

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902101192A1

Publication Date

20140514

Applicant

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

Title

SISTEMA DI ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE PER SIMULARE
UN'ILLUMINAZIONE NATURALE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"SISTEMA DI ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE PER SIMULARE
UN'ILLUMINAZIONE NATURALE"

di 1) LIGHT IN LIGHT S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA G. FERRARI, 14

COMO (CO)

di 2) UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

di nazionalità italiana

con sede: VIA RAVASI, 2

VARESE (VA)

Inventori: DI TRAPANI Paolo, MAGATTI Davide

L'invenzione è relativa a un sistema di illuminazione artificiale. In particolare, l'invenzione è relativa a un sistema di illuminazione artificiale che simula l'illuminazione naturale. Tale sistema di illuminazione può illuminare una stanza in cui è inserito, con effetti molto simili agli effetti che si avrebbero nella medesima stanza nel caso fosse presente un'apertura oltre la quale sono presenti cielo e sole.

È noto che attualmente sono disponibili sistemi di illuminazione artificiale per ambienti al coperto ("indoor") i quali si prefiggono lo scopo di migliorare il

comfort visivo degli utenti. In particolare, sono noti sistemi di illuminazione che simulano l'illuminazione naturale, cioè il tipo di illuminazione presente in ambienti all'aria aperta ("outdoor"). Le caratteristiche ben note dell'illuminazione all'aperto dipendono dall'interazione tra i raggi luminosi prodotti dal sole e l'atmosfera terrestre.

Nella domanda di brevetto europeo pendente EP2304480, depositata dalla presente Richiedente, si descrive un sistema di illuminazione che comprende una sorgente luminosa, atta a generare luce visibile, e un pannello contenente nanoparticelle. Quando in uso, il pannello riceve i raggi luminosi provenienti dalla sorgente e agisce come un cosiddetto diffusore di Rayleigh, cioè diffonde i raggi luminosi in maniera analoga a quanto avviene nell'atmosfera terrestre in condizioni di cielo sereno.

Ulteriori dettagli relativi al pannello di cui al brevetto pendente EP2304480 sono descritti nella domanda di brevetto europeo pendente EP2304478, depositata della presente Richiedente. Inoltre, la domanda di brevetto pendente EP2304480 descrive varie forme di realizzazione del pannello, nonché varie disposizioni del pannello rispetto alla sorgente luminosa, atte a simulare varie condizioni di illuminazione naturale, come per esempio condizioni di illuminazione che sono presenti in natura in

caso di cielo sereno e i) sole allo zenit o ii) sole all'orizzonte.

Il sistema di illuminazione descritto nella domanda di brevetto EP2304480 simula l'illuminazione naturale poiché genera, all'interno dell'ambiente circostante, luce diretta con bassa temperatura di colore correlata ("CCT"), che simula la luce solare e genera ombre in presenza di oggetti illuminati; inoltre, il sistema di illuminazione descritto nella domanda di brevetto EP2304480 simula l'illuminazione naturale generando luce diffusa ad alta CCT, che simula la luce del cielo e genera ombre di colore azzurro. Ciononostante, tale sistema di illuminazione non riproduce perfettamente in un osservatore gli effetti percettivi che egli avrebbe in presenza di una finestra affacciata sul cielo. In particolare, tale sistema di illuminazione non consente all'osservatore di sperimentare la percezione visiva di una illimitata profondità di campo.

Pertanto, la presente invenzione ha lo scopo di fornire un sistema di illuminazione in grado di risolvere le limitazioni dello stato della tecnica noto, almeno in parte.

L'invenzione fornisce un sistema di illuminazione artificiale come riportato nelle rivendicazioni indipendenti, possibili implementazioni vantaggiose essendo oggetto delle rivendicazioni dipendenti.

Per una migliore comprensione dell'invenzione vengono ora descritte forme di realizzazione a puro titolo di esempi non limitativi e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- le figure 1, 2 e 7 mostrano sezioni trasversali schematiche di forme di realizzazione del presente sistema di illuminazione;

- la figura 3 mostra una sezione trasversale schematica di un possibile sistema di illuminazione differente dal presente sistema di illuminazione;

- le figure 4a e 4b mostrano schematicamente viste prospettiche di sorgenti luminose;

- le figure 5a, 6 e 8 mostrano schematicamente viste prospettiche di parti del presente sistema di illuminazione;

- la figura 5b mostra una sezione trasversale di un elemento riflettente presente nella parte del sistema di illuminazione illustrata nella figura 5a;

- le figure 9a e 10 mostrano viste prospettiche di sorgenti luminose;

- la figura 9b mostra una sezione trasversale di una parte della sorgente luminosa illustrata nella figura 9a; e

- la figura 11 mostra una sezione trasversale di una parte di una forma di realizzazione del presente sistema di illuminazione.

In generale, la Richiedente ha osservato che la capacità di un osservatore di valutare la distanza degli oggetti, e pertanto la profondità di campo delle viste che costituiscono una veduta tridimensionale, si basa su molteplici meccanismi fisiologici e psicologici correlati alla messa a fuoco, alla convergenza binoculare, alla parallasse binoculare, alla parallasse di movimento, alla luminanza, alla dimensione, al contrasto, alla prospettiva aerea, eccetera. Alcuni meccanismi possono essere significativi rispetto ad altri sia a seconda delle condizioni di osservazione (ad esempio se l'osservatore è in movimento o fermo, se osserva il panorama con uno o due occhi, eccetera) sia a seconda delle caratteristiche della veduta, queste ultime, per esempio, dipendendo dalla presenza o meno di oggetti con una dimensione, distanza o luminanza note, i quali servono come riferimento per valutare quanto è distante l'elemento osservato della veduta.

In particolare, la Richiedente ha notato che un osservatore che osserva un faro attraverso una finestra perde la capacità di valutare quanto è distante il faro, quando la distanza è superiore a cinque metri (preferibilmente, sette metri), purché lo sfondo circostante il faro sia nero e uniforme. Quando vengono soddisfatte tali circostanze, la distanza dal faro non può

essere determinata dall'osservatore. La capacità di valutare le distanze viene meno poiché i) la messa a fuoco precisa di una sorgente luminosa abbagliante è difficile, il che impedisce all'osservatore di utilizzare il meccanismo di messa a fuoco per valutare la distanza dell'oggetto e ii) la convergenza binoculare è scarsamente efficace come strumento per la valutazione della distanza, quando l'oggetto è ad una distanza superiore a cinque metri (preferibilmente, sette metri); inoltre, la capacità di valutazione viene meno per via dell'inefficienza di altri meccanismi psicofisici che sono comunemente attivi ed efficaci in caso di distanze elevate, tali meccanismi essendo inibiti dalla mancanza di ulteriori punti di riferimento.

La Richiedente inoltre ha notato che, quando un pannello di diffusione di Rayleigh è interposto tra l'osservatore e il faro, quest'ultimo essendo circondato da uno sfondo nero e uniforme, l'osservatore è indotto a percepire virtualmente il faro ad una distanza infinita. Più in particolare, l'effetto di percezione a distanza infinita si ottiene qualora l'osservatore osservi il faro attraverso il pannello di diffusione di Rayleigh, e quest'ultimo sia illuminato completamente e uniformemente dal faro, e qualora la distanza reale faro-osservatore sia almeno di cinque metri (preferibilmente, sette metri). Tale

effetto può essere interpretato come conseguenza della cosiddetta "prospettiva aerea", un meccanismo percettivo indotto dal pannello di diffusione di Rayleigh. Difatti, il colore e l'intensità della luce diffusa dal pannello di diffusione di Rayleigh sono virtualmente identici al colore e all'intensità corrispondenti della luce del cielo, in cui l'intensità è valutata relativamente all'intensità della luce trasmessa. In particolare il cosiddetto meccanismo di prospettiva aerea è relativo alla presenza di uno strato d'aria interposto tra qualsiasi oggetto e l'osservatore; il colore e la luminanza di tale strato d'aria influenzano la valutazione della distanza oggetto-osservatore, l'oggetto essendo percepito dall'osservatore come disposto dietro lo strato d'aria stesso; tale meccanismo è dominante per grandi distanze o, in termini generali, quando gli altri meccanismi psicofisici per la valutazione della distanza sono impediti o scarsamente efficaci.

La Richiedente ha inoltre notato come l'osservatore sia indotto a percepire la luce emessa dal pannello di diffusione di Rayleigh come proveniente da una distanza virtualmente infinita, purché la luce del faro sia all'interno del campo visivo dell'osservatore. Tale effetto può essere interpretato considerando che il pannello di diffusione di Rayleigh agisce come sorgente secondaria di radiazione luminosa e che l'osservatore difficilmente può

valutare a che distanza si trova dal piano di emissione di tale radiazione luminosa, data l'elevata uniformità spaziale della radiazione luminosa stessa, la quale non fornisce alcun punto visivo di riferimento da osservare. Pertanto, la presenza del faro nel campo visivo ad una distanza (fisica) di cinque metri (preferibilmente, sette metri) influisce sulla valutazione dell'intera profondità di campo della veduta, "trascinando" la posizione stimata del pannello di diffusione di Rayleigh oltre la soglia di percezione della distanza mediante convergenza binoculare. Tale effetto è correlato alla luminanza del faro e al fatto che, oltre al pannello di diffusione di Rayleigh, il faro stesso è l'unico elemento spazialmente localizzato percepito dall'osservatore. In pratica, osservando il pannello di diffusione di Rayleigh, gli occhi dell'osservatore sono forzati dal faro a disporsi come se guardassero un oggetto molto lontano. La mente è quindi indotta da tale disposizione degli occhi a dedurre che l'oggetto al centro del campo visivo, cioè la luce emessa dal pannello di diffusione di Rayleigh, sia posizionato molto distante rispetto alla posizione reale del pannello stesso. Inoltre, l'effetto di percepire una sorgente di luce diffusa a grande distanza dall'osservatore è favorito dal fatto che la luce diffusa dal pannello di diffusione di Rayleigh ha lo stesso colore e la stessa luminanza

(rispetto alla luce trasmessa) tipici della luce del cielo. Tale effetto, dovuto al summenzionato meccanismo di prospettiva aerea, è particolarmente efficace, facendo sì che il faro sia percepito ad una distanza virtualmente infinita. La Richiedente ha inoltre notato come l'effetto descritto, cioè la percezione visiva di una profondità di campo infinita (da ora in poi denominato "effetto di sfondamento"), avvenga indipendentemente dalla direzione di osservazione attraverso il pannello di diffusione di Rayleigh.

In aggiunta, la Richiedente ha notato come la prospettiva aerea da sola non possa assicurare perfettamente l'effetto di sfondamento, se il faro è al di fuori del campo visivo, poiché prevalgono altri meccanismi psicofisici, quali ad esempio la messa a fuoco di graffi o bordi del pannello di diffusione di Rayleigh.

Inoltre, la Richiedente ha notato come il summenzionato effetto di sfondamento sia ridotto, se il faro viene posizionato vicino al pannello di diffusione di Rayleigh, per esempio in assenza di specchi o lenti che ne allontanino l'immagine virtuale. Infatti, in questo caso la distanza del faro potrebbe essere stimata facilmente dall'osservatore, la qual cosa limiterebbe la profondità di campo nell'intera veduta, nonostante il contributo della prospettiva aerea. Analogamente, la Richiedente ha notato

come il summenzionato effetto di sfondamento sia ridotto, se il faro non è circondato da uno sfondo nero e uniforme. Infatti, un osservatore può determinare la distanza da uno sfondo diverso da uno sfondo nero e uniforme, limitando in questo modo la profondità di campo dell'intera veduta, nonostante il contributo della prospettiva aerea.

Tutto ciò premesso, la figura 1 mostra un sistema di illuminazione artificiale 1, al quale in seguito ci si riferirà, per brevità, come al sistema di illuminazione 1.

In dettaglio, il sistema di illuminazione 1 include una prima sorgente luminosa 2, preferibilmente direzionale, cioè atta a emettere luce in un angolo solido di emissione inferiore a 4π sterad. Inoltre, la prima sorgente luminosa 2 emette luce nella regione visibile dello spettro, cioè con lunghezze d'onda comprese tra 400 nm e 700 nm. Inoltre, la prima sorgente luminosa 2 emette luce (radiazione elettromagnetica visibile) ad una larghezza spettrale $\Delta\lambda$ preferibilmente superiore a 100 nm, più preferibilmente superiore a 170 nm. La larghezza spettrale $\Delta\lambda$ può essere definita come la deviazione standard dello spettro di lunghezza d'onda della prima sorgente luminosa.

Il sistema di illuminazione 1 include inoltre un primo pannello diffusore 4, che per esempio è a forma di parallelepipedo. In particolare, il primo pannello diffusore 4 è delimitato da una prima superficie S_1 e da

una seconda superficie S_2 , parallele tra loro; preferibilmente, il primo pannello diffusore 4 è sottile, cioè il suo spessore w , misurato lungo una direzione perpendicolare alla prima e alla seconda superficie S_1, S_2 , ha un valore al quadrato non superiore al 5%, preferibilmente all'1%, dell'area della prima e della seconda superficie S_1, S_2 .

Più in particolare, nella forma di realizzazione illustrata nella figura 1, il primo pannello diffusore 4 funziona come un cosiddetto diffusore di Rayleigh, cioè come un pannello che sostanzialmente non assorbe la luce nell'intervallo visibile e che diffonde più efficacemente le componenti della luce incidente a lunghezze d'onda corte rispetto alle componenti a lunghezze d'onda lunghe, per esempio un pannello che sostanzialmente non assorbe luce nell'intervallo visibile e che diffonde i raggi luminosi ad una lunghezza d'onda $\lambda = 450$ nm (blu) almeno 1,2 volte, preferibilmente almeno 1,4 volte, più preferibilmente almeno 1,6 volte più efficacemente rispetto ai raggi luminosi ad una lunghezza d'onda $\lambda = 650$ nm (rosso), in cui l'efficienza di diffusione è data dal rapporto tra la potenza radiante della luce diffusa e la potenza radiante della luce incidente. Le proprietà ottiche e la caratteristica microscopica dei diffusori di Rayleigh sono inoltre descritte in dettaglio nella domanda di brevetto

EP2304478 della medesima Richiedente. Un'ulteriore descrizione degli elementi microscopici è inoltre fornita nella parte che segue.

Nella forma di realizzazione illustrata nella figura 1, la prima sorgente luminosa 2 è verticalmente allineata con il primo pannello diffusore 4, cioè è disposta lungo un asse H, che è perpendicolare alla prima e alla seconda superficie S_1 , S_2 e passa attraverso il baricentro di queste ultime (nella figura 1, il baricentro della prima superficie S_1 è indicato con O). Inoltre, la prima sorgente luminosa 2 illumina interamente il primo pannello diffusore 4. Forme di realizzazione in cui la prima sorgente luminosa 2 è disposta sfalsata rispetto al baricentro della prima e della seconda superficie S_1 , S_2 sono, tuttavia, possibili, come descritto in quanto segue.

Il sistema di illuminazione 1 è accoppiato otticamente ad un ambiente, per esempio una stanza 6 a forma di parallelepipedo e delimitata da una parete inferiore P_1 , una parete superiore P_2 e quattro pareti laterali P_1 . In particolare, senza alcuna perdita di generalità, si presume che la parete superiore P_2 presenti una cavità 8, la quale, vista dall'alto, ha la stessa forma del primo pannello diffusore 4 ed è completamente occupata da quest'ultimo. In ogni caso, la presente invenzione non è limitata alla forma e/o alla disposizione della cavità 8; per esempio, secondo

ulteriori forme di realizzazione (non illustrate), la cavità può essere formata all'interno di una parete laterale. Inoltre, la presente invenzione non è limitata all'utilizzo in spazi al chiuso; pertanto, sono possibili forme di realizzazione in cui il dispositivo di illuminazione 1 è utilizzato come sistema per l'illuminazione simile a quella diurna di ambienti all'aperto, durante l'orario notturno. Pertanto, il sistema di illuminazione 1 può essere accoppiato ad un ambiente all'aperto, cioè un ambiente equivalente a una stanza, le cui pareti sono nere o disposte ad una distanza infinitamente elevata.

Il sistema di illuminazione 1 comprende un elemento di supporto 10 che delimita, insieme alla prima superficie S_1 del primo pannello diffusore 4, un volume esterno V che è all'esterno della stanza 6; la prima sorgente luminosa 2 è collocata all'interno del volume esterno V . Sebbene non illustrate, sono possibili forme di realizzazione in cui l'elemento di supporto 10 è accoppiato meccanicamente alla stanza 6 in una modalità tale per cui il volume esterno V è delimitato almeno in parte anche da una parete della stanza 6, per esempio la parete superiore P_2 .

L'elemento di supporto 10 è rivestito internamente da uno strato interno 12, realizzato in un materiale in grado di assorbire la radiazione luminosa incidente; tale

materiale, per esempio, è un materiale di colore nero e con un coefficiente di assorbimento nell'intervallo visibile superiore al 70%, preferibilmente superiore al 90%, in modo maggiormente preferibile superiore al 95%, in modo ancora maggiormente preferibile superiore al 97%. Lo strato interno 12 ha lo scopo di assorbire la radiazione incidente che proviene, per esempio, direttamente dalla prima sorgente luminosa 2 o da processi di riflessione e/o diffusione attraverso il primo pannello diffusore 4, o dalla stanza 6 attraverso il primo pannello diffusore 4. Preferibilmente, il volume V è internamente rivestito nella sua interezza dallo strato interno 12, ad eccezione della prima superficie S_1 del primo pannello diffusore 4. In altri termini, l'elemento di supporto 10 e lo strato interno 12 definiscono una sorta di scatola oscura; pertanto, in quanto segue, si farà inoltre riferimento ad una scatola oscura 10.

Facendo di nuovo riferimento al primo pannello diffusore 4 e presumendo che un fascio luminoso sia generato da una sorgente illuminante puntiforme standard D65 CIE (Commissione Internazionale dell'Illuminazione) a grande distanza dal primo pannello diffusore 4 (un fascio, quindi, costituito da raggi luminosi paralleli tra loro) e sia diretto perpendicolarmente alla prima superficie S_1 , il primo pannello diffusore 4 separa tale fascio in quattro

componenti, in particolare in:

- una componente trasmessa, formata da raggi luminosi che passano attraverso il primo pannello diffusore 4 e non subiscono significative deviazioni, cioè raggi luminosi che subiscono una deviazione inferiore a $0,1^\circ$, con un flusso luminoso che è una frazione $\tau_{diretta}$ del flusso luminoso complessivo incidente sul primo pannello diffusore 4;

- una componente di diffusione in avanti, formata da raggi luminosi che escono dalla seconda superficie S_2 lungo direzioni che sono distribuite attorno ad una direzione perpendicolare alla seconda superficie S_2 (ad eccezione di tale direzione perpendicolare e delle direzioni che differiscono da tale direzione perpendicolare di un angolo inferiore a $0,1^\circ$), con un flusso luminoso che è una frazione $\tau_{diffusa}$ del flusso luminoso complessivo incidente sul primo pannello diffusore 4;

- una componente di diffusione all'indietro, formata da raggi luminosi che escono dalla prima superficie S_1 lungo direzioni che sono distribuite attorno ad una direzione perpendicolare alla prima superficie S_1 (ad eccezione di tale direzione perpendicolare e di direzioni che differiscono da tale direzione perpendicolare di un angolo inferiore a $0,1^\circ$), con un flusso luminoso che è una frazione $\rho_{diffusa}$ del flusso luminoso complessivo incidente sul primo pannello diffusore 4; e

- una componente riflessa, formata dai raggi luminosi che escono, o hanno origine, dalla prima superficie S_1 , lungo una direzione ad un angolo speculare (per esempio, perpendicolare o differente dalla perpendicolare di un angolo inferiore a $0,1^\circ$, nel presente caso) rispetto alla prima superficie S_1 , con un flusso luminoso che è una frazione $\rho_{diretta}$ del flusso luminoso complessivo incidente sul primo pannello diffusore 4.

Tutto ciò premesso, le proprietà ottiche del primo pannello diffusore 4 sono tali per cui:

- $\tau_{diffusa}$ rientra nell'intervallo 0,05-0,5, preferibilmente 0,07-0,4, più preferibilmente 0,1-0,3, ancora più preferibilmente 0,15-0,25;

- la temperatura di colore correlata media ("CCT") $CCT_{\tau_{diffusa}}$ della componente di diffusione in avanti è significativamente superiore rispetto alla temperatura di colore correlata media $CCT_{\tau_{diretta}}$ della componente trasmessa, cioè $CCT_{\tau_{diffusa}} > h * CCT_{\tau_{diretta}}$ con $h = 1,2$, preferibilmente $h = 1,3$, più preferibilmente $h = 1,5$;

- il primo pannello diffusore 4 non assorbe significativamente la luce incidente, cioè la somma $\tau_{diretta} + \tau_{diffusa} + \rho_{diretta} + \rho_{diffusa}$ è almeno pari a 0,8, preferibilmente a 0,9, più preferibilmente a 0,95, ancora più preferibilmente a 0,97;

- il primo pannello diffusore 4 diffonde per lo più in

avanti, cioè $\tau_{\text{diffusa}} > \eta * \rho_{\text{diffusa}}$, in cui η è almeno pari a 1,1, preferibilmente $\eta = 1,3$, più preferibilmente $\eta = 1,5$, ancora più preferibilmente $\eta = 2$; e

- il primo pannello diffusore 4 ha una bassa riflessione, cioè $\rho_{\text{diretta}} < 0,09$, preferibilmente $< 0,06$, più preferibilmente $< 0,03$, ancora più preferibilmente $< 0,02$.

In maggiore dettaglio, il primo pannello diffusore 4 comprende una matrice solida di un primo materiale (per esempio una resina avente un'eccellente trasparenza ottica, quali resine termoplastiche, resine termoindurenti, resine fotoinduribili, resine acriliche, resine epossidiche, resine poliestere, resine polistirene, resine poliolefiniche, resine poliammidiche, resine poliimmidiche, resine di alcol polivinilico, resine butirraliche, resine a base di fluoro, resine di vinil acetato o plastiche quali policarbonato, polimeri a cristalli liquidi, polifenilene, etere, polisolfone, polieter solfone, poliarilato, poliolefina amorfa o loro miscele o copolimeri), in cui sono disperse nanoparticelle di un secondo materiale (per esempio, un ossido inorganico quale ZnO, TiO₂, ZrO₂, SiO₂, Al₂O₃), questo secondo materiale avendo un indice di rifrazione differente dall'indice di rifrazione del primo materiale. Sia il primo che il secondo materiale fondamentalmente non assorbono radiazione elettromagnetica nell'intervallo delle lunghezze d'onda visibili.

Inoltre, nella forma di realizzazione illustrata nella figura 1, il primo pannello diffusore 4 è uniforme, nel senso che, dato un qualsiasi punto del primo pannello diffusore 4, le caratteristiche fisiche del primo pannello diffusore 4 in tale punto non dipendono dal punto stesso. Inoltre, il primo pannello diffusore 4 è monolitico, cioè la matrice solida non presenta alcuna discontinuità dovuta all'accoppiamento per incollaggio o meccanico. Tali caratteristiche del primo pannello diffusore 4, tuttavia, non sono necessarie ai fini della presente invenzione, sebbene rendano il primo pannello diffusore 4 più facile da realizzare.

Più in particolare, le nanoparticelle possono essere monodisperse. Le nanoparticelle possono essere di forma sferica o di altra forma. Il diametro effettivo D delle nanoparticelle (per una definizione nel caso di forma non sferica si veda di seguito) rientra nell'intervallo [5 nm-350 nm], preferibilmente [10 nm-250 nm], più preferibilmente [40 nm-180 nm], ancora più preferibilmente [60 nm-150 nm], in cui il diametro effettivo D è dato dal prodotto del diametro delle nanoparticelle per l'indice di rifrazione del primo materiale.

Inoltre, le nanoparticelle sono distribuite all'interno del primo pannello diffusore 4 in modo tale che la loro densità areale, cioè il numero N di nanoparticelle

per metro quadro, ossia il numero di nanoparticelle entro un elemento di volume delimitato da una parte della prima superficie S_1 avente un'area di 1 m^2 , soddisfi la condizione $N \geq N_{\min}$, in cui:

$$N_{\min} = v \frac{10^{-28}}{D^3} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2$$

in cui v è una costante dimensionale pari a 1 metri^6 , N_{\min} è espresso come numero/metri², il diametro effettivo D è espresso in metri e m è uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione del secondo materiale e l'indice di rifrazione del primo materiale.

Preferibilmente, le nanoparticelle sono distribuite omogeneamente, almeno per quanto concerne la densità areale, cioè la densità areale è sostanzialmente uniforme attraverso il primo pannello diffusore 4, ma la distribuzione delle nanoparticelle può variare attraverso una direzione perpendicolare alla prima e alla seconda superficie S_1, S_2 . La densità areale varia, per esempio, di meno del 5% rispetto alla densità areale media. La densità areale è qui intesa come quantità definita su aree maggiori di $0,25 \text{ mm}^2$.

In alternativa, sono possibili forme di realizzazione in cui la densità areale varia, in modo da compensare le differenze di illuminazione sul primo pannello diffusore 4, quando illuminato dalla prima sorgente luminosa 2. Per

esempio, la densità areale $N(x,y)$ nel punto (x,y) all'interno di S_1 può essere correlata all'illuminamento $I(x,y)$, prodotto dalla prima sorgente luminosa 2 nel punto (x,y) , attraverso l'equazione $N(x,y) = N_{media} * I_{media} / I(x,y) \pm 5\%$, in cui N_{media} e I_{media} sono l'illuminamento e la densità areale calcolate in media, queste ultime quantità essendo calcolate in media sulla prima superficie S_1 . In questo caso, la luminanza del primo pannello diffusore 4 è equalizzata sul primo pannello diffusore 4, nonostante la non uniformità del profilo di illuminamento della prima sorgente luminosa 2 sul primo pannello diffusore 4.

Nel limite di D piccolo e ridotta frazione di volume (cioè, pannelli spessi), si prevede che una densità areale $N \approx N_{min}$ produca una efficienza di diffusione pari a circa il 5%. Quando il numero di nanoparticelle per unità di superficie aumenta, si prevede che l'efficienza di diffusione aumenti proporzionalmente rispetto a N , fino al verificarsi di diffusioni multiple o interferenze (in caso di una elevata frazione di volume), il che potrebbe compromettere la qualità del colore. La scelta del numero di nanoparticelle è quindi determinata dalla ricerca di un compromesso tra l'efficienza di diffusione e il colore desiderato, come descritto in dettaglio nella domanda di brevetto EP2304478. Inoltre, quando la dimensione delle nanoparticelle aumenta, il rapporto $\eta = \tau_{diffusa} / \rho_{diffusa}$ del

flusso luminoso da in avanti all'indietro aumenta, tale rapporto essendo uguale a uno nel limite di Rayleigh. Inoltre, quando η aumenta, l'apertura del cono di diffusione in avanti si riduce. Pertanto, la scelta di η è determinata dalla ricerca di un compromesso tra avere una luce diffusa ad angoli ampi e minimizzare il flusso di luce diffusa all'indietro. Inoltre, in modo di per sé noto, uno strato antiriflesso (non illustrato) può essere depositato sulla prima e sulla seconda superficie S_1 e S_2 , al fine di ridurre al minimo $\rho_{diretta}$; facendo così, l'efficienza luminosa del sistema di illuminazione 1 aumenta e la visibilità del primo pannello diffusore 4 (come elemento fisico) da parte di un osservatore nella stanza 6 è ridotta.

Sono tuttavia possibili forme di realizzazione in cui le nanoparticelle non hanno una forma sferica; in tal caso, il diametro effettivo D può essere definito come il diametro effettivo delle particelle sferiche equivalenti, cioè il diametro effettivo delle particelle sferiche aventi lo stesso volume delle particelle summenzionate.

Inoltre, sono possibili forme di realizzazione in cui le nanoparticelle sono polidisperse, cioè i loro diametri effettivi sono caratterizzati da una distribuzione $N(D)$. Tale distribuzione descrive il numero di nanoparticelle per unità di superficie e intervallo unitario di diametro

effettivo in prossimità del diametro effettivo D (cioè, il numero di particelle per unità di superficie aventi un diametro effettivo tra D_1 e D_2 è pari a $N_{D_2-D_1} = \int_{D_1}^{D_2} N(D)dD$).

Questi diametri effettivi possono rientrare nell'intervallo [5 nm-350 nm], ossia la distribuzione può essere non nulla in questo intervallo. In questo caso, considerando che l'efficienza di diffusione aumenta approssimativamente, ossia nel limite delle piccole particelle, con la sesta potenza del diametro delle nanoparticelle, la distribuzione polidispersa agisce all'incirca come una distribuzione monodispersa con un diametro rappresentativo D'_{eff} definito come:

$$D'_{\text{eff}} = \left\{ \frac{\int N(D)D^6 dD}{N} \right\}^{1/6}$$

in cui

$$N = \int N(D)dD$$

D'_{eff} può essere selezionato in modo da rientrare nell'intervallo [5 nm-350 nm], preferibilmente [10 nm-250 nm], più preferibilmente [40 nm-180 nm], ancora più preferibilmente [60 nm-150 nm].

Inoltre, il primo pannello diffusore 4 è ad una distanza d dalla prima sorgente luminosa 2, misurata lungo

l'asse H. Tale distanza d può essere variata a seconda della posizione prevista dell'osservatore all'interno della stanza 6, in modo che la distanza tra la posizione prevista dell'osservatore e la prima sorgente luminosa 2 sia pari ad almeno cinque metri, preferibilmente sette metri. Per esempio, nel caso di un'applicazione del tipo a soffitto, la distanza d può essere pari a tre metri. Come precauzione, la distanza d può essere pari a cinque metri, nel caso in cui l'osservatore sia molto vicino alla seconda superficie S_2 .

Secondo una differente forma di realizzazione, illustrata nella figura 2, la prima sorgente luminosa 2 è disposta ancora all'interno del volume esterno V , ma è disposta sfalsata, cioè lateralmente rispetto al primo pannello diffusore 4, ossia non è intercettata da nessuna linea che passa attraverso il primo pannello diffusore 4 ed è parallela all'asse H. Inoltre, il sistema di illuminazione 1 include un sistema riflettente 20, che include un primo specchio 22 e forma un percorso luminoso che collega la prima sorgente luminosa 2 al primo pannello diffusore 4; in altri termini, i raggi luminosi generati dalla prima sorgente luminosa 2 sono convogliati dal sistema riflettente 20 sulla prima superficie S_1 . Il primo specchio 22 determina un'ultima curva (ossia un'ultima variazione di direzione) del percorso luminoso prima del

primo pannello diffusore 4.

In aggiunta, la prima sorgente luminosa 2 e il sistema riflettente 20 sono tali per cui il primo pannello diffusore 4 è illuminato completamente dai raggi luminosi provenienti dalla prima sorgente luminosa 2. Inoltre, per ragioni che verranno descritte più accuratamente in seguito, il primo pannello diffusore 4 e il sistema riflettente 20 sono disposti in modo tale da soddisfare la seguente condizione geometrica. Non vi è alcuna coppia costituita da un raggio luminoso RL1 e da un raggio luminoso RL2 tali per cui:

- il raggio luminoso RL1 passa attraverso il primo pannello diffusore 4 (per esempio, provenendo dalla stanza 6) o ha origine dal primo pannello diffusore 4; e

- il raggio luminoso RL2 è la riflessione del raggio luminoso RL1 dal sistema riflettente 20 ed è diretto in modo da incidere nuovamente sulla prima superficie S_1 .

La summenzionata condizione geometrica sui raggi luminosi RL1 e RL2 è equivalente ad affermare che nessun raggio luminoso generato all'interno della stanza 6 e che interseca la prima superficie S_1 in un primo punto può essere successivamente riflesso dal sistema riflettente 20 in modo tale da incidere nuovamente sulla prima superficie S_1 in un secondo punto. Ancora in altre parole, il sistema riflettente 20 è disposto in modo tale che tutti i raggi

luminosi in arrivo che provengono dalla prima superficie S_1 e incidono sul sistema riflettente 20 siano riflessi sullo strato interno 12, indipendentemente dalla posizione all'interno della prima superficie S_1 da cui vengono emanati i raggi luminosi in arrivo.

La summenzionata condizione geometrica relativa ai raggi luminosi RL1 e RL2 porta a ridurre il volume occupato dal sistema di illuminazione 1, principalmente in termini del volume occupato all'esterno della stanza 6, senza danneggiare la qualità dell'illuminazione. In particolare, il sistema di illuminazione 1 presenta una riduzione dello spazio occupato verticalmente, cioè misurato lungo l'asse H. Dato che un ingombro verticale ridotto è un prerequisite per un gran numero di applicazioni, la summenzionata condizione geometrica consente di ottenere l'effetto di sfondamento in un gran numero di situazioni di interesse pratico. Per brevità, da ora in poi verrà generalmente omissa il riferimento alla dimensione verticale dello spazio occupato.

In maggiore dettaglio, oltre a portare ad una riduzione dello spazio occupato, la disposizione reciproca del sistema riflettente 20 e del primo pannello diffusore 4 previene il verificarsi di due fenomeni che potrebbero compromettere la qualità naturale dell'illuminazione.

Come illustrato nella figura 3, nel caso venisse

violata la summenzionata condizione geometrica relativa ai raggi luminosi RL1 e RL2, si verificherebbero le seguenti condizioni:

- un raggio luminoso IR1 generato dalla prima sorgente luminosa 2 incide sul sistema riflettente (qui indicato con il numero di riferimento 30) ed è convogliato sul primo pannello diffusore 4, attraversa il primo pannello diffusore 4 e raggiunge l'osservatore; e

- un raggio luminoso IR2 generato dalla prima sorgente luminosa 2 incide sul sistema riflettente 30 una prima volta, è convogliato una prima volta sul primo pannello diffusore 4, è parzialmente riflesso per via della riflessione di Fresnel dalla prima superficie S_1 , incide sul sistema riflettente 30 una seconda volta, è convogliato una seconda volta sul primo pannello diffusore 4, attraversa il primo pannello diffusore 4 e raggiunge l'osservatore da una direzione differente rispetto al raggio luminoso IR1.

In questo caso, l'osservatore potrebbe sperimentare la vista di due immagini differenti della prima sorgente luminosa 2, che sono visibili lungo direzioni differenti. La prima immagine è l'immagine formata da IR1 e da tutti i raggi luminosi vicini a IR1, cioè dai raggi luminosi che hanno attraversato soltanto una volta il primo pannello diffusore 4. La seconda immagine è l'immagine formata dal

raggio luminoso IR2 e da tutti i raggi luminosi vicini a IR2, cioè i raggi che, essendo stati parzialmente riflessi dalla prima superficie S₁, sono ridiretti dal sistema riflettente 30 verso l'osservatore. Poiché la riflessione di Fresnel ridirige soltanto una parte (per esempio, circa il 4% per ciascuna superficie del primo pannello diffusore 4, per incidenza quasi perpendicolare e per il materiale PMMA), la seconda immagine della prima sorgente luminosa 2 è più debole della prima. Ciò nonostante, la sua intensità di illuminazione è ancora molto elevata; pertanto, un osservatore percepirebbe la differenza rispetto all'illuminazione naturale, che è caratterizzata evidentemente dalla presenza di una sola immagine del sole.

In modo simile, se non dovesse essere soddisfatta la summenzionata condizione geometrica relativa ai raggi luminosi RL1 e RL2, i raggi luminosi provenienti dalla stanza 6 e di qualsiasi colore potrebbero attraversare il primo pannello diffusore 4, essere riflessi dal sistema riflettente 30 e rientrare nella stanza 6 dopo aver attraversato nuovamente il primo pannello diffusore 4. In tal caso, un osservatore potrebbe percepire la presenza di oggetti luminosi aventi colori differenti dal colore del primo pannello diffusore 4, come se fossero disposti dietro il primo pannello diffusore 4. Inoltre, data la cosiddetta retrodiffusione, il primo pannello diffusore 4 stesso

sarebbe visibile da parte dell'osservatore non soltanto direttamente, ma anche attraverso il sistema riflettente 30; in pratica, il primo pannello diffusore 4 genererebbe un disco luminoso, delimitato spazialmente dalla cornice dello specchio, che rovinerebbe l'uniformità dello sfondo. In aggiunta, un osservatore potrebbe notare la presenza del sistema riflettente 30 data la rapida variazione della luminanza che potrebbe avvenire sui bordi dello specchio. Tutti questi effetti renderebbero innaturale l'illuminazione, l'immagine del primo pannello diffusore 4 essendo differente da quella del cielo naturale. Inoltre, la percezione degli oggetti o degli specchi sullo sfondo del primo pannello diffusore 4 impedirebbe di ottenere l'effetto di sfondamento.

Tutto ciò premesso, sono possibili forme di realizzazione in cui, come illustrato nella figura 2, il primo specchio 22 è piano e parallelo al primo pannello diffusore 4 (ossia parallelo alla prima e alla seconda superficie S_1 e S_2), in modo che il volume occupato sia ridotto al minimo.

Inoltre, indipendentemente dalla forma e dall'angolo di inclinazione del primo specchio 22, la prima sorgente luminosa 2 e il primo specchio 22 sono disposti in modo tale che, se la superficie del primo specchio 22 è indicata come superficie riflettente S_r , il baricentro O della prima

superficie S_1 e il baricentro O' della superficie riflettente S_r possono essere collegati da una linea avente un angolo di incidenza AO rispetto all'asse H che è compreso tra 40° e 65° , preferibilmente tra 42° e 50° , e che più preferibilmente è nell'intorno di 45° . In tal modo, si ottiene un compromesso tra la riduzione al minimo dello spazio occupato verticalmente dal sistema di illuminazione 1, che si riduce quando l'angolo di incidenza AO aumenta, e la riduzione al minimo delle perdite di luce dovute alla riflessione parziale che si verifica nel primo pannello diffusore 4, la quale aumenta quando l'angolo di incidenza AO aumenta, nell'ipotesi che il primo pannello diffusore 4 presenti un indice di rifrazione fondamentalmente pari a 1,5 e che l'angolo di incidenza AO sia maggiore di 45° . Vale la pena notare che il vantaggio di illuminare il primo pannello diffusore 4 ad un angolo di incidenza AO sostanzialmente pari a 45° vale anche per tutte le possibili forme di realizzazione, incluse quelle descritte in seguito e quelle senza alcuno specchio.

La Richiedente ha inoltre verificato che, quando il primo specchio 22 è piano, lo spazio verticale occupato dal sistema di illuminazione 1 è ridotto al minimo per un qualsiasi angolo di incidenza AO , a condizione che il primo specchio 2 sia parallelo al primo pannello diffusore 4.

Prima di proseguire nella descrizione, si definisce

"raggio portante" il percorso luminoso piegato che collega il baricentro O della superficie di emissione S_f (definita in seguito) della prima sorgente luminosa 2 al baricentro O della prima superficie S_1 , attraverso il sistema riflettente 20, o quello più corto tra questi percorsi luminosi, nel caso sia presente più di un percorso luminoso; è presente soltanto un percorso luminoso nel caso in cui il sistema riflettente 20 sia progettato come componente ottico di formazione di immagini.

Inoltre, è introdotto un sistema di riferimento cartesiano, quale un sistema di riferimento avente un'origine nel baricentro O della prima superficie S_1 e comprendente un asse x e un asse y che si trovano nel piano definito dalla prima superficie S_1 e sono disposti in modo tale che l'asse y sia perpendicolare al piano di incidenza del raggio portante sulla superficie riflettente S_r del primo specchio 22 (cioè il piano contenente i due segmenti del raggio portante che entrano in contatto con il primo specchio 22, nonché la linea perpendicolare alla superficie riflettente S_r nel punto di contatto).

Indipendentemente dalla forma e dall'angolo di inclinazione del primo specchio 22, sono possibili forme di realizzazione in cui la prima superficie S_1 ha una forma rettangolare o almeno allungata, con il suo asse maggiore che coincide con l'asse y . La Richiedente ha verificato che

queste forme di realizzazione consentono di soddisfare la condizione geometrica relativa ai raggi luminosi RL1 e RL2 con un'altezza minore del sistema di illuminazione 1 lungo l'asse H, rispetto ai casi in cui il primo pannello diffusore 4 non è allungato o è allungato lungo l'asse x, a parità di area del primo pannello diffusore 4 e dell'angolo di incidenza θ_0 . In altri termini, queste forme di realizzazione consentono di aumentare al massimo l'area del primo pannello diffusore 4 per una data altezza del sistema di illuminazione 1 e un dato angolo di incidenza θ_0 . Difatti, la Richiedente ha notato che, per un dato angolo di incidenza θ_0 , la larghezza massima del primo pannello diffusore 4 lungo l'asse x è proporzionale all'altezza minima del sistema di illuminazione 1 lungo l'asse H, il coefficiente di proporzionalità essendo vicino a 1 quando l'angolo di incidenza θ_0 è vicino a 45° .

La Richiedente ha inoltre notato che la qualità naturale dell'illuminazione è ulteriormente migliorata, se la prima sorgente luminosa 2 presenta una superficie di emissione S_r circolare (figura 4a) o ellittica (figura 4b). Dato che la prima sorgente luminosa 2 è direzionale, essa è caratterizzata da una direzione principale, che è la direzione del massimo assoluto dell'intensità luminosa e da un piano principale, definito qui come il piano, perpendicolare alla direzione principale, in cui è presente

il massimo assoluto della luminanza. Detto ciò, la superficie di emissione S_f è la parte del piano principale in cui la luminanza lungo la direzione principale è superiore al 10% di questo massimo assoluto dell'intensità luminosa. La superficie di emissione S_f è denominata circolare o ellittica nel caso in cui sia presente una circonferenza o un'ellisse che la racchiude e ha un'area maggiore dell'area della superficie di emissione S_f , di non più del 30%, preferibilmente di non più del 20%, più preferibilmente di non più del 10%.

Tutto ciò premesso, i raggi luminosi incidono sulla prima superficie S_1 in corrispondenti punti di incidenza e formano corrispondenti angoli di incidenza con le linee perpendicolari alla prima superficie S_1 e passanti attraverso i punti di incidenza. Premesso ciò, il sistema riflettente 20 e le disposizioni della prima sorgente luminosa 2 e del primo pannello diffusore 4 sono tali per cui, dati:

- un raggio luminoso RL3 che collega, attraverso il sistema riflettente 20, il baricentro O'' della superficie di emissione S_f al baricentro O della prima superficie S_1 e forma un angolo θ_1 rispetto a una linea perpendicolare alla prima superficie S_1 e passante attraverso il baricentro O di quest'ultima; e

- un raggio luminoso RL4 che collega, attraverso il

sistema riflettente 20, il baricentro O" della superficie di emissione S_f ad un punto della prima superficie S₁ che è distanziato di una distanza X dal baricentro O di quest'ultima, e che forma un angolo θ₂ rispetto a una linea perpendicolare alla prima superficie S₁ e passante attraverso questo punto;

si ha:

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

in cui L è almeno pari a tre metri e, preferibilmente, X << L, per esempio X < 10 cm. Preferibilmente, L è almeno pari a quattro metri; ancora più preferibilmente, L è almeno pari a cinque metri. Si noti che tale condizione è soddisfatta anche dalla forma di realizzazione illustrata nella figura 1, purché la summenzionata distanza d del primo pannello diffusore 4 dalla prima sorgente luminosa 2 sia pari a L.

In tal modo, i raggi luminosi incidono sulla prima superficie S₁ con direzioni quasi parallele, in modo simile a quanto accade in natura. Inoltre, questa condizione può essere soddisfatta anche quando la prima sorgente luminosa 2 è ad una distanza fisica dal primo pannello diffusore 4 inferiore a L, purché il sistema riflettente 20 comprenda specchi convergenti, cioè specchi progettati per formare un'immagine virtuale della prima sorgente luminosa 2 ad una distanza maggiore rispetto alla distanza fisica.

La Richiedente inoltre ha notato che la qualità naturale dell'illuminazione migliora quando la luminanza massima della prima sorgente luminosa 2 è maggiore di 10^6 cd/m^2 , preferibilmente di $0,1 \cdot 10^6$ cd/m^2 , più preferibilmente di $1 \cdot 10^{6+}$ cd/m^2 , ancora più preferibilmente di $10 \cdot 10^6$ cd/m^2 . Per tali valori, infatti, la prima sorgente luminosa 2 genera un sufficiente abbagliamento per cui la stessa sorgente risulta difficile da osservare, impedendo pertanto all'osservatore di valutare la distanza della sorgente attraverso il meccanismo di messa a fuoco degli occhi. Questi valori di luminanza contribuiscono quindi a ottenere l'effetto di sfondamento infinito. Inoltre, l'abbagliamento rende difficile rilevare le possibili disuniformità del profilo di luminanza della prima sorgente luminosa 2, rendendo difficile rilevare le differenze tra l'immagine della prima sorgente luminosa 2 e l'immagine del sole.

La Richiedente ha verificato anche che la qualità naturale dell'illuminazione migliora se la dimensione e la forma della prima sorgente luminosa 2 sono tali per cui, dato un raggio luminoso che collega il perimetro della superficie di emissione S_f al baricentro O della prima superficie S_1 , l'angolo che esso forma con il summenzionato raggio luminoso $RL3$ è inferiore a 4° , preferibilmente 3° , più preferibilmente $1,2^\circ$, e ancora più preferibilmente $1,0^\circ$. Infatti, la qualità naturale dell'illuminazione

migliora quando i valori inferiori di tale angolo sono associati ai valori superiori della luminanza, questa condizione permettendo di ottenere una percezione più naturale.

Come illustrato nelle figure 5a e 5b, indipendentemente dai dettagli del primo pannello diffusore 4, il primo specchio 22 può essere uno specchio curvato in modo concavo, per esempio uno specchio curvato in modo concavo avente una curvatura parabolica. In particolare, come illustrato nelle figure 5a e 5b, il primo specchio 22 può essere sagomato come una parte di un paraboloido circolare, cioè una superficie ottenuta ruotando una parabola generatrice attorno al suo asse A, in modo che l'intersezione con qualsiasi piano che include l'asse A definisca la medesima parabola generatrice. In particolare, la parte del paraboloido circolare è ottenuta suddividendo una parte della superficie del paraboloido circolare con un piano secante che attraversa l'asse A formando un angolo diverso da 90° . Per brevità, d'ora in poi, si farà riferimento al paraboloido circolare senza menzionare esplicitamente che lo specchio è formato da una parte del paraboloido circolare.

Secondo la presente forma di realizzazione, la prima sorgente luminosa 2 è disposta nel fuoco del paraboloido circolare; più precisamente, il baricentro O'' della

superficie di emissione S_f della prima sorgente luminosa 2 è disposto nel fuoco del paraboloide circolare, perciò i raggi luminosi provenienti da tale baricentro e riflessi dal paraboloide circolare incidono sulla prima superficie S_1 con direzioni di propagazione tutte parallele all'asse A. In questo modo, l'osservatore percepisce la prima sorgente luminosa 2 come se fosse disposta ad una distanza virtualmente infinita, analogamente a quanto accade con il sole, migliorando pertanto la qualità naturale dell'illuminazione. In altri termini, l'immagine virtuale della prima sorgente luminosa 2 è ad una distanza infinita dall'osservatore.

Inoltre, la dimensione della prima sorgente luminosa 2 percepita dall'osservatore è data dalla dimensione dell'immagine della prima sorgente luminosa 2 sulla retina e dipende soltanto dalla dimensione fisica della prima sorgente luminosa 2 e dall'ingrandimento del sistema telescopico ottico formato dal cristallino dell'occhio e dal paraboloide circolare; tale sistema telescopico ottico ha un piano immagine e un piano oggetto che sono disposti, rispettivamente, nel fuoco del cristallino dell'occhio e nel fuoco del paraboloide circolare. L'ingrandimento summenzionato è dato dal rapporto tra il fuoco del cristallino dell'occhio e il fuoco del paraboloide circolare; pertanto, la dimensione della prima sorgente

luminosa 2 percepita dall'osservatore non dipende dalla distanza dell'osservatore dal sistema di illuminazione 1. Pertanto, questa ulteriore condizione contribuisce a creare un effetto di illuminazione naturale, poiché la dimensione percepita del sole non dipende dalla posizione dell'osservatore.

La Richiedente ha inoltre notato che se la superficie di emissione S_f è a forma di cerchio, l'immagine della prima sorgente luminosa 2 percepita dall'osservatore è ancora di forma circolare, perché il sistema ottico illustrato nella figura 5a non distorce l'immagine.

La forma di realizzazione illustrata nella figura 5a è caratterizzata dal fatto che lo spazio verticale occupato dal sistema di illuminazione 1 è quasi uguale alla dimensione del primo pannello diffusore 4 lungo l'asse x, nel caso in cui i raggi luminosi riflessi dal paraboloide circolare incidano sul primo pannello diffusore 4 a 45° , e la summenzionata condizione geometrica sia soddisfatta.

Secondo una variante, illustrata nella figura 5a, la prima e la seconda superficie S_1 e S_2 del primo pannello diffusore 4 hanno una forma ellittica, tale forma essendo racchiusa dalla proiezione del paraboloide circolare 22 sul piano xy lungo la direzione data dall'asse A. Pertanto, la prima e la seconda superficie S_1 e S_2 possono essere circonscritte dal disco luminoso SP formato dal paraboloide

circolare nel piano xy , riducendo pertanto le perdite di luce. Inoltre, il primo specchio 22 è tagliato in modo da accettare un fascio luminoso avente una divergenza circolare, ossia è tagliato in modo tale per cui la sua proiezione sul piano ortogonale alla linea che collega il baricentro O'' della superficie di emissione S_f e il vertice del paraboloide circolare ha una forma circolare o almeno circoscrive un cerchio con buona approssimazione. Tuttavia, sono anche possibili altre forme del primo specchio 22, per esempio una forma allungata lungo la direzione y .

L'utilizzo del paraboloide circolare implica che la luce che entra nella stanza 6 attraverso il primo pannello diffusore 4 proietti sul pavimento della stanza 6 un disco luminoso avente la stessa forma e la stessa dimensione del primo pannello diffusore 4, come accade con la luce solare attraverso una finestra, contribuendo pertanto all'effetto di illuminazione naturale. Inoltre, poiché l'osservatore è in grado di valutare la distanza di una generica sorgente luminosa in base alla divergenza del fascio luminoso che essa genera, il sistema di illuminazione 1 illustrato nella figura 5a crea un effetto di grande profondità di campo, anche se la prima sorgente luminosa 2 non è direttamente nel campo visivo dell'osservatore.

Come illustrato nella figura 6, il primo specchio 22 può essere sagomato come parte di un paraboloide con

simmetria cilindrica, cioè come parte di un cilindro parabolico, questa parte essendo ottenuta intersecando il cilindro parabolico con tre piani secanti. In dettaglio, è noto che, dati una parabola generatrice e una linea di riferimento R , il cilindro parabolico è la superficie rigata formata dalle linee parallele alla linea di riferimento R e incidenti sulla parabola generatrice; in altri termini, il cilindro parabolico è ottenuto mediante traslazione della parabola generatrice lungo la linea di riferimento R . In quanto segue, la linea di riferimento R è anche denominata asse cilindrico.

Nella forma di realizzazione illustrata nella figura 6, il cilindro parabolico è ottenuto mediante traslazione della parabola generatrice lungo una direzione parallela all'asse x . Inoltre, la parabola generatrice ha il suo vertice nel piano xH e il suo asse A orientato lungo una linea che è speculare alla linea che collega il baricentro O della prima superficie S_1 e il baricentro O' della superficie riflettente S_r del primo specchio 22. In questa forma di realizzazione, un piano tangente al cilindro parabolico nel vertice della parabola generatrice è parallelo al piano xy . Inoltre, due dei tre piani secanti sono, per esempio, paralleli al piano yH , mentre il terzo piano è, per esempio, sostanzialmente parallelo al piano xy . Tutto ciò premesso, d'ora in poi, per brevità, si farà

riferimento al cilindro parabolico, senza menzionare esplicitamente che lo specchio è formato da una parte del cilindro parabolico.

Nella forma di realizzazione illustrata nella figura 6, il cilindro parabolico è lateralmente distanziato lungo l'asse x , rispetto all'asse H , per cui l'angolo di incidenza AO è sostanzialmente pari a 45° .

In maggiore dettaglio, il baricentro O'' della superficie di emissione S_f è disposto nel piano xH , vicino alla linea formata dai fuochi delle parabole che formano il cilindro parabolico, nella posizione che assicura la migliore collimazione dei raggi luminosi diretti verso il primo pannello diffusore 4, per quanto concerne la propagazione dei raggi nel piano contenente l'asse y e il baricentro del cilindro parabolico, e più in generale per quanto concerne la propagazione dei raggi in tutti i piani che intersecano il primo pannello diffusore 4 lungo linee parallele all'asse y . In quanto segue, per semplicità ci si riferisce alla divergenza media in questi ultimi piani come alla divergenza lungo la direzione dell'asse y .

La forma di realizzazione illustrata nella figura 6 consente di utilizzare un primo pannello diffusore 4 che è considerevolmente più lungo, lungo l'asse y , piuttosto che lungo l'asse x , aumentando pertanto al massimo l'area del primo pannello diffusore 4 e quindi gli angoli in

corrispondenza dei quali l'osservatore percepisce l'effetto di sfondamento. Più precisamente, tale grande allungamento del primo pannello diffusore 4 è possibile poiché la forma di realizzazione si basa sull'impiego di uno specchio che presenta un grande allungamento nella direzione dell'asse y , mantenendo al contempo una divergenza (di uscita) limitata nella medesima direzione dell'asse y . In modo più specifico, la Richiedente ha notato che la dimensione percepita della prima sorgente luminosa 2 lungo la direzione dell'asse y , cioè il diametro della superficie di emissione S_f percepita lungo la direzione dell'asse y , non dipende dalla distanza tra l'osservatore e la prima sorgente luminosa 2, oppure dipende da questa distanza molto lievemente. Per quanto concerne la dimensione della prima sorgente luminosa 2 percepita dall'osservatore lungo la direzione dell'asse x , essa dipende dalla posizione dell'osservatore e si riduce con la distanza. Pertanto, per assicurare la percezione di una forma circolare della prima sorgente luminosa 2, è possibile adottare una sorgente luminosa con una superficie di emissione ellittica S_f , in cui l'eccentricità dell'ellisse è fissata in funzione di un punto previsto di osservazione all'interno della stanza 6.

Un ulteriore vantaggio fornito dall'utilizzo di un cilindro parabolico è il fatto che tale tipo di specchi sono facili da realizzare, poiché possono essere ottenuti

mediante una lamina per specchio piano, cioè una lamina per specchio in alluminio. Inoltre, facendo riferimento ad un osservatore in posizione verticale e che osserva la prima sorgente luminosa 2 da una posizione centrale, cioè attraverso il baricentro O della prima superficie S_1 , e quindi con gli occhi allineati lungo la direzione dell'asse y , egli percepirà la prima sorgente luminosa 2 a grande distanza, per via del fatto che la convergenza dei suoi occhi funziona soltanto nei piani contenenti entrambi gli occhi (ossia la direzione dell'asse y), in cui è presente un'elevata convergenza. Ciò avviene indipendentemente da quanto vale la divergenza dei raggi nella direzione ortogonale.

In una forma di realizzazione diversa (non illustrata), il sistema di illuminazione 1 è montato in modo tale che il primo pannello diffusore 4 sia parallelo a una parete verticale, piuttosto che a un soffitto, in modo tale che il fascio luminoso proveniente dalla prima sorgente luminosa 2 entri nella stanza 6 parallelo al pavimento e ad un angolo di circa 45° rispetto alla parete verticale. In questa forma di realizzazione, il cilindro parabolico è ottenuto per traslazione della parabola generatrice in una direzione parallela all'asse y , piuttosto che all'asse x , questa essendo la configurazione che consente la massima percezione di profondità per un

osservatore, i cui occhi sono allineati lungo l'asse x . Anche in questo caso, data una altezza del sistema di illuminazione 1 oltre la parete verticale, la massima area del primo pannello diffusore 4 può essere ottenuta adottando una forma allungata nella direzione dell'asse y .

In una forma di realizzazione differente, il sistema riflettente 20 può includere un secondo specchio 24, come illustrato per esempio nella figura 7. Ossia, il summenzionato primo specchio 22 può essere uno specchio di una pluralità di specchi del sistema riflettente 20, che determina l'ultima curva del percorso luminoso, lungo il quale i raggi luminosi generati dalla prima sorgente luminosa 2 sono convogliati sul primo pannello diffusore 4.

Il secondo specchio 24 è interposto otticamente tra il primo specchio 22 e la prima sorgente luminosa 2. In questo caso, la summenzionata condizione geometrica non varia, poiché questa condizione si riferisce al sistema riflettente 20 complessivo. È pertanto irrilevante se il raggio luminoso RL2 è generato per riflessione del raggio luminoso RL1 solo sul primo specchio 22 o sul primo e sul secondo specchio 22, 24. Analogamente, il sistema riflettente 20 può includere ulteriori elementi riflettenti (non illustrati).

Uno qualsiasi tra il primo e il secondo specchio 22, 24 può essere piano o avere una forma differente. In

particolare, come illustrato nella figura 8, sono possibili forme di realizzazione in cui entrambi il primo e il secondo specchio 22, 24 sono sagomati come parti di due cilindri parabolici corrispondenti, i quali sono generati da parabole generatrici che si trovano in piani ortogonali, e che sono traslate lungo direzioni ortogonali e quindi eseguono la collimazione della luce in piani ortogonali. Nella presente forma di realizzazione, per esempio, il primo specchio 22 è simile al cilindro parabolico illustrato nella figura 6, mentre il secondo cilindro parabolico, che forma il secondo specchio 24, è ottenuto considerando una seconda parabola generatrice nel piano xH e traslandola lungo la direzione dell'asse y, ottenendo quindi una riduzione della divergenza del fascio nel piano xH. Inoltre, la Richiedente ha verificato che si ottiene una buona collimazione in tutte le direzioni per i raggi luminosi riflessi dal secondo specchio 24 verso il primo specchio 22, quando la seconda parabola generatrice ha il proprio asse orientato in una direzione sostanzialmente parallela all'asse della parabola generatrice del primo specchio 22, purché i due cilindri parabolici siano disposti in modo tale che condividano un fuoco comune (o, in modo più preciso, in modo tale che le parabole generatrici condividano un fuoco comune, in cui la posizione del fuoco della parabola generatrice del primo

specchio 22 rende conto della riflessione da parte dello specchio 24) e la prima sorgente luminosa 2 è disposta sostanzialmente in tale fuoco comune.

La forma di realizzazione illustrata nella figura 8 permette l'utilizzo di un pannello diffusore avente una lunghezza lungo l'asse y che è considerevolmente superiore alla lunghezza lungo l'asse x , e pertanto consente di aumentare al massimo l'area del primo pannello diffusore 4, lo spazio verticale occupato da questa forma di realizzazione essendo uguale a quello occupato nel caso di un pannello quadrato. Inoltre, questa forma di realizzazione consente di generare un fascio luminoso che incide sulla prima superficie S_1 con una divergenza ridotta lungo entrambi gli assi x e y (cioè lungo i piani che intersecano il piano xy lungo linee che sono parallele all'asse x e all'asse y , rispettivamente). Pertanto, i raggi luminosi trasmessi hanno una divergenza simile ai raggi solari. Questa condizione contribuisce a creare una notevole percezione della profondità di campo anche quando la prima sorgente luminosa 2 non è nel campo visivo dell'osservatore. Inoltre, poiché la prima sorgente luminosa 2 è disposta vicino al fuoco comune, la dimensione della prima sorgente luminosa 2 percepita dall'osservatore non dipende dalla distanza. Infine, l'illuminazione di un pannello diffusore allungato lungo la direzione dell'asse y

è qui resa possibile a partire da un fascio luminoso che incide sul secondo specchio 24 sostanzialmente con una medesima divergenza sia nel piano di incidenza, sia nel piano ortogonale, ossia utilizzando efficacemente una sorgente luminosa che genera un fascio luminoso avente una sezione trasversale simile a un quadrato. Questo risultato, che è conseguito eseguendo la riduzione della divergenza del fascio iniziale in due fasi separate nelle due direzioni ortogonali, rappresenta un vantaggio rispetto al caso di un singolo cilindro parabolico, per il quale sono necessari fasci asimmetrici, come descritto di seguito.

Indipendentemente dai dettagli del primo pannello diffusore 4 e del sistema riflettente 20, la prima sorgente luminosa 2, come spiegato in precedenza, può presentare una superficie di emissione S_f con una forma circolare o ellittica. In particolare, la superficie di emissione S_f può avere una forma ellittica qualora il sistema riflettente 20 includa almeno un paraboloide con simmetria cilindrica, per cui i differenti ingrandimenti introdotti lungo l'asse x e l'asse y sono compensati, permettendo quindi la creazione di un disco luminoso di forma circolare sulla retina dell'osservatore.

Come illustrato nelle figure 9a e 9b, la prima sorgente luminosa 2 può essere formata da una serie di dispositivi di emissione 50. Ciascun dispositivo di

emissione 50 è formato da una sorgente LED 52 e da un corrispondente concentratore parabolico composto ("CPC") 54 di tipo rettangolare, che presenta un'apertura di ingresso IN e un'apertura di uscita OUT; l'apertura di ingresso IN e l'apertura di uscita OUT possono essere rispettivamente sagomate come un primo e un secondo rettangolo, paralleli e allineati tra loro, il primo rettangolo avendo un'area inferiore rispetto al secondo rettangolo. Inoltre, il primo rettangolo ha un rapporto differente tra le lunghezze dei suoi assi di simmetria rispetto al secondo rettangolo. Per esempio, il primo rettangolo ha un rapporto superiore, cioè è più allungato, rispetto al secondo. La sorgente LED 52 può essere formata da una schiera di emettitori LED (non illustrati) ed è disposta vicino alla corrispondente apertura di ingresso IN, in modo tale che la radiazione emessa dalla sorgente LED 52 sia accoppiata al concentratore CPC 54 attraverso l'apertura di ingresso IN, ed esca dall'apertura di uscita OUT. Altri tipi di concentratori riflettenti sono tuttavia possibili; analogamente, è possibile utilizzare dispositivi di emissione di luce diversi dai LED.

Il fascio luminoso generato da ciascun dispositivo di emissione 50 ha una sezione trasversale rettangolare, la sua divergenza essendo massima nel piano contenente l'asse del fascio stesso, cioè contenente l'asse ottico 56 della

coppia formata dal concentratore 54 e dalla sorgente LED 52 corrispondente, e il maggiore degli assi di simmetria del rettangolo definito dall'apertura di uscita OUT, indicata con il numero di riferimento 57 nella figura 9a. Nel caso di una apertura di uscita OUT differente, il piano di massima divergenza verrebbe definito dalla direzione di allungamento, cioè dalla direzione di massima estensione dell'uscita OUT, e dall'asse ottico 56.

La quantità di divergenza del fascio in ciascuno tra il piano di massima divergenza e il suo piano ortogonale (anche quest'ultimo contenente l'asse ottico 56) diminuisce progressivamente con il rapporto tra le lunghezze del corrispondente lato del rettangolo di ingresso, d_{IN} , e del corrispondente lato del rettangolo di uscita, d_{OUT} , ed è in particolare uguale al doppio dell'arcoseno di questo rapporto, ossia $\arccos(d_{IN}/d_{OUT})$. A tal proposito, non soltanto le aree, ma anche le forme delle aperture di ingresso e di uscita devono essere differenti, al fine di assicurare divergenze differenti nei due piani ortogonali.

La dimensione dell'apertura di ingresso IN dovrebbe essere scelta in modo tale da racchiudere la sorgente LED 52. Nella forma di realizzazione delle figure 9a e 9b, ciascun concentratore 54 ha una forma simile a un imbuto ed è formato da quattro superfici riflettenti paraboliche, ciascuna delle quali è curvata mono-dimenzionalmente e ha

una parabola generatrice che è disposta nel piano di massima divergenza o nel suo piano ortogonale, tutte le parabole generatrici avendo i loro fuochi nel piano di ingresso in cui si trova l'apertura di ingresso IN. Inoltre, le quattro superfici riflettenti paraboliche hanno la stessa lunghezza lungo la direzione dell'asse ottico 56.

Secondo una forma di realizzazione, tutti i dispositivi di emissione 50 sono uguali, e i concentratori 54 sono disposti in modo tale che le aperture di ingresso IN si trovino nello stesso piano di ingresso P_IN e le aperture di uscita OUT si trovino nello stesso piano di uscita P_OUT. In particolare, i concentratori 54 sono disposti uno vicino all'altro, con le aperture di uscita OUT adiacenti tra loro, cioè sono strettamente impacchettati, per cui la massima luminanza media della superficie di emissione S_f è assicurata; inoltre, il numero e la disposizione dei concentratori 54 sono tali che la superficie costituita dall'unione di tutte le aperture di uscita OUT assomiglia a una superficie circolare, sebbene siano possibili forme di realizzazione in cui la superficie composta assomiglia a una forma ellittica. Infine, tutti i dispositivi di emissione 50 sono disposti in modo da avere i loro assi 56 orientati in una medesima direzione. In questa circostanza, la prima sorgente luminosa 2 ha un proprio "piano di maggiore divergenza", il quale è il piano

che contiene il baricentro O'' della superficie di emissione S_f e che è parallelo ai piani di massima divergenza dei dispositivi di emissione 50; inoltre, la prima sorgente luminosa 2 ha un "asse di maggiore divergenza" 58, dato dall'intersezione tra il piano di maggiore divergenza della prima sorgente luminosa 2 e la superficie di emissione S_f della prima sorgente luminosa 2. Anche se l'asse di maggiore divergenza è stato introdotto con riferimento al caso di una pluralità di concentratori rettangolari 54, è evidente che altre forme di concentratori 54 simili a un imbuto ed aventi aperture di uscita allungate lungo gli assi paralleli 57 portano ad una sorgente luminosa avente ancora un asse di maggiore divergenza, il quale è parallelo agli assi 57.

La prima sorgente luminosa 2 illustrata nelle figure 9a e 9b consente di disaccoppiare le caratteristiche del fascio luminoso, e in particolare la forma della sua sezione trasversale e la sua divergenza, dalla forma della superficie di emissione S_f , senza introdurre alcuna perdita. Nel presente caso, in cui i dispositivi di emissione 50 generano "fasci luminosi unitari" identici aventi una sezione trasversale rettangolare, le distanze tra i centri delle aperture di uscita OUT sono ridotte rispetto alla larghezza del fascio luminoso composto formato dalla somma di tutti i fasci luminosi unitari,

questa somma verificandosi a causa della propagazione del fascio composito e della divergenza di ciascun fascio luminoso unitario. In pratica, i fasci luminosi unitari si combinano in un singolo fascio luminoso composito che ha la stessa sezione trasversale rettangolare e la stessa divergenza di un singolo fascio luminoso unitario. In altri termini, a distanze che sono notevoli rispetto al diametro della superficie di emissione S_f , il fascio luminoso composito ha la stessa forma e la stessa divergenza del fascio generato da un singolo dispositivo di emissione S_0 , poiché è formato da una pluralità di fasci luminosi unitari identici che sono leggermente sfalsati l'uno rispetto all'altro. Pertanto, la forma di realizzazione illustrata nelle figure 9a e 9b consente di generare un fascio composito avente una sezione, in un piano perpendicolare all'asse del fascio composito stesso e ad una distanza desiderata dalla prima sorgente luminosa S_0 , che è un rettangolo di area e forma desiderate. Inoltre, questa forma di realizzazione consente di creare una sorgente luminosa avente una superficie di emissione S_f che può presentare una qualsiasi forma, per esempio una forma circolare o ellittica. In quanto segue, questa sorgente luminosa è riportata come "sorgente di fascio rettangolare". Occorre notare che il risultato non si ottiene affidandosi ad una apertura praticata con lama e ad

un'ottica di formazione di immagini, come avviene, per esempio, nei proiettori standard per luci da palco, di tipo teatrale, in cui il taglio del fascio determina elevate perdite di trasmissione. Pertanto, la sorgente di fascio rettangolare consente di ridurre al minimo il consumo complessivo di energia.

Sebbene non illustrata, è possibile una forma di realizzazione differente, in cui la prima sorgente luminosa comprende una pluralità di dispositivi di emissione, ciascuno dei quali è formato da una sorgente LED di forma quadrata e da un corrispondente concentratore parabolico composto di tipo quadrato, che presenta un'apertura di ingresso quadrata e una apertura di uscita quadrata. In tal modo, ciascun dispositivo di emissione genera un fascio quadrato, che ha la stessa divergenza nelle due direzioni ortogonali (cioè, nei due piani contenenti l'asse del concentratore e, rispettivamente, i due piani dell'apertura di uscita che sono paralleli ai lati dell'apertura di uscita). In particolare, la presente forma di realizzazione consente di generare un fascio quadrato con una divergenza desiderata, per una forma arbitraria della superficie di emissione S_f . In quanto segue, questa prima sorgente luminosa sarà riportata come "sorgente di fascio quadrato".

In una ulteriore differente forma di realizzazione (non illustrata), la prima sorgente luminosa comprende una

pluralità di dispositivi di emissione, ciascuno dei quali è formato da una sorgente LED avente un corrispondente concentratore parabolico composto di tipo circolare (non illustrato), che presenta un'apertura di ingresso circolare e una apertura di uscita circolare. In questo caso, la prima sorgente luminosa genera un fascio con una simmetria circolare. Pertanto, questa prima sorgente luminosa consente di generare un fascio circolare con una divergenza desiderata, per una forma arbitraria della superficie di emissione S_f . In quanto segue, questa prima sorgente luminosa sarà riportata come "sorgente di fascio circolare".

Nel caso in cui il sistema riflettente 20 sia realizzato con uno o più specchi piani, o nel caso in cui il sistema riflettente 20 includa un singolo specchio avente la forma di un cilindro parabolico, la sorgente di fascio rettangolare consente di ottenere un disco luminoso SP che è allungato lungo l'asse y , cioè un disco luminoso SP che circoscrive la prima superficie S_1 del primo pannello diffusore 4, la prima superficie S_1 avendo la forma di un rettangolo allungato lungo l'asse y . In entrambi i casi, la sorgente di fascio rettangolare è orientata in modo tale che il suo asse di maggiore divergenza 58 sia "mappato" dal sistema riflettente 20 sull'asse y , in modo da ridurre la complessità della

configurazione del sistema riflettente. Nel contesto della presente invenzione, si ritiene che il sistema riflettente mappi l'asse di maggiore divergenza sull'asse y se, dato un fascio ristretto di raggi luminosi comprendenti il raggio portante, che ha origine nel baricentro O'' della superficie di emissione S_f e si trova nel piano di maggiore divergenza, il sistema riflettente 20 fa sì che il fascio di raggi attraversi il primo pannello diffusore 4 lungo una linea tangente all'asse y . Per esempio, se il sistema riflettente 20 è tale per cui il raggio portante è ripiegato in un singolo piano, la sorgente di fascio rettangolare è orientata con l'asse di maggiore divergenza 58 parallelo all'asse y .

Nel caso in cui il sistema riflettente 20 comprenda due specchi aventi forme di cilindri parabolici aventi assi del cilindro ortogonali, è vantaggioso l'utilizzo della sorgente di fascio quadrato. In questo caso, infatti, è possibile fare affidamento sul fatto che la divergenza iniziale di un fascio quadrato è ridotta in due distanze differenti dalla prima sorgente luminosa 2, al fine di ottenere un disco luminoso SP allungato lungo l'asse y . Questa forma di realizzazione consente di conseguire un accoppiamento ottimale tra emettitori LED disponibili in commercio, che sono tipicamente di forma quadrata, e i concentratori.

Inoltre, quando il sistema riflettente 20 comprende uno specchio avente la forma di un paraboloide circolare, l'utilizzo della sorgente di fascio circolare è vantaggioso. In questo caso, tuttavia, la sorgente luminosa 2 può essere costituita da un singolo CPC circolare, il quale è accoppiato a un gruppo LED circolare, questa soluzione consentendo di ottenere una superficie di emissione circolare S_f .

La figura 10 illustra una forma di realizzazione aggiuntiva, in cui la prima sorgente luminosa 2 è nuovamente formata da concentratori CPC identici 54, le rispettive aperture di ingresso IN e le aperture di uscita OUT essendo nuovamente di forma rettangolare, a titolo di esempio. In questo caso, tuttavia, una maschera 60 è applicata su tutta l'apertura formata dalle aperture di uscita OUT; la maschera 60, che si trova nel piano di uscita P_{OUT} , definisce una apertura di maschera 62, avente una forma che è un rettangolo arrotondato con un'area maggiore rispetto all'area di una singola apertura di uscita OUT. In particolare, la maschera 60 può essere formata da uno strato di materiale otticamente assorbente, per cui la radiazione può attraversare il piano di uscita P_{OUT} soltanto attraverso l'apertura di maschera 62. In questo modo, la prima sorgente luminosa 2 è ancora percepita come avente sostanzialmente una superficie di

emissione circolare S_f . La Richiedente inoltre ha notato come la maschera 60 sostanzialmente non distorca la forma del disco luminoso SP formato nel piano della prima superficie S_1 .

Indipendentemente dal numero e dalla forma degli specchi che formano il sistema riflettente 20, il sistema di illuminazione 1 può includere una seconda sorgente luminosa, che comprende uno strato di emissione di luce diffusa, questo strato essendo trasparente o almeno parzialmente trasparente. Durante l'utilizzo, l'ulteriore sorgente luminosa emette luce diffusa dallo strato di emissione, indipendentemente dal fatto di essere illuminata dalla prima sorgente luminosa 2, mentre un osservatore che osserva attraverso lo strato di emissione di luce diffusa della seconda sorgente luminosa può vedere la prima sorgente luminosa 2, oltre tale strato di emissione. Nella presente descrizione, il termine "trasparente" è utilizzato per indicare la cosiddetta proprietà ottica di "visione attraverso", ossia la proprietà di un elemento ottico di trasmettere luce che forma immagini. In particolare, considerando un fascio luminoso generato da una sorgente di illuminazione standard D65 puntiforme disposta ad una notevole distanza dallo strato di emissione di luce diffusa (un fascio, quindi, costituito da raggi luminosi paralleli tra loro) e diretto perpendicolarmente allo strato di

emissione di luce diffusa, per cui una porzione dello strato di emissione di luce diffusa è illuminata da un determinato fascio di raggi generato da un illuminante standard D65, lo strato di emissione di luce diffusa è definito come parzialmente trasparente se almeno il 50%, preferibilmente il 70%, più preferibilmente l'85% dei raggi luminosi del fascio sono trasmessi dallo strato di emissione di luce diffusa all'interno di un cono con una apertura angolare FWHM non maggiore di 8°, preferibilmente di 4°, in modo maggiormente preferibile di 2°. Per completezza, occorre inoltre notare come anche il primo pannello diffusore 4 sia parzialmente trasparente.

Dal punto di vista pratico, dato un illuminante standard (per esempio, una sorgente D65) che emette luce uniformemente da una superficie di emissione circolare, e dato un osservatore standard che osserva la superficie di emissione sotto un angolo solido conico di 8°, preferibilmente di 4°, in modo maggiormente preferibile di 2°, la luminanza della superficie di emissione come percepita dall'osservatore quando lo strato di emissione di luce diffusa parzialmente trasparente è interposto tra l'osservatore e la superficie di emissione, è quindi almeno il 50%, preferibilmente almeno il 70%, più preferibilmente almeno l'85% della corrispondente luminanza percepita dall'osservatore quando lo strato di emissione di luce

diffusa è assente.

Tutto ciò premesso, come illustrato nella figura 11, la seconda sorgente luminosa (indicata dal numero di riferimento 68) può essere disposta parallela al primo pannello diffusore 4, per esempio al di sopra dello stesso, e per esempio in diretto contatto con esso.

La seconda sorgente luminosa 68 può comprendere un secondo pannello diffusore 64 e un illuminatore 66, il secondo pannello diffusore 64 essendo sagomato come una guida di luce illuminata di lato dall'illuminatore 66, l'illuminatore 66 essendo formato, per esempio, da una schiera lineare di LED o da una lampada a tubo fluorescente, per cui la luce emessa dall'illuminatore 66 si propaga in modalità guidata all'interno del secondo pannello diffusore 64, il quale la diffonde in modo omogeneo. Il secondo pannello diffusore 64, per esempio, può essere un diffusore commerciale adatto per l'illuminazione laterale, come per esempio "Acrylite® LED" o "Plexiglas® LED EndLighten". Inoltre, come illustrato nella figura 11, lo spessore lungo l'asse H del secondo pannello diffusore 64 è irrilevante rispetto allo spessore lungo una direzione K perpendicolare all'asse H.

In una particolare configurazione, il secondo pannello diffusore 64 è formato da un terzo materiale (per esempio, un materiale scelto tra i materiali precedentemente

elencati con riferimento al primo materiale), in cui sono disperse microparticelle di un quarto materiale (per esempio ZnO, TiO₂, ZrO₂, SiO₂, Al₂O₃); tali terzo e quarto materiale non assorbono luce con lunghezze d'onda nell'intervallo visibile. In particolare, i diametri delle microparticelle possono variare da 2 µm a 20 µm.

In uso, parte della radiazione guidata dal secondo pannello diffusore 64 esce dal secondo pannello diffusore 64, mentre si propaga lungo il secondo pannello diffusore 64, per via della diffusione operata dalle microparticelle del quarto materiale. Poiché il secondo pannello diffusore 64 ha uno spessore irrilevante lungo l'asse H rispetto alla direzione K, il secondo pannello diffusore 64 è fondamentalmente trasparente per la radiazione che si propaga lungo l'asse H, ma funziona da diffusore per la radiazione che si propaga lungo la direzione K.

Inoltre, presumendo che il secondo pannello diffusore 64 sia delimitato sul lato superiore e su quello inferiore da una terza e da una quarta superficie S₃, S₄, almeno una tra dette terza e quarta superficie S₃, S₄ può essere lavorata superficialmente per conferire ruvidità. Tali ruvidità contribuisce alla diffusione operata dal secondo pannello diffusore 64 della luce generata dall'illuminatore 66, il processo di diffusione essendo virtualmente omogeneo lungo una qualsiasi direzione parallela alla direzione K.

In modo di per sé noto, la ruvidità può essere progettata in modo tale per cui gran parte della luce generata dall'illuminatore 66 viene diffusa principalmente attraverso una tra la terza e la quarta superficie S_3 , S_4 e in particolare verso il primo pannello diffusore 4. Nel caso in cui almeno una tra la terza e la quarta superficie S_3 , S_4 presenti ruvidità, non occorre disperdere alcuna microparticella nel secondo pannello diffusore 64. In ogni caso, la ruvidità può essere presente su entrambe la terza e la quarta superficie S_3 , S_4 del secondo pannello diffusore 64.

In una configurazione differente, la seconda sorgente luminosa 68 include una superficie di emissione sostanzialmente trasparente, la quale è costituita da una pellicola OLED. La pellicola OLED è inoltre in grado di generare luce diffusa di colore e intensità controllati, essendo al contempo trasparente alla luce che la attraversa lungo una direzione perpendicolare alla sua superficie.

La seconda sorgente luminosa 68 consente di variare il colore e l'intensità della componente di luce diffusa generata dal sistema di illuminazione 1, fondamentalmente senza variare il colore e l'intensità della componente trasmessa. A tal fine, è possibile agire sul colore e sull'intensità della luce emessa dalla seconda sorgente luminosa 68.

Per esempio, allo scopo di riprodurre le caratteristiche della luce del tardo pomeriggio, è possibile utilizzare una lampada con una CCT bassa, per esempio di 2500 K, come prima sorgente luminosa 2; in questo modo, il colore della componente trasmessa è simile al colore della luce solare prima del tramonto. Senza la seconda sorgente luminosa 68, il colore della componente diffusa solo dal primo pannello diffusore 4 potrebbe essere differente dal colore della corrispondente componente naturale. Infatti, in natura accade che il cielo sopra l'osservatore è illuminato dalla luce solare bianca, ossia dalla luce solare che non ha ancora attraversato l'atmosfera, la quale presenta una CCT che è pari approssimativamente a 6000 K, un valore di gran lunga superiore rispetto alla CCT della lampada. Di conseguenza, la CCT della luce diffusa dal cielo sopra l'osservatore nelle ore del tardo pomeriggio è significativamente superiore rispetto alla CCT della luce diffusa dal primo pannello diffusore 4, nel caso in cui la prima sorgente luminosa 2 che illumina quest'ultimo presenti una CCT bassa. Tuttavia, se si utilizza la seconda sorgente luminosa 68, e in particolare se si utilizza il secondo pannello diffusore 64 insieme all'illuminatore 66, e se quest'ultimo è costituito da un insieme di emettitori LED rosso, verde, blu ("RGB"), è possibile regolare il flusso

luminoso per ciascuno di detti tre elementi; ciò consente al secondo pannello diffusore 64 di generare una componente diffusa avente colore e intensità che sono tali per cui la componente complessiva che esce dal primo pannello diffusore 4 ed è diffusa dal primo e dal secondo pannello diffusore 4, 64, ha il colore desiderato. In altri termini, la seconda sorgente 68 consente di disaccoppiare il colore della componente trasmessa dal colore della componente diffusa. Inoltre, se si utilizza una lampada con una CCT regolabile come prima sorgente luminosa 2, può essere riprodotta la variazione dell'illuminazione naturale in momenti differenti del giorno.

Sono inoltre possibili altre forme di realizzazione, in cui la seconda sorgente luminosa 68 è collocata sotto il primo pannello diffusore 4, in modo tale che la luce generata dalla prima sorgente luminosa 2 passi attraverso il primo pannello diffusore 4 prima di passare attraverso il secondo pannello diffusore 64. Inoltre, sono possibili forme di realizzazione aggiuntive in cui il primo e il secondo pannello diffusore 4, 64 sono fisicamente separati.

Infine, sono anche possibili forme di realizzazione in cui la seconda sorgente luminosa 68 è utilizzata in assenza del primo pannello diffusore 4, cioè in assenza del pannello di Rayleigh. In questo caso, l'asse H è una linea perpendicolare allo strato di emissione di luce diffusa, la

quale passa per il baricentro dello strato di emissione di luce diffusa.

Alla luce di quanto sopra, tutte le forme di realizzazione descritte fanno riferimento ad un sistema comprendente una prima sorgente luminosa, un generatore di luce diffusa e una scatola oscura, in cui il generatore di luce diffusa è sagomato come un componente stratificato delimitato da una superficie interna (rivolta verso la scatola oscura) e una superficie esterna (rivolta verso la stanza), e la prima sorgente luminosa è configurata per emettere un fascio luminoso visibile, e la scatola oscura è otticamente accoppiata alla stanza attraverso il generatore di luce diffusa. Inoltre, il generatore di luce diffusa è configurato per ricevere il fascio luminoso visibile, e per essere almeno parzialmente trasparente al fascio luminoso visibile, e per trasmettere almeno parte del fascio luminoso visibile, e per emettere luce diffusa visibile dalla superficie esterna, e per generare luce trasmessa con una CCT inferiore alla CCT della luce diffusa visibile. Il generatore di luce diffusa può essere sostanzialmente privo di assorbimento o riflessione cromatica, ossia non assorbe né riflette preferibilmente una parte limitata dello spettro della luce visibile rispetto ad un'altra parte.

Più in particolare, la CCT della luce diffusa è superiore alla CCT della luce trasmessa; ancora più in

particolare, la CCT della luce trasmessa non è superiore alla CCT del fascio luminoso generato dalla prima sorgente luminosa. Inoltre, come già detto, nel contesto della presente invenzione la luce "trasmessa" da un elemento ottico è intesa come la parte dei raggi luminosi che incidono sull'elemento ottico e attraversano l'elemento ottico senza subire una significativa deviazione angolare, per esempio essendo deviati di un angolo minore di $0,1^\circ$. Pertanto, si ritiene che una componente ottica "trasmetta almeno una parte" di un fascio luminoso incidente qualora essa generi una componente di luce trasmessa.

Come spiegato in precedenza, il generatore di luce diffusa può essere formato da uno strato di diffusione di Rayleigh, cioè uno strato che diffonde selettivamente la componente a lunghezza d'onda corta della radiazione luminosa proveniente da una sorgente luminosa principale, questo strato di diffusione di Rayleigh essendo sagomato, per esempio come un pannello piatto (come nel caso del primo pannello diffusore 4) o come pannello curvo (non illustrato). In aggiunta, o in alternativa, il generatore di luce diffusa può essere formato da una sorgente di luce diffusa, cioè una sorgente luminosa che emette luce diffusa da uno strato esteso ortogonale all'asse H, indipendentemente dalla luce ricevuta dalla sorgente luminosa principale. Nel caso in cui si utilizzi soltanto

la sorgente di luce diffusa, questa sorgente non serve a correggere il colore della luce diffusa prodotto, per esempio, dal primo pannello diffusore 4, ma a generare l'intera componente diffusa della luce emessa dal sistema di illuminazione. In alcune forme di realizzazione, il generatore di luce diffusa può avere una forma allungata, nel senso che un primo cerchio inscritto nella superficie interna ha un diametro almeno 1,5 volte inferiore, preferibilmente due volte inferiore, rispetto a un secondo cerchio circoscritto sulla medesima superficie interna.

I vantaggi apportati dal presente sistema di illuminazione sono stati evidenziati dalla precedente descrizione.

In dettaglio, il presente sistema di illuminazione permette ad un osservatore di percepire la presenza di uno spazio illimitato oltre il generatore di luce diffusa, analogamente a quanto accade in natura quando il cielo e il sole illuminano una stanza attraverso una finestra. Tale risultato è dovuto alla presenza della scatola oscura, che è accoppiata alla stanza mediante il generatore di luce diffusa. La scatola oscura consente di percepire uno sfondo nero omogeneo per qualsiasi direzione lungo la quale si osservano il primo e/o il secondo pannello diffusore. Inoltre, tale effetto è migliorato adottando una distanza osservatore-sorgente (e quindi una distanza primo e/o

secondo pannello-sorgente) opportuna e/o utilizzando un sistema riflettente che riflette i raggi luminosi in modo tale che presentino un intervallo limitato di inclinazioni.

Inoltre, alcune forme di realizzazione della presente invenzione aumentano il summenzionato effetto di sfondamento, limitando al contempo lo spazio occupato dal sistema di illuminazione. In particolare, la forma di realizzazione illustrata nella figura 2 è un sistema di illuminazione sfalsato, cioè un sistema in cui la sorgente luminosa e il primo pannello diffusore non sono allineati, il che consente di ridurre lo spazio occupato dal sistema stesso, senza compromettere la qualità dell'illuminazione.

Infine, è evidente che è possibile apportare modifiche e variazioni al presente sistema di illuminazione, senza scostarsi dall'ambito di protezione della presente invenzione, come definito dalle rivendicazioni allegate.

Per esempio, la posizione della sorgente luminosa rispetto al fuoco/ai fuochi degli elementi ottici del sistema riflettente può essere differente da quella descritta. Inoltre, al posto di, o in aggiunta a, uno specchio convergente, il sistema riflettente può comprendere uno specchio divergente. In aggiunta, al fine di conseguire la completa rimozione della divergenza, almeno lungo la direzione dell'asse y , è possibile considerare forme più complesse degli specchi (per esempio, forme a sagoma libera).

RIVENDICAZIONI

1. Sistema di illuminazione per illuminare (1) un ambiente (6) con una illuminazione che simula un'illuminazione naturale, il quale comprende:

- una prima sorgente luminosa (2) configurata per emettere un fascio di luce visibile;

- un generatore di luce diffusa (4; 68) delimitato da una superficie interna (S_1 , S_3), atta a ricevere il fascio luminoso, e da una superficie esterna (S_2), detto generatore di luce diffusa essendo almeno parzialmente trasparente al fascio luminoso, essendo atto a trasmettere almeno parte del fascio luminoso ed essendo inoltre atto a emettere, attraverso la superficie esterna, luce diffusa visibile, la temperatura di colore correlata (CCT) della luce trasmessa essendo inferiore alla CCT della luce diffusa visibile;

caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre una scatola oscura (10) che contiene la prima sorgente luminosa ed è atta a essere otticamente accoppiata all'ambiente attraverso il generatore di luce diffusa.

2. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 1, in cui il generatore di luce diffusa (4; 68) è tale per cui la CCT della luce trasmessa non è superiore alla CCT del fascio luminoso.

3. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione

1 o 2, in cui il generatore di luce diffusa (4; 68) è tale per cui la CCT della luce diffusa visibile è maggiore della CCT del fascio luminoso.

4. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, in cui il generatore di luce diffusa (4; 68) è disposto rispetto alla prima sorgente luminosa (2) in modo tale che la relazione

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

valga almeno per un punto della superficie interna (S_1) distanziato di X da un baricentro (O) della superficie interna (S_1, S_3), in cui:

- θ_1 è l'angolo con cui un primo raggio luminoso del fascio luminoso, che ha origine dal baricentro (O'') di una superficie di emissione (S_f) della prima sorgente luminosa, incide sul baricentro della superficie interna;

- θ_2 è l'angolo con cui un secondo raggio luminoso, che ha origine dal baricentro della superficie di emissione della prima sorgente luminosa, incide su detto almeno un punto della superficie interna; e

- L è uguale o superiore a tre metri.

5. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, in cui la prima sorgente luminosa (2) è disposta sfalsata rispetto ad una linea (H) perpendicolare alla superficie interna (S_1, S_3) e passante attraverso il baricentro (O) della superficie interna ($S_1,$

S₃).

6. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 5, comprendente inoltre un sistema ottico riflettente (20) disposto all'interno della scatola oscura (10) e atto a convogliare il fascio luminoso sulla superficie interna (S₁, S₃), detto sistema ottico riflettente essendo tale per cui i raggi luminosi provenienti, in uso, dalla superficie interna ed incidenti sul sistema ottico riflettente non sono riflessi sulla superficie interna.

7. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 6, in cui il sistema ottico riflettente (20) comprende un primo specchio (22) di tipo planare.

8. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 7, in cui detto primo specchio (22) è disposto parallelo alla superficie interna (S₁, S₃), in una modalità tale per cui una proiezione del primo specchio su un piano contenente la superficie interna non si sovrappone alla superficie interna.

9. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 6, in cui il sistema ottico riflettente (20) comprende un primo specchio (22; 24) di tipo convergente.

10. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 9, in cui il primo specchio (22) è sagomato come una parte di un paraboloide circolare.

11. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione

9, in cui il primo specchio (22) è sagomato come una parte di un cilindro parabolico.

12. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 11, in cui il sistema ottico riflettente (20) comprende inoltre un secondo specchio (24) sagomato come una parte di un cilindro parabolico, gli assi del primo e del secondo specchio essendo sostanzialmente ortogonali tra loro.

13. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 12, in cui il primo e il secondo specchio (22; 24) sono disposti in modo da condividere una fuoco comune, la prima sorgente luminosa (2) essendo disposta sostanzialmente nel fuoco comune.

14. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 6 a 13, in cui il sistema ottico riflettente (20) forma un percorso ottico che collega la prima sorgente luminosa (2) alla superficie interna (S_1 , S_3), il primo specchio (22) causando un'ultima curva del percorso luminoso prima della superficie interna (S_1 , S_3); e in cui un raggio luminoso che collega un baricentro (O') del primo specchio a un baricentro (O) della superficie interna attraverso il sistema ottico riflettente forma un angolo entro l'intervallo compreso tra 40° e 65° , entrambi inclusi, rispetto ad una direzione perpendicolare alla superficie interna nel baricentro della superficie interna.

15. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi

delle precedenti rivendicazioni, in cui la prima sorgente luminosa (2) è formata da una pluralità di dispositivi di emissione di luce (52) e da una pluralità di concentratori riflettenti (54), ciascun concentratore riflettente essendo a forma di imbuto e avente una apertura di ingresso (IN) e una apertura di uscita (OUT), l'area dell'apertura di ingresso essendo minore dell'area dell'apertura di uscita, ciascun dispositivo di emissione di luce essendo otticamente accoppiato all'apertura di ingresso di un rispettivo concentratore riflettente.

16. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 15, in cui l'apertura di uscita (OUT) di ciascun concentratore riflettente (54) è a forma di rettangolo.

17. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 6 a 14, in cui la prima sorgente luminosa (2) è formata da una pluralità di dispositivi di emissione di luce (52) e da una pluralità di concentratori riflettenti (54), ciascun concentratore riflettente essendo a forma di imbuto e avendo una apertura di ingresso (IN) e una apertura di uscita (OUT), l'area dell'apertura di ingresso essendo minore dell'area dell'apertura di uscita, ciascun dispositivo di emissione di luce essendo otticamente accoppiato all'apertura di ingresso di un rispettivo concentratore riflettente; e in cui le aperture di uscita (OUT) sono allungate lungo una direzione di

allungamento (57), detto fascio luminoso avendo un asse di massima divergenza (58), il sistema ottico riflettente (20) essendo tale per cui, in uso, un fascio di raggi luminosi, i quali si propagano dal baricentro (O'') di una superficie di emissione (S_f) della prima sorgente luminosa (2) e giacciono nel piano di massima divergenza, incide sulla superficie interna (S_1, S_3) lungo una linea tangente a un asse (y) che passa attraverso il baricentro della superficie interna ed è perpendicolare al piano di incidenza di un raggio portante sul primo specchio, il raggio portante essendo il raggio luminoso che collega il baricentro della superficie di emissione al baricentro della superficie interna, attraverso il sistema ottico riflettente.

18. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 17, in cui il sistema ottico riflettente (20) è configurato in modo tale per cui il raggio portante giace in un singolo piano, e in cui la prima sorgente luminosa (2) è disposta in modo tale che detto asse di massima divergenza sia perpendicolare a detto singolo piano.

19. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 15 a 18, in cui la prima sorgente luminosa (2) comprende inoltre una maschera (60) avente una apertura complessiva circolare o ellittica (62), detta maschera essendo complanare con dette aperture di uscita

(OUT), detta maschera essendo adatta a bloccare la luce proveniente dalle parti delle aperture di uscita che sono disposte attorno a detta apertura complessiva.

20. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, in cui il generatore di luce diffusa comprende un primo diffusore (4) configurato per non assorbire sostanzialmente la luce nell'intervallo visibile e per diffondere più efficacemente le componenti a lunghezza d'onda corta rispetto alle componenti a lunghezza d'onda lunga del fascio luminoso.

21. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 20, in cui il primo diffusore (4) comprende una matrice di un primo materiale in cui sono disperse prime particelle di un secondo materiale, detto primo e secondo materiale avendo, rispettivamente, un primo e un secondo indice di rifrazione, dette prime particelle avendo diametri equivalenti tali per cui il prodotto di detti diametri equivalenti moltiplicato per il primo indice di rifrazione è compreso nell'intervallo 5 nm-350 nm.

22. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 21, in cui la prima sorgente luminosa (2) e la densità della distribuzione delle particelle attraverso il primo diffusore (4) sono tali per cui il prodotto tra la densità e l'illuminamento fornito sul primo diffusore dalla prima sorgente luminosa, quando in uso, è sostanzialmente

costante sul primo diffusore.

23. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 20 a 22, in cui detto primo diffusore (4) ha una forma a pannello, almeno una tra dette superfici interna ed esterna (S_1 , S_3) essendo formata dal primo diffusore.

24. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, in cui il generatore di luce diffusa comprende una seconda sorgente luminosa (68) configurata per emettere almeno una parte di detta luce diffusa visibile indipendentemente dalla prima sorgente luminosa (2).

25. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 24, in cui la seconda sorgente luminosa (68) comprende:

- un secondo diffusore (64) sagomato come un pannello che guida luce ed è configurato per illuminare di bordo; e
- un illuminatore (66) per illuminare di lato il secondo diffusore (64).

26. Sistema di illuminazione secondo la rivendicazione 25, in cui la CCT di almeno uno tra la prima sorgente luminosa (2) e l'illuminatore (66) è variabile in modo controllabile.

27. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 24 a 26, in cui la seconda sorgente luminosa (68) comprende un OLED.

28. Sistema di illuminazione secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, in cui il generatore di luce diffusa (4; 68) ha una forma allungata.

29. Edificio comprendente il sistema di illuminazione (1) secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni e una parete (P2) di detto ambiente (6), in cui detta parete forma una cavità (8), il generatore di luce diffusa (4; 68) estendendosi all'interno della cavità (8).

p.i.: 1) LIGHT IN LIGHT S.R.L.

2) UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

Pietro SPALLA

CLAIMS

1. A lighting system for illuminating (1) an environment (6) with a lighting that simulates natural lighting, which comprises:

- a first light source (2) configured to emit a beam of visible light;

- a diffused-light generator (4;68) delimited by an inner surface (S_1, S_3) designed to receive the light beam, and by an outer surface (S_2), said diffused-light generator being at least partially transparent to the light beam, being designed to transmit at least part of the light beam, and being further designed to emit, through the outer surface, visible diffused light, the correlated color temperature (CCT) of the transmitted light being lower than the CCT of the visible diffused light;

characterized in that it further comprises a dark box (10) hosting the first light source and designed to be optically coupled to the environment via the diffused-light generator.

2. The lighting system according to claim 1, wherein the diffused-light generator (4;68) is such that the CCT of the transmitted light is not greater than the CCT of the light beam.

3. The lighting system according to claim 1 or 2, wherein the diffused-light generator (4;68) is such that the CCT of the visible diffused light is greater than the CCT of the light beam.

4. The lighting system according to any of the preceding claims, wherein the diffused-light generator (4;68) is arranged with respect to the first light source (2) so that the relation

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

holds true for at least one point of the inner surface (S_1) spaced apart from a barycenter (O) of the inner surface (S_1, S_3) by X,

wherein:

- θ_1 is the angle at which a first light ray of the light beam, which originates from the barycenter (O'') of an emitting surface (S_f) of the first light source, impinges on the barycenter of the inner surface;

- θ_2 is the angle at which a second light ray, which originates from the barycenter of the emitting surface of the first light source, impinges on said at least one point of the inner surface; and

- L is equal to, or greater than, three meters.

5. The lighting system according to any of the preceding claims, wherein the first light source (2) is arranged off-axis with respect to a line (H) perpendicular to the inner surface (S_1, S_3) and passing through the barycenter (O) of the inner surface (S_1, S_3).

6. The lighting system according to claim 5, further comprising a reflective optical system (20) arranged inside the dark box (10) and designed to convey the light beam onto the inner surface (S_1, S_3), said reflective optical system being designed so that light rays emanating, in use, from the inner surface and impinging onto the reflective optical system are not reflected onto the inner surface.

7. The lighting system according to claim 6, wherein the reflective optical system (20) comprises a first mirror (22) of a plane type.

8. The lighting system according to claim 7, wherein said first mirror (22) is arranged in parallel to the inner surface (S_1, S_3), in a manner such that a projection of the first mirror along a plane containing the inner surface does not overlap with the inner surface.

9. The lighting system according to claim 6, wherein the reflective optical system (20) comprises a first mirror (22;24) of the

converging type.

10. The lighting system according to claim 9, wherein the first mirror (22) is shaped as a portion of a circular paraboloid.

11. The lighting system according to claim 9, wherein the first mirror (22) is shaped as a portion of a parabolic cylinder.

12. The lighting system according to claim 11, wherein the reflective optical system (20) further comprises a second mirror (24) shaped as a portion of a parabolic cylinder, the axes of the first and second mirrors being substantially orthogonal to each other.

13. The lighting system according to claim 12, wherein the first and second mirrors (22;24) are arranged so as to share a common focus, the first light source (2) being arranged substantially in the common focus.

14. The lighting system according to any of claims 6-13, wherein the reflective optical system (20) forms an optical path connecting the first light source (2) to the inner surface (S_1, S_3), the first mirror (22) causing a last bend of the light path before the inner surface (S_1, S_3); and wherein a light ray connecting a barycenter (O') of the first mirror to a barycenter (O) of the inner surface via the reflective optical system forms an angle within 40° to 65° , both inclusively, relative to a direction perpendicular to the inner surface in the barycenter of the inner surface.

15. The lighting system according to any of the preceding claims, wherein the first light source (2) is formed by a plurality of light emitting devices (52) and a plurality of reflective concentrators (54), each reflective concentrator being funnel-shaped and having an input aperture (IN) and an output aperture (OUT), the area of the input aperture being smaller than the area of the output aperture,

each light emitting device being optically coupled to the input aperture of a respective reflective concentrator.

16. The lighting system according to claim 15, wherein the output aperture (OUT) of each reflective concentrator (54) is shaped as a rectangle.

17. The lighting system according to any of claims 6-14, wherein the first light source (2) is formed by a plurality of light emitting devices (52) and a plurality of reflective concentrators (54), each reflective concentrator being funnel-shaped and having an input aperture (IN) and an output aperture (OUT), the area of the input aperture being smaller than the area of the output aperture, each light emitting device being optically coupled to the input aperture of a respective reflective concentrator; and wherein the output apertures (OUT) are elongated along an elongation direction (57), said light beam having an axis of maximum divergence (58), the reflective optical system (20) being designed so that, in use, a bundle of light rays emanating from the barycenter (O'') of an emitting surface (S_f) of the first light source (2) and lying in the plane of maximum divergence impinges on the inner surface (S_1, S_3) along a line tangent to an axis (y) that passes through the barycenter of the inner surface being perpendicular to the plane of incidence of a carrier ray onto the first mirror, the carrier ray being the light ray connecting the barycenter of the emitting surface to the barycenter of the inner surface, via the reflective optical system.

18. The lighting system according to claim 17, wherein the reflective optical system (20) is configured so that the carrier ray lies in a single plane, and wherein the first light source (2) is arranged so that said axis of maximum divergence is perpendicular to said single plane.

19. The lighting system according to any of claims 15-18, wherein

the first light source (2) further comprises a mask (60) having a circular or elliptical overall aperture (62), said mask being coplanar with said output apertures (OUT), said mask being suitable for blocking light coming from portions of the output apertures which are arranged around said overall aperture.

20. The lighting system according to any of the preceding claims, wherein the diffused-light generator comprises a first diffuser (4) configured to substantially not absorb light in the visible range and to diffuse more efficiently the short-wavelengths components in respect to the long-wavelength components of the light beam.

21. The lighting system according to claim 20, wherein the first diffuser (4) comprises a matrix of a first material wherein first particles of a second material are dispersed, said first and second materials having, respectively, a first and a second refractive indexes, said first particles having equivalent diameters such that the product of such equivalent diameters times the first refractive index is in the range 5 nm-350 nm.

22. The lighting system according to claim 21, wherein the first light source (2) and the density of the particle distribution across the first diffuser (4) are such that the product between the density and the illuminance provided by the first light source, when in use, across the first diffuser is substantially constant across the first diffuser.

23. The lighting system according to any of claims 20-22, wherein said first diffuser (4) has a panel shape, at least one of said inner and outer surface (S_1, S_2) being formed by the first diffuser.

24. The lighting system according to any of the preceding claims, wherein the diffused-light generator comprises a second light source (68) configured to emit at least a portion of said visible diffused

light independently from the first light source (2).

25. The lighting system according to claim 24, wherein the second light source (68) comprises:

- a second diffuser (64) shaped as a light-guiding panel configured for edge lighting; and
- an illuminator (66) for edge lighting into the second diffuser (64).

26. The lighting system according to claim 25, wherein the CCT of at least one of the first light source (2) and the illuminator (66) is variable in a controllable manner.

27. The lighting system according to any of claims 24-26, wherein the second light source (68) comprises an OLED.

28. The lighting system according to any of the preceding claims, wherein the diffused-light generator (4;68) has an elongated shape.

29. A building comprising the lighting system (1) according to any of the preceding claims and a wall (P2) of said environment (6), wherein said wall forms a cavity (8), the diffused-light generator (4;68) extending inside the cavity (8).

p.i.: 1) LIGHT IN LIGHT S.R.L.

2) UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

Pietro SPALLA

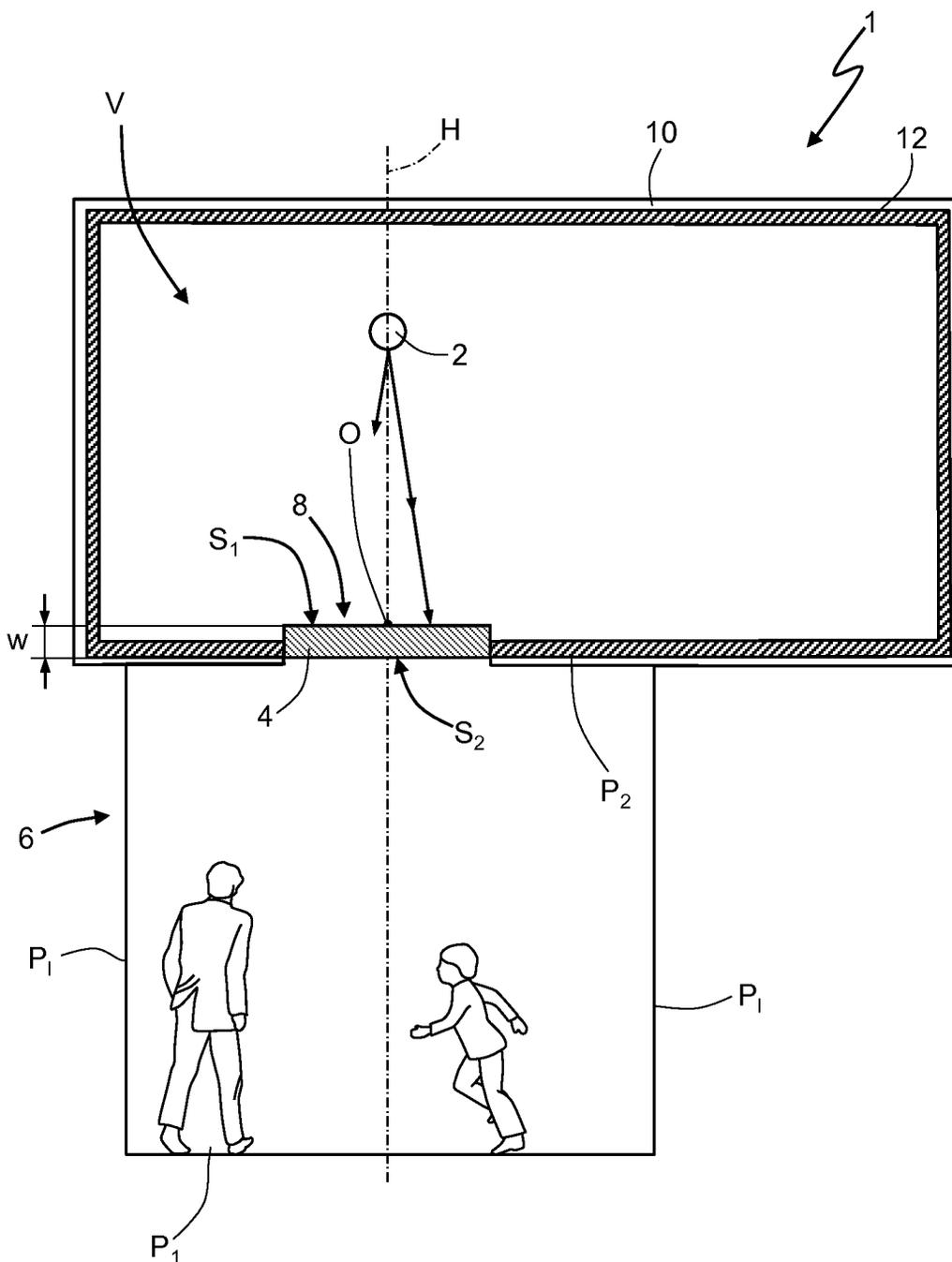


Fig.1

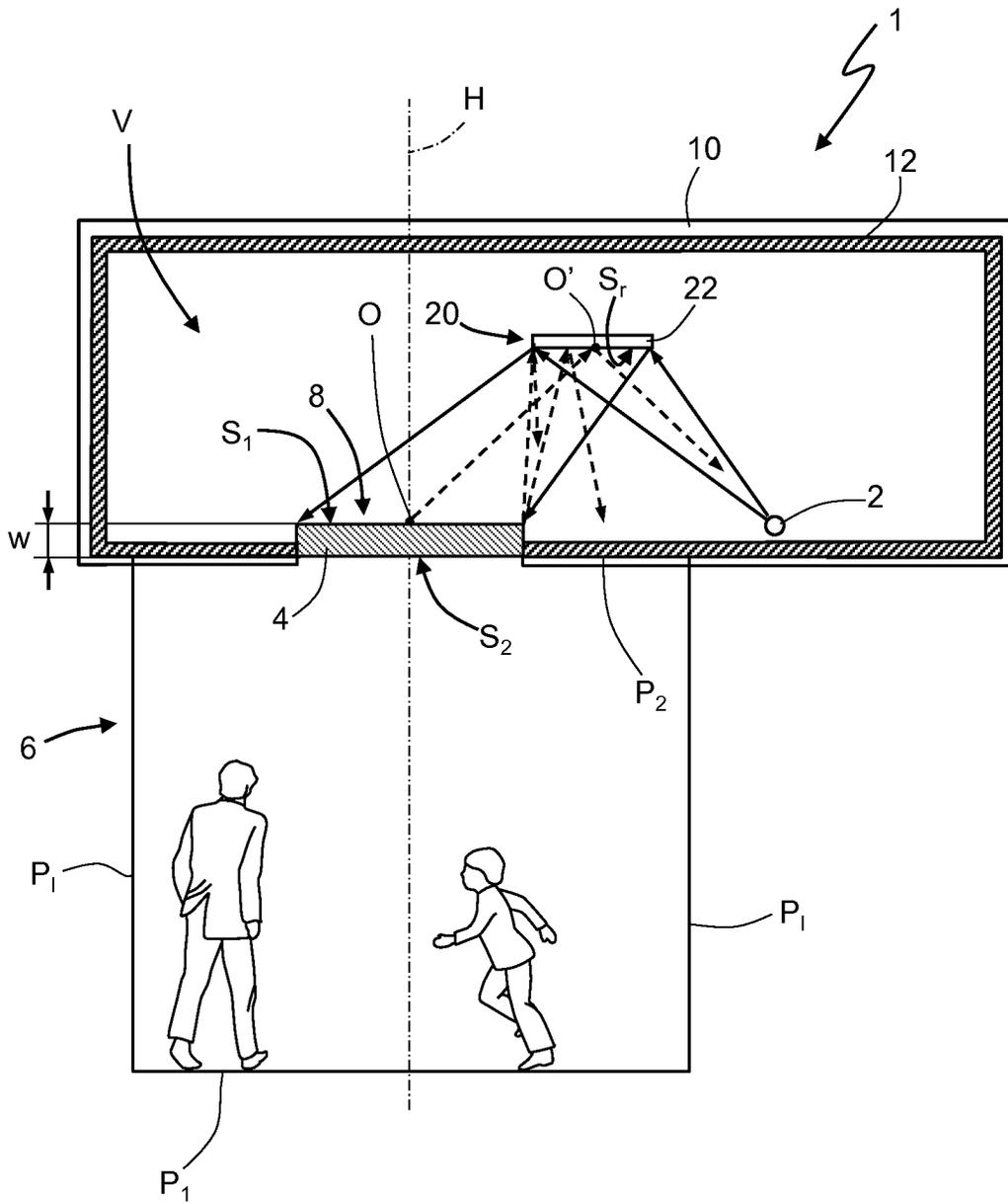


Fig.2

p.i.: 1) LIGHT IN LIGHT S.R.L.
 2) UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

Pietro SPALLA
 (Iscrizione Albo nr. 1430/B)

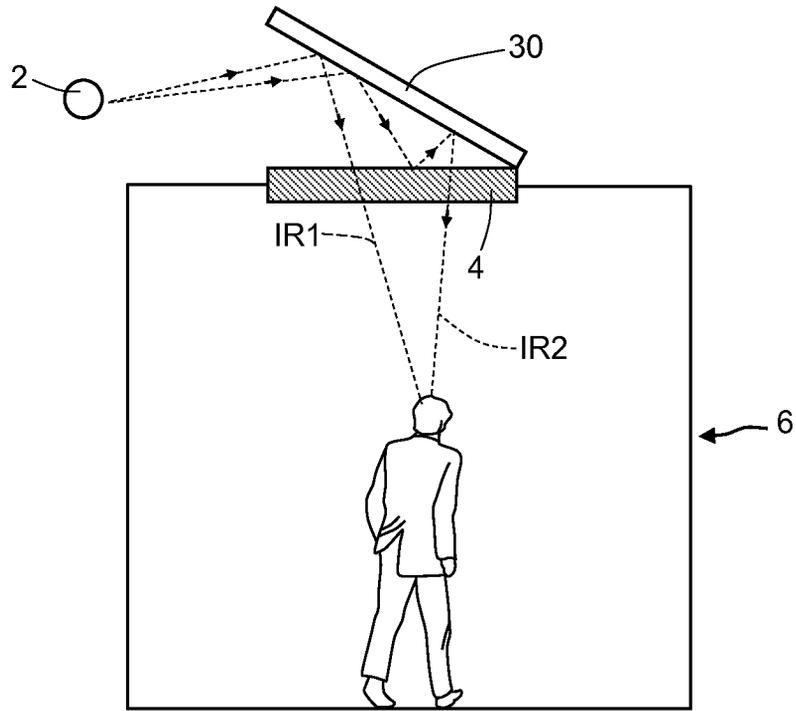


Fig.3

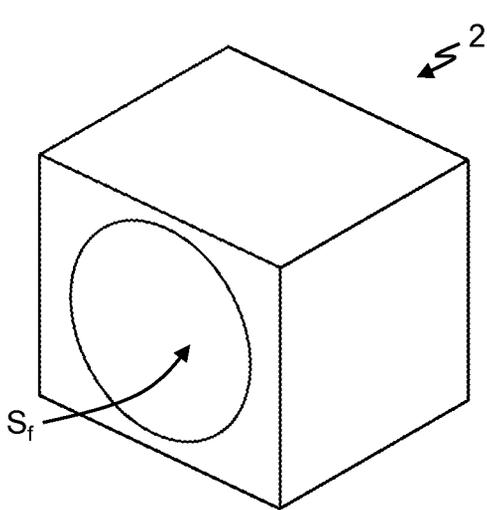


Fig.4a

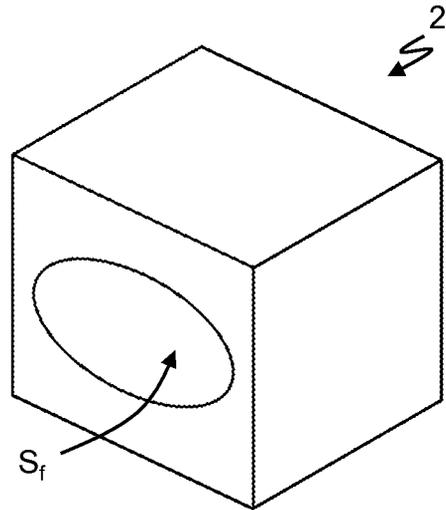


Fig.4b

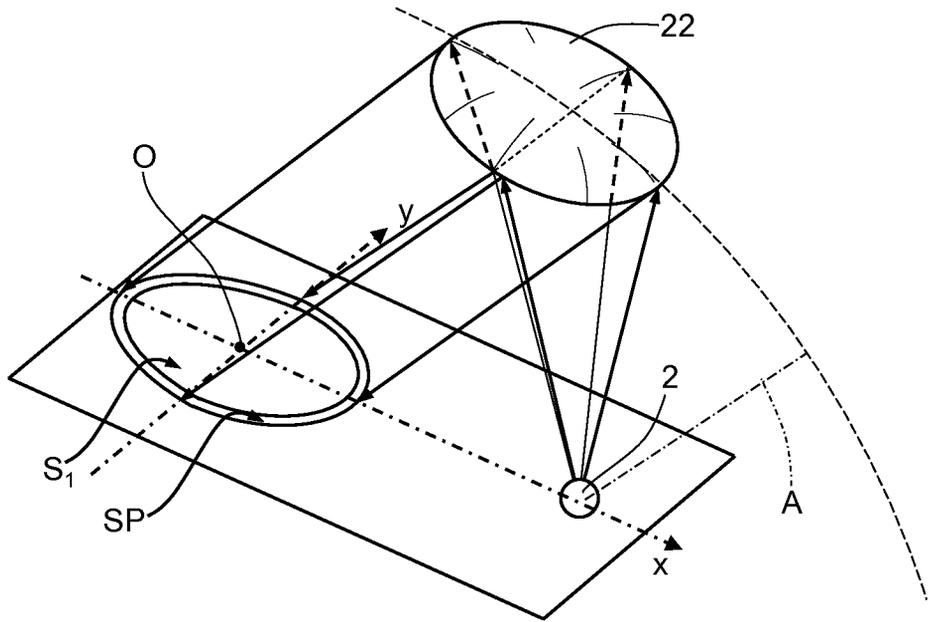


Fig.5a

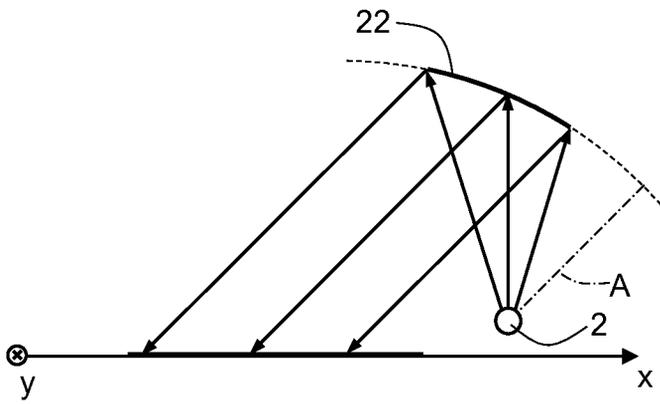


Fig.5b

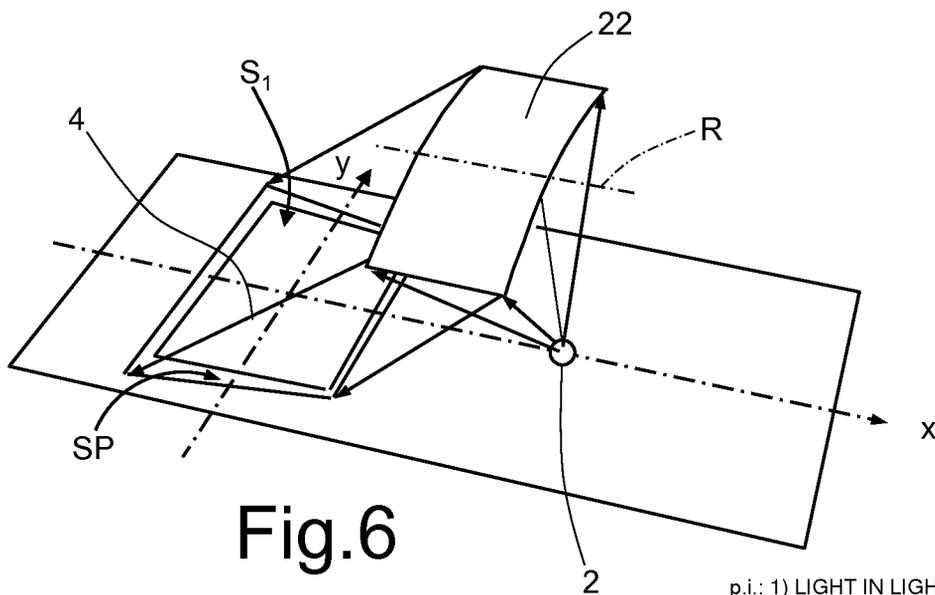


Fig.6

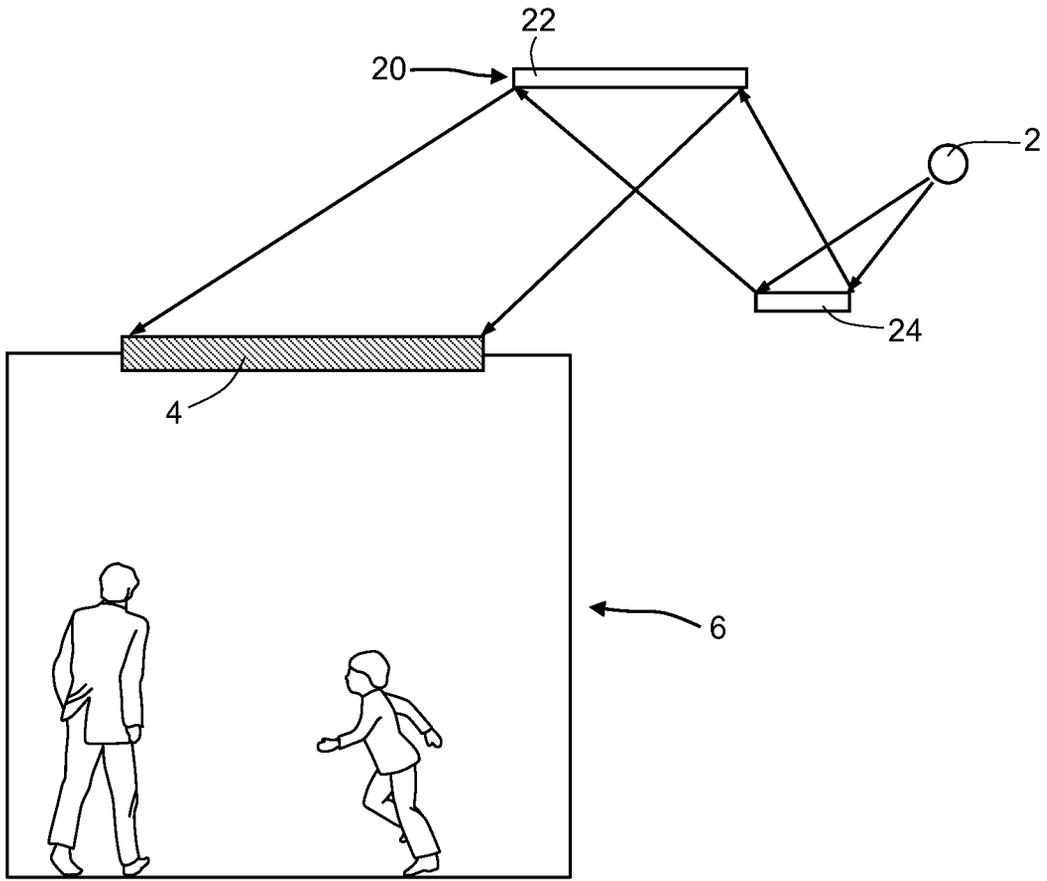


Fig.7

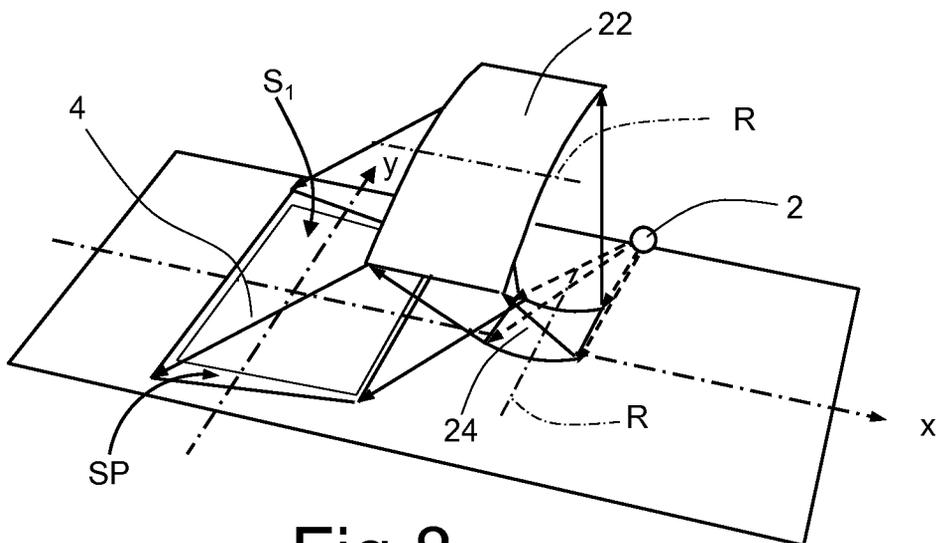


Fig.8

p.i.: 1) LIGHT IN LIGHT S.R.L.
 2) UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

Pietro SPALLA
 (Iscrizione Albo nr. 1430/B)

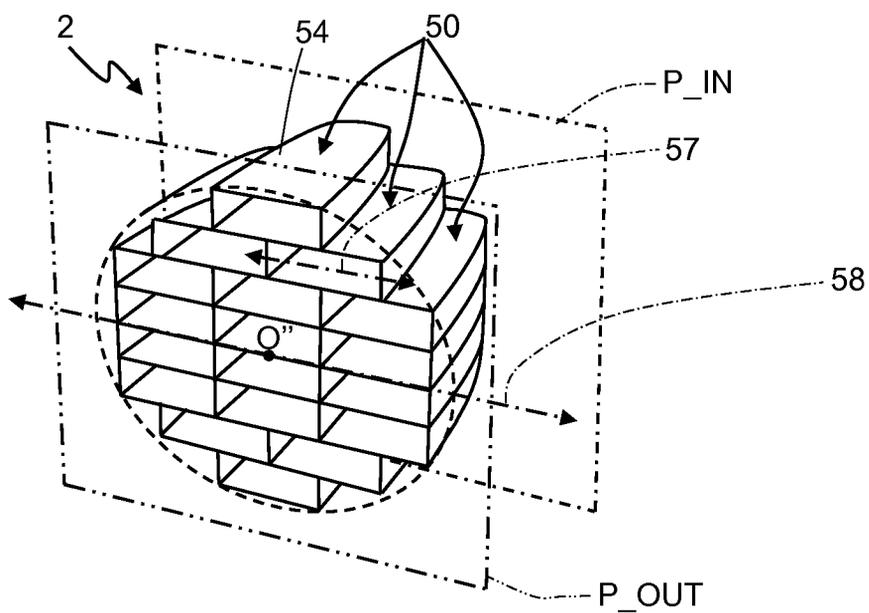


Fig.9a

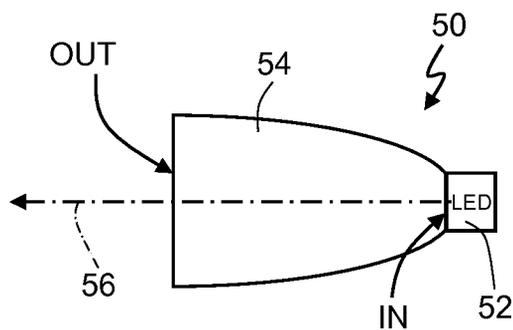


Fig.9b

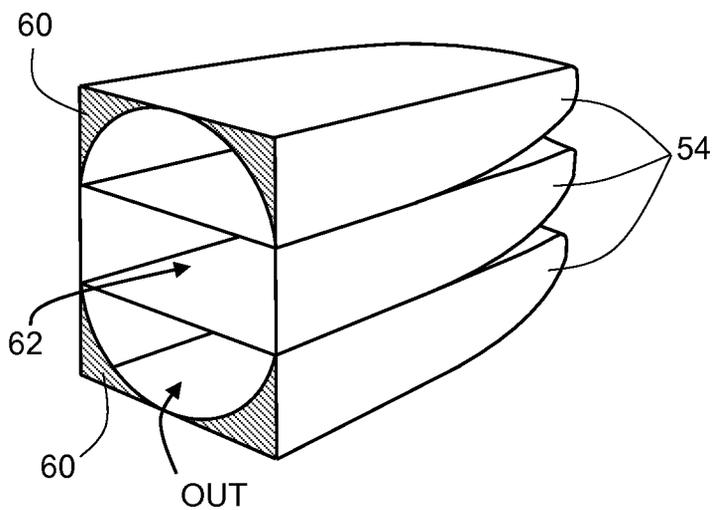


Fig.10

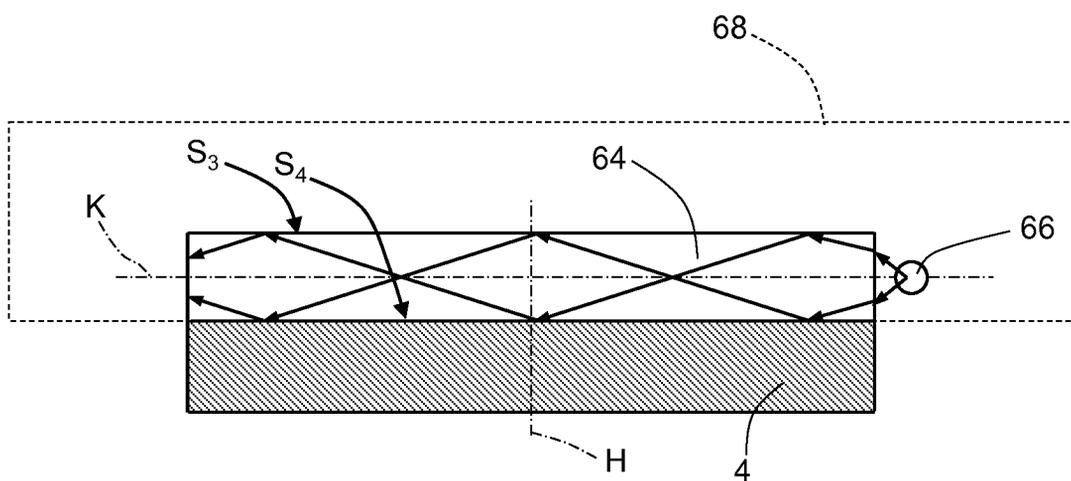


Fig.11

p.i.: 1) LIGHT IN LIGHT S.R.L.
 2) UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

Pietro SPALLA
 (Iscrizione Albo nr. 1430/B)