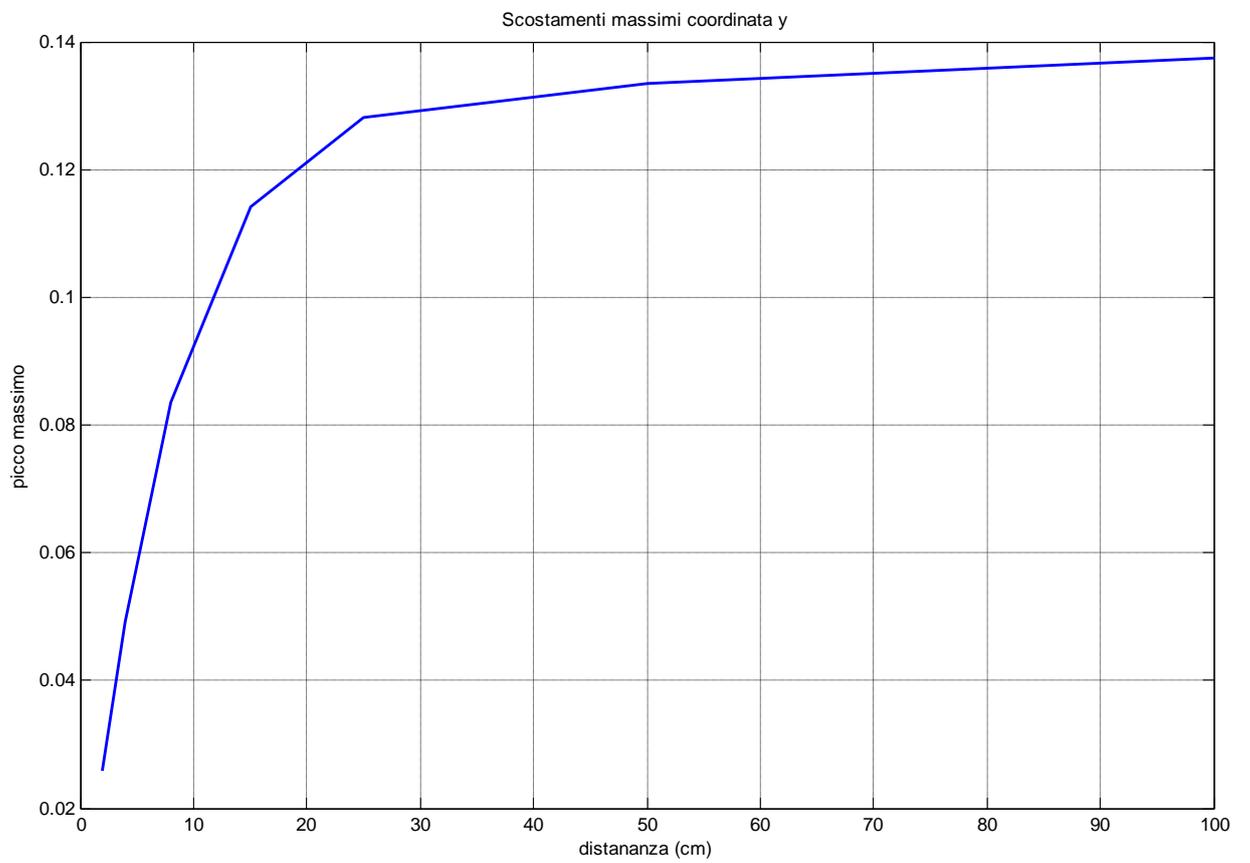
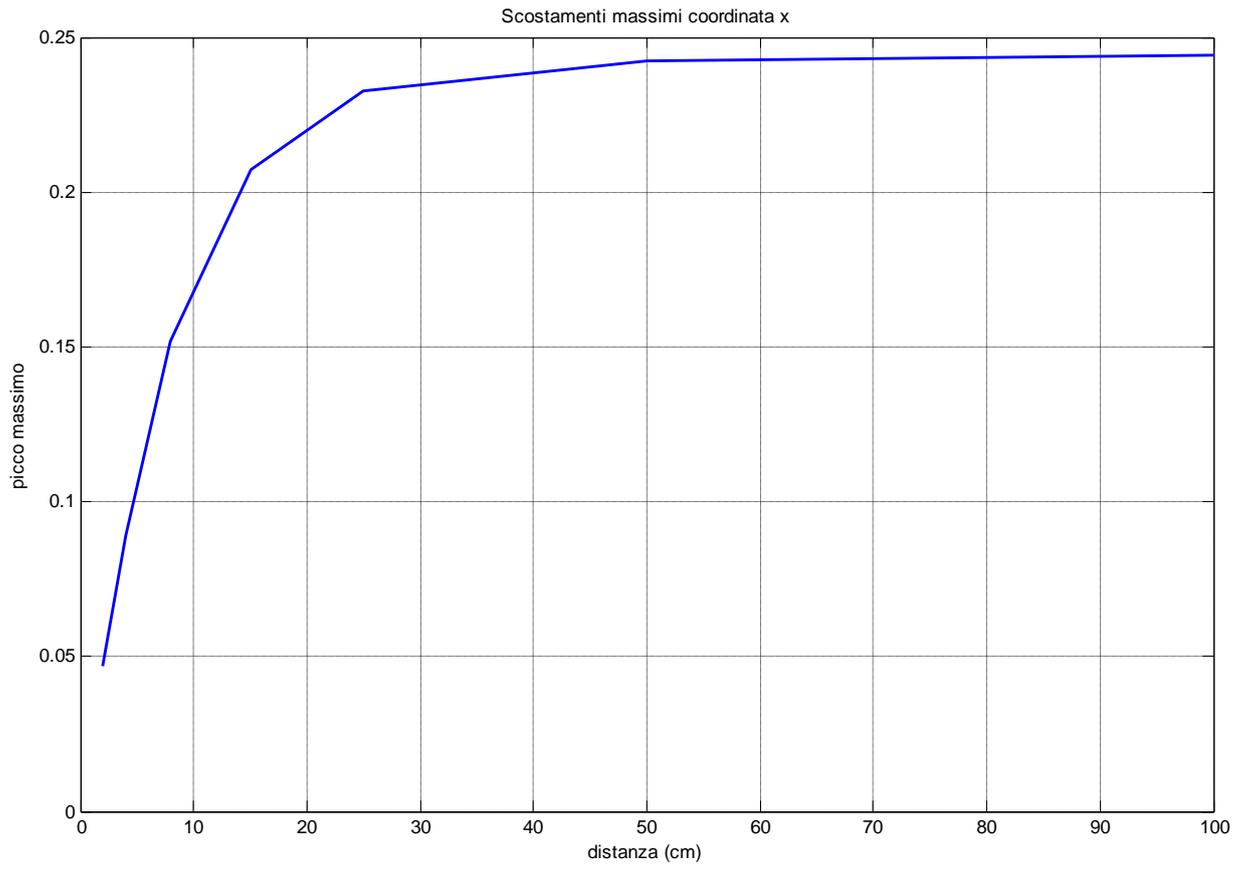


Fig. 9.15 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

I due grafici che seguono, riassumono l'andamento dei valori massimi degli scostamenti per la x e per la y, calcolati su una superficie posta a 50 cm dalle sorgenti, in funzione della distanza tra le sorgenti stesse, per i casi sopra sviluppati riguardanti le simulazioni con un LED rosso e uno blu. Entrambi ci permettono di capire quanto la cromaticità ottenuta sia lontana dalla cromaticità teorica, ovvero quella corrispondente al baricentro, e come questa vari al variare della distanza tra i LED. Sia per la x che per la y si nota che l'ampiezza degli scostamenti diminuisce fortemente a partire dai 30 cm circa di distanza tra i LED, fino a raggiungere il minimo (peraltro non trascurabile) a 2 cm di distanza; oltre i 30 cm di distanza invece gli scostamenti variano di poco e restano sempre elevati. Si nota inoltre come lo scostamento minimo della x sia circa il doppio di quello della y, e in generale per tutte le distanze valga questa superiorità, dovuta al fatto che nel triangolo dei colori il rosso e il blu si trovino ad una distanza x molto maggiore rispetto alla distanza y.

In ultima analisi è quindi possibile ricavare che, nel caso di due LED, si ottiene la migliore uniformità cromatica quando la distanza della superficie è venticinque volte superiore alla distanza tra i LED, mentre gli scostamenti iniziano a diminuire fortemente a partire da una distanza di 1.7 volte la distanza tra i LED.



10 Casi con più file di LED di sequenza RGB alternate

Questo caso e i successivi cinque, prendono in considerazione non più una singola fila di LED ma tre file all'interno delle quali è ripetuta dieci volte la sequenza RGB con un ordine diverso per fila come si capisce dalla Fig. 10.1.

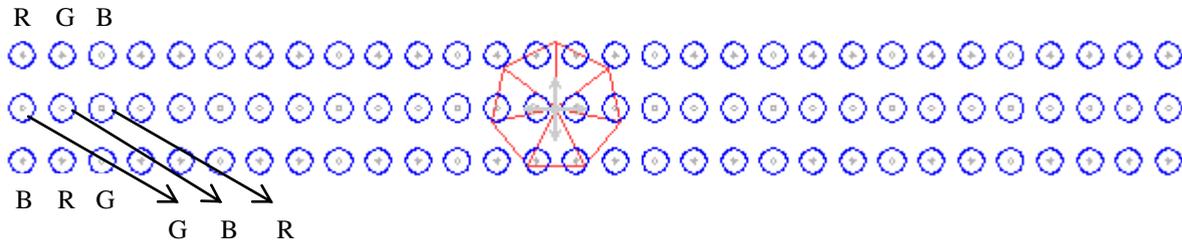


Fig. 10.1 – Posizione dei LED

L'obiettivo di queste simulazioni è vedere come variano le coordinate cromatiche x e y , su una superficie posta a 50 cm dalla sorgente, al variare delle posizioni reciproche dei singoli LED lungo gli assi coordinati. Nello specifico vi saranno sei combinazioni risultanti da una piccola matrice delle distanze lungo l'asse x e l'asse y ; la sorgente si trova sempre al centro dell'ambiente.

10.1 Distanze $x = 2$ cm, $y = 2$ cm

La prima di queste simulazioni è fatta con i LED distanti 2 cm tra loro lungo x e lungo y .

Il grafico di Fig. 10.2 degli scostamenti della x dal valore del baricentro ($x = 0.37$) evidenzia che essi sono molto ridotti con questa configurazione e raggiungono un massimo superiore pari a 0.0057 e un minimo inferiore pari a -0.0049. La posizione dei picchi, sia positivi che negativi, si spiega con la disposizione stessa dei colori dei LED, che producono gli effetti maggiori in corrispondenza delle due estremità minori della sorgente. Come si può notare, a sinistra compare un picco positivo dovuto al rosso, mentre più in basso ne compare uno negativo dovuto al blu, proprio perché il rosso e il blu sono i colori iniziali di due file. A destra si può ripetere lo stesso discorso invertendo i due picchi, infatti due file della sorgente terminano rispettivamente con il blu e con il rosso. Infine, alla periferia del grafico si notano delle irregolarità intorno allo zero dovute al troncamento delle cifre che avviene in DIALux.

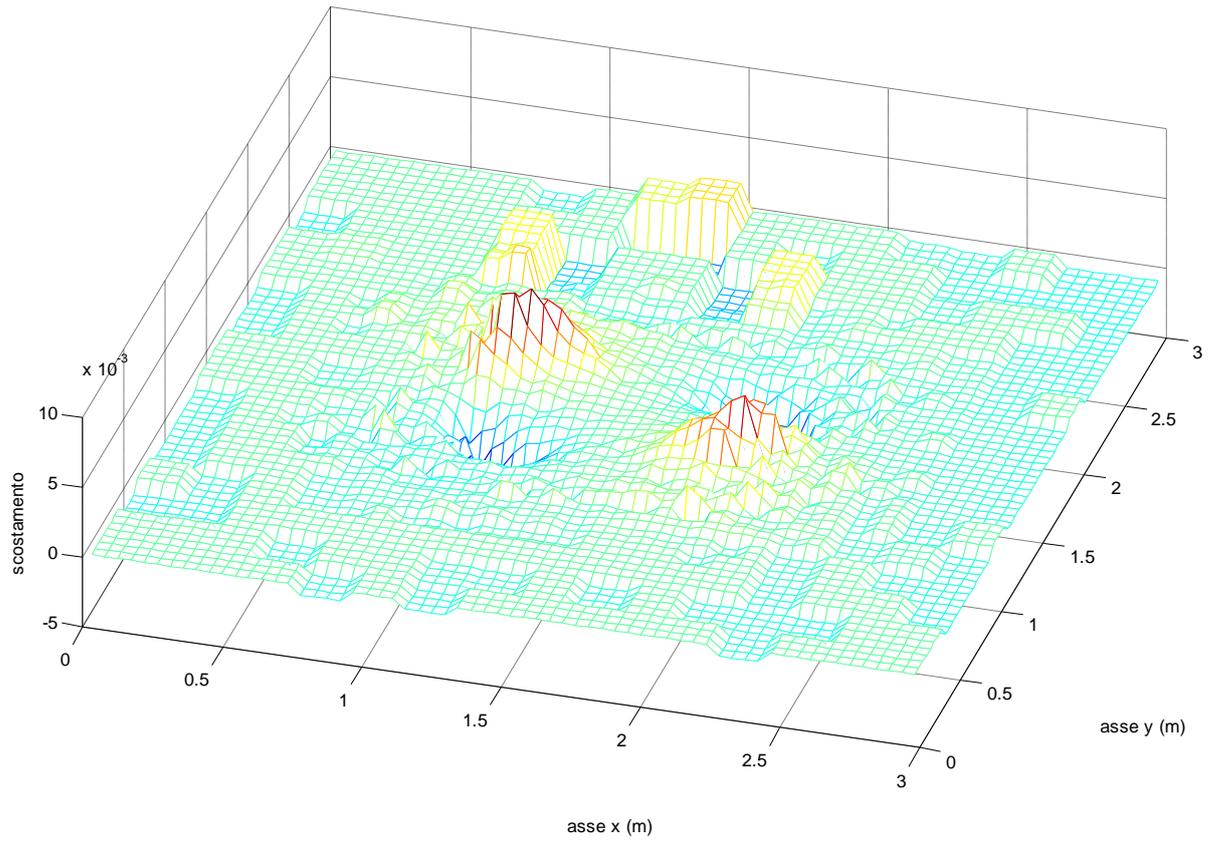


Fig. 10.2 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

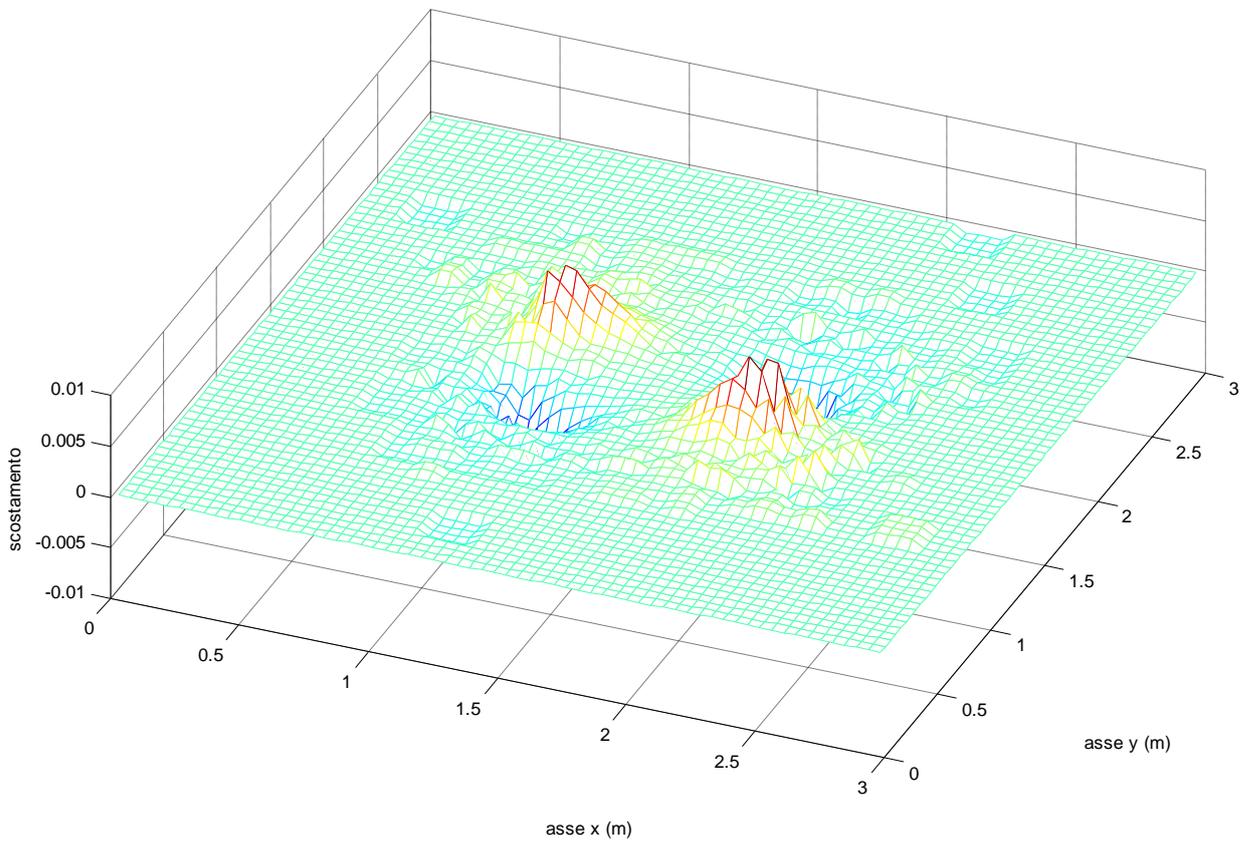


Fig. 10.3 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

Per le variazioni delle y di Fig. 10.3 valgono le stesse considerazioni fatte per la x a proposito dei picchi e della loro posizione. La zona verde della periferia, in questo caso risulta essere più uniforme. Il valore massimo superiore degli scostamenti vale 0.0077, mentre il minimo inferiore vale -0.0063; entrambi risultano essere leggermente più grandi di quelli della x .

10.2 Distanze $x = 2$ cm, $y = 3$ cm

Questo caso mantiene i LED ad una distanza di 2 cm lungo l'asse x , mentre lungo l'asse y la distanza viene portata a 3 cm.

Come nel caso precedente, per il grafico di Fig. 10.4 relativo agli scostamenti della x , si notano ancora un picco superiore ed uno inferiore in corrispondenza di ciascuna delle due estremità inferiori della sorgente, rispettivamente con la stessa posizione, dal momento che la disposizione dei colori dei LED è rimasta invariata. Si può aggiungere che è aumentato il valore massimo superiore degli scostamenti, che raggiunge 0.0082, ed anche quello minimo inferiore, che raggiunge -0.0074.

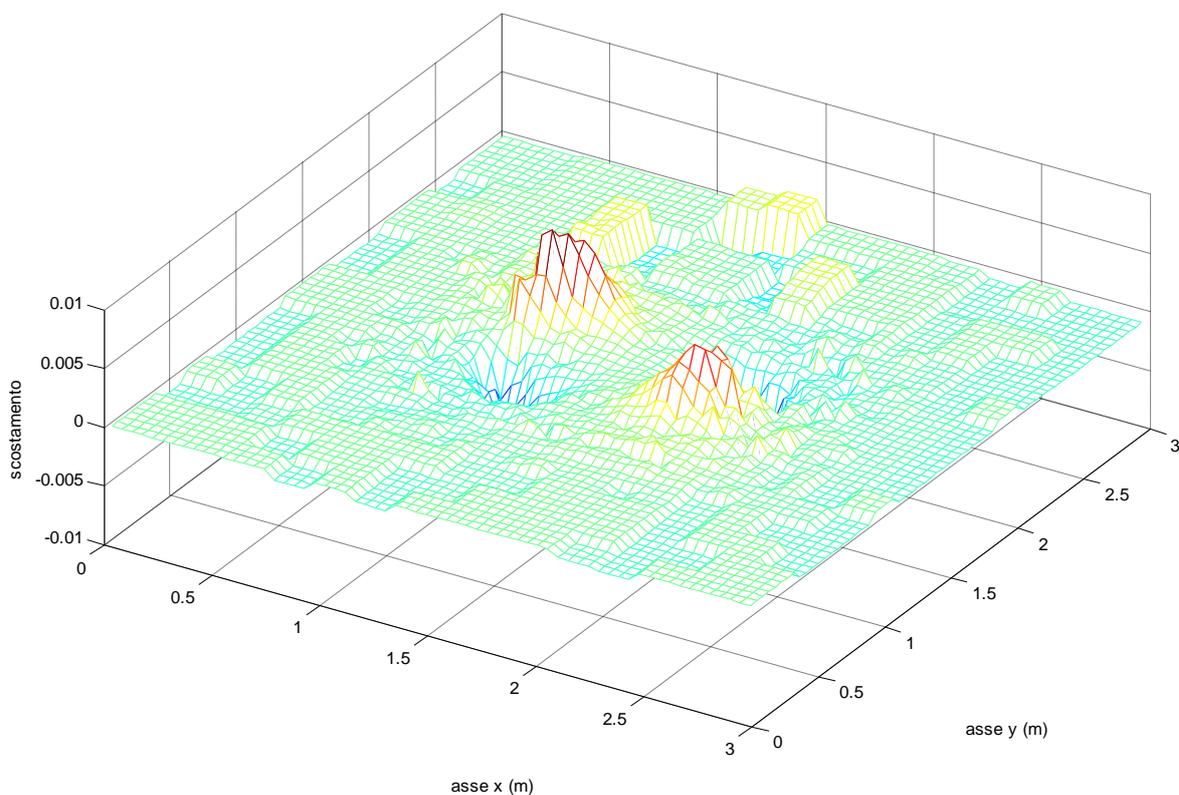


Fig. 10.4 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Per la y in Fig. 10.5 valgono le stesse considerazioni, anche sui valori del massimo superiore e del minimo inferiore che arrivano rispettivamente a 0.0105 ed a -0.0089.

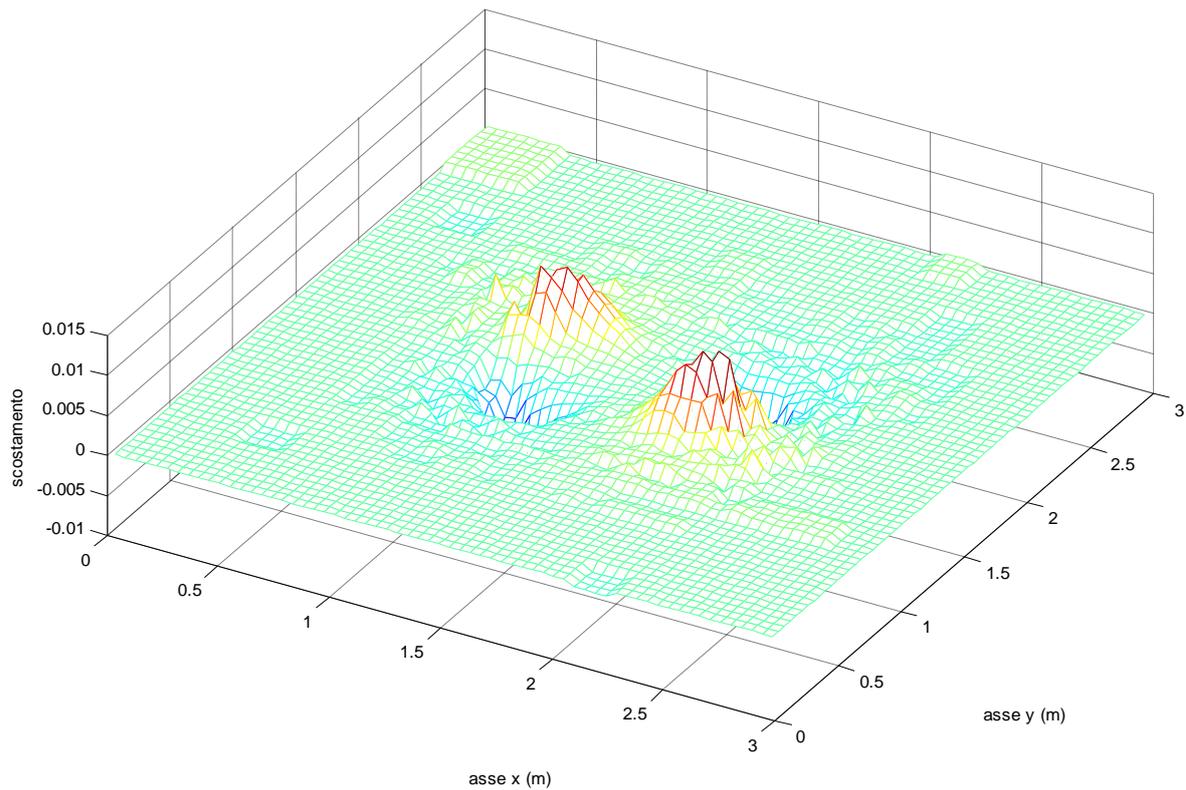


Fig. 10.5 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

10.3 Distanze $x = 3 \text{ cm}$, $y = 3 \text{ cm}$

In questo caso la distanza lungo gli assi x e y è la stessa ed è pari a 3 cm.

Il grafico degli scostamenti della x di Fig. 10.6 non fa che confermare quello detto per i precedenti, dal momento che la disposizione dei colori è rimasta invariata. Risultano solo più accentuati gli errori dovuti al troncamento delle cifre in DIALux che provocano dei gradini nella zona verde alla periferia del grafico in prossimità dello zero. Anche in questo caso il massimo superiore ed il minimo inferiore superano i valori precedenti, portandosi rispettivamente a 0.0130 ed a -0.0106.

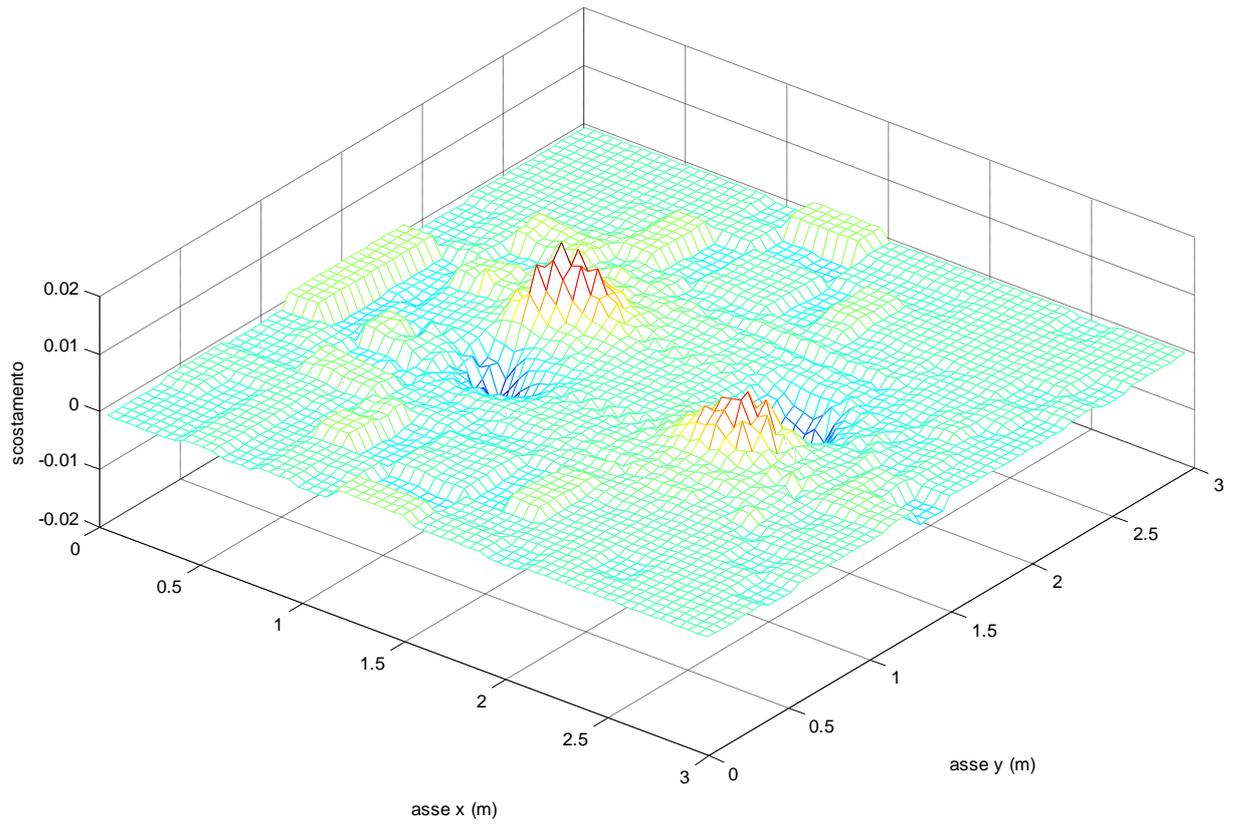


Fig. 10.6 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Per quanto riguarda le y, il grafico di Fig. 10.7 porta alle stesse conclusioni tratte per la x, anche sui valori degli scostamenti, che nello specifico raggiungono 0.0190 per il massimo superiore e -0.0139 per il minimo inferiore. Si nota invece una maggiore uniformità nella zona verde della periferia.

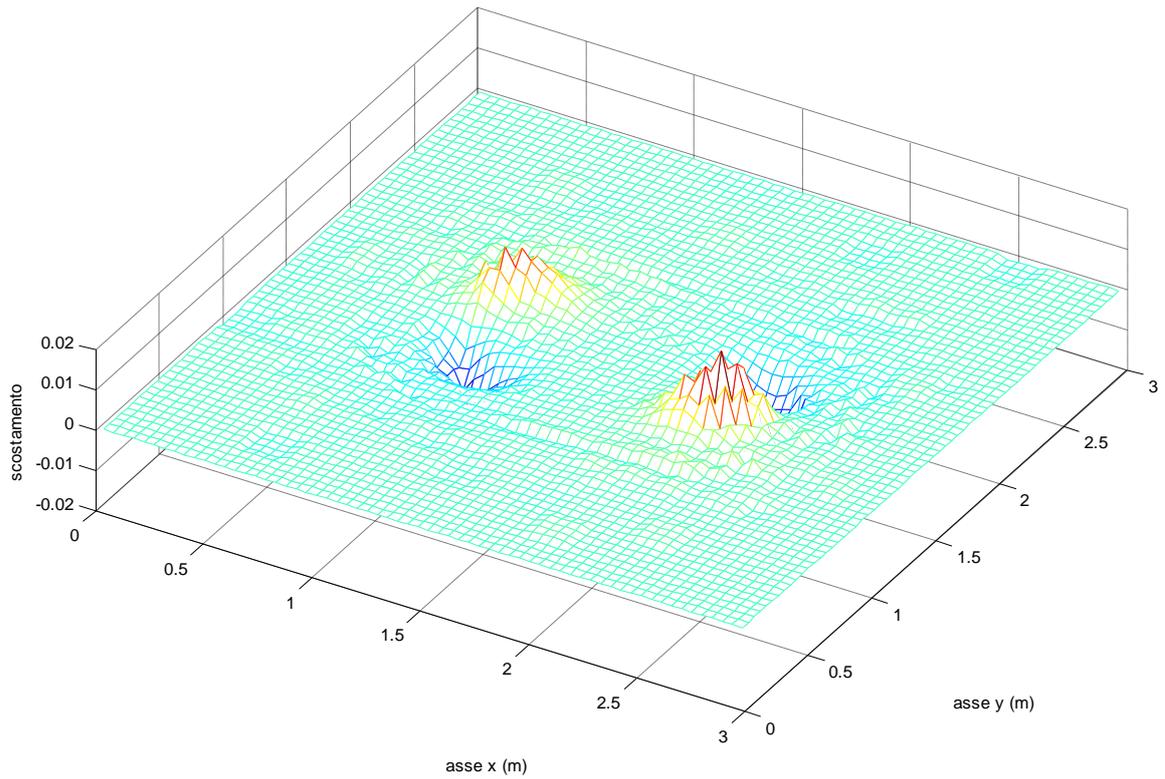


Fig. 10.7 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

10.4 Distanze $x = 3$ cm, $y = 2$ cm

In questo caso le distanze tra i LED sono di 3 cm lungo l'asse x e 2 cm lungo l'asse y.

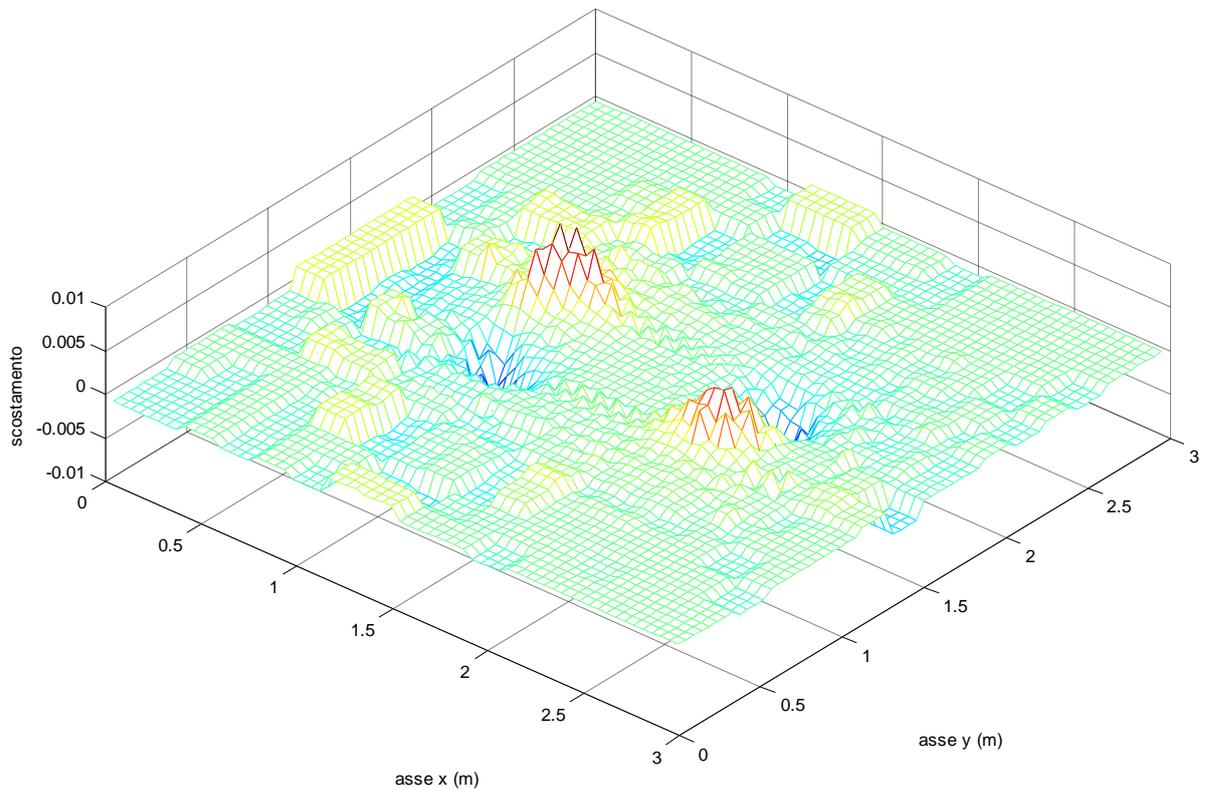


Fig. 10.8 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico degli scostamenti della x di Fig. 10.8 non si discosta dai precedenti nella configurazione generale e nella disposizione dei picchi. Risultano maggiori gli effetti prodotti dal troncamento, mentre l'avvicinamento dei LED lungo l'asse y , rispetto al caso precedente, provoca una diminuzione del picco massimo superiore che si porta a 0.0090, e di quello minimo inferiore che arriva a -0.0080.

Anche per il grafico degli scostamenti della y di Fig. 10.9, la configurazione è del tutto simile ai precedenti. In analogia con la x poi, l'avvicinamento dei LED lungo l'asse y , rispetto al caso precedente, provoca una diminuzione del picco massimo superiore che si porta a 0.0130, e di quello inferiore che arriva a -0.0099.

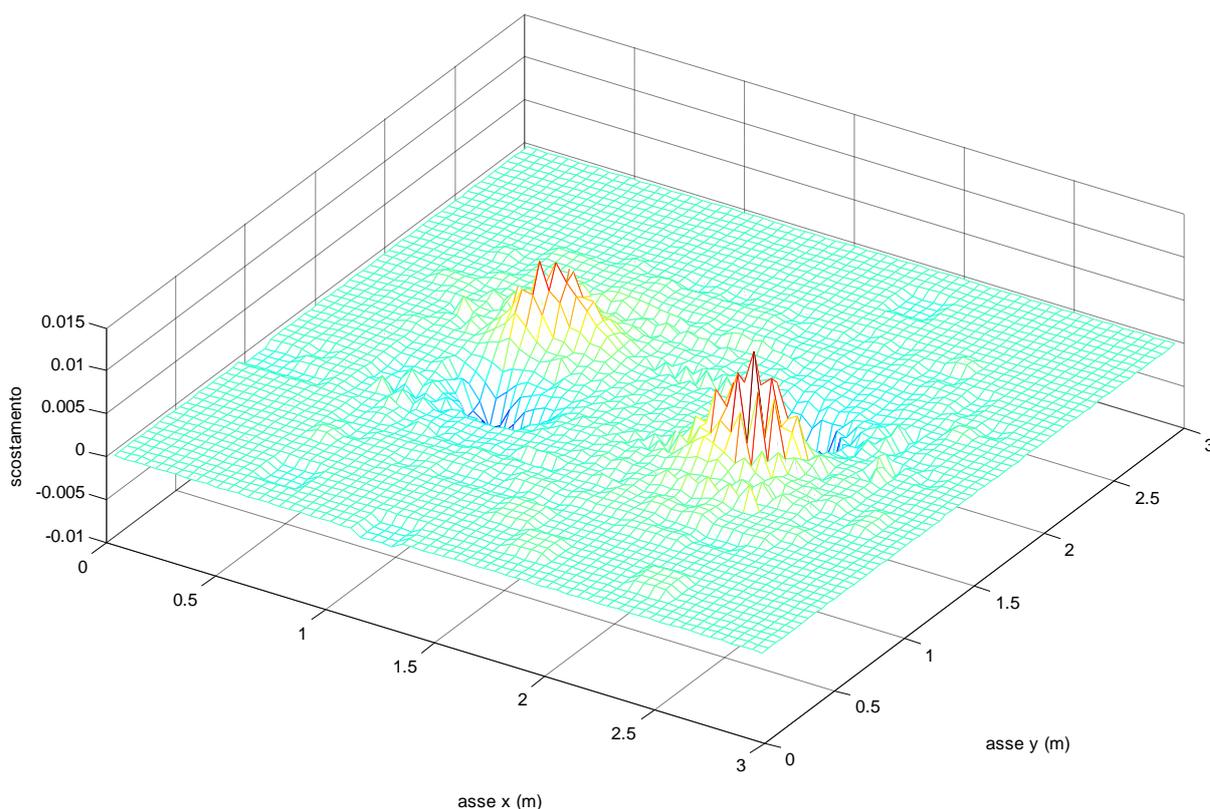


Fig. 10.9 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

10.5 Distanze $x = 3$ cm, $y = 4$ cm

Questo caso mantiene la distanza tra i LED lungo l'asse x a 3 cm, mentre aumenta la distanza lungo l'asse y a 4 cm.

Il grafico degli scostamenti della x di Fig. 10.10 mostra ancora una volta come la sua configurazione non cambi al cambiare delle distanze relative tra i singoli LED, ma dipenda solo dalla disposizione dei colori. La distanza tra le sorgenti elementari influenza invece il valore dello scostamento massimo superiore, che in questo caso arriva a 0.0174, e di quello minimo inferiore che arriva a -0.0135. Infine si nota con una certa facilità l'errore dovuto al troncamento.

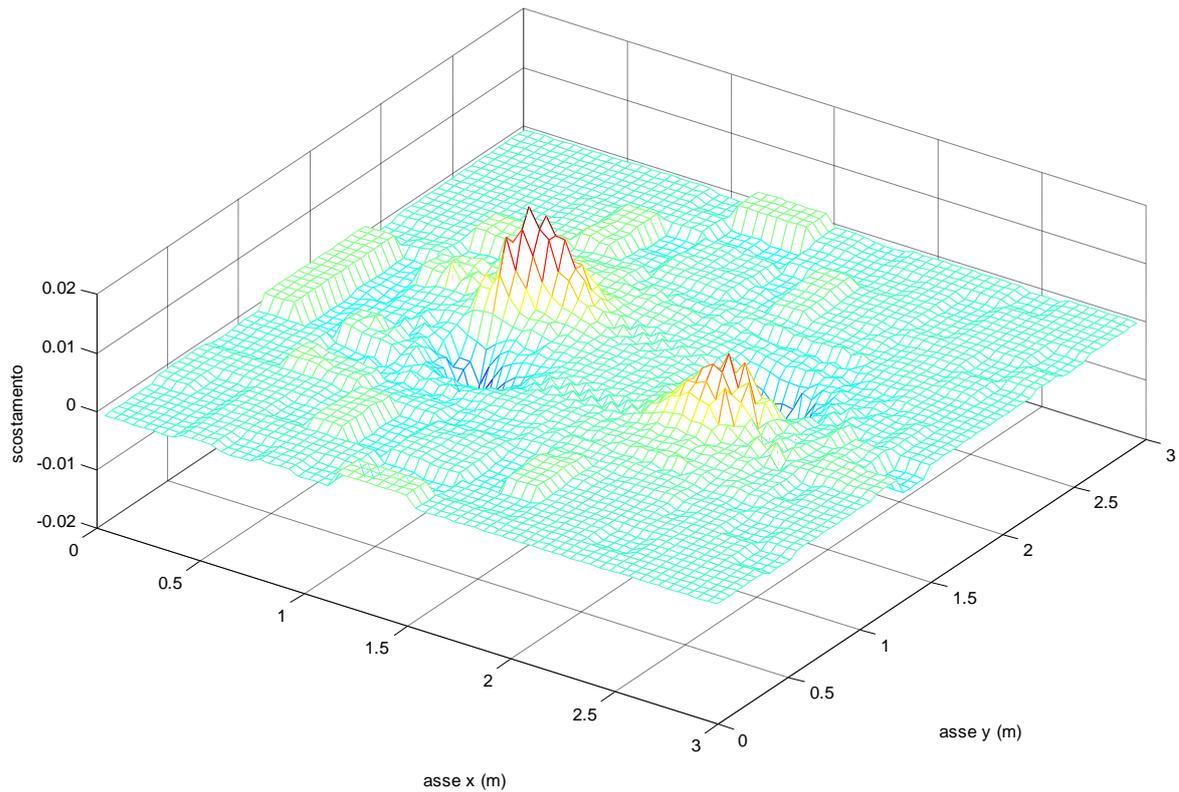


Fig. 10.10 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico degli scostamenti della y di Fig. 10.11 conferma quanto detto per la x. Il valore massimo superiore degli scostamenti è di 0.0230, mentre il valore minimo inferiore è -0.0177.

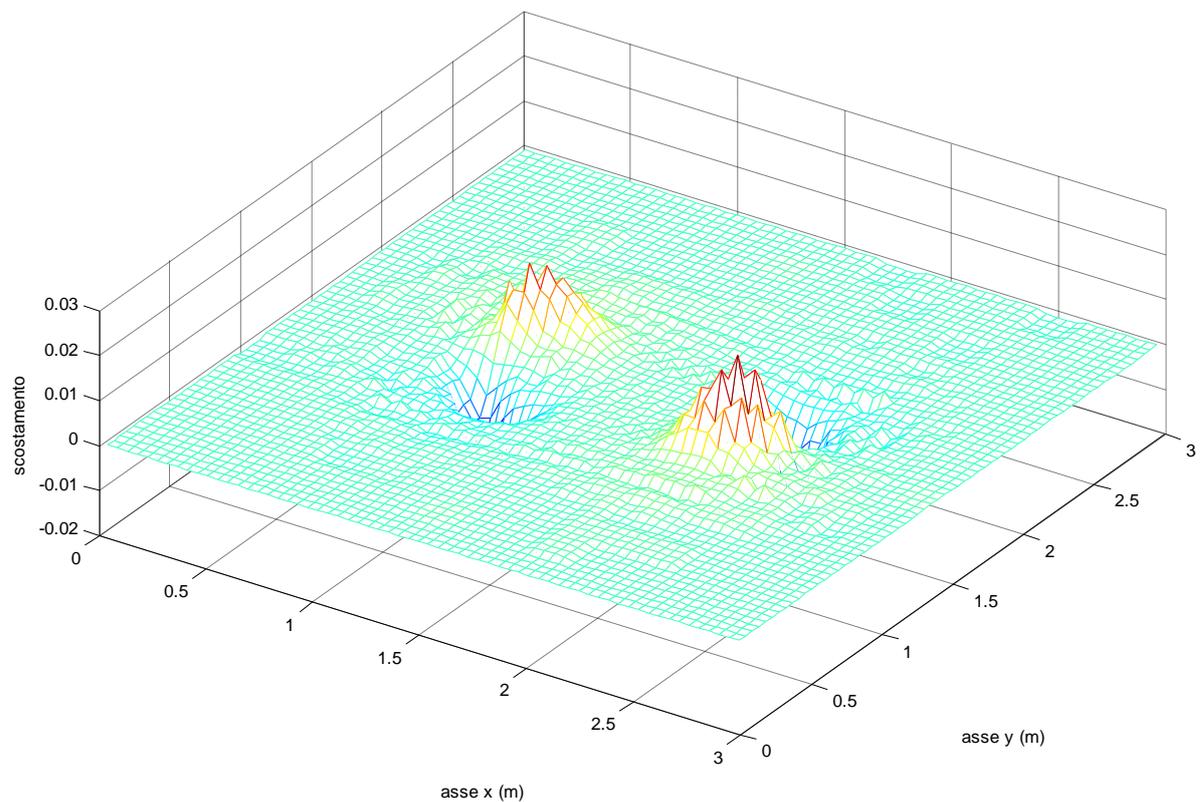


Fig. 10.11 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

10.6 Distanze $x = 2$ cm, $y = 4$ cm

L'ultimo caso simulato prevede invece una distanza lungo l'asse x pari a 2 cm e una distanza lungo l'asse y di 4 cm.

Il grafico degli scostamenti della x di Fig. 10.12 è in linea con i precedenti e mostra ancora una volta una variazione del valore massimo superiore e di quello minimo inferiore che si portano rispettivamente a 0.0101 ed a -0.0094 in seguito alla variazione delle distanze reciproche tra i LED.

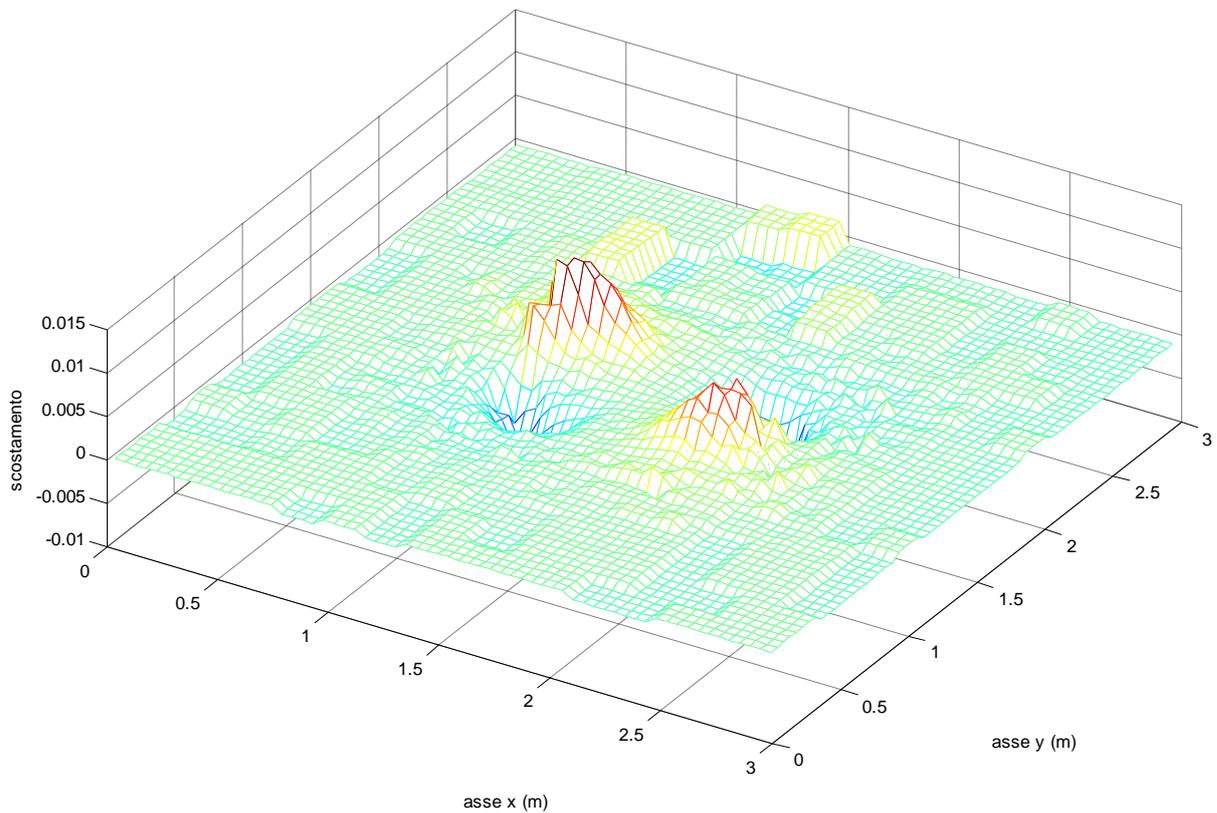


Fig. 10.12 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Allo stesso modo, il grafico degli scostamenti della y di Fig. 10.13 è in linea con i precedenti e raggiunge un valore massimo superiore di 0.0134 e un valore minimo inferiore di -0.0119.

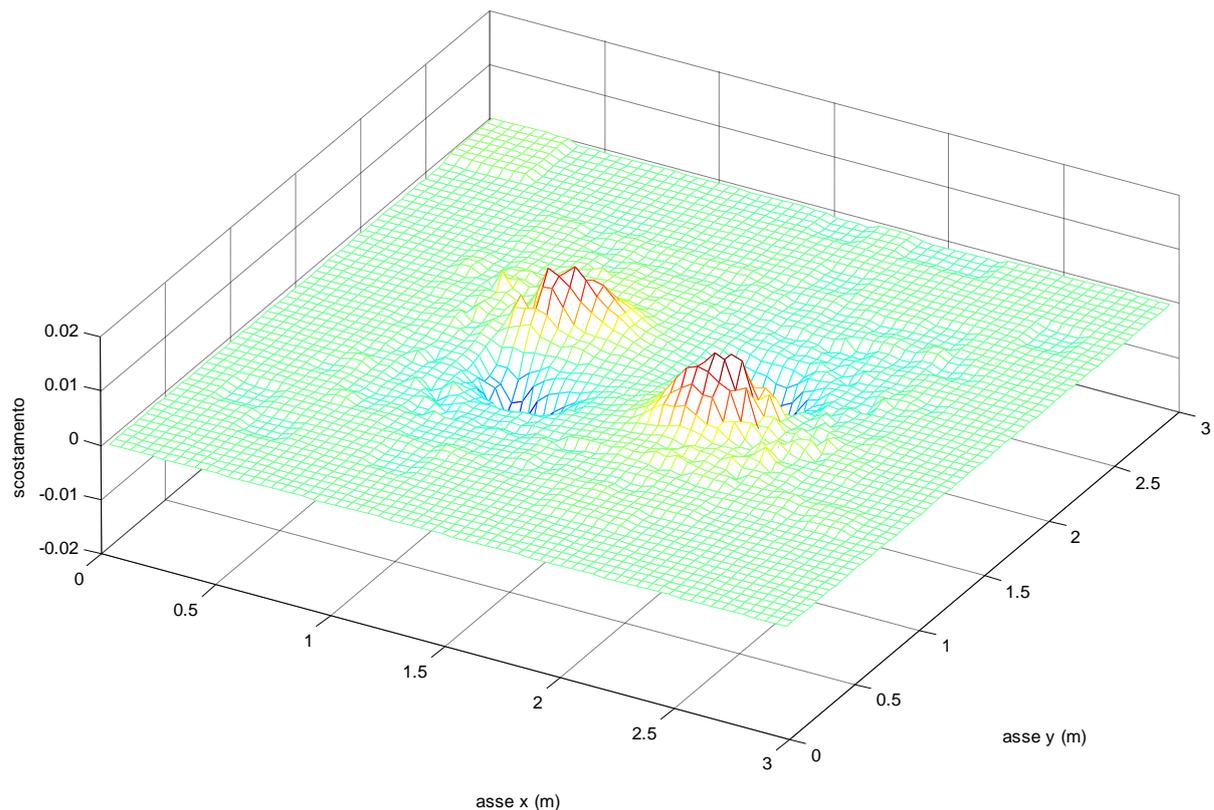


Fig. 10.13 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

Per valutare quale sia la disposizione spaziale migliore dei LED in termini di minor scostamento delle coordinate dal baricentro, occorre riassumere in due tabelle tutti i valori calcolati.

Scostamenti delle x

distanza y (cm)	4	0,0195	0,0309
	3	0,0156	0,0236
	2	0,0106	0,0170
		2	3
	distanza x (cm)		

Scostamenti delle y

distanza y (cm)	4	0,0253	0,0407
	3	0,0194	0,0329
	2	0,0140	0,0229
		2	3
	distanza x (cm)		

I valori riportati nelle tabelle sono relativi agli scostamenti picco-picco, ovvero la somma dei moduli del massimo superiore e del minimo inferiore. Essi ci permettono di capire come, su una superficie distante 50 cm dalla sorgente, la distanza migliore tra i LED per ottenere la minima variazione cromatica dal baricentro sia di 2 cm lungo gli assi x e y. Al contrario, la massima variazione si ha quando le distanze tra le sorgenti elementari sono massime, ovvero di 3 cm lungo l'asse x e 4 cm lungo l'asse y. I valori intermedi invece aumentano progressivamente all'aumentare delle distanze, indipendentemente sia lungo x che lungo y, partendo dal valore minimo.

Confrontando il caso 10.1 con il caso 8.1, si può concludere che, per una superficie posta ad una distanza di venticinque volte la distanza tra i LED, la presenza di tre file rispetto ad una fila singola porta ad una riduzione degli scostamenti di circa dieci volte per la x e quattro per la y.

Infine, confrontando il caso 10.1 con il caso 10.4, si nota che, passando da una superficie posta alla distanza di venticinque volte la distanza tra i LED ad una posta alla distanza di diciassette volte la distanza tra i LED, gli scostamenti sono circa raddoppiati.

11 Effetti del troncamento

Questo caso vuole dimostrare come i gradini presenti nelle periferie dei grafici degli scostamenti siano dovuti al troncamento delle cifre che avviene in DIALux e non a effettive variazioni delle coordinate cromatiche. Per fare ciò, è bastato aumentare il flusso di ciascuna sorgente elementare di almeno 100 volte in modo che gli illuminamenti risultassero molto elevati; questa operazione non va a modificare in alcun modo i valori delle coordinate cromatiche, dal momento che una variazione del flusso non provoca alcuna variazione della cromaticità, ovvero sono tra loro indipendenti.

I grafici di Fig. 11.1 e di Fig. 11.2 fanno riferimento alla configurazione con $x = 2$ cm e $y = 2$ cm dei casi precedenti, ma l'aumento del flusso è applicabile anche agli altri casi, ottenendo una maggiore uniformità nella zona verde del grafico intorno allo zero.

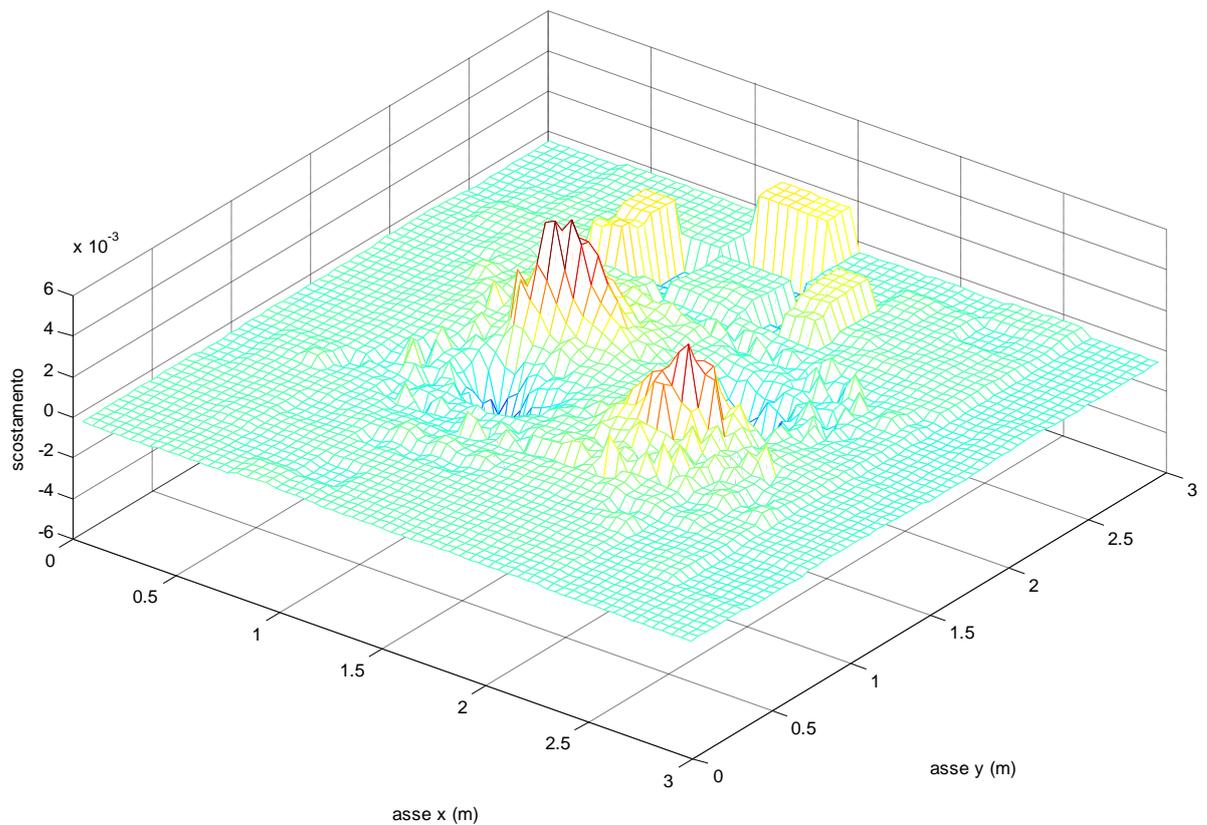


Fig. 11.1 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Dal grafico, infatti, si può vedere che la posizione ed il valore dei picchi non è cambiato; inoltre ridurre l'errore dovuto al troncamento, e quindi la presenza di gradini, consente di mettere in evidenza piccole variazioni delle coordinate cromatiche che prime invece erano nascoste.

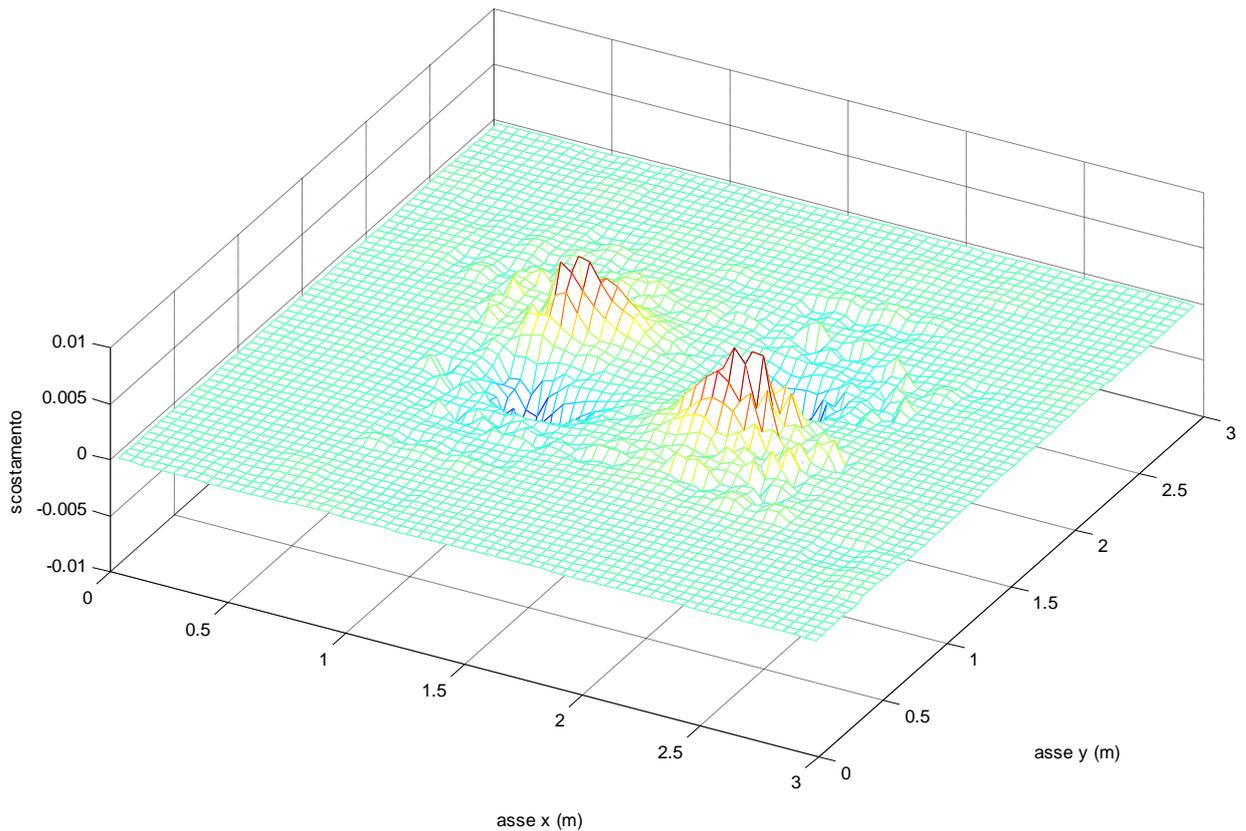


Fig. 11.2 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

12 Configurazione per lampada da tavolo, con sequenze RGB alternate

Questo caso presenta una configurazione di LED che potrebbe essere adottata per una lampada da tavolo: è costituita da sorgenti elementari RGB ripetute in ordine diverso e formanti una sorgente di forma quadrata di dimensioni 10x10 cm, con sei file di sei LED ciascuna. I LED sono quindi distanziati tra loro di 2 cm lungo l'asse x e lungo l'asse y, ovvero la minima distanza possibile, e la superficie di calcolo è posta a 50 cm dalla sorgente, come potrebbe verificarsi nella realtà per un tavolo o scrivania. Lo schema sotto mostra l'unità base dei colori che deve essere ripetuta altre tre volte per formare un quadrato con lato di sei LED.

R G B
 G B R
 B R G

Il calcolo degli scostamenti viene fatto sempre in riferimento al valore del baricentro dei tre colori: $x = 0.37$ $y = 0.31$.

Il grafico degli scostamenti della x di Fig. 12.1 ha un andamento molto simile a quello dei casi precedenti dove le file di LED erano tre e ciascuna con trenta LED. Si nota però che i picchi sono molto più ravvicinati tra loro proprio perché la sorgente è più piccola, tuttavia mantengono la stessa posizione perché l'alternanza dei colori nella sequenza non è cambiata, così come non è cambiata la distanza della superficie di calcolo dalla sorgente. La compattezza della lampada porta ad un valore del massimo superiore pari a 0.0061 e del minimo inferiore pari a -0.0059, quindi la cromaticità non è molto lontana dal valore del baricentro.

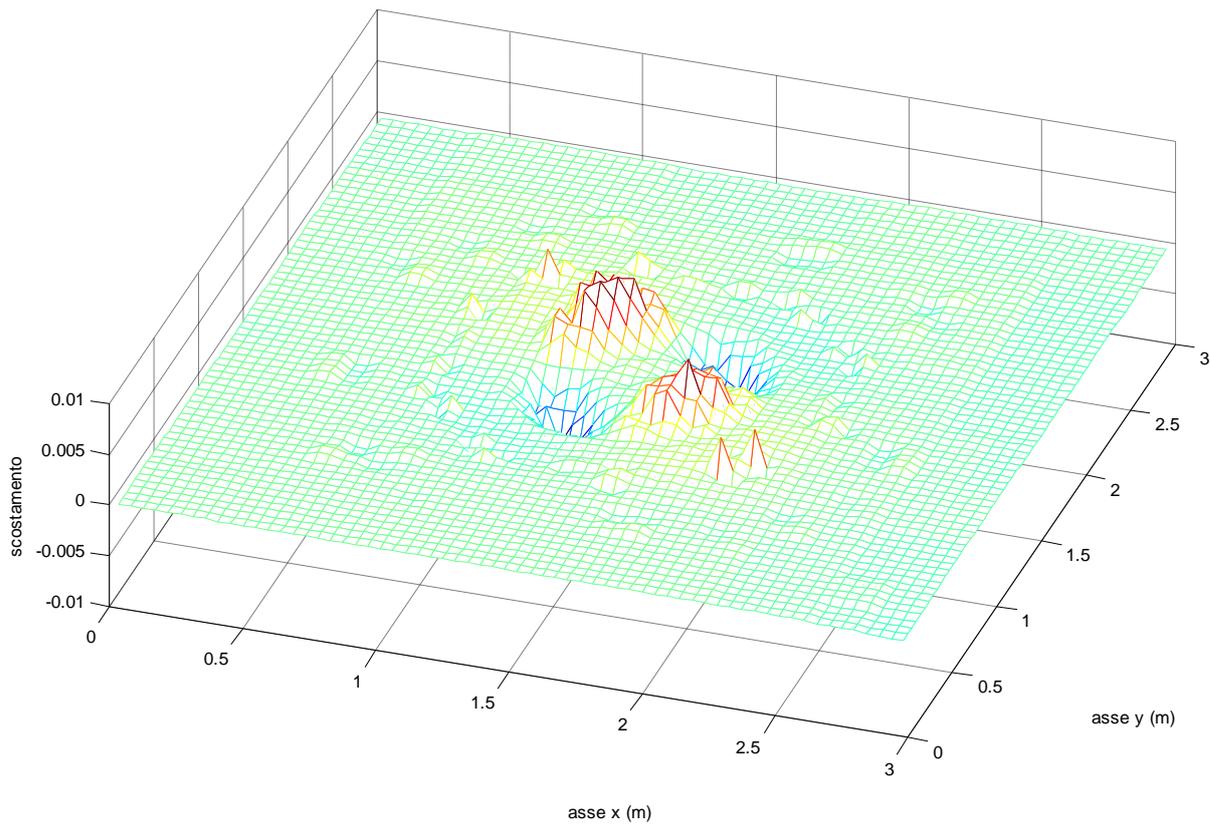


Fig. 12.1 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico degli scostamenti della y di Fig. 12.2 mette in evidenza quanto detto prima per la x, con un valore massimo superiore di 0.0083 e un minimo inferiore di -0.0072, quindi simili ai precedenti.

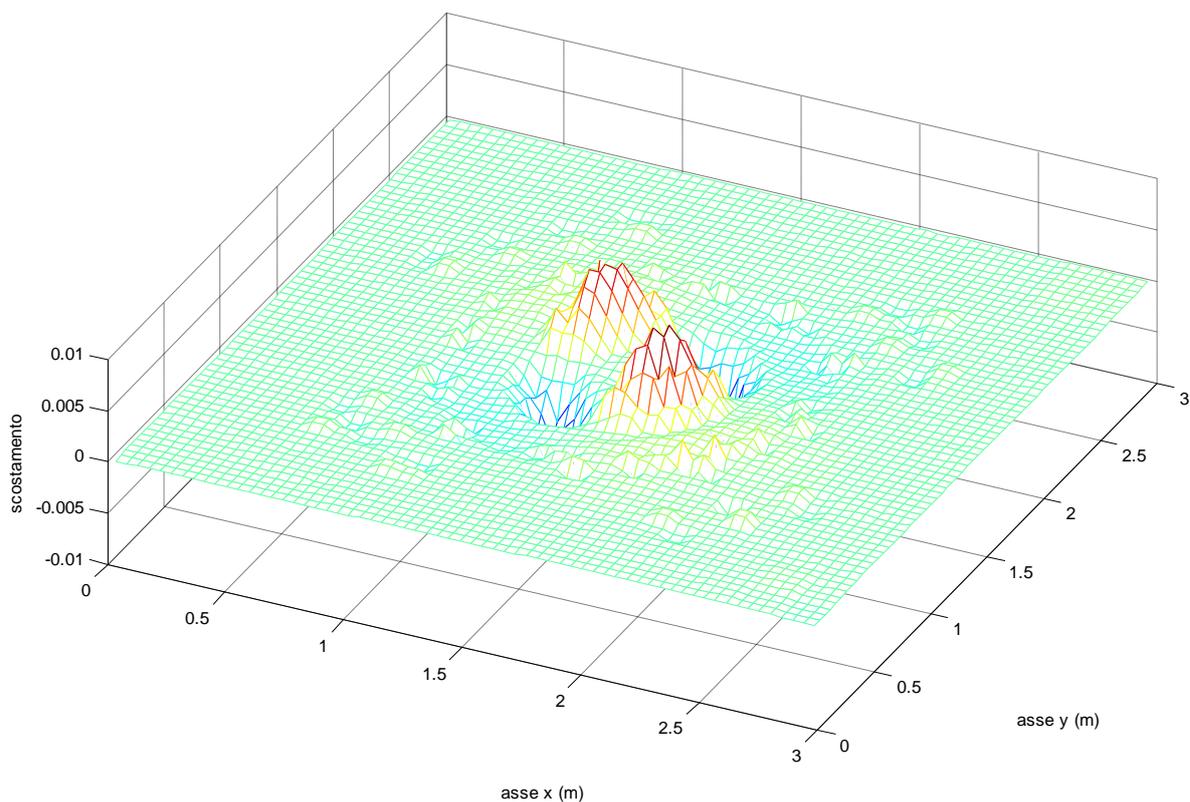


Fig. 12.2 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

13 Configurazione per lampada da soffitto, con sequenze RGB alternate

Questo caso presenta una configurazione di LED che potrebbe essere adottata per una lampada da soffitto: è costituita da sorgenti elementari RGB ripetute in ordine diverso e formanti una sorgente di forma quadrata di dimensioni 60x60 cm, con trenta file di trenta LED ciascuna. I LED sono quindi distanziati tra loro di 2 cm lungo l'asse x e lungo l'asse y, ovvero la minima distanza possibile, e la superficie di calcolo è posta a 3 m dalla sorgente, come potrebbe verificarsi nella realtà in un ambiente con lampada a soffitto. Lo schema sotto mostra l'unità base dei colori che deve essere ripetuta altre novantanove volte per formare un quadrato con lato di trenta LED.

R G B
G B R
B R G

Anche in questo caso il calcolo degli scostamenti viene fatto sempre in riferimento al valore del baricentro dei tre colori: $x = 0.37$ $y = 0.31$.

Il grafico degli scostamenti della x di Fig. 13.1 non presenta alcun picco; ciò significa che a livello della superficie di calcolo si ha una buona omogeneità di colore, proprio perché tale superficie è posta ad una distanza che permette la miscelazione completa dei colori. Il risultato finale è quindi una luce bianca in cui non si percepiscono macchie colorate, caratterizzata da coordinate cromatiche molto prossime a quelle del baricentro. Infatti, lo scostamento massimo superiore è di 3.2964×10^{-4} , mentre quello minimo inferiore è di -4.7719×10^{-4} . Agli angoli del grafico si nota invece un andamento irregolare rispetto alla zona centrale, probabilmente perché sono le zone più distanti dalla sorgente e quindi con una cromaticità tendente a quella del colore del LED più vicino.

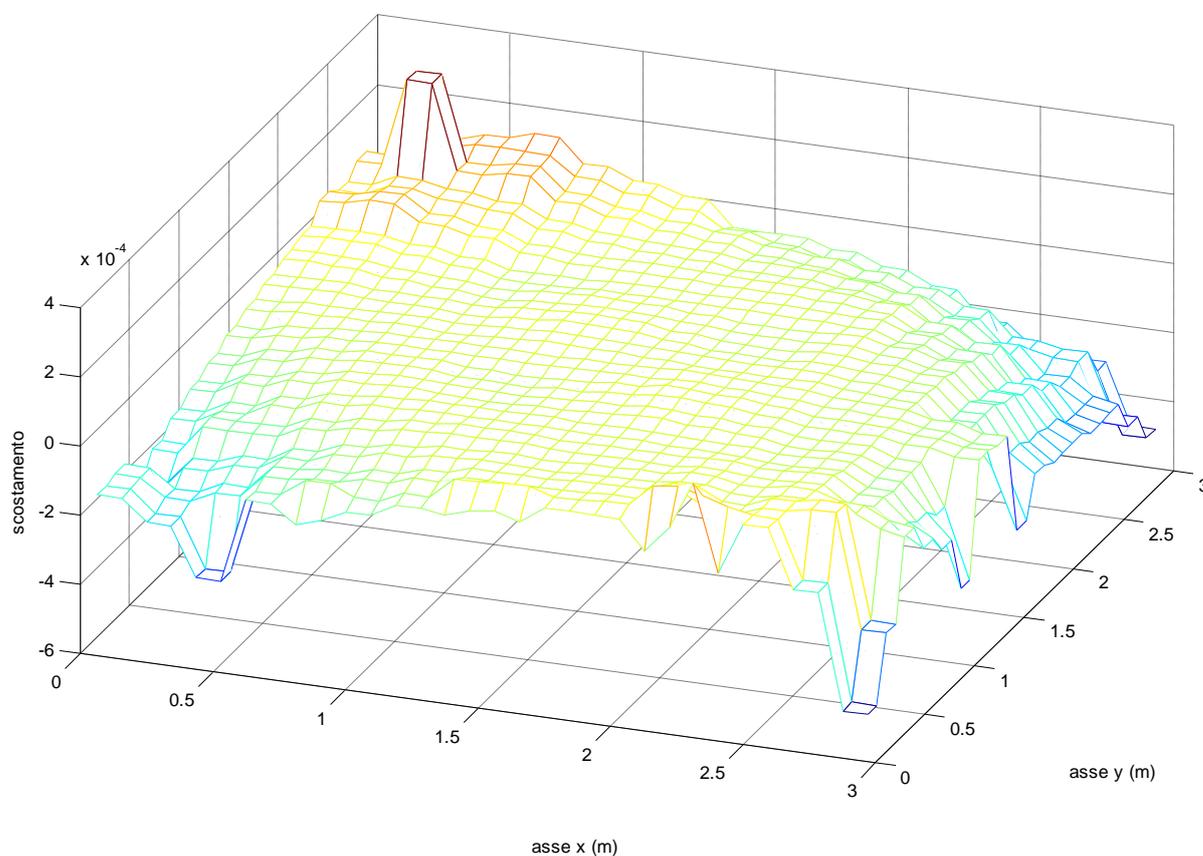


Fig. 13.1 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico degli scostamenti della y di Fig. 13.2 risulta avere un andamento meno pianeggiante rispetto al corrispondente della x; nello specifico, negli angoli in alto a destra e in basso a sinistra sembra prevalere il blu, negli altri due sembra invece prevalere il rosso. Nel complesso però la cromaticità è molto prossima a quella del baricentro, quindi le variazioni non sono apprezzabili, infatti lo scostamento massimo superiore arriva a 5.6696×10^{-4} e quello minimo inferiore a -2.7963×10^{-4} .

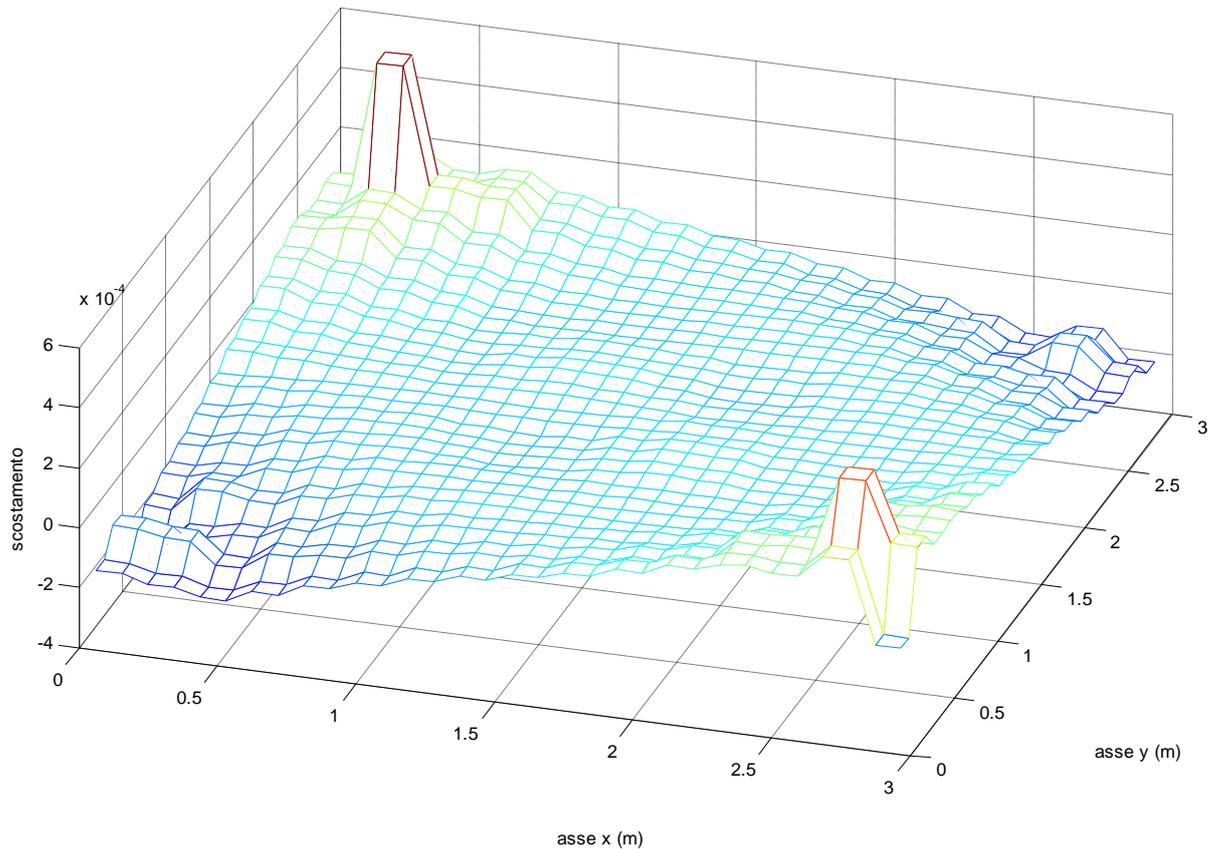


Fig. 13.2 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

Con questa configurazione risulta che, per una superficie posta ad una distanza di centocinquanta volte la distanza tra i LED, gli scostamenti diventano davvero trascurabili.

14 Effetto dei LED bianchi (1)

In questo caso la disposizione dei LED è la stessa utilizzata per la lampada da tavolo, con la differenza che al posto del blu si è usato il bianco. L'obiettivo di disporre LED bianchi con LED rossi e verdi è quello di ottenere una luce ancora bianca ma più calda, una sorta di correzione della tonalità.

Le coordinate cromatiche sono:

Bianco (0.3181;0.3255) Verde (0.2423;0.7020) Rosso (0.7040;0.2956)

L'unica variazione si ha nel codice MatLab poiché bisogna tenere conto del peso di ciascun colore nei valori di tristimolo come si può vedere dal codice seguente.

I pesi dei colori sono:

Bianco = 0.214 Verde = 0.106 Rosso = 0.0566

Con le coordinate cromatiche ed i pesi dati, si dovrebbe ottenere una luce bianca a 4000 K le cui coordinate sono $x = 0.3805$ $y = 0.3766$ che non stanno sul baricentro dei tre colori perché essi hanno un peso diverso.

La superficie di calcolo è posta a 50 cm dalla sorgente.

```

%Aquisizione delle matrici degli illuminamenti, compresi i valori degli
%assi
Aw=load('mat22w2.5.txt');
Ag=load('mat22g2.5.txt');
Ar=load('mat22r2.5.txt');
%Eliminazione dei valori degli assi
Ew=Aw(1:64,2:65);
Eg=Ag(1:64,2:65);
Er=Ar(1:64,2:65);
%Calcolo dei valori di tristimolo e successiva moltiplicazione di questi
%per il peso corrispondente
xw=(Ew*0.3181)/0.3255;
zw=[(1-0.3181-0.3255)/0.3255]*Ew;
Xw=xw*0.214;
Zw=zw*0.214;
xg=(Eg*0.2423)/0.702;
zg=[(1-0.2423-0.702)/0.702]*Eg;
Xg=xg*0.106;
Zg=zg*0.106;
xr=(Er*0.704)/0.2956;
zr=[(1-0.704-0.2956)/0.2956]*Er;
Xr=xr*0.0566;
Zr=zr*0.0566;
Xt=Xw+Xg+Xr;
Yt=Ew*0.214+Eg*0.106+Er*0.0566;
Zt=Zw+Zg+Zr;
%Calcolo delle coordinate risultanti dalla miscelazione dei colori
xt=Xt./(Xt+Yt+Zt);
yt=Yt./(Xt+Yt+Zt);

```

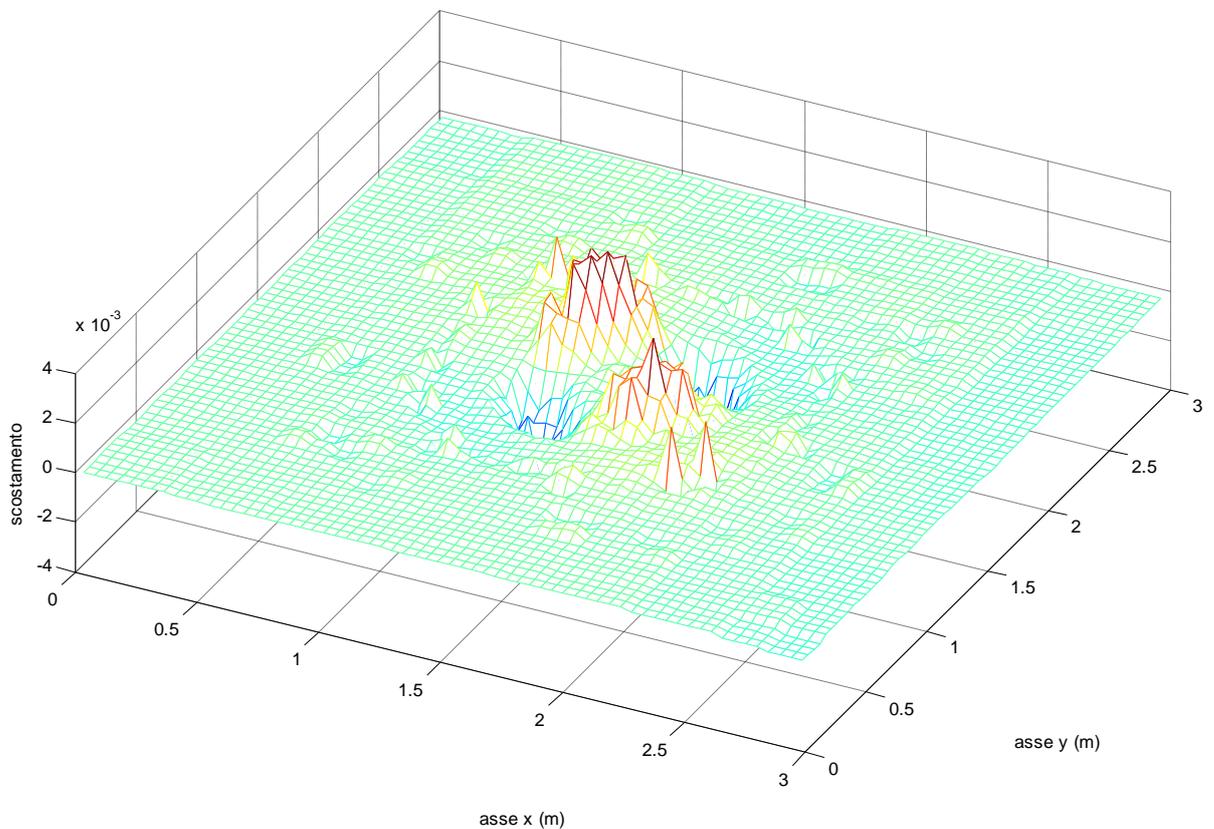


Fig. 14.1 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico degli scostamenti della x di Fig. 14.1 ci mostra come, in corrispondenza dei LED rossi, si abbiano dei picchi positivi che contrastano quelli negativi dovuti alla presenza dei LED bianchi. Nel complesso tuttavia la coordinata x non si discosta molto dal valore atteso, infatti il valore massimo superiore è di 0.0038 e quello minimo inferiore di -0.0034.

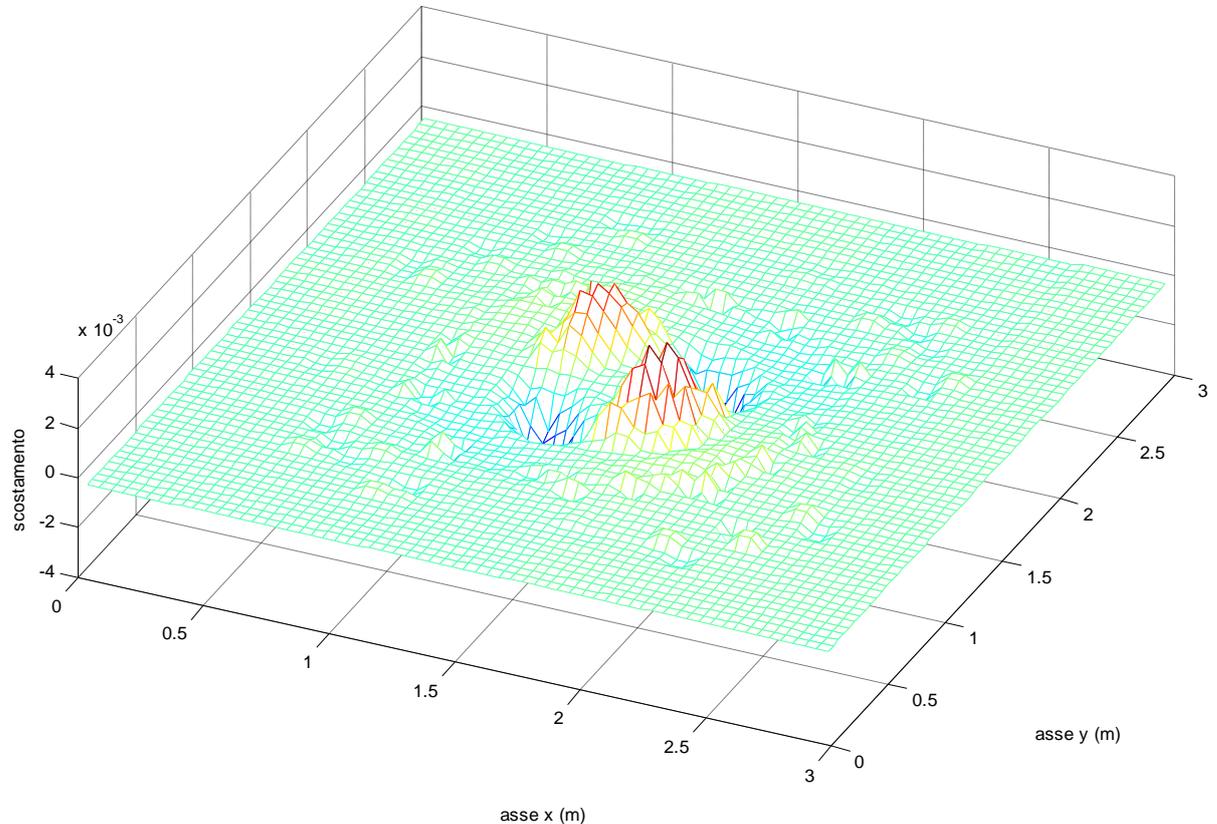


Fig. 14.2 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

In analogia con quanto detto per la x , il grafico degli scostamenti della y di Fig. 14.2 presenta lo stesso andamento, con delle variazioni leggermente inferiori, dal momento che il massimo superiore vale 0.0030 ed il minimo inferiore vale -0.0031.

15 Effetto dei LED bianchi (2)

Questo caso invece ha la stessa disposizione di LED della lampada da soffitto e fa riferimento alle condizioni del caso precedente in cui si è utilizzato il bianco al posto del blu. Anche in questo ci aspetta quindi una luce bianca a 4000 K con coordinate $x = 0.3805$ $y = 0.3766$.

Il codice MatLab è identico al precedente. La superficie di calcolo è posta a 3 metri.

Il grafico degli scostamenti della x di Fig. 15.1 ha un andamento pressoché pianeggiante, soprattutto nella parte centrale, mentre negli angoli si notano delle irregolarità comunque poco rilevanti. In effetti, il valore del massimo superiore è di 2.3603×10^{-4} , quello del minimo inferiore è di 2.6216×10^{-4} , quindi il risultato è una luce bianca molto uniforme.

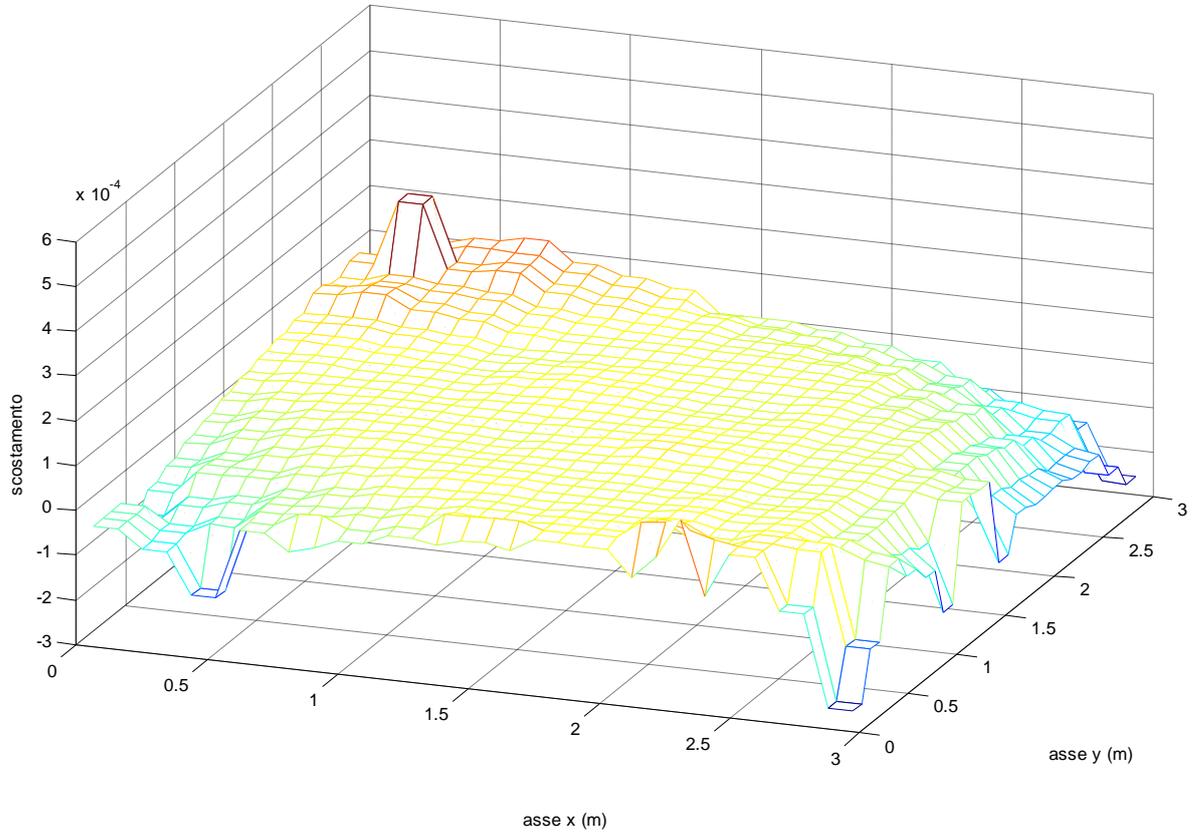


Fig. 15.1 – Grafico degli scostamenti della coordinata x

Il grafico degli scostamenti della y di Fig. 15.2 ha un andamento meno pianeggiante rispetto alla x, soprattutto agli angoli, tuttavia le variazioni sono davvero ridotte, infatti il massimo superiore vale 2.4819×10^{-4} e il minimo inferiore 7.3405×10^{-5} .

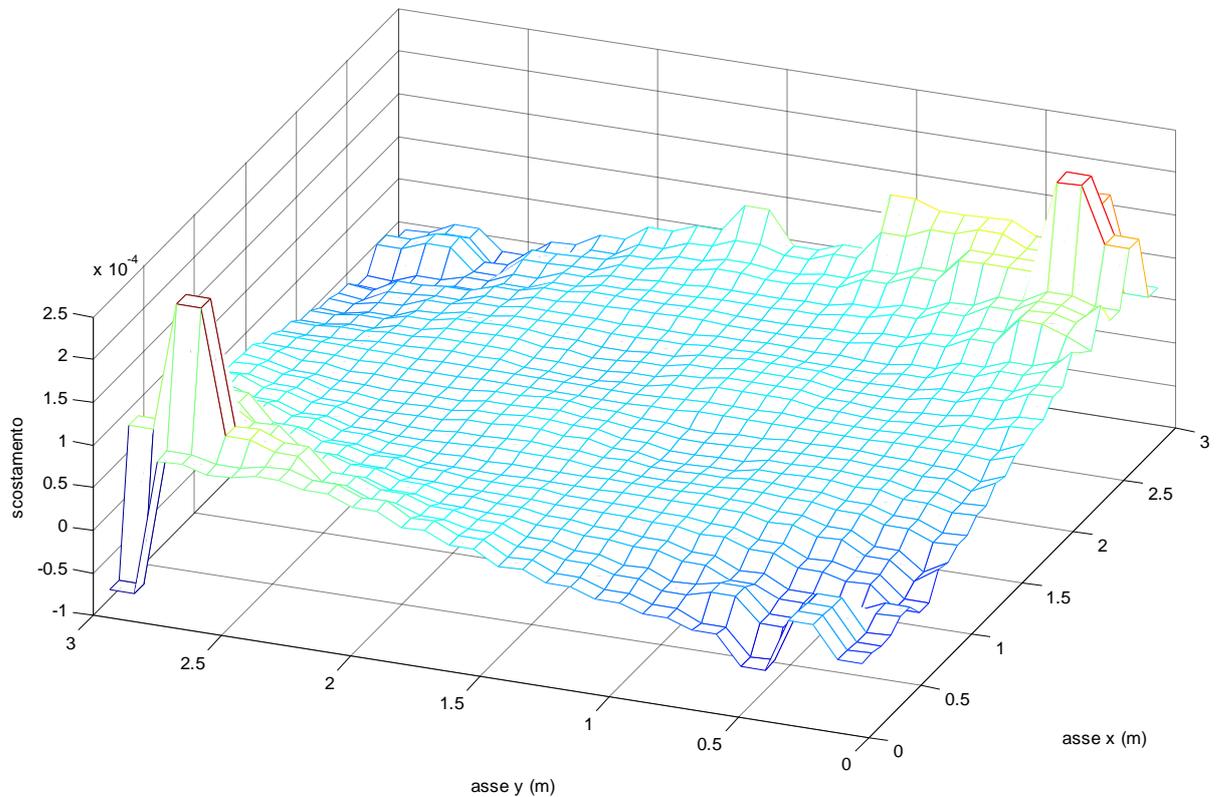


Fig. 15.2 – Grafico degli scostamenti della coordinata y

Anche sostituendo i LED blu con quelli bianchi, risulta che, per una superficie posta ad una distanza di centocinquanta volte la distanza tra i LED, gli scostamenti diventano davvero trascurabili come si è detto nel paragrafo 13.

16 Conclusioni

Dopo aver analizzato tutti i casi trattati, è possibile concludere che la miscelazione dei colori per la sequenza RGB è tanto più uniforme quanto più ci si allontana dalla sorgente, ovvero si nota meno l'effetto di ogni singolo colore. Invece a parità di distanza dalla sorgente, si ottiene una maggior uniformità cromatica quando si passa da una singola fila a più file di LED, con lo stesso numero di sorgenti elementari per ciascun colore. L'aumento delle file infatti, oltre a produrre un illuminamento più alto, permette ai colori di miscelarsi maggiormente tra loro poiché ciascun LED ne ha di più intorno a sé. Tale uniformità si raggiunge non solo con la presenza di tanti LED, com'è appena stato detto, ma anche quando la distanza tra loro è la più piccola possibile. Le prove fatte dimostrano che, a parità di LED, a mano a mano che si riduce la distanza tra essi l'uniformità migliora. Tutto ciò può essere tradotto in maniera pratica sottolineando che, per la configurazione dei LED in una fila singola, passando da una superficie posta alla distanza di venticinque volte la distanza tra i LED ad una posta a centocinquanta volte la distanza tra i LED, gli scostamenti diventano circa un sesto. Se invece si mantiene la superficie alla distanza di venticinque volte la distanza tra i LED, ma si passa da una fila a tre file, gli scostamenti della x si riducono di circa dieci volte mentre quelli della y di circa quattro volte. Gli scostamenti sono circa raddoppiati se si passa da una distanza di venticinque ad una di diciassette volte la distanza tra i LED nella configurazione a più file. In entrambe le simulazioni della lampada da soffitto, invece, gli scostamenti sono del tutto trascurabili ad una distanza di centocinquanta volte la distanza tra i LED.

Infine le ultime prove hanno permesso di dimostrare che la presenza di LED colorati insieme a LED bianchi consente di "correggere" la tonalità della luce bianca risultante rendendola più calda o più fredda, a seconda che vengano utilizzati rispettivamente LED rossi e verdi o blu e verdi. In ultima analisi, si evidenzia l'errore causato dal troncamento delle cifre all'interno di DIALux, che provoca nei grafici degli scalini, attenuati aumentando il flusso delle sorgenti.