

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000000074
Data Deposito	04/01/2021
Data Pubblicazione	04/07/2022

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	02	B	5	22

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	21	V	9	02

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	21	V	11	06

Titolo

FILTRO OTTICO, DISPOSITIVO DI ILLUMINAZIONE CHE SIMULA LA LUCE NATURALE DEL CIELO E DEL SOLE IMPIEGANTE LO STESSO E PROCESSO DI PRODUZIONE DI UN FILTRO OTTICO

FILTRO OTTICO, DISPOSITIVO DI ILLUMINAZIONE CHE SIMULA LA LUCE
NATURALE DEL CIELO E DEL SOLE IMPIEGANTE LO STESSO E PROCESSO DI
PRODUZIONE DI UN FILTRO OTTICO

Campo tecnico

- [1] La presente invenzione si riferisce in termini generali a un nuovo filtro ottico e in particolare a un filtro ottico configurato per trasformare una luce incidente in una luce filtrata avente profilo angolare di luminanza caratterizzato da un primo valore sostanzialmente costante per direzioni di emissione comprese all'interno di un cono di accettazione angolare e un secondo valore sostanzialmente nullo per direzioni di emissione all'esterno del cono di accettazione angolare. Un siffatto filtro ottico si rivela particolarmente idoneo per l'impiego in un dispositivo che consente la riproduzione artificiale di una luce capace di ricreare, in spazi interni, l'esperienza della luce naturale del cielo e del sole in una giornata di cielo sereno. La presente invenzione si riferisce altresì a un dispositivo di illuminazione che simula la luce naturale del cielo e del sole che fa impiego di un tale filtro ottico oltre a un processo di produzione del filtro ottico.

Stato dell'arte

- [2] Dalla domanda di brevetto internazionale n. WO 2020/201938 della stessa Richiedente così come da ulteriore esperienza maturata dalla Richiedente si evince che le caratteristiche principali della luce naturale in una giornata di cielo sereno che la distinguono dalla luce artificiale delle lampade sono connesse alla capacità di:
- (i) produrre ombre nette, grazie alla caratteristica altamente direzionale della luce del sole, avente una divergenza di soli 0.5 gradi,
 - (ii) produrre ombre azzurre, essendo queste illuminate dalla luce del cielo la cui temperatura correlata di colore – CCT – è molto superiore alla temperatura correlata di colore della luce del sole,
 - (iii) produrre ombre luminose, ovvero sia con una luminanza tipicamente non inferiore al 15-20% della luminanza caratteristica delle superfici esposte sia alla luce del cielo che a quella del sole,
 - (iv) produrre un'immagine del cielo e del sole percepita dall'occhio dell'osservatore a distanza infinita, e
 - (v) produrre l'immagine di un cielo sereno privo di nubi e di un sole rotondo in netto contrasto con il cielo.

- [3] Lo sviluppo industriale di un dispositivo in grado di produrre una luce naturale identica alla luce naturale secondo tutte e cinque le caratteristiche di cui sopra non è sino ad oggi mai stato ottenuto. Inoltre, la complessità intrinseca al raggiungimento di un tale obiettivo, implicherebbe costi tali da rendere difficoltosa la commercializzazione di un eventuale prodotto derivante.
- [4] In particolare, al fine di produrre nell'occhio un'immagine del sole a distanza infinita (iv caratteristica) è necessario che il profilo di luminanza della luce sia spazialmente uniforme attraverso la superficie di osservazione. Questa è infatti la condizione per cui i due occhi, per vedere la medesima immagine, devono essere allineati in modo parallelo, dando al cervello l'informazione di un oggetto sostanzialmente a distanza infinita. Inoltre, al fine di garantire l'immagine di un sole rotondo in netto contrasto con un cielo privo di nubi (v caratteristica) è necessario che il profilo angolare di luminanza dalla luce solare abbia valore costante fino ad un angolo massimo, ed essere sostanzialmente nulla altrove. A un profilo angolare di luminanza di tipo standard a campana (e.g. gaussiano), con un sole che "sfuma" gradualmente nel cielo, l'occhio associa infatti la presenza nel cielo di nubi o foschia. Come la Richiedente ha potuto direttamente verificare, tale caratteristica risulta poco gradita al mercato, in quanto compromette la capacità del dispositivo di evocare l'esperienza di una giornata di cielo sereno.
- [5] Un filtro ottico teoricamente in grado di produrre una luminanza spazialmente uniforme su una data superficie, e al contempo di produrre un profilo angolare di luminanza costante entro un cono di accettazione angolare, è il miscelatore micro-ottico tandem, di seguito più semplicemente "miscelatore tandem" considerato dalla Richiedente nel dispositivo descritto in WO 2020/201938. Tale filtro ottico è composto da due matrici di lenti (o micro-lenti) identiche, l'una affacciata all'altra, e disposte a una distanza pari alla comune lunghezza focale. Tale filtro ottico produce in campo lontano, e quindi anche sulla retina in caso di visione all'infinito, l'immagine uniformemente illuminata dell'apertura della lente. Ciò a patto che le lenti della matrice in ingresso siano a loro volta illuminate in modo uniforme, cosa non difficile da ottenere nel caso di lenti di piccole dimensioni.
- [6] Tuttavia, il miscelatore tandem impiegato in WO 2020/201938 presenta in pratica alcuni rilevanti problemi. Innanzitutto esso riproduce in campo lontano, oltre alla immagine principale, anche una o più immagini secondarie o fantasma, della medesima forma dell'immagine principale, anch'esse uniformemente illuminate, anche se tipicamente con illuminanza inferiore a quella relativa all'immagine principale. Questa circostanza si verifica quando la luce che entra nei canali costituiti dalle coppie di lenti affacciate proviene anche da direzioni esterne al cono di accettazione del filtro, delimitato dal fascio di rette che passano per il centro della lente d'ingresso ed il bordo della lente d'uscita. Tipicamente questo accade, ad esempio, quando la

luce che deve essere miscelata comprende, oltre ad una componente principale avente caratteristiche di elevata e controllata direzionalità, anche una componente secondaria o spuria, anche detta “*stray light*”, ad esempio associata alla presenza di imperfezioni nel sistema ottico che producono fenomeni non controllati di diffusione e/o di riflessione multipla della luce, come accade spesso nel caso dell’uso di ottiche di Fresnel. Oppure, essa si verifica quando la luce in ingresso comprende code nel profilo angolare, come ad esempio nel caso frequente di un profilo angolare regolare di tipo Gaussiano. In tali circostanze il fenomeno indesiderato che si verifica è dovuto all’interazione o “cross talk” tra canali adiacenti, non essendo questi tra loro otticamente indipendenti. Specificatamente, la luce che entra attraverso una lente d’ingresso di un canale, provenendo da direzioni esterne al cono di accettazione, esce dalla lente di uscita di un diverso canale, producendo una immagine fantasma lateralmente all’immagine principale, associata a un secondo profilo di luminanza identico al primo se non per il fatto che esso si manifesta ad un diverso angolo di uscita.

- [7] Un secondo problema del miscelatore tandem impiegato nel dispositivo descritto in WO 2020/201938 è dato dal fatto che, al fine di garantire massima semplicità costruttiva e massima luminosità, le matrici di lenti che lo compongono sono costituite da lenti quadrate, rettangolari, o esagonali, o comunque di forma tale da consentire il massimo compattamento e quindi la massima copertura delle superfici d’ingresso e di uscita. Di conseguenza, l’immagine che essi producono in campo lontano non è circolare ma quadrata, o rettangolare, o esagonale etc.

In sintesi, un dispositivo che utilizzasse semplicemente un miscelatore tandem come descritto in WO 2020/201938 produrrebbe nel cielo l’immagine principale di un sole quadrato (o rettangolare, o esagonale) circondato da immagini fantasma identiche alla principale se non per il fatto di essere meno intense.

- [8] Al fine di eliminare il problema delle immagini secondarie, in WO 2020/201938 è stato considerato di introdurre, a valle del miscelatore tandem, un filtro spaziale ottenuto mediante una matrice di canali assorbenti paralleli, ad esempio organizzati secondo una struttura a nido d’ape. Tale filtro spaziale ha però il difetto di introdurre un pattern regolare nel profilo di luminanza facilmente percepibile dall’osservatore, per rimuovere il quale la Richiedente ha proposto l’introduzione di un ulteriore filtro, ovvero di un filtro diffusore a basso angolo, a valle di esso. Significativamente, tale diffusore a basso angolo ha anche lo scopo di mitigare il secondo citato problema del miscelatore tandem, in quanto permette di sfuocare l’immagine di un oggetto posizionato al di là di esso, tanto più quanto più l’oggetto è lontano, trasformando quindi in cerchi le immagini di quadrati, rettangoli, esagoni etc.

- [9] In questo modo, si è rinunciato a produrre un sole in netto contrasto con il cielo. Infatti, sia il filtro spaziale a canali assorbenti, a causa del taglio geometrico da esso imposto alla luce che propaga ad angoli maggiori, sia il filtro diffusore a basso angolo, indipendentemente e quindi co-operativamente, trasformano un profilo angolare di luminanza costante, quale quello prodotto dal miscelatore tandem, in un profilo a campana. In pratica, il risultato prodotto dal dispositivo descritto in WO 2020/201938 è quello di produrre un'immagine di un sole fortemente sfuocato, dai contorni che sfumano gradualmente nel cielo, come accade in natura in presenza di foschia o nubi sottili nell'alta atmosfera.

Sintesi dell'Invenzione

- [10] Scopo della presente invenzione è dunque quello di ideare un filtro ottico capace di garantire la generazione di una luce avente una distribuzione angolare con la stessa forma caratteristica della distribuzione angolare della luce del sole, ovverosia una distribuzione angolare caratterizzata da un valore sostanzialmente costante della luminanza per direzioni all'interno di un certo angolo solido, ovverosia l'angolo solido o cono sotteso dell'immagine del sole, e sostanzialmente zero altrove, essendo tale valore pari a 0.5 gradi nel caso del sole naturale (ovverosia pari a 0.25 gradi se si considera la semi-apertura del cono). Tutto ciò indipendentemente dalla distribuzione angolare della luce in ingresso, ovverosia sia in presenza di luce spuria (*stray light*), sia essa caratterizzata dalla presenza di un fondo (background) per tutte le direzioni, o da un profilo angolare di luminanza con picchi anche intensi per direzioni esterne o molto esterne al cono sotteso dall'immagine del sole, sia in presenza di code importanti nel profilo angolare ad angoli prossimi all'angolo di apertura del cono di accettazione angolare, eliminando quindi l'effetto indesiderato causato da componenti ottici di utilizzo standard nell'ambito dell'illuminazione.
- [11] Un altro scopo della presente invenzione è quello di ideare un filtro ottico che, una volta impiegato in un dispositivo di illuminazione che simula la luce naturale del cielo e del sole, sia in grado di generare un'immagine all'infinito di un sole circolare dai contorni ben definiti.
- [12] Ancora uno scopo è quello di ideare un filtro ottico che, una volta impiegato in un dispositivo di illuminazione che simula la luce naturale del cielo e del sole, renda superfluo l'impiego sia di filtri spaziali a canali assorbenti, sia di filtri diffusori a basso angolo, permettendo di preservare il contrasto netto tra l'immagine del sole e quella del cielo.
- [13] Non ultimo scopo della presente invenzione è quello di realizzare un dispositivo di illuminazione che simula la luce naturale del cielo e del sole in grado di offrire un'immagine all'infinito di un sole circolare dai contorni ben definiti.

- [14] Altro scopo della presente invenzione è quello di realizzare un processo di produzione di un filtro ottico per l'impiego in dispositivi di illuminazione che simulano la luce naturale del cielo e del sole che sia eseguibile in maniera semplice e a costi contenuti.
- [15] Questi ed altri scopi della presente invenzione sono raggiunti mediante un filtro ottico per dispositivi di illuminazione che simulano la luce naturale del cielo e del sole incorporante le caratteristiche delle rivendicazioni allegate, le quali formano parte integrante della presente descrizione.
- [16] In accordo con un suo primo aspetto, l'invenzione riguarda dunque un filtro ottico configurato per trasformare una luce incidente in una luce filtrata avente profilo angolare di luminanza caratterizzato da un primo valore sostanzialmente costante per direzioni di emissione comprese all'interno di un cono di accettazione angolare e un secondo valore sostanzialmente nullo per direzioni di emissione all'esterno del cono di accettazione angolare, laddove il filtro ottico comprende una superficie d'ingresso sostanzialmente piana, una superficie d'uscita sostanzialmente piana e parallela alla superficie d'ingresso, una pluralità di elementi cilindrici realizzati in un materiale sostanzialmente trasparente alla luce, uno primo elemento di materiale otticamente assorbente configurato e disposto rispetto agli elementi cilindrici in modo tale da impedire il passaggio di luce tra elementi cilindrici adiacenti della pluralità di elementi cilindrici, un secondo elemento di materiale otticamente non trasparente configurato e disposto rispetto agli elementi cilindrici in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente agli elementi cilindrici ed esternamente ad essi attraverso gli interspazi tra elementi cilindrici adiacenti, almeno una pluralità di prime lenti con focale positiva pari alla lunghezza degli elementi cilindrici, ciascuna prima lente della pluralità di prime lenti essendo accoppiata o definendo la faccia di uscita di un rispettivo elemento cilindrico.
- [17] Gli elementi cilindrici della pluralità di elementi cilindrici presentano tra loro conformazione sostanzialmente identica e comprendono una faccia di ingresso sostanzialmente circolare avente un diametro degli elementi cilindrici, una faccia di uscita sostanzialmente circolare avente il diametro degli elementi cilindrici e una superficie laterale che si estende perimetralmente tra la faccia di ingresso e la faccia di uscita per una lunghezza degli elementi cilindrici.
- [18] Gli elementi cilindrici sono disposti affiancati e paralleli tra loro, in modo tale da definire una pluralità di interspazi tra elementi cilindrici adiacenti. Inoltre gli elementi cilindrici hanno un asse di cilindro perpendicolare alla superficie d'ingresso e di uscita e sono disposti con la faccia d'ingresso sostanzialmente sovrapposta alla superficie d'ingresso e con la faccia d'uscita sostanzialmente sovrapposta alla superficie d'uscita.

- [19] Nel contesto della presente descrizione e nelle rivendicazioni allegate, una faccia (d'ingresso o di uscita) di un elemento cilindrico si dice sostanzialmente sovrapposta, o di seguito semplicemente sovrapposta, a una superficie (d'ingresso o di uscita) del filtro ottico quando almeno un punto della faccia dell'elemento cilindrico appartiene alla superficie, ad esempio quando l'intera faccia appartiene alla superficie, nel caso di una faccia piana, o quando il perimetro della faccia appartiene alla superficie, nel caso di una faccia curva.
- [20] Il filtro ottico oggetto della presente invenzione permette di rimuovere le immagini fantasma producendo una singola immagine netta del sole grazie al primo elemento di materiale otticamente assorbente posizionato all'interno del filtro a monte della pluralità di prime lenti. Tale primo elemento di materiale otticamente assorbente è infatti configurato e disposto in modo da rimuovere all'origine il cross-talk tra i canali, senza operare un taglio geometrico eccessivo sulle componenti che generano, esternamente al filtro, la luce che propaga agli angoli più grandi all'interno del cono di accettazione, e senza quindi ridurre eccessivamente l'illuminazione del bordo dell'immagine del sole che si forma sulla retina dell'osservatore.
- [21] Inoltre, il filtro ottico oggetto della presente invenzione è in grado di produrre un'immagine circolare del sole, rendendo superfluo l'impiego di un filtro diffusore a basso angolo.
- [22] Entrambi tali aspetti prevengono vantaggiosamente una sfocatura dell'immagine del sole.
- [23] Il ruolo essenziale delle lenti poste in uscita emerge considerando una matrice di canali assorbenti paralleli e cilindrici priva di lenti all'ingresso e all'uscita dei canali. In tal caso i raggi che non vengono assorbiti sono (solo) quelli che propagano lungo l'asse dei canali, e che contribuiscono quindi a formare la porzione centrale dell'immagine in campo lontano. Al contrario, per quanto riguarda i raggi che propagano in altre direzioni, solo una parte di essi è trasmessa dalla matrice, tale parte essendo tanto minore quanto più grande è l'angolo dei raggi rispetto all'asse, e riducendosi a zero per direzioni che attraversano il canale passando da un bordo all'ingresso al bordo opposto in uscita. Pertanto l'immagine in campo lontano non sarà uniformemente illuminata (o, equivalentemente, il profilo angolare di luminanza non sarà costante), tale immagine avendo al contrario un profilo di illuminanza a campana, che sfuma e si annulla a bordo immagine, non essendo in questo modo in grado di offrire un salto netto nel profilo di luminanza per l'osservatore che guarda la luce emessa dalla sorgente. Da notarsi che, l'introduzione di una matrice di lenti posizionate sulle aperture d'ingresso ed aventi focale pari alla lunghezza dei canali, non modificherebbe il risultato. Infatti, un punto estremo a bordo immagine in campo lontano rimane sempre illuminato solamente dal singolo raggio che attraversa il canale passando da un bordo all'ingresso al bordo opposto in uscita.

- [24] Al contrario, nel caso di una a matrice di canali assorbenti paralleli e cilindrici in associazione a una matrice di lenti di apertura circolare, di focale pari alla lunghezza dei canali e posizionate all'uscita dei canali stessi, ciascuna lente produce in campo lontano l'immagine del campo presente nel suo piano focale, ovverosia l'immagine dell'apertura circolare d'ingresso del canale. Qui il punto centrale dell'apertura d'ingresso sarà riprodotto nell'immagine dai raggi appartenenti ad un primo cono, formato da tutti i raggi che originano dal tale punto centrale e che raggiungono l'apertura d'uscita. Viceversa, un punto a bordo immagine in campo lontano verrà illuminato dai raggi di un secondo cono formato da tutti i raggi che originano da un punto sul bordo dell'apertura d'ingresso e che raggiungono la medesima apertura d'uscita. Questo determina che l'immagine dell'apertura d'ingresso che si viene a formare nel caso di una matrice di lenti poste all'uscita dei canali è comunque netta, pur in presenza di una illuminanza non completamente uniforme (il secondo cono presenta infatti un'apertura angolare leggermente inferiore al primo). A ogni modo, l'immagine dell'apertura d'ingresso è caratterizzata dall'aver forma circolare e un bordo oltre al quale l'illuminanza si annulla in modo discontinuo (in altri termini, il profilo angolare di luminanza esibisce una transizione netta da un valore finito di bordo campo a zero, per direzioni che passano dall'interno all'esterno del cono di accettazione, essendo il valore di bordo ottenuto non da un solo raggio, come nel caso in assenza di lenti o della matrice di lenti posizionata in ingresso, ma da una pluralità di raggi). Pertanto, risulta possibile produrre nell'occhio una immagine netta del sole in netto contrasto con il cielo circostante.
- [25] Vantaggiosamente, inoltre il filtro ottico secondo la presente invenzione risulta di semplice ed economica fattibilità tecnologica. Infatti la scelta di utilizzare canali cilindrici a sezione sostanzialmente circolare, qui peraltro dettata dall'esigenza di produrre un sole circolare, permette al contempo di rendere industrialmente scalabile la produzione. Infatti, risulta estremamente semplice isolare otticamente canali cilindrici con del materiale assorbente, utilizzando ad esempio tecnologie ben consolidate come quella delle fibre ottiche.
- [26] In accordo con un suo secondo aspetto, l'invenzione riguarda un dispositivo d'illuminazione per riprodurre la luce del cielo e del sole comprendente una sorgente di luce diretta configurata per emettere luce visibile in modo non isotropo ed avente una prima temperatura correlata di colore o CCT, un filtro ottico come descritto sopra, posizionato a valle della sorgente di luce diretta in modo tale per cui la superficie d'ingresso del filtro ottico risulta sovrapposta almeno in parte alla superficie piana di emissione della luce diretta della sorgente di luce diretta; e una sorgente di luce diffusa configurata per emettere una luce visibile diffusa avente una seconda temperatura

correlata di colore o CCT pari almeno a 1.2 volte, preferibilmente 1.3 volte, più preferibilmente 1.5 volte maggiore della prima CCT.

- [27] La sorgente di luce diretta comprende un emettitore di luce visibile, un sistema ottico per collimare la luce emessa dall'emettitore di luce visibile e una superficie piana di emissione della luce diretta. Inoltre la sorgente di luce diretta è configurata per generare una luce principalmente lungo direzioni comprese all'interno di un cono di emissione avente una direttrice del cono di emissione perpendicolare alla superficie piana di emissione della luce diretta e avente una semi-apertura angolare di luce diretta, definita come semi-larghezza del profilo angolare di luminanza della sorgente di luce diretta sulla superficie piana di emissione, inferiore a 20 gradi, preferibilmente inferiore a 15 gradi, più preferibilmente inferiore a 8 gradi, laddove la semi-larghezza è misurata a un'altezza pari ad $1/e^2$ volte il valore di picco e il profilo angolare di luminanza è mediato sulle coordinate spaziali e sulla coordinata azimutale..
- [28] La sorgente di luce diffusa comprende un pannello diffusore posizionato a valle del filtro ottico in modo tale da intercettare almeno parzialmente una luce filtrata emessa dalla superficie di uscita del filtro ottico. Il pannello diffusore è inoltre configurato per trasmettere o riflettere parte della luce filtrata emessa dalla superficie di uscita del filtro ottico, producendo una luce trasmessa o riflessa il cui profilo angolare di luminanza sostanzialmente coincide con il profilo angolare di luminanza della luce filtrata emessa dalla superficie di uscita del filtro ottico. Ancora, il pannello diffusore è configurato per generare, su una superficie di emissione della luce diffusa, una componente di luce diffusa caratterizzata da una luminanza avente un profilo angolare caratterizzato da una semi-apertura angolare di luce diffusa, definita come semi-larghezza del profilo angolare di luminanza ad altezza $1/e^2$, almeno 2 volte, preferibilmente 3 volte, più preferibilmente 4 volte maggiore di una semi-apertura di un cono di accettazione del filtro ottico e/o di una semi-apertura angolare della luce filtrata, definita come semi-larghezza del profilo angolare di luminanza ad altezza $1/e^2$ della luce filtrata.
- [29] Vantaggiosamente, il dispositivo d'illuminazione per riprodurre la luce del cielo e del sole consegue gli effetti tecnici più sopra descritti in relazione al filtro ottico secondo la presente invenzione.
- [30] In accordo con un suo terzo aspetto, l'invenzione riguarda un metodo per produrre un filtro ottico come descritto sopra, comprendente le fasi che consistono nel:
- a. produrre almeno una fibra ottica avente
 - i. un'anima in materiale trasparente, quale preferibilmente aria, vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica, l'anima avendo un diametro pari al diametro degli elementi cilindrici e

- ii. un primo rivestimento almeno parzialmente realizzato con un primo materiale otticamente assorbente;
 - b. Ottenere una pluralità di spezzoni dell' almeno una fibra ottica, laddove gli spezzoni hanno una lunghezza sostanzialmente pari alla lunghezza degli elementi cilindrici, ciascuno spezzone costituendo un elemento cilindrico ricoperto sulla sua superficie laterale da una guaina, da un film, da una vernice o da uno strato di materiale rigido realizzato con il primo rivestimento di materiale otticamente assorbente;
 - c. Ottenere almeno una struttura a spezzoni affiancati;
 - d. Disporre, rispetto alla struttura di spezzoni affiancati, almeno un elemento di materiale otticamente non trasparente configurato e disposto rispetto agli spezzoni in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente agli spezzoni ed esternamente ad essi attraverso interspazi presenti tra spezzoni adiacenti;
 - e. Depositare, incollare, stampare, far crescere o posizionare almeno una pluralità di prime lenti, ciascuna affacciata almeno a una faccia di uscita degli elementi cilindrici.
- [31] Vantaggiosamente, il metodo per produrre un filtro ottico consegue gli effetti tecnici più sopra descritti in relazione al filtro ottico secondo la presente invenzione.
- [32] La presente invenzione può presentare almeno una delle caratteristiche preferite che seguono, queste ultime sono in particolare combinabili tra loro a piacere allo scopo di soddisfare specifiche esigenze applicative.
- [33] In una variante del filtro secondo l'invenzione, il filtro ottico comprende in aggiunta una pluralità di seconde lenti con focale positiva pari alla lunghezza degli elementi cilindrici, ciascuna seconda lente della pluralità di seconde lenti essendo accoppiata o definendo la faccia d'ingresso di un rispettivo elemento cilindrico.
- [34] Il vantaggio dato dalla pluralità di seconde lenti è di produrre un profilo angolare di luminanza esattamente costante all'interno del cono di accettazione del filtro ottico, e di aumentare la luminosità del dispositivo.
- [35] In una variante del filtro secondo l'invenzione, il materiale sostanzialmente trasparente alla luce in cui sono realizzati gli elementi cilindrici è un materiale solido, preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica.
- [36] Preferibilmente, il primo elemento di materiale otticamente assorbente comprende una guaina, un film, una vernice o uno strato di materiale rigido realizzato con un primo materiale otticamente assorbente che ricopre sostanzialmente la superficie laterale degli elementi cilindrici, avendo indice di rifrazione minore, uguale o maggiore agli elementi cilindrici.

- [37] Preferibilmente, il coefficiente di assorbimento del primo materiale otticamente assorbente garantisce un assorbimento di almeno il 50%, preferibilmente l'80%, più preferibilmente il 90% della luce visibile per uno spessore del materiale pari ad 1/5, preferibilmente 1/10 di un diametro della faccia di ingresso o della faccia di uscita degli elementi cilindrici.
- [38] Vantaggiosamente risulta così possibile disporre della tecnologia delle fibre ottiche per la realizzazione del dispositivo.
- [39] In una variante del filtro secondo l'invenzione, il primo elemento di materiale otticamente assorbente comprende una pluralità di celle a sezione poligonale, preferibilmente esagonale o quadrata, disposte intorno agli elementi cilindrici.
- [40] In una variante del filtro secondo l'invenzione, il materiale sostanzialmente trasparente alla luce in cui sono realizzati gli elementi cilindrici è un materiale gassoso, preferibilmente aria.
- [41] Preferibilmente, il primo elemento di materiale otticamente assorbente e il secondo elemento di materiale otticamente non trasparente sono costituiti da un pannello otticamente assorbente nel quale sono ricavati gli elementi cilindrici.
- [42] In questo modo è possibile produrre un filtro ottico particolarmente leggero.
- [43] In alternativa, il primo elemento di materiale otticamente assorbente è una camicia cilindrica che ricopre sostanzialmente la superficie laterale degli elementi cilindrici, laddove la camicia cilindrica ha uno spessore significativamente minore del diametro degli elementi cilindrici, ad esempio uno spessore 2 volte, preferibilmente 5 volte, più preferibilmente 10 volte inferiore, e laddove la camicia cilindrica comprende uno strato di materiale rigido preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica, in cui lo strato di materiale rigido è ricoperto su una sua superficie laterale interna da uno strato otticamente assorbente, preferibilmente una vernice o film in materiale otticamente assorbente; e/o lo strato di materiale rigido è ricoperto su una sua superficie laterale esterna dal secondo elemento di materiale otticamente non trasparente, preferibilmente a guisa di vernice o film o guaina in materiale otticamente assorbente; e/o lo strato di materiale rigido è realizzato in un materiale otticamente assorbente.
- [44] Convenientemente, tale soluzione permette di utilizzare la tecnologia delle fibre cave, che consentono di ottenere al contempo leggerezza e rigidità al dispositivo.
- [45] In una variante del filtro secondo l'invenzione, il secondo elemento di materiale otticamente non trasparente comprende un secondo materiale otticamente assorbente che riempie almeno parzialmente la pluralità di interspazi definiti tra elementi cilindrici adiacenti.
- [46] Preferibilmente, il coefficiente di assorbimento del secondo materiale otticamente assorbente garantisce un assorbimento di almeno il 50%, preferibilmente l'80%, più preferibilmente il 90%

della luce visibile per uno spessore pari ad $1/5$ preferibilmente $1/10$ della lunghezza degli elementi cilindrici.

- [47] Preferibilmente, il primo e il secondo materiale otticamente assorbente sono lo stesso materiale.
- [48] In alternativa, il primo ed il secondo materiale otticamente assorbente sono polimeri e dove il secondo materiale otticamente assorbente ha una temperatura di transizione vetrosa T_g inferiore a una temperatura di transizione vetrosa del primo materiale otticamente assorbente, ad esempio inferiore di almeno 5, preferibilmente 10, più preferibilmente 20 gradi centigradi.
- [49] Vantaggiosamente, risulta così possibile ottenere il riempimento dagli interspazi tra canali da parte del secondo materiale, opportunamente scaldato e sotto pressione, senza deformare il primo elemento di materiale otticamente assorbente.
- [50] Preferibilmente, il primo materiale otticamente assorbente è una resina termoindurente ed il secondo materiale otticamente assorbente è una resina termoplastica e dove la temperatura d'indurimento T_i del primo materiale otticamente assorbente è inferiore alla temperatura di transizione vetrosa T_g del secondo materiale.
- [51] Tale accorgimento permette vantaggiosamente di poter disporre di una guaina di un primo materiale otticamente assorbente avente la necessaria flessibilità per consentire la gestione della fibra, come ad esempio per gestire l'avvolgimento, prima del processo di creazione degli elementi cilindrici, e di dare poi a tale primo materiale la necessaria rigidità, ad esempio per favorire il processo di taglio e comunque per dare stabilità al sistema, e comunque per garantire lo spessore nel punto di massima prossimità degli elementi cilindrici.
- [52] In alternativa, il secondo elemento di materiale otticamente non trasparente comprende un elemento di materiale assorbente o riflettente che ricopre e/o costituisce almeno una porzione della superficie d'ingresso e/o della superficie d'uscita non comprendente le porzioni sovrapposte alle facce d'ingresso e di uscita degli elementi cilindrici.
- [53] In una variante del filtro secondo l'invenzione, il valor medio di un interasse tra elementi cilindrici attigui è inferiore a 2 volte, preferibilmente 1.5 volte, più preferibilmente 1.2 volte il diametro degli elementi cilindrici.
- [54] Preferibilmente, il diametro della faccia di ingresso o della faccia di uscita degli elementi cilindrici è inferiore a 5mm, preferibilmente a 3mm, più preferibilmente a 2mm.
- [55] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, il filtro ottico è configurato in modo da avere una semi-apertura di un cono di accettazione angolare pari all'arcotangente del rapporto tra un semi-diametro della faccia di ingresso o della faccia di uscita degli elementi cilindrici e la lunghezza degli elementi cilindrici, maggiore o uguale alla semi-apertura angolare di luce diretta.

[56] Preferibilmente, la semi-apertura angolare di luce diretta è maggiore di 1.5, preferibilmente di 2.5, più preferibilmente di 3 gradi.

[57] Sorprendentemente la Richiedente ha riconosciuto la possibilità di rinunciare a produrre ombre nette, ovvero la possibilità di accettare di produrre nell'occhio un'immagine del sole anche molto più grande di quella del sole reale il quale presenta una semi-apertura angolare di 0.25 gradi, permettendo in questo modo di semplificare notevolmente la tecnologia necessaria, pur senza compromettere la funzionalità del dispositivo.

La ragione per cui questo può accadere riguarda specificatamente la capacità di riprodurre fedelmente in un ambiente interno la corretta luminosità, e quindi il colore percepito, delle scene in ombra rispetto a quelle al sole. È infatti proprio la caratteristica delle ombre ciò che determina la differenza tra luce naturale ed artificiale, facendoci percepire la differenza tra interno ed esterno. A tal fine, è importante notare che ciò che in natura determina la luminosità delle ombre è il flusso luminoso totale che proviene dal cielo, che a sua volta dipende dall'ampiezza dell'angolo solido da cui il cielo illumina la scena. Questo è il motivo per cui, a causa della apertura limitata di finestre e lucernari, le ombre prodotte all'interno dal sole e dal cielo reali sono più scure, e percettivamente meno colorate, e quindi meno "naturali" di quelle che siamo abituati a vedere in esterno. Nella nuova soluzione proposta, il bilanciamento corretto tra ombra e luce dell'outdoor viene ristabilito proprio grazie all'aumentata divergenza della luce solare, rispetto a quella del cielo, che invece è riprodotta in modo naturale. Da tale aumento del rapporto tra le divergenze consegue infatti una paritetica riduzione del rapporto tra le illuminanze, che ripristina il rapporto naturale tra illuminanza del cielo e del sole a dispetto della limitata apertura del dispositivo. In altri termini, l'effetto sulle ombre di una finestra artificiale con divergenza del sole aumentata è analogo a quello di una finestra naturale di apertura maggiore, fatto questo di ovvio e rilevante impatto sul valore commerciale del prodotto.

[58] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, la prima sorgente di luce diretta è configurata per produrre sulla superficie piana di emissione una illuminanza di cono sostanzialmente spazialmente uniforme, laddove l'illuminanza di cono è l'illuminanza relativa al solo contributo della luce che incide da direzioni comprese entro il cono di emissione

[59] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, il pannello diffusore è configurato per generare, su una superficie di emissione della luce diffusa, una componente di luce diffusa caratterizzata da una luminanza sostanzialmente spazialmente uniforme

[60] In un'altra variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, la prima sorgente di luce diretta è configurata per garantire variazioni dell'illuminanza di cono su almeno il 90%

della prima superficie piana di uscita che siano inferiori al 100%, preferibilmente al 70% più preferibilmente al 50% del valore medio della illuminanza di cono sulla prima superficie.

- [61] Convenientemente, limitare le variazioni di illuminanza di cono limita a sua volta le variazioni di luminanza del filtro ottico e quindi le variazioni di luminanza che esso può produrre sul pannello diffusore, la cui presenza riduce la qualità percepita del cielo.
- [62] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, la prima sorgente di luce diretta è configurata per garantire una dipendenza sostanzialmente monotona del valore dell'illuminanza di cono delle coordinate spaziali su almeno il 90% della superficie piana di emissione della luce diretta.
- [63] Vantaggiosamente, una variazione monotona della illuminanza di cono implica una variazione monotona della luminanza del cielo, che può risultare non solo accettabile ma anche gradita essendo un effetto presente in natura.
- [64] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, l'illuminanza di cono è superiore all'80%, preferibilmente al 90%, più preferibilmente al 95% dell'illuminanza totale prodotta dalla sorgente di luce diretta sulla superficie piana di emissione della luce diretta.
- [65] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, l'emettitore di luce visibile è di tipo lineare comprendendo una pluralità di LED disposti lungo una linea retta perpendicolare a un piano di sezione ortogonale alla superficie d'ingresso e alla superficie d'uscita del filtro ottico.
- [66] Preferibilmente, il sistema ottico per collimare la luce emessa dall'emettitore di luce visibile di tipo lineare comprende una pluralità di rifrattori e/o riflettori, quali lenti, lenti TIR, lenti di Fresnel, riflettori, CPC, etc., ciascuno accoppiato a ciascun LED della pluralità di LED, e configurato per collimare la luce del LED a cui è accoppiato in un primo piano di collimazione contenente la linea retta lungo la quale sono disposti i LED, e per conferire alla luce collimata un profilo angolare di luminanza, per direzioni comprese nel primo piano di collimazione, avente una semi-apertura angolare il cui valore è compreso tra 0.5 e 2, preferibilmente tra 0.7 e 1.5, più preferibilmente tra 0.85 e 1.2 volte il valore della semi-apertura angolare di luce diretta.
- [67] Preferibilmente, il sistema ottico per collimare la luce emessa dall'emettitore di luce visibile di tipo lineare comprende uno specchio di Fresnel avente una prima superficie non riflettente piana e una seconda superficie riflettente prismatica, laddove lo specchio di Fresnel è posizionato e configurato in modo tale per cui la prima superficie non riflettente piana è perpendicolare al piano di sezione ortogonale e la seconda superficie riflettente prismatica collima la luce emessa dall'emettitore di luce visibile in un secondo piano di collimazione parallelo al piano di sezione ortogonale e, per direzioni comprese nel secondo piano di collimazione, conferisce alla luce

così collimata un profilo angolare di luminanza avente una semi-apertura angolare il cui valore è compreso tra 0.5 e 2, preferibilmente tra 0.7 e 1.5, più preferibilmente tra 0.85 e 1.2 volte il valore dalla semi-apertura angolare di luce diretta.

- [68] Preferibilmente, il filtro è configurato per rimuovere almeno l'80%, preferibilmente il 90%, più preferibilmente almeno il 95% della luce spuria prodotta dallo specchio di Fresnel.
- [69] Convenientemente, realizzare la collimazione della luce prodotta dalla sorgente di luce diretta in due stadi indipendenti, su piani di collimazione ortogonali, permette di realizzare la collimazione nel secondo piano usando un solo elemento ottico, anziché una pluralità di elementi ottici, con significativa riduzione dei costi.
- [70] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, la sorgente di luce diffusa comprende un pannello di materiale trasparente comprendente una dispersione di nano particelle, il pannello essendo configurato per trasformare la luce filtrata in una componente trasmessa, avente analogo profilo angolare e CCT almeno 1,1, preferibilmente 1,2, preferibilmente 1,3 volte inferiore alla prima CCT, e in una componente diffusa con CCT pari almeno a 1.2 volte, preferibilmente 1.3 volte, più preferibilmente 1.5 volte maggiore della prima CCT.
- [71] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, la sorgente di luce diffusa comprende un riflettore nanostrutturato configurato per trasformare la luce filtrata in una componente riflessa, avente analogo profilo angolare e CCT almeno 1,1, preferibilmente 1,2, preferibilmente 1,3 volte inferiore alla prima CCT, ed in una componente diffusa con CCT pari almeno a 1.2 volte, preferibilmente 1.3 volte, più preferibilmente 1.5 volte maggiore della prima CCT.
- [72] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, la sorgente di luce diffusa comprende un pannello diffusore che diffonde la luce prodotta da una seconda pluralità di LED accoppiati ai lati del pannello.
- [73] In una variante del dispositivo d'illuminazione secondo l'invenzione, la sorgente di luce diffusa è configurata in modo tale che il valore medio della divergenza a metà altezza HWHM della luce da essa trasmessa o riflessa sia inferiore ad 1.5, preferibilmente 1.3, più preferibilmente 1.2 volte il valore medio della divergenza a metà altezza HWHM della luce filtrata.
- [74] In una variante del metodo per produrre un filtro ottico la fase di produrre almeno una fibra ottica comprende realizzare almeno un primo fascio di fibre ottiche comprendente una pluralità di fibre ottiche.

- [75] Preferibilmente, la fase di produrre almeno una fibra ottica comprende realizzare almeno un secondo fascio di fibre ottiche che accorpa una pluralità di primi fasci, laddove i primi fasci hanno sezione esagonale, triangolare o quadrata.
- [76] Vantaggiosamente, poter disporre di primi e secondi fasci di diverse sezioni offre la possibilità di sfruttare diverse modalità di trasporto e imballaggio dei componenti, in quanto il primo fascio può essere dimensionato per essere avvolto in bobine mentre il secondo, potendo avere le dimensioni fino a diverse decine di cm di diametro, ovverosia le dimensioni del filtro, non può essere avvolto e necessita di essere gestito a tronconi, anche se di lunghezza molto maggiore della lunghezza degli elementi cilindrici, laddove da un taglio dei tronconi si ottiene la pluralità di spezzoni di fibra ottica.
- [77] Preferibilmente, il primo materiale otticamente assorbente è una resina termoplastica avente una prima temperatura di transizione vetrosa Tg_1 e in cui il metodo comprende la fase di riscaldare in forno l'almeno un primo fascio e/o l'almeno un secondo fascio a una temperatura superiore alla prima temperatura di transizione vetrosa Tg_1 , precedentemente alla fase di ottenere una pluralità di spezzoni.
- [78] Preferibilmente, la fase di riscaldamento è realizzata a pressione inferiore alla pressione atmosferica al fine di rimuovere l'aria presente negli interspazi tra i tronconi adiacenti.
- [79] In una variante del metodo per produrre un filtro ottico, la fase di produrre almeno una fibra ottica comprende produrre almeno una fibra ottica avente un secondo rivestimento di resina polimerica avente una seconda temperatura di transizione vetrosa Tg_2 che ricopre il primo rivestimento e realizzato nel secondo materiale otticamente assorbente e la fase di disporre l'almeno un elemento di materiale otticamente non trasparente comprende riscaldare in forno l'almeno un primo fascio e/o l'almeno un secondo fascio a una temperatura superiore alla seconda temperatura di transizione vetrosa Tg_2 .
- [80] Preferibilmente, la seconda temperatura di transizione vetrosa Tg_2 è inferiore alla prima temperatura di transizione vetrosa Tg_1 , ad esempio inferiore di almeno 5, preferibilmente 10, più preferibilmente 20 gradi centigradi, e laddove la fase di riscaldamento in forno è realizzata ad una temperatura maggiore della seconda temperatura di transizione vetrosa Tg_2 e minore della prima temperatura di transizione vetrosa Tg_1 , ad esempio ad una temperatura intermedia tra Tg_2 e Tg_1 .
- [81] In una variante del metodo per produrre un filtro ottico il primo materiale otticamente assorbente è una resina termoisolante avente una temperatura d'indurimento T_i ed il secondo materiale otticamente assorbente è una resina termoplastica avente una temperatura di transizione vetrosa Tg_2 maggiore di T_i , laddove la fase di riscaldamento in forno è realizzata ad una temperatura

maggiore di Tg_2 e la fase di riduzione della pressione per eliminazione dell'aria contenuta negli interspazi viene iniziata quando la temperatura ha raggiunto un valore intermedio tra T_i e Tg_2 .

- [82] In una variante del metodo per produrre un filtro ottico la fase di ottenere almeno una struttura a spezzoni affiancati dell'almeno una fibra ottica comprende ridurre in fette l'almeno un primo fascio di una pluralità di fibre, successivamente alla fase di riscaldamento, e nel realizzare un trattamento superficiale delle fette così ottenute, in modo da ottenere la lucidatura a qualità ottica delle facce degli spezzoni di fibre.
- [83] In alternativa a quanto sopra illustrato con riferimento al filtro ottico, e in particolare in alternativa all'impegno di lenti convergenti aventi lunghezza focale nel materiale di cui sono costituiti gli elementi cilindrici pari alla lunghezza degli elementi cilindrici, posizionate sulle o costituenti le facce d'uscita degli elementi cilindrici oppure, preferibilmente, posizionate su o costituenti entrambe le facce d'uscita e di ingresso degli elementi cilindrici, lo scopo della presente invenzione può essere equivalentemente ottenuto mediante impiego di altri elementi ottici incorporati all'interno degli elementi cilindrici. A mero titolo di esempio, lo scopo della presente invenzione può essere equivalentemente ottenuto mediante l'impegno di elementi cilindrici caratterizzati da un profilo radiale dell'indice di rifrazione, anche detti "lenti GRIN" (GRaded Index Lenses), ove il profilo radiale dell'indice di rifrazione sia tale da conferire alla lente costituita dall'elemento cilindrico una lunghezza focale pari alla lunghezza dell'elemento cilindrico.
- [84] Pertanto, in modo del tutto generale, in alternativa a quanto sopra il filtro ottico secondo la presente invenzione comprende:
- una superficie d'ingresso sostanzialmente piana, una superficie d'uscita sostanzialmente piana e parallela alla superficie d'ingresso, una pluralità di elementi cilindrici realizzati in un materiale sostanzialmente trasparente alla luce, un primo elemento di materiale otticamente assorbente configurato e disposto rispetto agli elementi cilindrici in modo tale da impedire il passaggio di luce tra elementi cilindrici adiacenti della pluralità di elementi cilindrici, un secondo elemento di materiale otticamente non trasparente configurato e disposto rispetto agli elementi cilindrici in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente agli elementi cilindrici ed esternamente ad essi attraverso gli interspazi tra elementi cilindrici adiacenti, laddove gli elementi cilindrici della pluralità di elementi cilindrici
- (i) presentano tra loro conformazione sostanzialmente identica e comprendono una faccia di ingresso sostanzialmente circolare avente un diametro degli elementi cilindrici, una faccia di uscita sostanzialmente circolare avente il diametro degli

- elementi cilindrici e una superficie laterale che si estende perimetralmente tra la faccia di ingresso e la faccia di uscita per una lunghezza degli elementi cilindrici;
- (ii) sono disposti affiancati e paralleli tra loro, in modo tale da definire una pluralità di interspazi tra elementi cilindrici adiacenti;
 - (iii) hanno un asse di cilindro perpendicolare alla superficie d'ingresso e di uscita e sono disposti con la faccia d'ingresso sostanzialmente sovrapposta alla superficie d'ingresso e con la faccia d'uscita sostanzialmente sovrapposta alla superficie d'uscita;
 - (iv) sono configurati in modo tale per cui i raggi luminosi che attraversano un qualunque elemento cilindrico della pluralità degli elementi cilindrici passando per un qualunque punto sul bordo di una faccia d'ingresso dell'elemento cilindrico escono dalla faccia d'uscita dell'elemento cilindrico con direzioni sostanzialmente parallele, oppure
 - (v) comprendono almeno un elemento ottico rifrattivo e/o diffrattivo configurato in modo da focalizzare almeno un fascio di raggi paralleli che entra da una qualunque faccia di uscita di un elemento cilindrico sulla faccia d'ingresso dello stesso elemento cilindrico, tale elemento ottico rifrattivo e/o diffrattivo potendo essere, ad esempio, una lente piano convessa posizionata su o costituente la faccia di uscita dell'elemento cilindrico ed avente focale nel mezzo pari alla lunghezza dell'elemento cilindrico o una lente GRIN che costituisce l'intero elemento cilindrico avente focale nel mezzo pari alla lunghezza dell'elemento cilindrico.

Breve Descrizione dei Disegni

- [85] I disegni allegati, i quali sono qui incorporati e costituiscono parte della descrizione, illustrano forme di realizzazione esemplificative della presente invenzione e, insieme alla descrizione, hanno lo scopo di illustrare i principi della presente invenzione.

Nei disegni:

le Figg. 1a e 1b sono rispettivamente una vista prospettica schematica dall'alto e dal basso di una prima forma di realizzazione di un filtro ottico secondo la presente invenzione;

le Fig. 2a e 2b sono due dettagli di fibre ottiche impiegate per realizzare il filtro ottico delle figure 1a e 1b.

la Fig. 3 è una vista prospettica schematica di una seconda forma di realizzazione di un filtro ottico secondo la presente invenzione;

la Fig. 4 è una vista prospettica schematica di una terza forma di realizzazione di un filtro ottico secondo la presente invenzione;

le Figg. 5, 5a e 5b sono rispettivamente una vista prospettica di una quarta forma di realizzazione di un filtro ottico secondo la presente invenzione e di due dettagli delle fibre ottiche impiegate per realizzarlo;

la Fig. 6 è una vista schematica prospettica in esploso di una quinta forma di realizzazione di un filtro ottico secondo la presente invenzione;

la Fig. 7 è una vista prospettica schematica di un dispositivo d'illuminazione per riprodurre la luce del cielo e del sole secondo la presente invenzione;

la Fig. 8 è una vista prospettica schematica di una prima variante di sorgente luminosa impiegata nel dispositivo d'illuminazione per riprodurre la luce del cielo e del sole secondo la presente invenzione;

le Figg. 9 e 10 sono rappresentazioni schematiche della luce in ingresso e in uscita alle componenti del dispositivo d'illuminazione per riprodurre la luce del cielo e del sole secondo la presente invenzione; e

la Figura 11 è una rappresentazione schematica di un dispositivo d'illuminazione per riprodurre la luce del cielo e del sole secondo la presente invenzione comprendente una seconda variante di sorgente luminosa.

Descrizione Dettagliata

- [86] Quanto segue è una descrizione dettagliata di forme di realizzazione esemplificative della presente invenzione. Le forme di realizzazione esemplificative qui descritte e illustrate nei disegni sono volte a trasmettere i principi della presente invenzione, consentendo alla persona esperta del settore di implementare e utilizzare la presente invenzione in numerose situazioni e applicazioni differenti. Pertanto, le forme di realizzazione esemplificative non sono intese, né dovrebbero essere considerate, limitative dell'ambito di protezione brevettuale. Piuttosto, l'ambito di protezione brevettuale è definito dalle rivendicazioni allegate.
- [87] Nella seguente descrizione, per l'illustrazione delle figure si ricorre a numeri o simboli di riferimento identici per indicare elementi costruttivi con la stessa funzione. Inoltre, per chiarezza di illustrazione, alcuni riferimenti possono non essere ripetuti in tutte le figure.
- [88] L'uso di "a esempio", "ecc.", "oppure" indica alternative non esclusive senza limitazione a meno che non altrimenti indicato. L'uso di "comprende" e "include" significa "comprende o include, ma non limitato a" a meno che non altrimenti indicato.

- [89] Inoltre, l'impiego di misure, valori, forme e riferimenti geometrici (come perpendicolare e parallelo) associati a termini tipo "circa", "pressoché", "sostanzialmente" o simili, è da intendersi come "a meno di errori di misura" o "a meno di imprecisioni dovute a tolleranze di fabbricazione" e comunque "a meno di una lieve divergenza rispetto ai valori, misure, forme o riferimenti geometrici" cui il termine è associato.
- [90] Infine, termini come "primo", "secondo", "superiore", "inferiore", "principale" e "secondario" sono generalmente utilizzati per distinguere componenti appartenenti a una stessa tipologia, non implicando necessariamente un ordine o una priorità di relazione o posizione.
- [91] Con riferimento alle Figg. 1a e 1b è illustrato schematicamente un filtro ottico secondo una prima forma di realizzazione della presente invenzione complessivamente indicato con 100.
- [92] Il filtro ottico delle Figg. 1a e 1b comprende una pluralità di elementi cilindrici 103 a sezione sostanzialmente circolare tra loro identici realizzati in un materiale solido, preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica. Ciascun elemento cilindrico 103 ha una faccia d'ingresso 104 piana, perpendicolare all'asse del cilindro, e una faccia d'uscita 105 piana e parallela alla faccia d'ingresso 104. Entrambe le facce d'ingresso 104 e d'uscita 105 sono sostanzialmente circolari, hanno un diametro pari a un diametro di elemento cilindrico, ed hanno qualità ottica, ovverosia sono predisposte in modo da trasmettere con minima distorsione la luce su di esse incidente.
- [93] Sulla faccia d'uscita 105 di ciascun elemento cilindrico 103 è posizionata, incollata, depositata o affacciata attraverso un substrato una lente convergente 107 avente diametro sostanzialmente pari al diametro dell'elemento cilindrico e focale nel mezzo pari alla lunghezza del cilindro, oppure la faccia d'uscita 105 di ciascun elemento cilindrico 103 è costituita da una lente convergente 107 avente diametro sostanzialmente pari al diametro dell'elemento cilindrico e focale nel mezzo pari alla lunghezza del cilindro.
- Gli elementi cilindrici 103 sono disposti affiancati e paralleli tra loro, in condizione d'impacchettamento massimo secondo un pattern esagonale, ed avendo la faccia d'ingresso 104 posizionata su una stessa superficie d'ingresso piana 101 del filtro 100 e la faccia d'uscita 105 posizionata su una stessa superficie d'uscita 102 piana del filtro e parallela alla superficie d'ingresso 101.
- [94] Gli elementi cilindrici 103 hanno una superficie laterale sostanzialmente ricoperta in condizioni di contatto ottico (senza intercapedini) da un primo elemento di materiale otticamente assorbente 108, ad esempio a guisa di guaina, film o vernice, avente indice di rifrazione sostanzialmente uguale all'indice di rifrazione del materiale solido di cui sono costituiti gli

- elementi cilindrici 103. In particolare, il primo elemento di materiale otticamente assorbente 108 è disposto e configurato per impedire il passaggio di luce tra elementi cilindrici adiacenti.
- [95] Gli interspazi tra elementi cilindrici 103 adiacenti sono almeno parzialmente riempiti da un secondo elemento in materiale otticamente assorbente 109, diverso o uguale al primo materiale 108, in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente agli elementi cilindrici ed esternamente ad essi attraverso gli interspazi tra elementi cilindrici 103 adiacenti.
- [96] Una tale disposizione del primo elemento di materiale otticamente assorbente 108 e del secondo elemento in materiale otticamente assorbente 109 è ottenibile a partire da tecnologie per la produzione di fibre ottiche, opportunamente adattate allo scopo come di seguito descritto.
- [97] Un metodo per produrre un filtro ottico 100 secondo l'invenzione prevede innanzitutto una prima fase che consiste nel produrre una fibra 103 omogenea di un materiale solido, preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica trasparente, mediante tecniche assodate quali, ad esempio, il tiraggio della fibra da una preforma in una torre di filatura o tecniche di estrusione. La fibra 103, una volta tagliata in spezzoni, andrà a costituire gli elementi cilindrici 103 del filtro ottico 100 e per tale motivo viene prodotta con diametro pari al diametro degli elementi cilindrici 103 che si intende fabbricare. Si noti che la fibra così realizzata, a differenza delle fibre ottiche convenzionali, non ha la capacità di guidare la luce al suo interno, per ottenere la quale serve un diverso profilo radiale di indice. Ciononostante, a fronte della stretta analogia per quanto riguarda il metodo di produzione, useremo in modo equivalente i termini "fibra" e "fibra ottica" nel presente contesto.
- [98] In una seconda fase, in linea con la precedente, la fibra 103 viene ricoperta da un primo rivestimento 108 o "coating" ottico polimerico a guisa di guaina, film o vernice mediante, ad esempio, un processo di estrusione, o di verniciatura, o di deposizione, opportunamente seguito da uno stadio di polimerizzazione rapida, ad esempio da uno stadio di polimerizzazione UV. Il primo rivestimento andrà a costituire il primo elemento di materiale otticamente assorbente 108 e a tal fine è realizzato con un primo materiale otticamente assorbente e dello spessore necessario per estinguere almeno il 50%, preferibilmente l'80%, più preferibilmente il 90% della luce che lo attraversa perpendicolarmente alla superficie, tipicamente dell'ordine della/e decina/e di micron. Per rivestimento ottico si intende specificatamente uno strato adesivo ed otticamente accoppiato alla fibra, ovvero sia che non causi effetti di diffusione o riflessione della luce all'interfaccia, in modo tale che la luce che raggiunge la superficie esterna della fibra la attraversi e possa essere quindi assorbita. Per questo il primo materiale otticamente assorbente è scelto con indice di rifrazione sostanzialmente identico all'indice di rifrazione del materiale che costituisce la fibra.

- [99] In una terza fase, la fibra così ricoperta dal primo rivestimento 108 viene ulteriormente ricoperta da un secondo rivestimento 109, mediante tecniche, ad esempio, di estrusione. Il secondo rivestimento andrà a realizzare il secondo elemento in materiale otticamente assorbente 109 e, a tal fine, è realizzato con un secondo materiale otticamente assorbente. Preferibilmente, il secondo rivestimento è realizzato con un polimero termoplastico con una temperatura di transizione vetrosa T_g inferiore alla temperatura di transizione vetrosa del polimero costituente il primo rivestimento 108 o, eventualmente, la fibra 103. Il secondo rivestimento 109 ha il duplice scopo di proteggere la fibra 103 nelle diverse fasi del processo e di fornire al contempo il materiale necessario per il riempimento degli interspazi tra le i primi rivestimenti 108, ad esempio in condizioni di impacchettamento massimo (esagonale). A tal fine, lo spessore del secondo rivestimento 109 viene scelto in funzione del diametro della fibra 103 e dello spessore del primo rivestimento 108 in modo che esso fornisca almeno il volume di materiale necessario al riempimento. La fibra così doppiamente ricoperta è schematicamente illustrata in Fig. 2b. Il processo di produzione della fibra 103 potrà contenere altre fasi come di prassi nel processo di produzione delle fibre ottiche, come ad esempio l'avvolgimento della fibra doppiamente rivestita a fine linea su una bobina di stoccaggio.
- [100] Il metodo di produzione del filtro prevede una quarta fase, nell'ambito della quale la fibra doppiamente rivestita viene tagliata in tronconi, di lunghezza ad esempio dell'ordine del metro, i quali vengono disposti parallelamente, ad esempio orizzontalmente, in una preforma, ad esempio a sezione esagonale, quadrata o rettangolare. Il fascio di tronconi così realizzato viene poi riscaldato in modo da ottenere il rammollimento o liquefazione del secondo rivestimento 109, la sostanziale messa in contatto delle fibre attraverso i loro primi rivestimenti 108, il conseguente riempimento degli interspazi da parte del secondo materiale otticamente assorbente 109 derivante dal rammollimento o dalla liquefazione del secondo rivestimento, ed il successivo incollaggio con la formazione di un blocco di tronconi di fibre 103 ricoperte dal primo rivestimento 108 in condizioni di sostanziale impacchettamento massimo e con gli interspazi tra i primi rivestimenti 108 riempiti dal materiale derivante dal secondo rivestimento 109. Fig. 2a mostra schematicamente la condizione di interspazi riempiti dal secondo materiale otticamente assorbente 109, laddove tuttavia la figura – per semplicità illustrativa – non mostra il conseguente assottigliamento del secondo rivestimento 109.
- [101] In una quinta fase del metodo di produzione del filtro ottico 100, il blocco di tronconi viene ridotto in fette, in modo che ciascuna fetta contenga una pluralità di spezzoni di fibra di spessore sostanzialmente uguale alla lunghezza degli elementi cilindrici 103 del filtro ottico 100, ad esempio mediante taglio con filo diamantato. Si ottiene in questo modo una struttura a spezzoni

affiancati, nella quale il secondo elemento in materiale otticamente assorbente 109 è disposto, rispetto agli spezzoni 103, in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente ed esternamente agli stessi, andando a riempire gli interspazi tra gli spezzoni 103.

- [102] Le fette così ottenute vengono poi trattate superficialmente, ad esempio mediante processi meccanici, e/o chimici, e/o termici, e/o ottici, in modo da ottenere la lucidatura a qualità ottica delle facce 104, 105 degli spezzoni di fibre, che costituiscono gli elementi cilindrici 103 del filtro ottico 100. In aggiunta, la fase potrà prevedere la rimozione del primo 108 e del secondo 109 materiale otticamente assorbente dalle facce 104,105 e dalle zone confinanti, ad esempio mediante processi meccanici, e/o chimici, e/o termici, e/o ottici.
- [103] In una sesta fase del metodo di produzione del filtro ottico 100, si procede alla deposizione delle lenti sulle facce di uscita 105 lucidate degli spezzoni di fibra 103, mediante ad esempio tecnologia *ink-jet printing* di polimero su vetro o di polimero su polimero. Il componente così realizzato, opportunamente rifilato e/o incorniciato ove necessario, costituisce il filtro ottico omogenizzare, oppure costituisce una porzione di esso qualora il filtro sia realizzato da una pluralità di elementi affiancati.
- [104] Secondo una forma di realizzazione alternativa (non illustrata) il filtro ottico 100 comprende una pluralità di elementi cilindrici identici costituiti da un volume pieno 103 di materiale solido, preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica trasparente, e circoscritti da un primo elemento di materiale otticamente assorbente 108 realizzato a guisa di strato di materiale rigido. Preferibilmente, il materiale di cui è formato lo strato di materiale rigido è ottenuto da una modifica del materiale di cui sono costituiti gli elementi cilindrici 103 mediante aggiunta di componenti per l'assorbimento della luce. Preferibilmente, il primo elemento di materiale rigido otticamente assorbente 108 presenta un coefficiente di assorbimento alla luce visibile sufficiente a impedire il passaggio di luce tra elementi cilindrici 103 adiacenti. Ad esempio, il coefficiente di assorbimento dello strato di materiale rigido garantisce un assorbimento di almeno il 50%, preferibilmente l'80%, più preferibilmente il 90% della luce visibile per uno spessore del materiale pari ad 1/5, preferibilmente 1/10 del diametro degli elementi cilindrici pieni 103. Anche in questo caso, è inoltre prevista una guaina che avvolge esternamente il primo elemento di materiale rigido otticamente assorbente, realizzata in un secondo materiale otticamente assorbente, che costituisce in questo modo il secondo elemento di materiale otticamente non trasparente 109. Preferibilmente, la guaina 109 è realizzata in un polimero termoplastico avente temperatura di transizione vetrosa inferiore alla temperatura di transizione vetrosa degli altri polimeri eventualmente presenti negli elementi cilindrici 103 e nel il primo elemento di materiale rigido

otticamente assorbente. Anche in questo caso, in corrispondenza della faccia di uscita 105 o a costituire la faccia di uscita 105 di ciascun elemento cilindrico pieno 103 è posizionata, cresciuta, depositata o incollata una rispettiva lente convergente 107 di focale nel mezzo pari alla lunghezza degli elementi cilindrici 103.

- [105] Tale forma di realizzazione alternativa può essere ottenuta attraverso il metodo per la produzione del filtro ottico di seguito descritto. Una prima fase prevede la produzione di una fibra non omogenea realizzata con due forme di uno stesso materiale solido, preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica, di cui la prima forma è otticamente trasparente e la seconda forma è resa otticamente assorbente mediante l'aggiunta di componenti che assorbono la luce. Specificatamente, la fase prevede la produzione di una fibra costituita da un nucleo centrale 103 omogeneo e trasparente, di diametro pari al diametro degli elementi cilindrici 103 del filtro ottico 100, realizzato con la forma trasparente del materiale solido, e da una camicia cilindrica 108, di spessore significativamente inferiore al diametro dell'elemento cilindrico 103, realizzata con la forma otticamente assorbente del materiale solido.
- [106] Ad esempio, la fibra non omogenea viene prodotta mediante tiraggio in torre di filatura da un cilindro di preforma costituito da un nucleo centrale di preforma, realizzato con la forma trasparente del materiale solido, e da una camicia cilindrica di preforma, realizzata con la forma otticamente assorbente del materiale solido, ove il rapporto tra i diametri del nucleo centrale di preforma e della camicia cilindrica di preforma è uguale al rapporto tra i diametri del nucleo centrale 103 della fibra e della camicia cilindrica 108 della fibra. Alternativamente, la fibra non omogenea può essere prodotta mediante estrusione coassiale della prima e seconda forma dello stesso materiale solido.
- [107] In una seconda fase la fibra così prodotta, comprendente il nucleo 103 e la camicia di materiale otticamente assorbente 108, viene ricoperta da un secondo rivestimento 109, mediante tecniche, ad esempio, di estrusione, realizzato con un secondo materiale otticamente assorbente 109 nella fattispecie di un polimero termoplastico con una temperatura di transizione vetrosa T_g inferiore alla temperatura di transizione vetrosa del polimero (eventualmente) presente nella fibra. Come già esposto con riferimento alla prima forma di realizzazione, il secondo rivestimento 109 ha il duplice scopo di proteggere la fibra nelle diverse fasi del processo e di fornire al contempo il materiale necessario per il riempimento degli interspazi tra le camicie di materiale otticamente assorbente 108, ad esempio in condizioni di impacchettamento massimo (esagonale). Le fasi successive del processo sono analoghe, ad esempio, a quelle descritte in precedenza.

- [108] Con riferimento a Fig. 3 è mostrata una seconda forma di realizzazione della presente invenzione in cui il filtro ottico 100 comprende in aggiunta una seconda pluralità di lenti convergenti 106, ciascuna disposta sulla faccia d'ingresso 104 o costituente la faccia d'ingresso 104 di un elemento cilindrico 103. Le seconde lenti 106 sono posizionate, incollate, depositate o affacciate mediante un substrato sulla faccia d'ingresso 104 o costituiscono la faccia d'ingresso 104, del rispettivo elemento cilindrico 103. Le seconde lenti 106 hanno diametro sostanzialmente pari al diametro dell'elemento cilindrico 103 e focale nel mezzo pari alla lunghezza dell'elemento cilindrico 103.
- [109] Inoltre, nella seconda forma di realizzazione illustrata in Fig. 3 il filtro ottico 100 comprende un secondo elemento di materiale otticamente assorbente o riflettente 109' realizzato a guisa di ricopertura della superficie d'ingresso 101 del filtro per la porzione non comprendente le porzioni sovrapposte alle facce d'ingresso 104 degli elementi cilindrici 103. In particolare, il secondo elemento di materiale otticamente assorbente o riflettente 109' è realizzato e disposto in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente agli elementi cilindrici ed esternamente ad essi attraverso gli interspazi tra elementi cilindrici 103 adiacenti.
- [110] Fig. 4 mostra una terza forma di realizzazione della presente invenzione in cui il filtro ottico 100 è costituito da un pannello otticamente assorbente nel quale è ricavata una pluralità di elementi cilindrici 103' vuoti. A ciascuna faccia d'ingresso 104 e a ciascuna faccia di uscita 105 degli elementi cilindrici vuoti 103' si affaccia una lente convergente 106,107 posizionata in corrispondenza della rispettiva faccia 104,105 mediante un sottile substrato di supporto (non illustrato), ad esempio un substrato sottile in vetro o in un polimero trasparente appoggiato in contatto con la superficie superiore del pannello otticamente assorbente, laddove le lenti 106,107 sono lenti convergenti di focale in aria sostanzialmente pari alla lunghezza degli elementi cilindrici 103', oppure ciascuna faccia d'ingresso 104 è costituita da una lente convergente 106, e ciascuna faccia d'uscita 105 è costituita da una lente convergente 107 aventi focale in aria sostanzialmente pari alla lunghezza degli elementi cilindrici 103'.
- [111] In questa forma di realizzazione, il corpo del pannello otticamente assorbente implementa sia il primo elemento di materiale otticamente assorbente 108 configurato e disposto in modo tale da impedire il passaggio di luce tra elementi cilindrici 103' adiacenti, sia il secondo elemento di materiale otticamente non trasparente 109 configurato e disposto in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente agli elementi cilindrici ed esternamente ad essi attraverso gli interspazi tra elementi cilindrici 103' adiacenti.
- [112] Con riferimento alla Fig. 5 è mostrata una quarta forma di realizzazione dell'invenzione in cui il filtro ottico 100 comprende una pluralità di elementi cilindrici identici costituiti da un volume

vuoto 103' circoscritto da un primo elemento di materiale otticamente assorbente realizzato a guisa di camicia cilindrica 110.

- [113] Come mostrato in dettaglio nelle Figg. 5a e 5b, la camicia cilindrica 110 comprende uno strato di materiale rigido 110', preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica, avente uno spessore significativamente minore del diametro degli elementi cilindrici 103'. Preferibilmente, lo strato di materiale rigido 110' è otticamente assorbente e presenta un coefficiente di assorbimento alla luce visibile sufficiente ad impedire il passaggio di luce parallelamente agli elementi cilindrici vuoti 103' ed esternamente agli stessi attraverso il materiale rigido 110' della camicia cilindrica 110. Ad esempio, il coefficiente di assorbimento dello strato di materiale rigido 110' garantisce un assorbimento di almeno il 50%, preferibilmente l'80%, più preferibilmente il 90% della luce visibile per uno spessore del materiale pari ad 1/5, preferibilmente 1/10 della lunghezza degli elementi cilindrici vuoti 103'.
- [114] La camicia cilindrica 110 comprende inoltre uno strato 110'' realizzato in un materiale otticamente assorbente, aderente alla superficie interna dello strato di materiale rigido 110' e definente in questo modo la superficie laterale degli elementi cilindrici vuoti 103'. Lo strato di materiale otticamente assorbente 110'' è ad esempio una vernice nera opaca o un film nero opaco, in grado di impedire il passaggio di luce tra elementi cilindrici adiacenti e di minimizzare il riflesso della luce che raggiunge in modo radente la superficie laterale degli elementi cilindrici vuoti 103'.
- [115] È inoltre prevista una guaina che avvolge esternamente la camicia cilindrica 110. La guaina è realizzata in un secondo materiale otticamente assorbente e costituisce in questo modo il secondo elemento di materiale otticamente non trasparente 109. La guaina 109 è realizzata in un polimero termoplastico avente temperatura di transizione vetrosa inferiore alla temperatura di transizione vetrosa degli altri polimeri presenti nella camicia cilindrica 110. In questo modo, in fase di realizzazione del filtro 100 la guaina 109 determina l'incollaggio tra camicie cilindriche 110 adiacenti, andando a riempire gli interspazi tra le stesse 110. In questo modo, la guaina 109 impedisce il passaggio di luce parallelamente agli elementi cilindrici 103', esternamente alle camicie cilindriche 110 che li definiscono.
- [116] Anche in questo caso, in corrispondenza della o a costituire la faccia d'ingresso 104 e la faccia di uscita 105 di ciascun elemento cilindrico vuoto 103' è posizionata, cresciuta, depositata o incollata una rispettiva lente convergente 106,107 di focale nel mezzo pari alla lunghezza degli elementi cilindrici 103'.

- [117] In questo caso il metodo di produzione del filtro ottico prevede una prima fase che consiste nel produrre una fibra cava realizzata in un materiale solido otticamente assorbente 110'. La fibra cava comprende un'anima cava che, una volta rivestita, andrà a costituire gli elementi cilindrici vuoti 103' del filtro ottico 100 una volta che la fibra sarà tagliata. Il materiale solido otticamente assorbente 110' andrà invece a realizzare lo strato di materiale rigido 110' della camicia cilindrica 110, e per tale motivo è preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica trasparente. La fibra cava viene prodotta mediante tecniche note quali, ad esempio, il tiraggio della fibra da una preforma in una torre di filatura o tecniche di estrusione.
- [118] Una seconda fase del metodo di produzione del filtro ottico 100 prevede di ricoprire la superficie interna della fibra cava con un coating, film o vernice di colore nero opaco che andrà a costituire lo strato otticamente assorbente 110'' della camicia cilindrica 110. In una forma preferenziale, la seconda fase è successiva alla prima, e si basa ad esempio sull'impiego di tecniche di verniciatura o di deposizione di film sottili. In un'altra forma preferenziale, la seconda fase è contestuale alla prima, e si basa ad esempio sull'utilizzo di tecniche di estrusione coassiale. Il diametro interno ed esterno dello strato di materiale rigido 110' e lo spessore dello strato otticamente assorbente 110'' sono determinati in modo tale che lo spazio cilindrico vuoto avente superficie esterna corrispondente alla superficie interna dello strato otticamente assorbente 110'' abbia il diametro degli elementi cilindrici vuoti 103' del filtro ottico. Le fasi successive del processo sono analoghe, ad esempio, a quelle relative descritte in precedenza.
- [119] Fig. 6 mostra una quinta forma di realizzazione della presente invenzione in cui il filtro ottico 100 comprende una pluralità di elementi cilindrici vuoti 103', non delimitati da una superficie laterale fisica, ma definiti da una pluralità di prime 106 e seconde 107 lenti posizionate mediante un substrato in modo tale da definire le facce d'ingresso 104 e di uscita 105 degli elementi cilindrici vuoti 103' e la superficie di ingresso 101 e di uscita 102 del filtro 100. Le prime 106 e seconde 107 lenti sono lenti convergenti aventi focale nel mezzo sostanzialmente pari alla lunghezza degli elementi cilindrici 103'. Il filtro 100 comprende inoltre una pluralità di celle a sezione poligonale, preferibilmente esagonale o quadrata, disposte intorno agli elementi cilindrici 103 e realizzate con un primo materiale otticamente assorbente 108'. Il filtro 100 comprende inoltre una coppia di ricoperture 109' in un secondo materiale assorbente o riflettente poste rispettivamente in corrispondenza della superficie d'ingresso 101 e d'uscita 102 del filtro in modo tale da non sovrapporsi alle facce d'ingresso 104 e di uscita 105 degli elementi cilindrici 103'.

- [120] Con riferimento a Fig. 7 è illustrato un dispositivo d'illuminazione 1000 per riprodurre la luce del cielo e del sole facente impiego di un filtro ottico 100 secondo la presente invenzione. Il dispositivo di illuminazione 1000 comprende una sorgente di luce diretta 200 configurata per emettere luce visibile in modo non isotropo, preferibilmente lungo direzioni in un intorno di una direzione principale 205, avente una prima temperatura correlata di colore o CCT superiore a 5000 gradi Kelvin.
- [121] A valle della sorgente di luce diretta 200 rispetto alla direzione principale 205 è posto un filtro ottico 100 secondo l'invenzione. Nella forma di realizzazione di Fig. 7 il filtro ottico 100 è orientato perpendicolarmente alla direzione principale 205 e produce una luce filtrata avente un profilo angolare di luminanza caratterizzato da una netta discontinuità nel valore di luminanza per direzioni di emissione che passano dall'interno del cono di accettazione del filtro ottico 100 - per le quali il valore di luminanza è sostanzialmente costante - all'esterno del cono di accettazione del filtro ottico 100 - per le quali il valore di luminanza è sostanzialmente prossimo a zero.
- [122] Il dispositivo di illuminazione 1000 comprende inoltre una sorgente di luce diffusa 300 posizionata a valle del filtro ottico 100 rispetto alla direzione principale 205. La sorgente di luce diffusa 300 è configurata per trasmettere almeno in parte la luce filtrata in uscita dal filtro 100 e produrre una luce avente una componente diretta con profilo angolare di luminanza sostanzialmente uguale al profilo angolare di luminanza della luce filtrata, e una temperatura correlata di colore o CCT inferiore di almeno il 20% della temperatura correlata di colore o CCT della luce prodotta dalla sorgente di luce diretta 200. La sorgente di luce diffusa 300 è inoltre configurata per produrre una componente di luce diffusa, caratterizzata da un profilo angolare di luminanza spazialmente uniforme, da una divergenza almeno 2 volte, preferibilmente 3 volte, più preferibilmente 4 volte maggiore della divergenza della componente diretta, e una temperatura correlata di colore o CCT almeno 1.2 volte, preferibilmente 1.3 volte, più preferibilmente 1.5 volte maggiore della prima CCT.
- [123] Fig. 8 mostra una forma di realizzazione preferita del dispositivo di illuminazione di Fig. 7 in cui la sorgente di luce diretta 200 comprende un emettitore di luce visibile 201, un sistema ottico 202 per collimare la luce emessa dall'emettitore di luce visibile, e una superficie piana di emissione 203 della luce diretta. Il sistema ottico 202 produce una luce 230 che comprende una componente principale sostanzialmente collimata attorno a una direzione principale 205 lungo direzioni preferibilmente comprese entro un cono di emissione 207 avente direttrice lungo la direzione principale 205 e semi-apertura 206 inferiore a 20 gradi, preferibilmente inferiore a 15 gradi, più preferibilmente inferiore a 8 gradi. La luce 230 prodotta dal sistema ottico 202 comprende anche una componente secondaria o spuria 230', che propaga lungo direzioni

esterne al cono di emissione 207. Il sistema ottico 202 è inoltre configurato in modo tale per cui la componente principale della luce 230 da esso prodotta generi sulla superficie piana di emissione 203 una illuminanza sostanzialmente uniforme. Nella forma di realizzazione di Fig. 8 la sezione del sistema ottico 202 ortogonale alla direzione principale 205 ha un'area significativamente minore dell'area della superficie piana di emissione 203. Pertanto la luce prodotta del sistema ottico 202 raggiunge la superficie piana di emissione 203 da direzioni differenti, ovverosia la luminanza della luce 230 prodotta dal sistema ottico 202 sulla superficie piana di emissione 203 non è spazialmente uniforme avendo un profilo angolare caratterizzato da un picco per una direzione che varia attraverso la superficie, allontanandosi dalla direzione principale 205 tanto più quanto più ci si allontana dal centro.

- [124] Come mostrato in Fig. 9, il filtro ottico 100 è preferibilmente dimensionato, in termini di diametri e lunghezza degli elementi cilindrici in esso compresi, al fine di ottenere un cono di accettazione con semi-apertura 120 sostanzialmente coincidente con la semi-apertura 206 del cono di emissione 207 che caratterizza la luce 230 emessa dall'emettitore di luce visibile 201 e collimata dal sistema ottico 202, come illustrato in Fig. 8. A differenza del sistema ottico 202, il filtro ottico 100 emette dalla sua superficie di uscita 102 una luce filtrata 130 con un profilo angolare di luminanza sostanzialmente uniforme su tutta la superficie.
- [125] Infine, Fig. 10 mostra una forma di realizzazione preferita della sorgente di luce diffusa 300 comprendente un pannello diffusore di Rayleigh - come ad esempio descritto nella domanda di brevetto internazionale n. WO 2009/156348 della stessa Richiedente. Il pannello diffusore di Rayleigh comprende preferibilmente una dispersione di nanoparticelle in una matrice polimerica, dove diametro delle nanoparticelle, il numero di nanoparticelle per unità di superficie, l'indice di rifrazione delle nanoparticelle e della matrice in cui esse sono disperse sono tali da consentire al pannello diffusore di Rayleigh di produrre su una superficie di emissione 302, una luce diffusa 303 caratterizzata da una temperatura correlata di colore o CCT pari almeno a 1.2 volte, preferibilmente 1.3 volte, più preferibilmente 1.5 volte maggiore della prima CCT, da un profilo di luminanza con una semi-apertura angolare di luce diffusa 304 di almeno 60°, preferibilmente di almeno 70°, ed un flusso luminoso complessivo pari ad almeno il 10% del flusso luminoso complessivo della luce filtrata 130 che incide sul pannello diffusore di Rayleigh 301.
- [126] Con riferimento alla Fig. 11 è mostrata una diversa forma di realizzazione del dispositivo d'illuminazione 1000 per riprodurre la luce del cielo e del sole facente impiego del filtro ottico 100 secondo la presente invenzione. In particolare, il dispositivo d'illuminazione di Fig. 11 comprende una sorgente di luce diretta 200 che comprende un emettitore di luce visibile 201 di

tipo lineare, comprendente una pluralità di LED 240 disposti lungo una linea retta perpendicolare a un piano di sezione ortogonale alla superficie d'ingresso e d'uscita del filtro ottico 100. Inoltre il sistema ottico 202 è configurato come un sistema di collimazione a due stadi 202', 202''. Il primo stadio 202' di collimazione del sistema ottico 202 è costituito da una pluralità di lenti cilindriche, ciascuna accoppiata a un rispettivo LED 240 della pluralità di LED e configurata per collimare la luce del LED a cui è accoppiata in un primo piano di collimazione 242 contenente la linea retta lungo la quale sono disposti i LED, conferendo alla luce così collimata un profilo angolare di luminanza, per direzioni comprese nel primo piano di collimazione, avente una semi-apertura angolare 243 uguale o inferiore alla semi-apertura del cono di accettazione angolare 120 del filtro ottico 100. Il secondo stadio di collimazione 202'' del sistema ottico 202 è costituito da uno specchio di Fresnel, caratterizzato da una superficie piana e da una superficie riflettente prismatica 246. Lo specchio di Fresnel 202'' è posizionato e configurato in modo tale da collimare la luce emessa dall'emettitore di luce visibile 201 in un secondo piano di collimazione parallelo al piano di sezione ortogonale, e per conferire alla luce così collimata un profilo angolare di luminanza, per direzioni comprese nel secondo piano di collimazione, avente una semi-apertura angolare 247 uguale o inferiore alla semi-apertura del cono di accettazione angolare 120 del filtro ottico 100.

Rivendicazioni

1. Filtro ottico (100) comprendente
 - una superficie d'ingresso (101) sostanzialmente piana,
 - una superficie d'uscita (102) sostanzialmente piana e parallela alla superficie d'ingresso,
 - una pluralità di elementi cilindrici (103,103') realizzati in un materiale sostanzialmente trasparente alla luce, in cui gli elementi cilindrici (103,103') della pluralità di elementi cilindrici presentano tra loro conformazione sostanzialmente identica e comprendono una faccia di ingresso (104) sostanzialmente circolare avente un diametro degli elementi cilindrici, una faccia di uscita (105) sostanzialmente circolare avente il diametro degli elementi cilindrici e una superficie laterale che si estende perimetralmente tra la faccia di ingresso (104) e la faccia di uscita (105) per una lunghezza degli elementi cilindrici (103,103'), e
sono disposti affiancati e paralleli tra loro, in modo tale da definire una pluralità di interspazi tra elementi cilindrici (103,103') adiacenti, gli elementi cilindrici (103,103') avendo un asse di cilindro perpendicolare alla superficie d'ingresso (101) e di uscita (102) ed essendo disposti con la faccia d'ingresso (104) sostanzialmente sovrapposta alla superficie d'ingresso (102) e con la faccia d'uscita (105) sostanzialmente sovrapposta alla superficie d'uscita (102),
 - un primo elemento di materiale otticamente assorbente (108,108',110) configurato e disposto rispetto agli elementi cilindrici in modo tale da impedire il passaggio di luce tra elementi cilindrici (103,103') adiacenti della pluralità di elementi cilindrici,
 - un secondo elemento di materiale otticamente non trasparente (109) configurato e disposto rispetto agli elementi cilindrici (103,103') in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente agli elementi cilindrici ed esternamente ad essi attraverso gli interspazi tra elementi cilindrici (103,103') adiacenti, e
 - una pluralità di prime lenti (107) con focale positiva pari alla lunghezza degli elementi cilindrici, ciascuna prima lente (107) essendo accoppiata o definendo la faccia di uscita (105) di un rispettivo elemento cilindrico (103,103').
2. Filtro ottico (100) secondo la rivendicazione 1, comprendente una pluralità di seconde lenti (106) con focale positiva pari alla lunghezza degli elementi cilindrici, ciascuna seconda lente (106) essendo accoppiata o definendo la faccia d'ingresso (104) di un rispettivo elemento cilindrico (103,103').

3. Filtro ottico (100) secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui il materiale sostanzialmente trasparente alla luce in cui sono realizzati gli elementi cilindrici (103, 103') è un materiale gassoso, preferibilmente aria, o un materiale solido, preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica.

4. Filtro ottico (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, in cui il primo elemento di materiale otticamente assorbente comprende una camicia cilindrica (110) che ricopre sostanzialmente la superficie laterale degli elementi cilindrici (103,103'), laddove

- la camicia cilindrica (110) ha uno spessore significativamente minore del diametro degli elementi cilindrici (103,103'), ad esempio uno spessore 2 volte, preferibilmente 5 volte, più preferibilmente 10 volte inferiore, e

- la camicia cilindrica comprende uno strato di materiale rigido (110') preferibilmente scelto dal gruppo comprendente vetro, quarzo, PMMA, policarbonato, o altra resina polimerica, in cui

- lo strato di materiale rigido (110') è ricoperto su una sua superficie laterale interna da uno strato otticamente assorbente (110''), preferibilmente una vernice o film in materiale otticamente assorbente; e/o

- lo strato di materiale rigido (110') è ricoperto su una sua superficie laterale esterna dal secondo elemento di materiale otticamente non trasparente (109), preferibilmente a guisa di vernice o film o guaina in materiale otticamente assorbente; e/o

- lo strato di materiale rigido (100') è realizzato in un materiale otticamente assorbente.

5. Filtro ottico (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, in cui il primo elemento di materiale otticamente assorbente (108) comprende una guaina o un film o una vernice realizzata con un primo materiale otticamente assorbente che ricopre sostanzialmente la superficie laterale degli elementi cilindrici (103) avendo indice di rifrazione minore, uguale o maggiore agli elementi cilindrici; e/o

in cui il primo elemento di materiale otticamente assorbente (108') comprende una pluralità di celle a sezione poligonale, preferibilmente esagonale o quadrata, disposte intorno agli elementi cilindrici (103').

6. Filtro ottico (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il secondo elemento di materiale otticamente non trasparente (109,109') comprende

- un elemento di materiale assorbente o riflettente che ricopre e/o costituisce almeno una porzione della superficie d'ingresso e/o della superficie d'uscita non comprendente le porzioni sovrapposte alle facce d'ingresso (104) e di uscita (105) degli elementi cilindrici (103,103'); e/o

- un secondo materiale otticamente assorbente che riempie almeno parzialmente la pluralità di interspazi definiti tra elementi cilindrici adiacenti; e/o

- un secondo materiale otticamente assorbente avente coefficiente di assorbimento che garantisce un assorbimento di almeno il 50%, preferibilmente l'80%, più preferibilmente il 90% della luce visibile per uno spessore pari ad 1/5, preferibilmente 1/10 della lunghezza degli elementi cilindrici (103,103').

7. Filtro ottico (100) secondo le rivendicazioni 5 e 6, in cui

- il secondo materiale otticamente assorbente coincide con il primo materiale otticamente assorbente; oppure

- il primo ed il secondo materiale otticamente assorbente sono polimeri e dove il secondo materiale otticamente assorbente ha una temperatura di transizione vetrosa T_g inferiore a una temperatura di transizione vetrosa del primo materiale otticamente assorbente, ad esempio inferiore di almeno 5, preferibilmente 10, più preferibilmente 20 gradi centigradi; oppure

- il primo materiale otticamente assorbente è una resina termoindurente e il secondo materiale otticamente assorbente è una resina termoplastica e dove la temperatura d'indurimento T_i del primo materiale otticamente assorbente è inferiore alla temperatura di transizione vetrosa T_g del secondo materiale.

8. Dispositivo d'illuminazione (1000) per riprodurre la luce del cielo e del sole comprendente:

una sorgente di luce diretta (200) configurata per emettere luce visibile in modo non isotropo avente una prima temperatura correlata di colore o CCT, laddove la sorgente di luce diretta

- comprende un emettitore di luce visibile (201), un sistema ottico (202) per collimare la luce emessa dall'emettitore di luce visibile e una superficie piana di emissione (203) della luce diretta; ed

- è configurata per generare una luce (230) principalmente lungo direzioni comprese all'interno di un cono di emissione (207) avente una direttrice del cono di

emissione (205) perpendicolare alla superficie piana di emissione della luce diretta e avente una semi-apertura angolare di luce diretta (206), definita come semi-larghezza del profilo angolare di luminanza della sorgente di luce diretta sulla superficie piana di emissione, inferiore a 20 gradi, preferibilmente inferiore a 15 gradi, più preferibilmente inferiore a 8 gradi, laddove la semi-larghezza è misurata a un'altezza pari ad $1/e^2$ volte il valore di picco e il profilo angolare di luminanza è mediato sulle coordinate spaziali e sulla coordinata azimutale,

un filtro ottico (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 7, posizionato a valle della sorgente di luce diretta in modo tale per cui la superficie d'ingresso (101) del filtro ottico risulta sovrapposta almeno in parte alla superficie piana di emissione (203) della luce diretta della sorgente di luce diretta; e

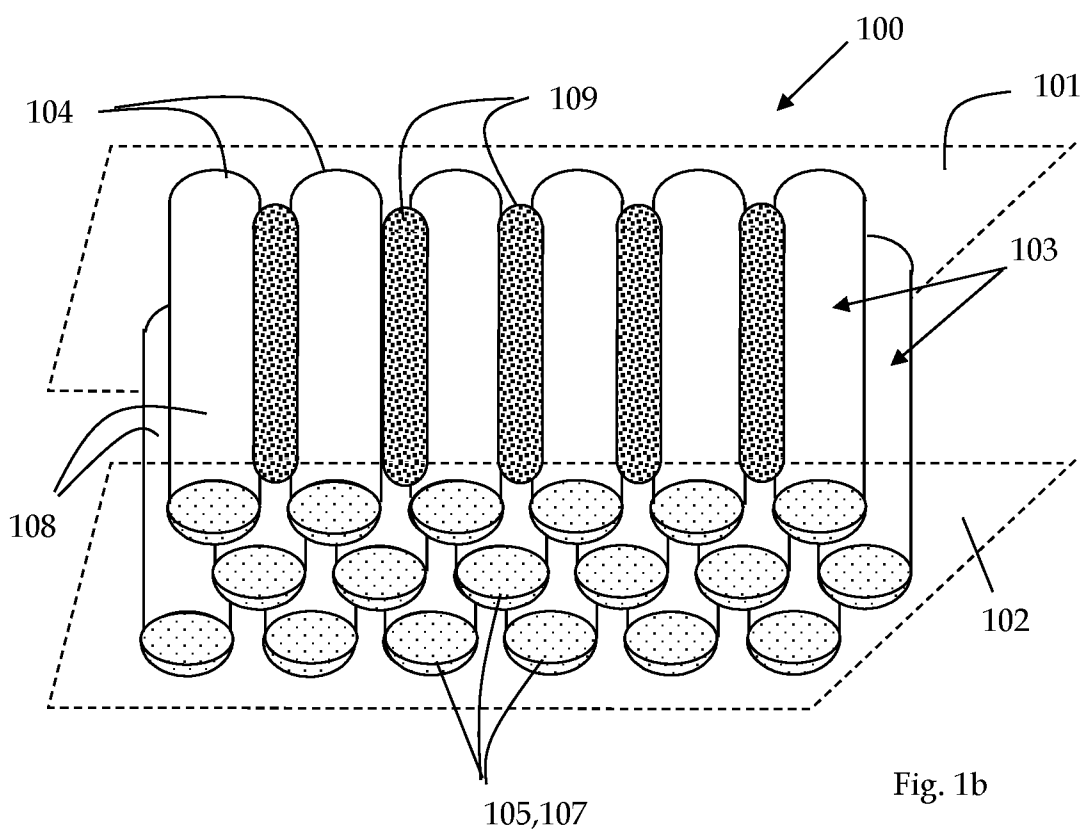
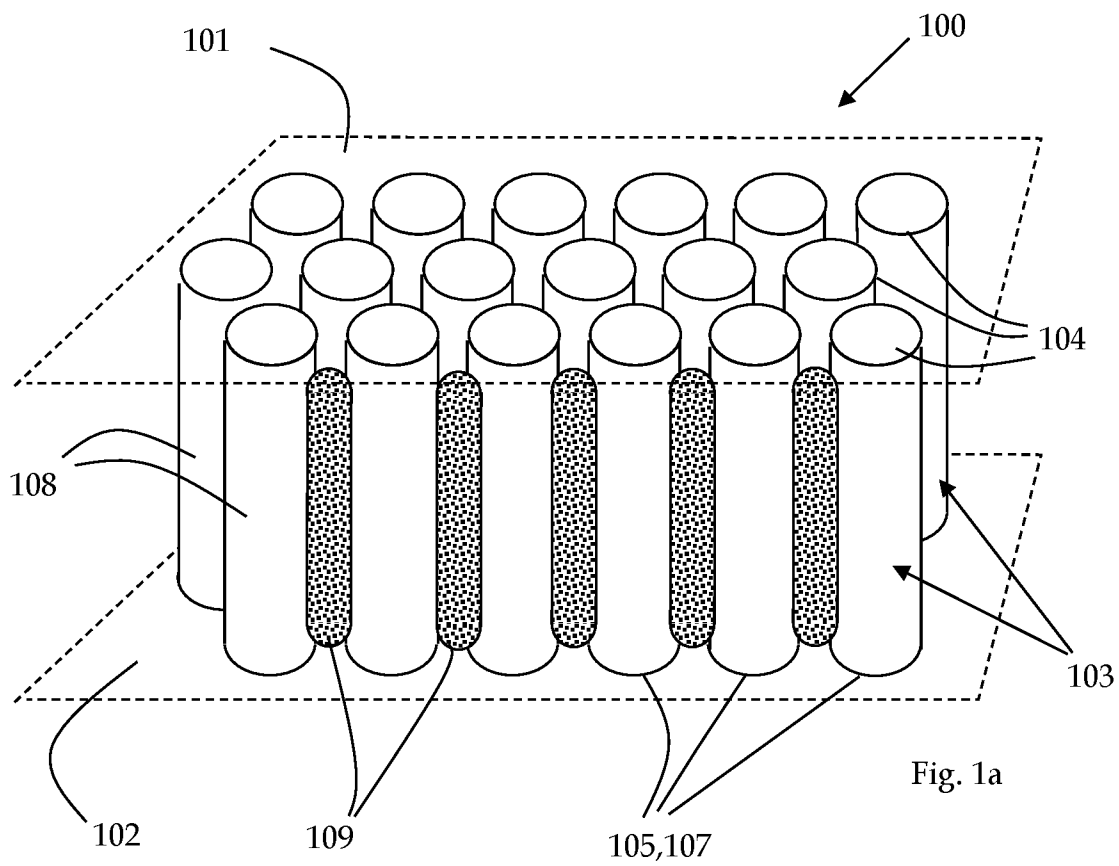
una sorgente di luce diffusa (300) configurata per emettere una luce visibile diffusa avente una seconda temperatura correlata di colore o CCT pari almeno a 1.2 volte, preferibilmente 1.3 volte, più preferibilmente 1.5 volte maggiore della prima CCT, e che comprenda un pannello diffusore (301) che sia

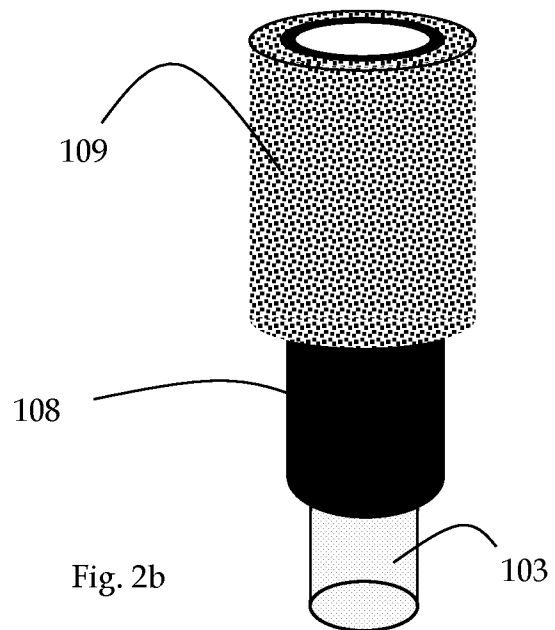
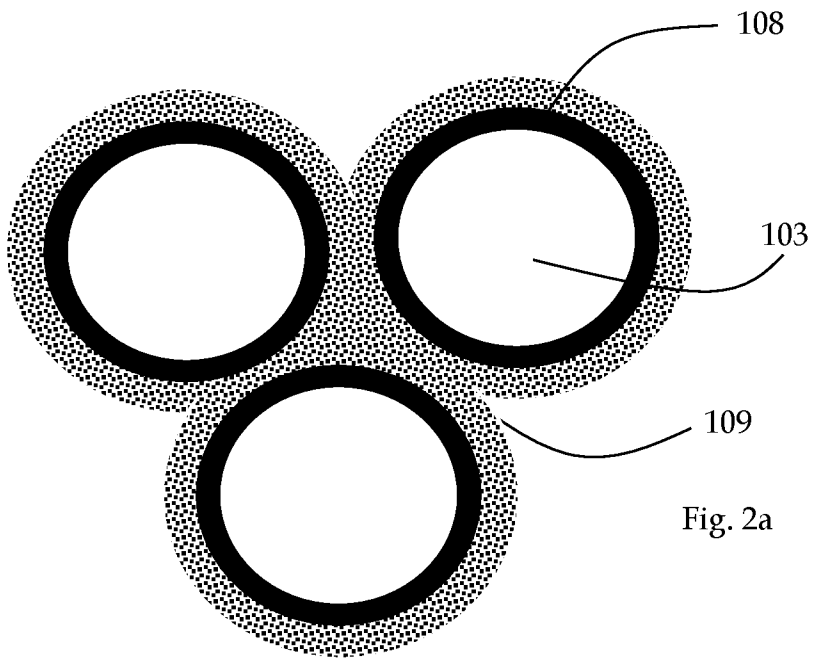
- posizionato a valle del filtro ottico in modo tale da intercettare almeno parzialmente una luce filtrata (130) emessa dalla superficie di uscita del filtro ottico,
- configurato per trasmettere o riflettere parte della luce filtrata (130) emessa dalla superficie di uscita (102) del filtro ottico producendo una luce trasmessa o riflessa (330) il cui profilo angolare di luminanza sostanzialmente coincide con il profilo angolare di luminanza della luce filtrata (130) emessa dalla superficie di uscita del filtro ottico,
- configurato per generare, su una superficie di emissione (302) della luce diffusa, una componente di luce diffusa (303) caratterizzata da una luminanza avente un profilo angolare caratterizzato da una semi-apertura angolare di luce diffusa (304), definita come semi-larghezza del profilo angolare di luminanza ad altezza $1/e^2$, almeno 2 volte, preferibilmente 3 volte, più preferibilmente 4 volte maggiore di una semi-apertura di un cono di accettazione del filtro (120) e/o di una semi-apertura angolare di luce filtrata (130), definita come semi-larghezza del profilo angolare di luminanza ad altezza $1/e^2$ della luce filtrata (130).

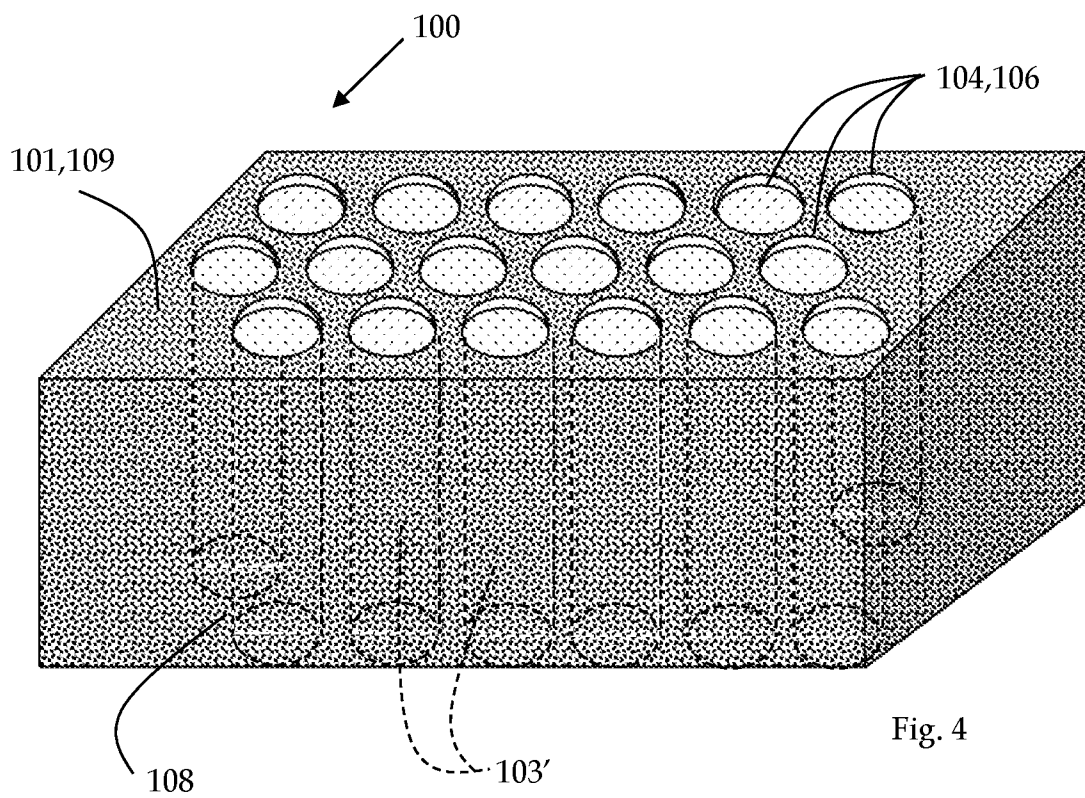
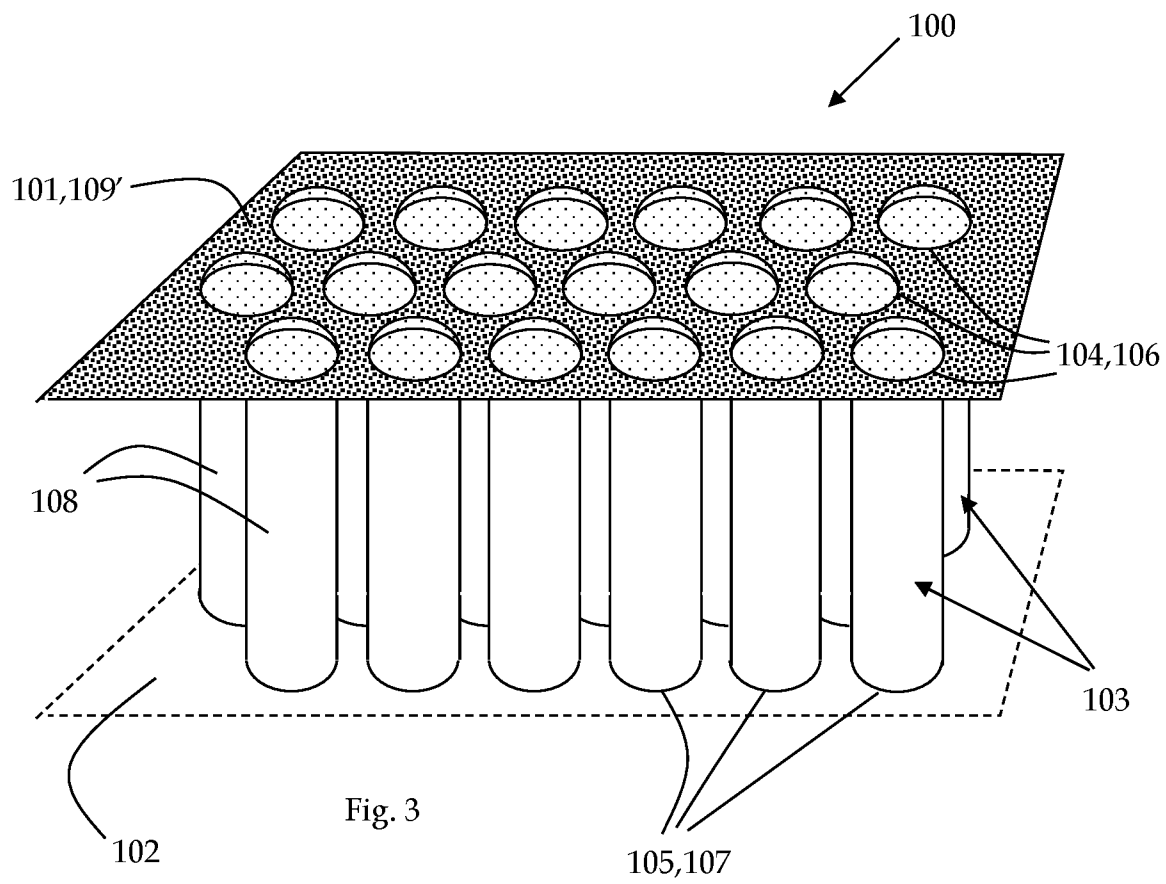
9. Dispositivo d'illuminazione (1000) per riprodurre la luce del cielo e del sole secondo la rivendicazione 8, in cui la semi-apertura angolare di luce diretta (206) è maggiore di 1.5, preferibilmente di 2.5, più preferibilmente di 3 gradi.

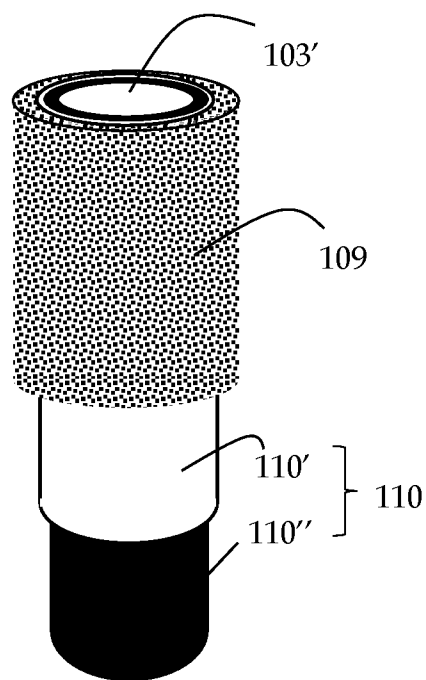
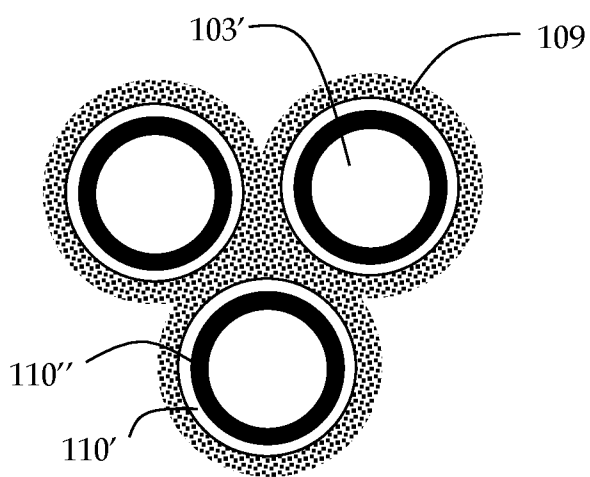
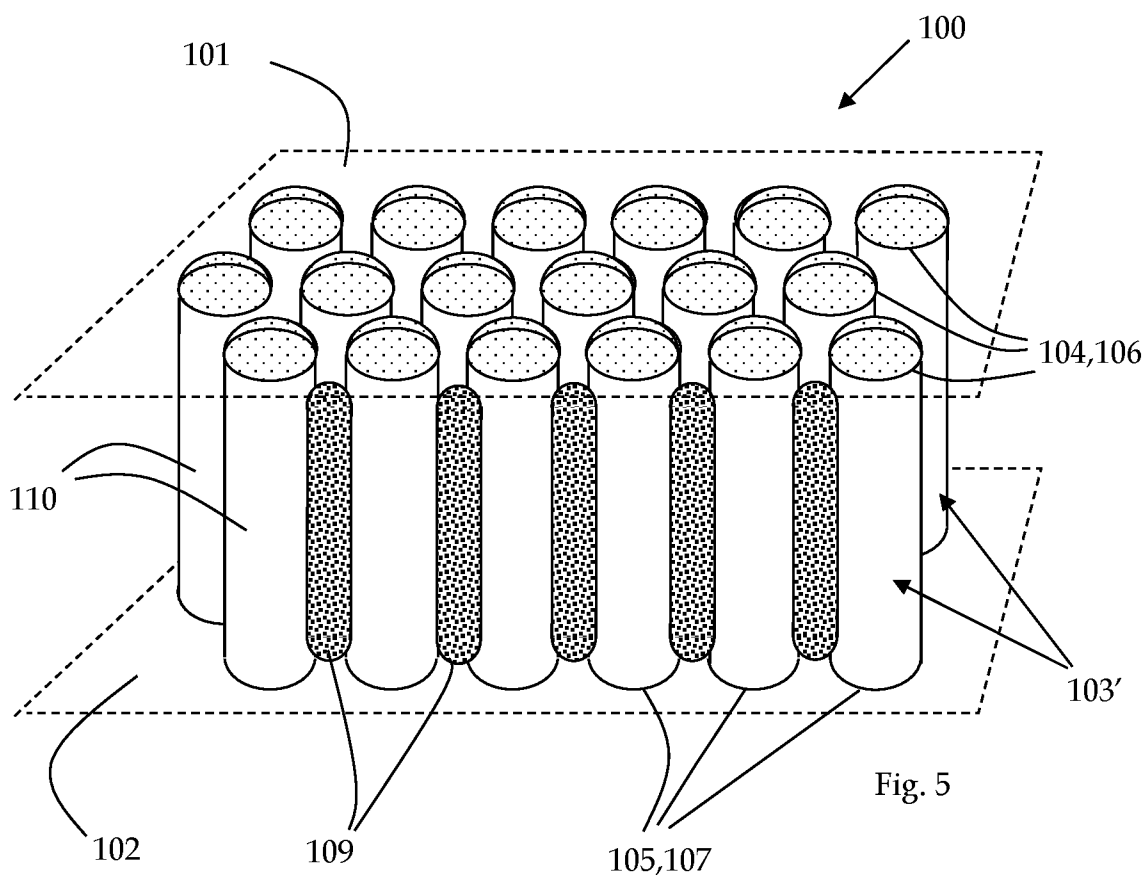
10. Metodo per produrre un filtro ottico (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 8, comprendente le fasi che consistono nel:

- a. produrre almeno una fibra ottica avente
 - i. un'anima in materiale trasparente, quale preferibilmente aria, vetro, quarzo, PMMA, polycarbonato, o altra resina polimerica, l'anima avendo un diametro pari al diametro degli elementi cilindrici (103,103') e
 - ii. un primo rivestimento (108,110) almeno parzialmente realizzato con un primo materiale otticamente assorbente;
- b. ottenere una pluralità di spezzoni dell' almeno una fibra ottica, laddove gli spezzoni hanno una lunghezza sostanzialmente pari alla lunghezza degli elementi cilindrici (103,103'), ciascuno spezzone costituendo un elemento cilindrico (103,103') ricoperto sulla sua superficie laterale da una guaina, da un film, da una vernice o da uno strato di materiale rigido realizzato con il primo materiale otticamente assorbente (108,110);
- c. ottenere almeno una struttura a spezzoni affiancati;
- d. disporre, rispetto alla struttura di spezzoni affiancati, almeno un elemento di materiale otticamente non trasparente (109,109') configurato e disposto rispetto agli spezzoni in modo tale da impedire il passaggio di luce parallelamente agli spezzoni (103,103',108,110) ed esternamente ad essi attraverso interspazi presenti tra spezzoni (103,103',108,110) adiacenti;
e
- e. depositare, incollare, stampare, far crescere o posizionare almeno una pluralità di prime lenti (107), ciascuna affacciata almeno a una faccia d'uscita (105) degli elementi cilindrici (103, 103').









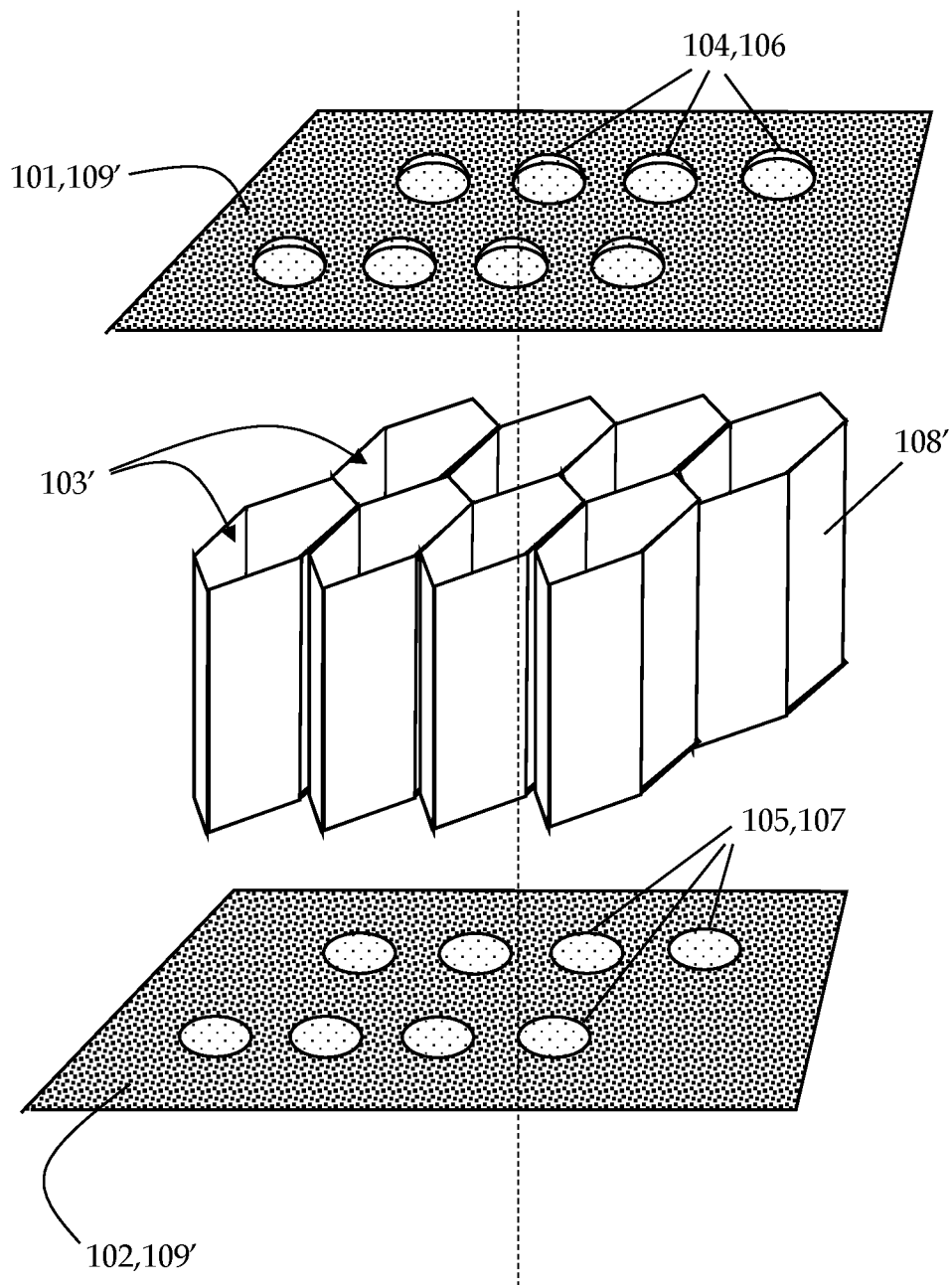


Fig. 6

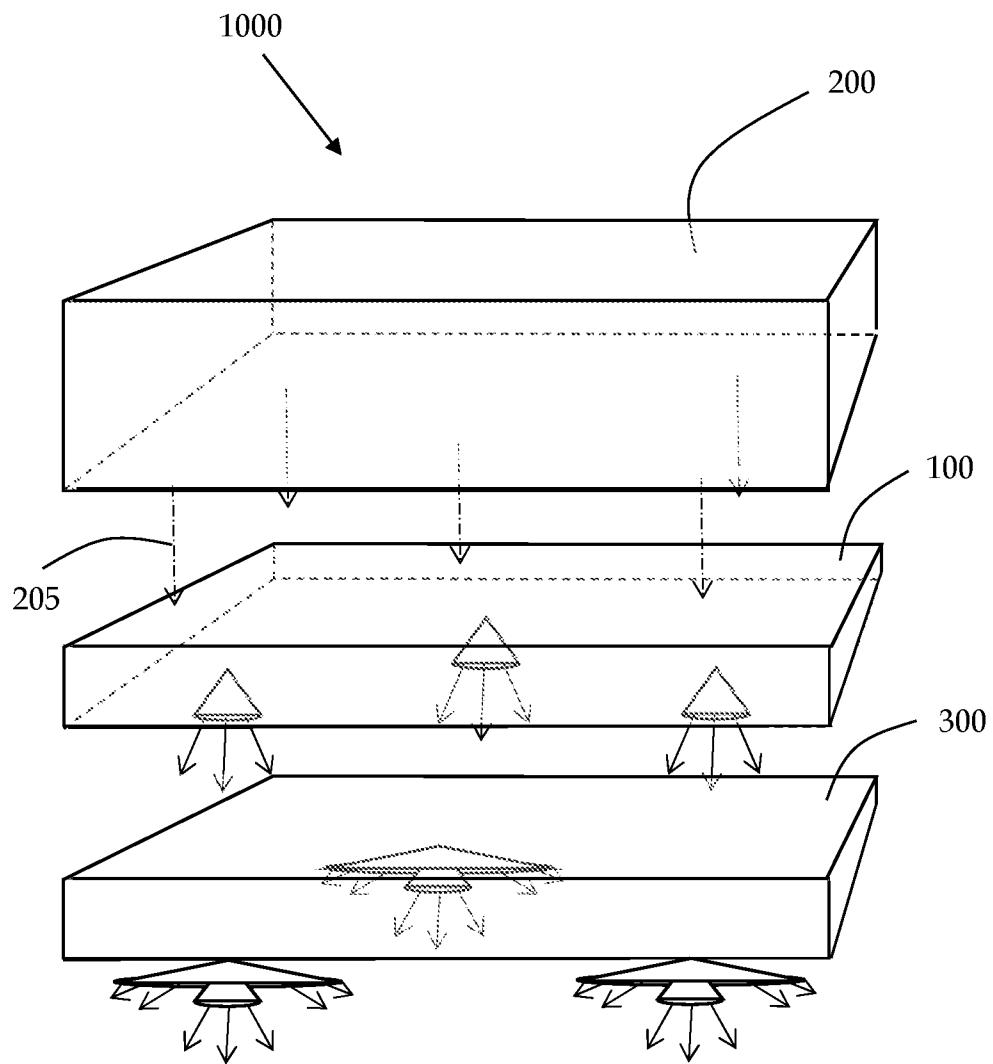


Fig. 7

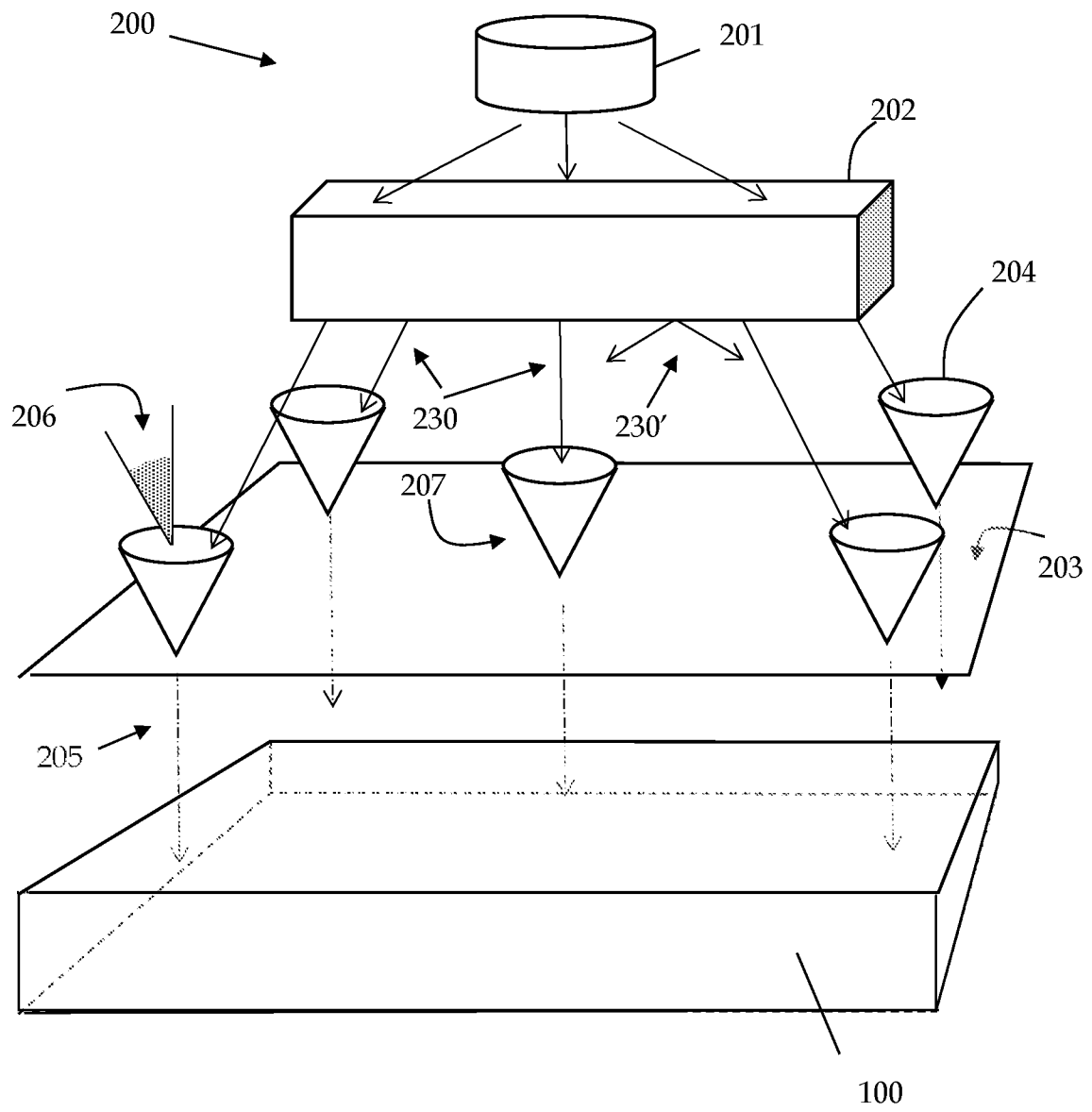


Fig. 8

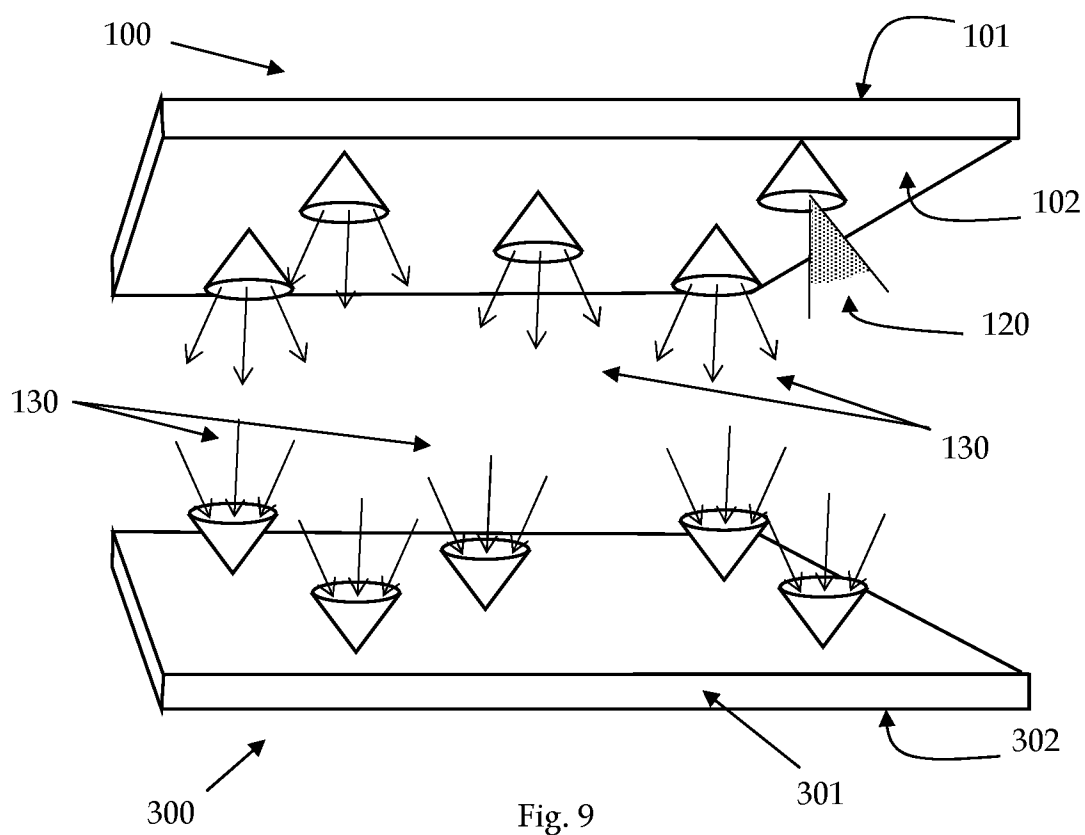


Fig. 9

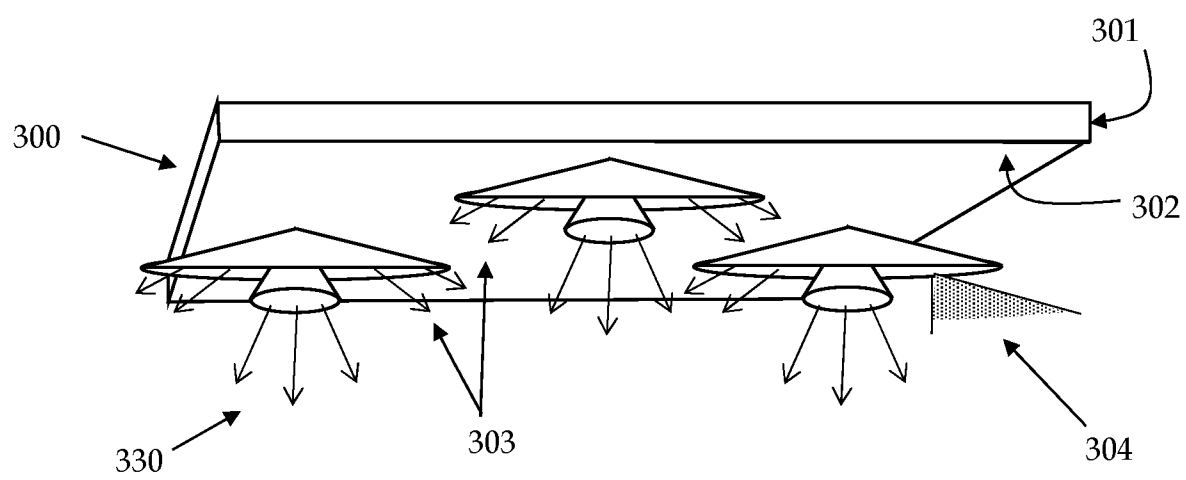


Fig. 10

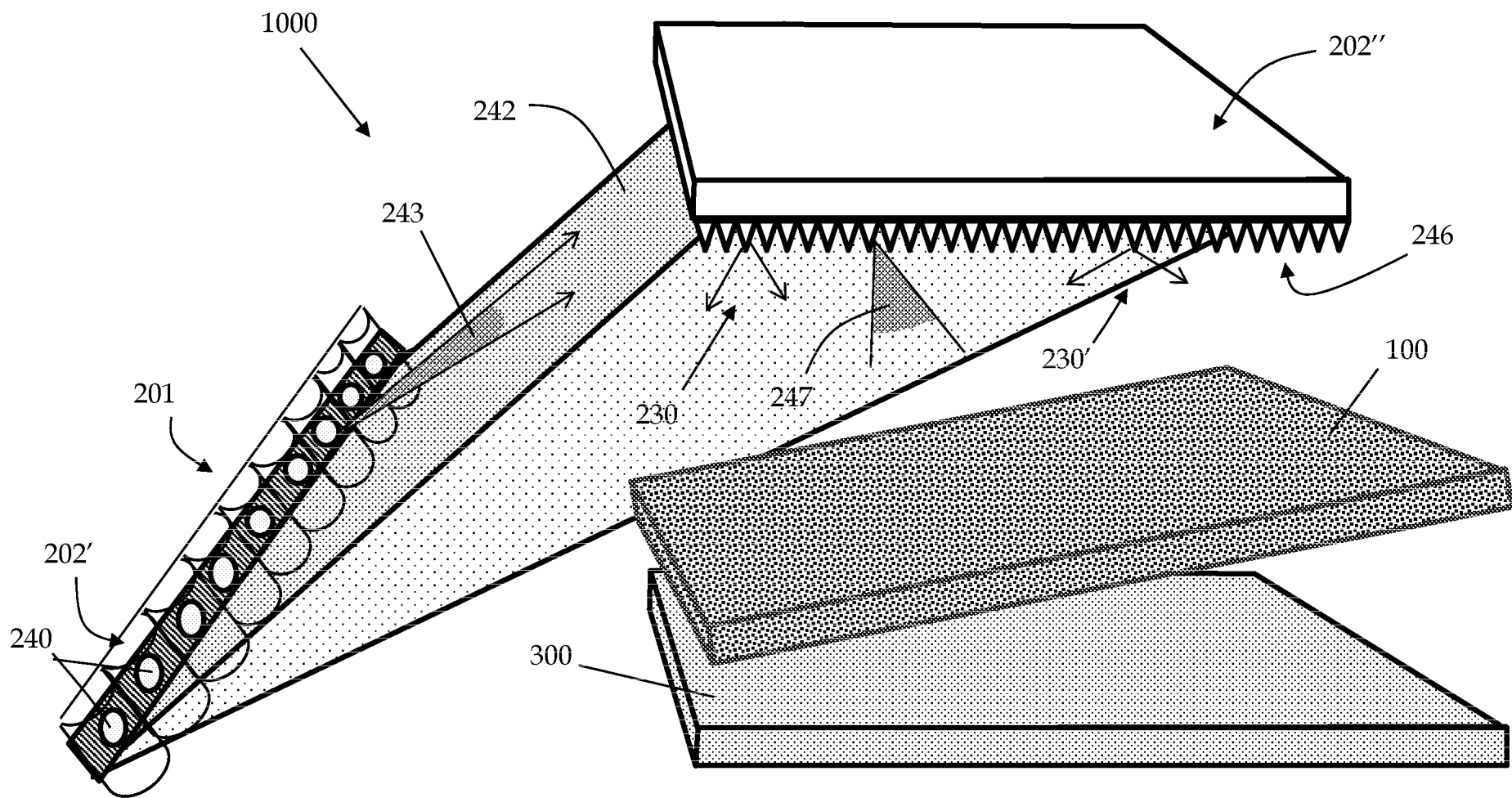


FIG. 11