

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901973736A1

Publication Date

20130223

Applicant

SCUOLA SUPERIORE DI STUDI UNIVERSITARI S.ANNA

Title

STRUTTURA DI TAPPETO SENSORIZZATO

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo
"STRUTTURA DI TAPPETO SENSORIZZATO" a nome Scuola
Superiore di Studi Universitari S.Anna con sede a Pisa.

DESCRIZIONE

5 Ambito dell'invenzione

La presente invenzione riguarda una struttura di
tappeto sensorizzato in grado di rilevare l'azione di
contatto con la pianta del piede di un utilizzatore,
discriminandone intensità della azione tattile e posizione
10 di applicazione dell'azione stessa.

Stato dell'arte

Come noto, per analizzare una posizione statica
eretta di un paziente o ancora per valutare la dinamica
del passo sono utilizzati tappeti sensorizzati in cui
15 vengono monitorate le pressioni plantari nei vari
distretti del piede o le variazioni e le distribuzioni
delle pressioni plantari durante il passo. Una specifica
tipologia di tali tappeti per valutare le pressioni
plantari è nota come pedana o piattaforma di forza.

20 La piattaforma di forza è un tappeto costituito da
una moltitudine di sensori che registrano, al momento del
passaggio del piede, una forza, una superficie ed un tempo
di appoggio. Questi tre fattori permettono di analizzare
l'insieme dei movimenti dell'arto inferiore e di capire
25 l'eventuale origine meccanica dei sintomi descritti dal
paziente.

In alternativa ai tappeti sensorizzati, sono
utilizzate le cosiddette solette sensorizzate, che
consentono di analizzare le pressioni che si esercitano
30 all'interno di una calzatura, registrando dati sulla base

anche di pochi passi fino ad alcune ore di deambulazione. Il paziente è libero di muoversi liberamente in qualsiasi direzione e secondo le proprie abitudini.

5 In particolare, ciascuna soletta sensorizzata è inserita all'interno della calzatura ed è collegata ad una unità elaborativa di raccolta dati allacciata ai fianchi del paziente. Oppure, dove non possibile, l'elettronica può essere agganciata al bacino, alla caviglia, alla gamba, o essere remota e connessa via cavo alla soletta.

10 In particolare, tra le tipologie di sensori utilizzati per le solette si distinguono sensori capacitivi, in cui al variare della pressione varia la capacità (si veda ad esempio W02009089406), sensori resistivi, in cui al variare della pressione varia il
15 valore della resistenza, o sensori ad inchiostro o polimeri che sfruttano le capacità conduttive di inchiostri o polimeri. Le suddette tipologie di sensori necessitano di una taratura periodica in modo da ottenere misure più accurate.

20 Esiste anche la tecnologia a hydrocells, in cui si inseriscono sulla superficie di appoggio del piede cuscinetti contenenti liquido o aria, e si usano sensori piezoresistivi di pressione per determinare la pressione del liquido.

25 Ulteriori sensori utilizzati sono sensori ottici che misurano la variazione di luce emessa da una sorgente verso un elemento sensibile.

I tappeti o le solette sensorizzate si distinguono tra loro oltre che per la tipologia di sensore utilizzato
30 anche per il numero e la distribuzione dei sensori in: tappeti o solette a distribuzione discreta e tappeti o solette a matrice di sensori.

Nella prima tipologia il numero di sensori non

ricopre l'intera area del tappeto o plantare per cui è possibile ricavare solo una informazione relativa alla componente verticale della forza di reazione al suolo nelle aree di interesse, ossia le aree dove sono presenti i sensori.

La suddetta tipologia permette quindi, grazie ad un numero di sensori ridotto, di implementare tutta l'elettronica necessaria al loro funzionamento all'interno del medesimo tappeto o soletta, per cui risulta di comodo e pratico utilizzo, ma non consente di ottenere una rilevazione completa delle pressioni.

Nella seconda tipologia, ossia i tappeti o solette a matrice, come ad esempio quella di W02009089406, è presente un numero molto maggiore di sensori che ricoprono sostanzialmente tutta l'area di contatto. In tal modo, è possibile ottenere informazioni complessive riguardo alla pressione plantare, in particolare: la componente verticale della forza totale di reazione del suolo (*Total ground reaction force*), il centro di pressione (CoP) e la distribuzione delle pressioni plantari su tutta la pianta. Può accadere però che in siffatti tappeti o solette la disposizione a matrice dei sensori, e quindi una disposizione ravvicinata tra loro, coinvolga, per un effetto di vicinanza, sensori limitrofi che non sono direttamente soggetti alla pressione plantare (cross-talk). Ne risulta perciò una misura poco accurata e poco attendibile in quanto coinvolge un numero di sensori diverso rispetto a quelli effettivamente soggetti alla pressione plantare.

In aggiunta, nelle suddette tipologie di tappeti e solette ad alta densità di sensori è necessario prevedere una elettronica separata ed esterna per permettere di elaborare e amplificare i segnali provenienti dai sensori

e di trasmetterli poi ad una unità remota di elaborazione, oltre che ad una batteria atta ad alimentarli. Risulta così che tali tappeti o solette sono esclusivamente utilizzabili in centri specializzati in quanto necessitano
5 di spazi ed apparecchiature dedicate che devono essere assemblate e settate da personale esperto in modo tale da ottenere misurazioni attendibili.

Questo ne pregiudica un utilizzo ad esempio in ambito domestico per scopi terapeutici o altri scopi.

10 È sentita quindi l'esigenza di realizzare un tappeto sensorizzato o soletta che non presenti problemi di taratura dei sensori e che non preveda apparecchiature esterne di elaborazione o alimentazione ed ancora che consenta di ottenere misurazioni precise ed attendibili.

15 In particolare, nel caso della soletta è desiderabile che sia totalmente integrabile nelle calzature e che consenta al contempo di ottenere una mappatura completa dell'intera area plantare.

Sintesi dell'invenzione

20 È quindi scopo della presente invenzione fornire una struttura di tappeto sensorizzato che abbia una elevata densità di sensori e quindi una buona risoluzione spaziale e al contempo non necessiti di dispositivi esterni associati.

25 È altro scopo della presente invenzione fornire una struttura di tappeto sensorizzato che consenta di ottenere misure molto accurate e che non necessiti di operazioni di taratura.

30 È ulteriore scopo della presente invenzione fornire una struttura di tappeto sensorizzato che consenta di essere inserita completamente entro una calzatura in modo tale da poter monitorare condizioni di deambulazione

quotidiane in un paziente.

È ancora scopo della presente invenzione fornire una struttura di tappeto sensorizzato di semplice ed economica produzione.

5 Questi ed altri scopi sono raggiunti da una struttura di tappeto sensorizzato comprendente:

- una base di supporto;
- una pluralità di sensori distribuiti su detta base di supporto atti a generare rispettivi segnali di misura
- 10 quando sono soggetti ad un carico gravante su essi;
- una unità di controllo associata a detta pluralità di sensori atta ad elaborare e/o trasmettere detti segnali di misura;
- una unità di alimentazione atta ad alimentare detta
- 15 pluralità di sensori e detta unità di controllo;

in cui ciascun sensore comprende una cella deformabile con forma scatolare, ed in cui detta pluralità di sensori è disposta su detta base di supporto in modo che dette celle siano adiacenti l'una rispetto all'altra,

20 ciascuna di dette celle comprendendo:

- una parete di base fissata a detta base di supporto, una parete di appoggio, opposta a detta parete di base, atta a ricevere detto carico, e una pluralità di pareti laterali deformabili disposte tra detta
- 25 parete di base e detta parete di appoggio che definiscono uno spazio di alloggiamento;
- almeno un emettitore di una sorgente luminosa ed almeno un rilevatore fotosensibile disposti in detto spazio di alloggiamento, detto rilevatore
- 30 fotosensibile essendo atto a misurare una variazione di intensità luminosa emessa da detto emettitore dovuta alla deformazione di ciascuna cella quando è soggetta a detto carico,

- in cui dette celle sono separate tra loro da un predeterminato spazio di separazione detto tale che, quando detta parete di appoggio di ciascuna cella è soggetta a detto carico, dette pareti laterali si
5 deformano comprimendosi verso detta parete di base ed espandendosi lateralmente, occupando uno spazio di deformazione inferiore a detto spazio di separazione, in modo che celle adiacenti non si tocchino tra loro.

In tal modo, ciascuna cella restituisce un segnale
10 di misura del carico su esso gravante senza che vi siano fenomeni di cross-talk tra celle adiacenti. Infatti, solo le celle soggette al carico generano un corrispettivo segnale di misura e non risultano coinvolte celle adiacenti, in quanto la deformazione delle pareti laterali
15 di ciascuna cella è inferiore rispetto allo spazio compreso tra le celle stesse. In altre parole, le celle non direttamente soggette al carico non vengono coinvolte, per la stessa azione di deformazione o "spanciamento" delle celle soggette al carico, e non producono quindi un
20 corrispettivo segnale di misura. Viene così assicurata una misura più accurata delle pressioni generate dalla pianta del piede durante la deambulazione o durante il mantenimento di una posizione statica eretta.

In aggiunta, le celle con forma scatolare
25 costituiscono un array di smorzatori elastici consentendo un effetto ammortizzante, senza quindi dover aggiungere ulteriori strati ammortizzanti sopra la soletta.

Vantaggiosamente, ciascuna cella comprende una cornice perimetrale, in materiale elastico, in modo tale
30 da definire detto spazio di alloggiamento dove sono disposti detto emettitore e detto rilevatore fotosensibile, detta cornice perimetrale essendo adatta a contenere elementi elettronici, ad esempio per

acquisizione/condizionamento.

La cornice perimetrale circonda lo spazio di alloggiamento in cui sono predisposti l'emettitore e il rilevatore ed è una zona disponibile in cui è possibile
5 disporre in maniera distribuita elementi elettronici. Infatti, per la presenza delle pareti laterali e del loro spessore, le aree interne al sensore sono circondate, in pianta, dalla cornice perimetrale non interessata dall'area occupata dall'emettitore e dal rilevatore. Tale
10 cornice fornisce una zona disponibile in cui è possibile disporre elementi elettronici, ad esempio per acquisizione/condizionamento, in maniera distribuita.

In particolare, ciascun cella comprende una parte 'vuota', che rappresenta detto spazio di alloggiamento in
15 cui alloggiano detto emettitore luminoso e detto rilevatore fotosensibile, una parte 'piena' di materiale elastico, in particolare siliconico, collegata a detta base di supporto. Le parti piene costituiscono, in pianta, una sorta di 'matrice di cornici'. Tutta quest'area può
20 essere utilizzata vantaggiosamente per alloggiare in modo distribuito componenti elettroniche utili ad esempio al condizionamento o alla trasmissione dei dati acquisiti.

Vantaggiosamente, detta parete di base è aperta e l'emettitore e il rilevatore sono connessi direttamente a
25 detta base di supporto, che può preferibilmente essere uno strato a semiconduttore. In tal modo, ciascuna cella rappresenta un guscio elastico a campana che definisce lo spazio di alloggiamento e che si accoppia sulla base di supporto.

30 In alternativa, ciascuna cella comprende una base chiusa e forma un contenitore chiuso al cui interno è presente l'emettitore e il rilevatore. Anche in tal caso, ciascuna cella è poi disposta sulla base di supporto in

modo da formare la superficie di appoggio sensorizzata.

Vantaggiosamente, dette celle hanno una forma tronco piramidale, in particolare una forma tronco piramidale a base quadrata o rettangolare. In particolare, 5 dette celle sono unite alla base, e hanno pareti laterali oblique che terminano su detta parete di appoggio.

In tal modo, la struttura troncopiramidale risulta rigida se soggetta a carichi tangenziali gravanti sulle pareti laterali, e deformabile se soggetta a carichi 10 normali gravanti sulla parete di appoggio. Una siffatta forma consente quindi di ridurre al minimo l'effetto espansivo delle pareti laterali, per cui risulta possibile disporre sulla base di supporto un numero maggiore di sensori ravvicinati tra loro migliorando notevolmente la 15 risoluzione del tappeto sensorizzato.

Inoltre, la struttura troncopiramidale in combinazione con i sensori ottici permette che i segnali di misura abbiano un sufficiente range/escursione di output da essere direttamente trasmessi ed analizzati 20 dalla unità di controllo.

Vantaggiosamente, detto comprende celle di forma troncopiramidale, in particolare ciascuna cella troncopiramidale presenta una porzione a gradino tale che in corrispondenza di detta porzione a gradino, dette celle 25 troncopiramidali siano sostanzialmente contigue e in corrispondenza di detta parete di appoggio dette celle troncopiramidali siano distanziate da detto spazio di separazione.

Inoltre, la porzione a gradino definisce uno spazio 30 di separazione minimo $S_{\min}$ in corrispondenza della porzione a gradino, ed uno spazio di separazione massimo $S_{\max}$ in corrispondenza della parete di supporto.

In tal caso, la distanza predeterminata di

separazione S tra celle adiacenti cresce in altezza, tra una valore minimo ed un valore massimo, in modo che in corrispondenza della porzione a gradino dei tronchi di piramide, le celle siano sostanzialmente contigue e alla base minore le celle siano distanziate. In tal modo, lo

5 spanciamento delle celle tronco piramidali avviene nella zona intermedia dei tronchi di piramide, senza che vi sia comunque contatto significativo tra le pareti laterali dei tronchi di piramide.

10 In particolare, ciascuna di dette celle comprende:
 un emettitore di una sorgente luminosa;
 un rilevatore fotosensibile disposto da parte opposta rispetto a detto emettitore;
 un elemento di separazione disposto tra detto

15 emettitore luminoso e detto rilevatore fotosensibile atto a passare da una configurazione di riposo, in cui detta cella non è soggetta a detto carico e tutta la luce emessa da detto emettitore è captata da detto rilevatore fotosensibile, ad una configurazione di carico, in cui

20 detto elemento di separazione si abbassa proporzionalmente a detto carico e si interpone tra detta emettitore luminoso e detto rilevatore fotosensibile consentendo di mascherare parzialmente la luce captata da detto rilevatore fotosensibile. In tal modo, l'elemento

25 separatore permette al sensore di essere estremamente poco sensibile a deformazioni tangenziali allineate all'elemento stesso.

 Inoltre, la combinazione tra il sensore ottico composto dall'emettitore di una sorgente luminosa con il

30 rilevatore fotosensibile e la struttura piramidale della cella con elemento di separazione, permettono di ottenere in uscita segnali di misura già di per se con un sufficiente range/escursione di output da essere

direttamente trasmessi ed analizzati. In particolare, il segnale di uscita possiede un ampio range dinamico (escursione massima), di conseguenza l'elettronica da utilizzare per trattare il segnale risulta semplificata.

5 In parole tal modo, l'elettronica montata a bordo del tappeto è ridotta al minimo per cui può essere del tutto intergrata nel tappeto sensorizzato.

Questa combinazione di struttura della cella 20 e sensori genera output molto ampi, di conseguenza la

10 sensibilità del sensore a condizioni ambientali (temperatura, umidità, drift temporali) è minimo. In tal modo, il sensore non richiede ri-calibrazioni successive al primo utilizzo.

In particolare, l'orientamento di detto elemento di

15 separazione è coincidente con la direzione in cui sono dirette la maggior parte delle forze tangenziali. Nel caso, dell'analisi del cammino, lungo la direzione dello stesso. In tal modo, il sensore è sostanzialmente insensibile a forze tangenziali lungo la direzione del

20 cammino sviluppate tra il piede e la suola.

In alternativa, ciascuna cella comprende in detto spazio di alloggiamento N emettitori ed M ricevitori corredati di K elementi di separazione. In tal caso, è possibile discriminare in modo più accurato la forza

25 normale anche in presenza di forza tangenziale, e determinare anche la forza tangenziale.

In una particolare forma realizzativa, detto tappeto sensorizzato è una soletta sensorizzata atta ad essere introdotta all'interno di una calzatura per monitorare le

30 pressioni sviluppate dalla pianta del piede di un utilizzatore.

Vantaggiosamente, detta soletta sensorizzata comprende una sede di alloggiamento in corrispondenza

dell'arco plantare per detta unità di controllo e detta unità di alimentazione. In tal modo, la sede di alloggiamento ricavata in corrispondenza dell'arco plantare, ha il vantaggio di sfruttare un'area non
5 soggetta a pressioni plantari (in soggetti sani). In questa area è possibile quindi integrare tutta l'elettronica di acquisizione e alimentazione in modo da ottenere una soletta con elettronica a bordo.

In particolare, detta unità di controllo comprende
10 mezzi di trasmissione dei segnali di misura rilevati da detti sensori verso una unità remota, ad esempio un trasmettitore bluetooth. Quest'ultimo è inserito nella sede di alloggiamento dell'arco plantare, in particolare in posizione ortogonale rispetto alla soletta.

15 In particolare, è previsto uno strato di copertura che comprende detta pluralità di celle atto ad accoppiarsi con detta base di supporto in cui sono predisposti detti sensori. Preferibilmente, detto strato di copertura può essere realizzato in materiale elastico. In particolare,
20 il materiale elastico può essere scelto tra:

- materiale viscoelastico, in particolare silicone;
- materiale plastico;
- gomma sintetica;
- gomma naturale;

25 o, una loro combinazione.

In tal modo, il materiale elastico presenta vantaggio di essere morbido ed ergonomico, e di avere effetto ammortizzante. Inoltre, l'effetto ergonomico non è
30 ottenuto inserendo ulteriori strati esterni sovrapposti al sensore, come per le solette di tecnica nota, ma dalla stessa struttura a cella dei sensori, che è già di per sé ergonomica e morbida, per effetto della forma scatolare di ogni cella in combinazione con il materiale elastico

utilizzato.

Vantaggiosamente, detto strato di copertura di dette celle è una copertura schermante di colore scuro in particolare nero in modo da impedire che la luce esterna
5 disturbi il dispositivo o che la radiazione interna si disperda nell'ambiente.

Secondo un altro aspetto dell'invenzione un metodo per rilevare un carico agente su una superficie, comprendente la fasi di:

- 10 - predisporre una base di supporto;
- predisporre in modo distribuito su detta base di supporto una pluralità di sensori atti a generare rispettivi segnali di misura quando sono soggetti a detto carico gravante su essi, in cui ciascun sensore
15 comprende una cella deformabile con forma scatolare, ciascuna di dette celle comprendendo:
 - una parete di base fissata a detta base di supporto, una parete di appoggio opposta a detta parete di base e atta a ricevere detto carico, e
20 una pluralità di pareti laterali deformabili disposte tra detta base e detta parete di appoggio che definiscono uno spazio di alloggiamento;
 - almeno un emettitore di una sorgente luminosa ed
25 almeno un rilevatore fotosensibile disposti in detto spazio di alloggiamento,
 - ed in cui detta pluralità di sensori è disposta su detta base di supporto in modo che dette celle siano adiacenti l'una rispetto all'altra e separate tra
30 loro da un predeterminato spazio di separazione,
 - misurare mediante ciascun rilevatore fotosensibile di ciascuna cella una variazione della intensità luminosa emessa da un rispettivo emettitore di detta

cella dovuta alla deformazione di detta cella quando è soggetta a detto carico,

in cui detto spazio di separazione tra due celle adiacenti è tale che, quando detta parete di appoggio di ciascuna cella è soggetta a detto carico, dette pareti laterali si deformano comprimendosi verso detta parete di base ed espandendosi lateralmente occupando uno spazio di deformazione inferiore a detto spazio di separazione, in modo che celle adiacenti non si tocchino tra loro.

10 Breve descrizione dei disegni

L'invenzione verrà di seguito illustrata con la descrizione che segue di una sua forma realizzativa, fatta a titolo esemplificativo e non limitativo, con riferimento ai disegni annessi in cui:

- 15 - la figura 1 mostra una vista prospettica di un tappeto sensorizzato secondo l'invenzione, dotato di una matrice di celle sensorizzate;
- la figura 2 mostra una vista schematica in sezione di una cella sensorizzata dotata di un emettitore di una sorgente luminosa e di un rilevatore oltre che di un
20 elemento di separazione atto a schermare la luce emessa in funzione del carico che agisce sulla cella;
- la figura 3 mostra una vista schematica in sezione di una coppia di celle adiacenti tra loro di forma troncoconica, separate da un spazio di separazione,
25 che confronta il comportamento di una cella quando è soggetta ad un carico ed evidenzia che la deformazione delle pareti laterali non crea effetto di cross-talk con una cella adiacente;
- 30 - la figura 4 mostra una vista prospettica schematica di una soletta sensorizzata comprendente le celle sensorizzate di figura 2, composta da una base di supporto accoppiato ad una cover in materiale elastico

con una matrice di celle deformabili atte a definire una superficie di appoggio per il piede di un utilizzatore;

- la figura 5 mostra schematicamente la base di supporto a semiconduttori composto da una pluralità di settori e dotato di uno spazio di alloggiamento in corrispondenza dell'arco plantare per la predisposizione dell'elettronica;
- la figura 5A mostra schematicamente la base di supporto a semiconduttori di figura 5, in cui sono montati una pluralità di emettitori e ricevitori su ciascun settore e in cui è predisposta una scheda elettronica di controllo e alimentazione dei sensori;
- la figura 6 mostra una vista dall'alto di una soletta sensorizzata predisposta all'interno di una calzatura che evidenzia la pluralità di celle sensorizzate adiacenti tra loro che ricoprono l'intera area di appoggio del piede.

Descrizione delle forme di realizzazione preferite.

In figura 1 è illustrata schematicamente una struttura di tappeto sensorizzato 100 comprendente una base di supporto 1 in cui sono disposti una pluralità di sensori 10, atti a generare corrispettivi segnali di misura quando sono soggetti ad un carico P gravante su essi (Fig.2).

La struttura di tappeto 100 comprende inoltre una unità di controllo 30 associata alla pluralità di sensori 10 e atta ad elaborare e/o trasmettere i segnali di misura ed una unità di alimentazione 40 atta ad alimentare la pluralità di sensori 10 e l'unità di controllo 30.

In particolare, come mostrato nell'ingrandimento di figura 2, ciascun sensore 10 comprende una cella

deformabile 20 con forma scatolare ed in cui la pluralità di sensori 10 è disposta sulla base di supporto 1 in modo che le celle 20 siano adiacenti l'una rispetto all'altra e separate da un predeterminato spazio di separazione S (Fig.3).

Più in particolare, ciascuna delle celle 20 comprende una parete di base 21 fissata alla base di supporto 1 e una parete di appoggio 22 opposta alla parete di base e atta a ricevere il carico P. Inoltre, la cella 10 comprende una pluralità di pareti laterali 23 che, insieme alla parete di base 21 e alla parete di appoggio 22 definiscono uno spazio di alloggiamento 25 in cui alloggia almeno un emettitore 12 di una sorgente luminosa ed almeno un rilevatore fotosensibile 14 atto a misurare una 15 variazione di intensità luminosa dovuta alla deformazione di ciascuna cella 20 quando è soggetta al carico P.

In tal modo, come mostrato in figura 3, quando la parete di appoggio 22 di ciascuna cella 20 è soggetta al carico P, le pareti laterali 23 si deformano comprimendosi 20 verso la parete di base 21 ed espandendosi lateralmente, in modo tale da occupare uno spazio di deformazione D inferiore allo spazio di separazione S. In particolare, nella figura 3, è rappresentato un confronto tra una cella 20' soggetta al carico P ed una cella non soggetta al 25 carico 20. La forma delle celle è tale che le pareti laterali 23 subiscano una espansione, evidenziata con tratto discontinuo, rispetto ad una configurazione di riposo tale da non occupare lo spazio di separazione S e quindi deformare per effetto di cross-talk anche la cella 30 adiacente. In tal modo, è assicurata una misura più accurata delle pressioni generate dalla pianta del piede durante la deambulazione o durante il mantenimento di una posizione statica eretta. Questo è dovuto al fatto che le

sole celle soggette ad un carico generano un corrispettivo segnale di misura 15 e non risultano coinvolte celle adiacenti, in quanto la deformazione D delle pareti laterali 23 di ciascuna cella è inferiore rispetto allo spazio di separazione S compreso tra le celle 20,20' stesse. In altre parole, le celle non direttamente soggette al carico P non vengono coinvolte per la stessa azione di deformazione delle celle soggette al carico e non producono quindi un corrispettivo segnale di misura. In aggiunta, le celle con forma scatolare costituiscono un array di smorzatori elastici consentendo un effetto ammortizzante, senza quindi dover aggiungere ulteriori strati ammortizzanti sopra la soletta.

In particolare, ciascuna cella 20 comprende una cornice perimetrale 26, in materiale elastico, che definisce lo spazio di alloggiamento 25 dove sono disposti l'emettitore 12 e il rilevatore 14 fotosensibile. La cornice perimetrale 26 è adatta a contenere elementi elettronici, ad esempio per acquisizione/condizionamento.

Più in particolare, una siffatta conformazione delle celle fa sì che, per la presenza delle pareti laterali 23 e del loro spessore, le aree interne 25 al sensore 10 sono circondate, in pianta, dalla cornice perimetrale 26 (Fig.2) non interessata dall'area occupata dall'emettitore 12 e dal rilevatore 14. In particolare, ciascun cella 20 comprende una parte 'vuota' 25, che rappresenta lo spazio di alloggiamento e una parte 'piena' 26 di materiale elastico, in particolare siliconico, incollata alla base di supporto 1. Le parti piene 26 costituiscono, in pianta, una sorta di 'matrice di cornici'. Tutta quest'area può essere utilizzata vantaggiosamente, come sopradetto, per alloggiare in modo distribuito componenti elettroniche utili ad esempio al condizionamento o alla trasmissione

dei dati acquisiti di misura.

Più in particolare, come mostrato nella figura 2 e 3, ciascuna cella deformabile 20 ha forma tronco piramidale, in particolare una forma tronco piramidale a base quadrata o rettangolare. Una siffatta forma consente di ridurre al minimo l'effetto espansivo delle pareti laterali 23, per cui risulta possibile disporre sulla base di supporto 1 un numero maggiore di sensori ravvicinati tra loro migliorando notevolmente la risoluzione del tappeto sensorizzato. Inoltre, la struttura troncopiramidale in sé è molto rigida a carichi tangenziali e poco rigida a carichi normali. Di conseguenza la sola struttura permette di avere ampie deformazioni ai carichi normali di interesse, e basse ai carichi tangenziali.

La struttura di tappeto 100 è "tassellata" mediante celle 20 di forma troncopiramidale, ciascuna cella 20 presenta una porzione a gradino 24 che consente di ottenere uno spazio di separazione minimo $S_{\min}$ alla base di ciascuna cella, in modo che la deformazione della cella adiacente occupi tale spazio non coinvolgendo la cella adiacente. In tal modo, la distanza predeterminata di separazione S tra celle adiacenti cresce in altezza, tra una valore $S_{\min}$ ed una valore $S_{\max}$, in modo che in corrispondenza della porzione a gradino 24, dei tronchi di piramide le celle siano sostanzialmente contigue e alla base minore 22 le celle siano distanziate (Fig.3). In tal modo, lo spanciamento delle celle troncopiramidali avviene nella zona intermedia dei tronchi di piramide, senza che vi sia comunque contatto significativo tra le pareti laterali 23 dei tronchi di piramide.

In particolare, ciascuna cella 20 comprende un solo emettitore di una sorgente luminosa 12 ed un rispettivo

rilevatore fotosensibile 14 disposti da parte opposta l'uno rispetto all'altro. Tra questi è interposto un elemento di separazione 13, ricavato nella cornice 26, atto a passare da una configurazione di riposo A, in cui
5 consente al rilevatore 14 di captare tutta la radiazione luminosa emessa dalla sorgente 12, ad una configurazione di carico B (Fig.3), in cui l'elemento di separazione 13 abbassandosi proporzionalmente al carico P si interpone tra la sorgente 12 e il rilevatore 14 consentendo di
10 ottenere una variazione di intensità luminosa proporzionale al carico P. In tal modo, l'elemento separatore 13 permette al sensore di essere estremamente poco sensibile a deformazioni tangenziali allineate all'elemento stesso.

15 La combinazione tra il sensore ottico composto dall'emettitore di una sorgente luminosa 12 con il rilevatore fotosensibile 14 e la struttura piramidale della cella 20 con elemento di separazione 13, permettono di ottenere in uscita segnali di misura già di per se con
20 un sufficiente range/escursione di output da essere direttamente trasmessi ed analizzati. In particolare, il segnale di uscita possiede un ampio range dinamico (escursione massima), di conseguenza l'elettronica da utilizzare per trattare il segnale risulta semplificata.
25 In tal modo, l'elettronica montata a bordo del tappeto è ridotta al minimo per cui può essere del tutto intergrata nel tappeto sensorizzato.

Inoltre, la combinazione della struttura a cella 20 e dei sensori ottici che genera output molto ampi, fa sì
30 che la sensibilità del sensore a condizioni ambientali (temperatura, umidità, drift temporali) risulta minima. In tal modo, il sensore non richiede ri-calibrazioni successive al primo utilizzo. Ciò rende possibile il fare

acquisizioni in ambienti ecologici (domestico, o altri) per lunghi periodi di tempo senza l'ausilio di operatori e macchinari specializzati.

5 In particolare, l'orientamento dell'elemento di separazione 13 è coincidente con la direzione in cui sono dirette la maggior parte delle forze tangenziali. Nel caso, dell'analisi del cammino, lungo la direzione dello stesso. In tal modo, il sensore è sostanzialmente insensibile a forze tangenziali lungo la direzione del
10 cammino sviluppate tra il piede e la suola.

In alternativa, ciascuna cella comprende nello spazio di alloggiamento 25, N emettitori 12 ed M ricevitori 14 corredati di K elementi di separazione 13. In tal caso, è possibile discriminare in modo più accurato
15 la forza normale anche in presenza di forza tangenziale, e determinare anche la forza tangenziale.

In una particolare forma realizzativa, mostrata in figura 4, il tappeto sensorizzato è una soletta sensorizzata 100' atta ad essere introdotta all'interno di
20 una calzatura 150 (Fig.6) per monitorare le pressioni sviluppate dalla pianta del piede di un utilizzatore.

Dal punto di vista costruttivo, la soletta sensorizzata 100' comprende la base di supporto 1 a semiconduttori, mostrato in figura 5, ad esempio
25 realizzato per stampaggio, che comprende una pluralità di settori 10' in cui sono predisposti rispettivi emettitori 12 e ricevitori 14 (Fig.5A) che si accoppia con uno strato di copertura 1a in cui sono stampate una pluralità di celle 20 a con la parete di base 21 aperta in modo che
30 ciascuna cella definisca un guscio elastico a campana che si accoppia sulla base di supporto 1. In tal caso quindi, come mostrato in figura 6, l'emettitore 12 e il rilevatore 14 sono connessi direttamente alla base di supporto 1.

In alternativa, ciascuna cella 20 comprende una base chiusa che forma un contenitore chiuso al cui interno è presente l'emettitore 12 e il rilevatore 14. Anche in tal caso, ciascuna cella 20 è poi disposta sulla base di supporto 1 in modo da formare la superficie di appoggio tassellata.

Inoltre, la base di supporto 1 e lo strato di copertura 1a comprendono una sede di alloggiamento 110 in corrispondenza dell'arco plantare per l'unità di controllo 30 e l'unità di alimentazione 40 (Fig.5). Quest'ultimo può essere sfruttato per inserire mezzi di trasmissione 50 dei dati verso una unità remota, ad esempio un elemento trasmettitore bluetooth, associati all'unità di controllo 30. In tal modo, la sede di alloggiamento 110 ricavata in corrispondenza dell'arco plantare, ha il vantaggio di sfruttare un'area non soggetta a pressioni plantari (in soggetti sani). In questa area è possibile quindi integrare tutta l'elettronica di acquisizione e alimentazione in modo da ottenere una soletta con elettronica a bordo. L'elemento di trasmissione 50 è vantaggiosamente posizionato in modo ortogonale rispetto alla soletta (Fig.5A) in modo da sfruttare il volume libero sotto la parte interna dell'arco plantare.

In particolare, lo strato di copertura 1a è realizzato in materiale elastico. In particolare, il materiale elastico può essere scelto tra materiale viscoelastico, in particolare silicone, materiale plastico, gomma sintetica, gomma naturale o una loro combinazione. In tal modo, il materiale elastico presenta vantaggio di essere morbido ed ergonomico, e di avere effetto ammortizzante. Inoltre, l'effetto ergonomico non è ottenuto inserendo ulteriori strati esterni sovrapposti al sensore, come per le solette di tecnica nota, ma dalla

stessa struttura a cella dei sensori, che è già di per sé ergonomica e morbida, per effetto della forma scatolare di ogni cella in combinazione con il materiale elastico utilizzato.

5 Lo strato di copertura 1a è una copertura schermante di colore scuro in particolare nero in modo da impedire che la luce esterna disturbi il dispositivo fotosensibile 14 o che la radiazione interna emessa dalla sorgente 12 si disperda nell'ambiente.

10 La figura 6 mostra inoltre una copertura rigida 36 posta sopra la sede di alloggiamento 110 a copertura della scheda elettronica di controllo 30 e dei mezzi di trasmissione 50.

15 La descrizione di cui sopra di varie forme esecutive specifiche è in grado di mostrare l'invenzione dal punto di vista concettuale in modo che altri, utilizzando la tecnica nota, potranno modificare e/o adattare in varie applicazioni tali forme esecutive specifiche senza ulteriori ricerche e senza allontanarsi dal concetto
20 inventivo, e, quindi, si intende che tali adattamenti e modifiche saranno considerabili come equivalenti delle forme esecutive specifiche. I mezzi e i materiali per realizzare le varie funzioni descritte potranno essere di varia natura senza per questo uscire dall'ambito
25 dell'invenzione. Si intende che le espressioni o la terminologia utilizzate hanno scopo puramente descrittivo e per questo non limitativo.

RIVENDICAZIONI

1. Una struttura di tappeto sensorizzato (100) comprendente:

- una base di supporto (1);

5 - una pluralità di sensori (10) distribuiti su detta base di supporto (1) atti a generare rispettivi segnali di misura (15) quando sono soggetti ad un carico (P) gravante su detto tappeto sensorizzato (100);

10 - una unità di controllo (30) associata a detta pluralità di sensori (10) atta ad elaborare e/o trasmettere detti segnali di misura (15) ad una unità remota;

15 - una unità di alimentazione (40) atta ad alimentare detta pluralità di sensori (10) e detta unità di controllo (30);

in cui ciascun sensore (10) comprende una cella (20) deformabile con forma scatolare, ed in cui detta pluralità di sensori (10) è disposta su detta base di supporto (1) in modo che dette celle siano adiacenti l'una rispetto all'altra,

ciascuna di dette celle (20) comprendendo:

25 - una parete di base (21) fissata a detta base di supporto (1), una parete di appoggio (22), opposta a detta parete di base (21), atta a ricevere detto carico (P) e una pluralità di pareti laterali (23) deformabili disposte tra detta parete di base (21) e detta parete di appoggio (22) che definiscono uno spazio di alloggiamento (25);

30 - almeno un emettitore (12) di una sorgente luminosa ed almeno un rilevatore (14) fotosensibile disposti in detto spazio di alloggiamento (25), detto rilevatore

(14) fotosensibile essendo atto a misurare una variazione di intensità luminosa emessa da detto emettitore (12) dovuta alla deformazione di ciascuna cella (20) quando è soggetta a detto carico (P),

5 in cui dette celle (20) sono separate tra loro da un predeterminato spazio di separazione (S), tale che, quando detta parete di appoggio (22) di ciascuna cella (20) è soggetta a detto carico (P), dette pareti laterali (23) si deformano comprimendosi verso detta
10 parete di base (21) ed espandendosi lateralmente, occupando uno spazio di deformazione (D) inferiore a detto spazio di separazione (S), in modo che celle adiacenti non si tocchino tra loro.

2. Una struttura di tappeto sensorizzato (100), secondo la
15 rivendicazione 1, in cui ciascuna cella (20) comprende una cornice perimetrale (26), in materiale elastico, in modo tale da definire detto spazio di alloggiamento (25) dove sono disposti detto emettitore (12) e detto rilevatore (14) fotosensibile, detta cornice perimetrale
20 (26) essendo adatta a contenere elementi elettronici, ad esempio per acquisizione/condizionamento di detti segnali di misura (15).

3. Una struttura di tappeto sensorizzato (100), secondo la
25 rivendicazione 1, in cui dette celle (20) hanno una forma troncopiramidale, in particolare una forma tronco piramidale a base quadrata o rettangolare, in modo tale che:

 - detta struttura troncopiramidale risulti rigida se
30 soggetta a carichi tangenziali gravanti su dette pareti laterali (23), e deformabile se soggetta a carichi normali gravanti su detta parete di

appoggio (22);

- detta struttura tronco piramidale in combinazione con detti sensori (10) permetta che detti segnali di misura (15) abbiano un sufficiente range/escursione di output da essere direttamente trasmessi ed analizzati da detta unità di controllo (30).

4. Una struttura di tappeto sensorizzato (100), secondo la rivendicazione 1, in cui è prevista una matrice di celle (20) di forma troncopiramidale, in particolare ciascuna cella (20) troncopiramidale presenta una porzione a gradino (24) tale che:

- porzioni a gradino (24) di celle (20) troncopiramidali adiacenti sono sostanzialmente contigue tra loro;
- è definito uno spazio di separazione minimo ($S_{\min}$) in corrispondenza di detta porzione a gradino (24), ed uno spazio di separazione massimo ($S_{\max}$) in corrispondenza di detta parete di supporto (22).

5. Una struttura di tappeto sensorizzato (100), secondo la rivendicazione 1, in cui ciascuna di dette celle (20) comprende:

- detto emettitore (12) di una sorgente luminosa;
- detto rilevatore (14) fotosensibile disposto da parte opposta rispetto a detto emettitore (12);
- un elemento di separazione (13) disposto tra detto emettitore (12) e detto rilevatore (14) fotosensibile atto a passare da una configurazione di riposo (A), in cui detta cella (20) non è soggetta a detto carico (P) e tutta la luce emessa da detto emettitore (12) è captata da detto rilevatore (14) fotosensibile, ad

una configurazione di carico (B), in cui detto elemento di separazione (13) si abbassa proporzionalmente a detto carico (P) e si interpone tra detto emettitore (12) e detto rilevatore (14) fotosensibile consentendo di mascherare parzialmente la luce diretta verso detto rilevatore (14) fotosensibile, proporzionalmente a detto carico (P).

6. Una struttura di tappeto sensorizzato (100), secondo la rivendicazione 5, in cui l'orientamento di detto elemento di separazione (13) è coincidente con la direzione di applicazione di forze tangenziali, in particolare, nel caso dell'analisi del cammino, lungo la direzione del cammino.
7. Una struttura di tappeto sensorizzato (100), secondo la rivendicazione 1, in cui ciascuna cella (20) comprende, in detto spazio di alloggiamento (25), N emettitori (12) ed M ricevitori (14) corredati di K elementi di separazione (13).
8. Una struttura di tappeto sensorizzato (100), secondo la rivendicazione 1, in cui detto tappeto sensorizzato (100) è una soletta sensorizzata (100') atta ad essere introdotta all'interno di una calzatura (150) per monitorare le pressioni sviluppate dalla pianta del piede di un utilizzatore, in particolare, detta soletta sensorizzata (100') comprende una sede di alloggiamento (110) in corrispondenza dell'arco plantare per detta unità di controllo (30) e detta unità di alimentazione (40), in particolare detta unità di controllo (30) comprende mezzi di trasmissione (50) dei segnali di misura (15) rilevati da detti sensori (10) verso una unità remota, ad esempio, un trasmettitore bluetooth

inserito in detta sede di alloggiamento (110) dell'arco plantare, in particolare in posizione ortogonale rispetto a detta soletta (100').

5 9. Una struttura di tappeto sensorizzato (100), secondo la rivendicazione 1, in cui è previsto uno strato di copertura (1a) che comprende detta pluralità di celle (20) integrate tra loro, detto strato di copertura (1a) essendo atto ad accoppiarsi con detta base di supporto (1) in cui sono predisposti detti sensori (10),
10 preferibilmente, detto strato di copertura (1a) può essere realizzato in materiale elastico, in particolare, il materiale elastico può essere scelto tra:

- materiale viscoelastico, in particolare silicone;
- materiale plastico;
- 15 - gomma sintetica;
- gomma naturale o, una loro combinazione.

10. Un metodo per rilevare un carico (P) agente su una superficie, comprendente le fasi di:

- predisporre una base di supporto (1);
- 20 - predisporre in modo distribuito su detta base di supporto (1) una pluralità di sensori (10) atti a generare rispettivi segnali di misura (15) quando sono soggetti a detto carico (P) gravante su detti sensori (10), in cui ciascun sensore (10) comprende
25 una cella (20) deformabile con forma scatolare, ciascuna di dette celle (20) comprendendo:

- una parete di base (21) fissata a detta base di supporto (1), una parete di appoggio (22) opposta a detta parete di base (21) e atta a
30 ricevere detto carico (P), e una pluralità di pareti laterali (23) deformabili disposte tra detta parete di base (21) e detta parete di

appoggio (22) che definiscono uno spazio di alloggiamento (25);

- almeno un emettitore (12) di una sorgente luminosa ed almeno un rilevatore (14) fotosensibile disposti in detto spazio di alloggiamento (25),

- ed in cui detta pluralità di sensori (10) è disposta su detta base di supporto (1) in modo che dette celle (20) siano adiacenti l'una rispetto all'altra e separate tra loro da un predeterminato spazio di separazione (S),

- misurare mediante ciascun rilevatore (14) fotosensibile di ciascuna cella (20) una variazione della intensità luminosa emessa da un rispettivo emettitore (12) di detta cella (20) dovuta alla deformazione di detta cella (20) quando è soggetta a detto carico (P),

- in cui detto spazio di separazione (S) tra due celle (20) adiacenti è tale che, quando detta parete di appoggio (22) di ciascuna cella (20) è soggetta a detto carico (P), dette pareti laterali (23) si deformano comprimendosi verso detta parete di base (21) ed espandendosi lateralmente occupando uno spazio di deformazione (D) inferiore a detto spazio di separazione (S), in modo che celle adiacenti non si tocchino tra loro.

CLAIMS

1. A sensor mat structure (100) comprising:

- a base substrate (1);
- a plurality of sensors (10) distributed on said base
5 substrate (1), said sensor (10) arranged to generate
respective measure signals (15) responsive to a load
(P) bearing on said mat structure (100);
- a control unit (30) associated with said plurality of
sensors (10) arranged to analyse and/or transmit said
10 measure signals (15) to a remote unit;
- a electrical feeding (40) unit for said plurality of
sensors (10) and said control unit (30);

wherein each sensor (10) comprises a box-like
deformable cell (20), and wherein said plurality of
15 sensors (10) is arranged on said base substrate (1)
so that said cells (20) are adjacent to each other,
each of said cells (20) comprising:

a base wall (21) connected to said base
substrate (1), a support wall (22) opposite to said
20 base wall (21) arranged to receive said load (P),
and a plurality of deformable side walls (23)
between said base wall (21) and said support wall
(22) that define an housing (25);

at least one light source (12) and at least
25 one light detector (14) arranged in said housing
(25), said light detector (14) that is adapted to
measure changes of light intensity received from
said light source (12) responsive to deformation of
each cell (20) under said load (P),

30 wherein said cells (20) are separated from
each other by a predetermined gap (S), such that
when said support wall (22) of each cell is subject

to said load (P), adjacent cells (20) side walls (23) expanding laterally in order to take a deformation gap (D) smaller than said predetermined gap (S), in order that adjacent cells don't touch to each other.

2. A sensor mat structure (100), according to claim 1, wherein each cell comprises a boundary edge (26), of resilient material, connected to said base substrate (1) in order to define said housing (25) where said light source (12) and said light detector (14) are arranged, said boundary edge (26) adapted to comprise electronic elements, for example data acquisition/ conditioning elements.

3. A sensor mat structure (100), according to claim 1, wherein said cells (20) have a frusto-pyramidal shape, in particular a square based or rectangular based frusto-pyramidal shape, in such a way that:

- said frusto-pyramidal cell is stiffer under tangential load (P)s and deformable under normal load (P)s on said support wall (22);
- said frusto-pyramidal cell in combination with said sensors (10) allows that said measure signals (15) have a sufficient output range to be directly transmitted and analysed by said control unit (30).

4. A sensor mat structure (100), according to claim 1, wherein said sensor mat comprises an array of frusto-pyramidal shaped cells (20), in particular each frusto-pyramidal cell has a stepped portion (24) such that:

- stepped portions (24) of adjacent frusto-pyramidal shaped cells (20) are adjacent to each other,

- a minimum gap ($S_{\min}$) is defined at basis of said stepped portions (24) and a maximum gap ($S_{\max}$) is defined at said support wall (22).

5 5. A sensor mat structure (100), according to claim 1, wherein each of said cells (20) comprises:

- said light source (12);
- said light detector (14) arranged opposite to said light source (12);
- a separation element (13) arranged between said light source (12) and said light detector (14) to move from a rest configuration (A), where cell (20) is not subject to said load (P) and full light is received by said light detector (14), to a load configuration (B), where said separation element (13) lowers proportionally to said load (P) and sets between said light source (12) and said light detector (14) partially masking said light received by said light detector (14), according to said load (P).

20 6. A sensor mat structure (100), according to claim 5, wherein orientation of said separation element (13) is coincident to an application direction of tangential forces to said, in particular in the case of gait analysis, along direction of said gait.

25 7. A sensor mat structure (100), according to claim 5, wherein each cell comprises in said housing (25) N light sources (12) and M light detectors (14) equipped with K separation elements (13).

30 8. A sensor mat structure (100), according to claim 1, wherein said sensor mat is a sensor insole (100') that is adapted to be put into a shoe (150) for monitoring pressures developed by the foot sole of an user, in

particular said sensor insole (100') comprises a plantar arch zone (110) at a position for accommodating said control unit (30) and said feeding means, in particular said control unit (30) comprises a means for transmitting measured data (50) by said sensors (10) towards a remote unit, for example a blueetooth transmitter put in said plantar arch zone (110), in particular in a position orthogonal with respect to said insole (100').

9. A sensor mat structure (100), according to claim 1, wherein a coating substrate (1a) is provided that comprises said plurality of cells (20) integrated to each other, said coating substrate (1a) adapted to couple with said base substrate (1) to cover and house said sensors (10), preferably, said coating substrate (1a) can be made of resilient material, in particular the resilient material can be selected from the group consisting of:

- viscoelastic material, in particular silicone rubber;
- plastic material;
- synthetic rubber;
- natural rubber or, a combination thereof.

10. A method for measuring a load (P) bearing on a surface, comprising the steps of:

- prearranging a base substrate (1);
- prearranging in a way distributed on said base substrate (1) a plurality of sensors (10) adapted to generate respective measure signals (15) responsively to a load (P) bearing on them, wherein each sensor (10) comprises a deformable cell (20) with box-like shape, each of said cells (20) comprising:

- a base wall (21) connected to said base substrate (1), a support wall (22) opposite to said base wall (21) arranged to receive said load (P), and a plurality of deformable side walls (23) arranged between said base wall (21) and said support wall (22) that define a housing (25);
 - at least one light source (12) and at least one light detector (14) in said housing (25),
 - and wherein said plurality of sensors (10) is arranged on said base substrate (1) so that said cells (20) are adjacent to each other and separated from each other by a predetermined gap (S),
 - measuring by means of each light detector (14) of each cell (20) a change of light intensity emitted by a respective light source (12) of said cell responsive to the deformation of said cell (20) under said load (P),
- wherein said predetermined gap (S) between two adjacent cells (20) is such that when said support wall (22) of each cell is subject to said load (P), adjacent cells (20) side walls (23) expanding laterally in order to take a deformation gap (D) smaller than said predetermined gap (S), in order that adjacent cells don't touch to each other.

Fig. 1

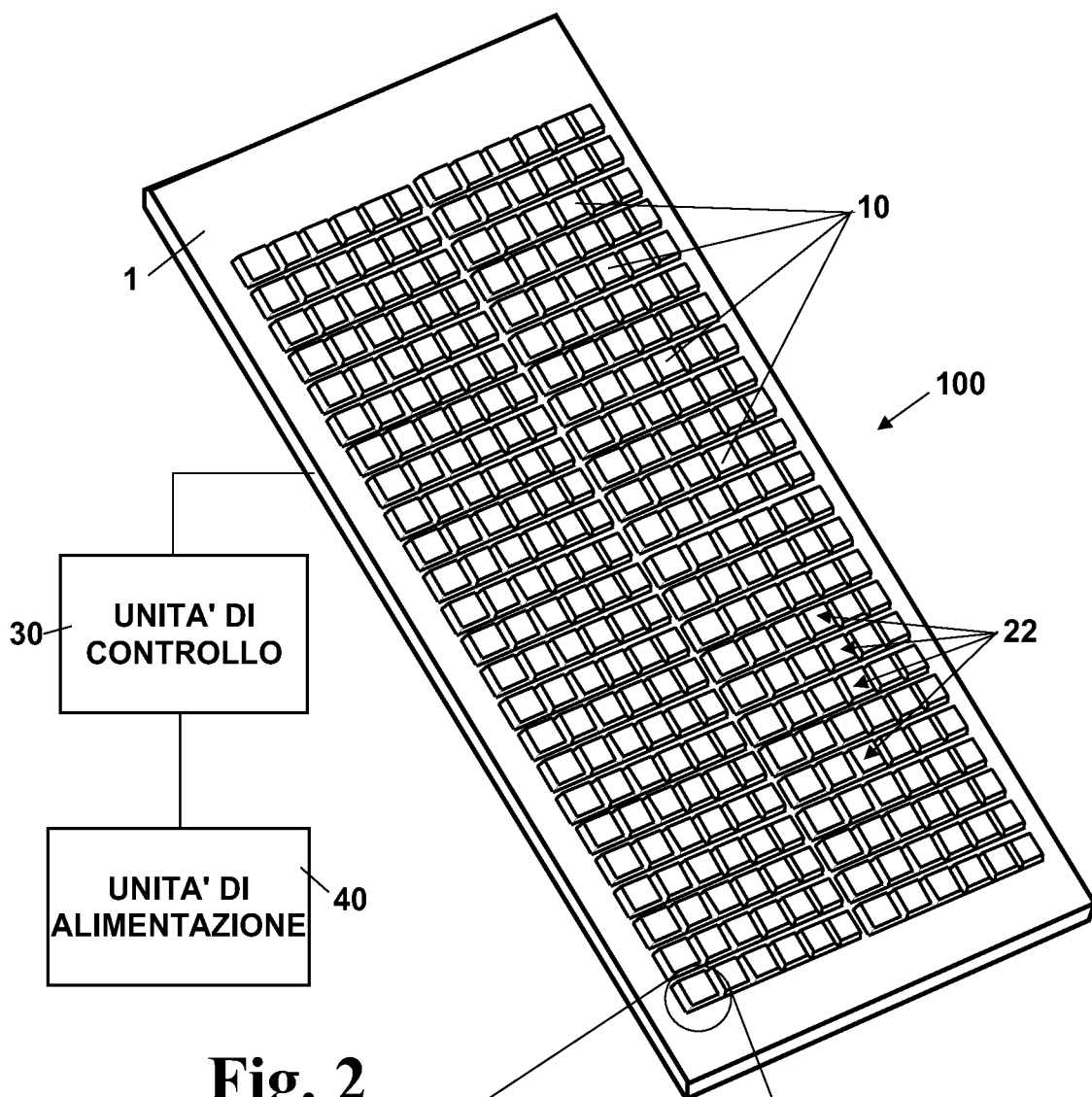


Fig. 2

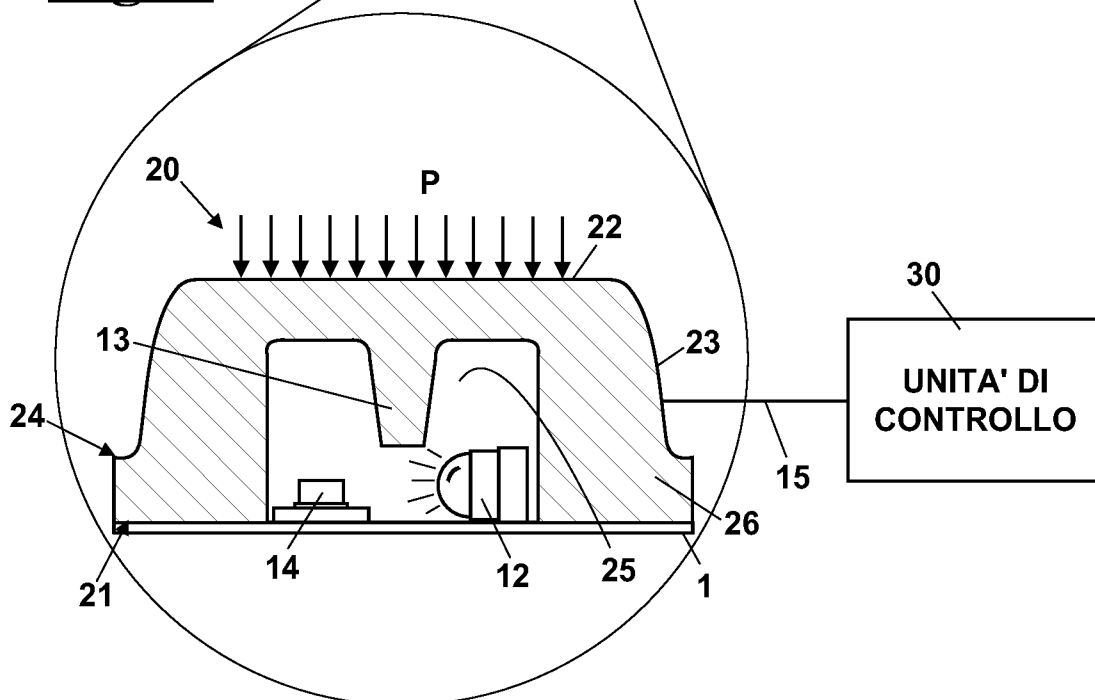


Fig. 3

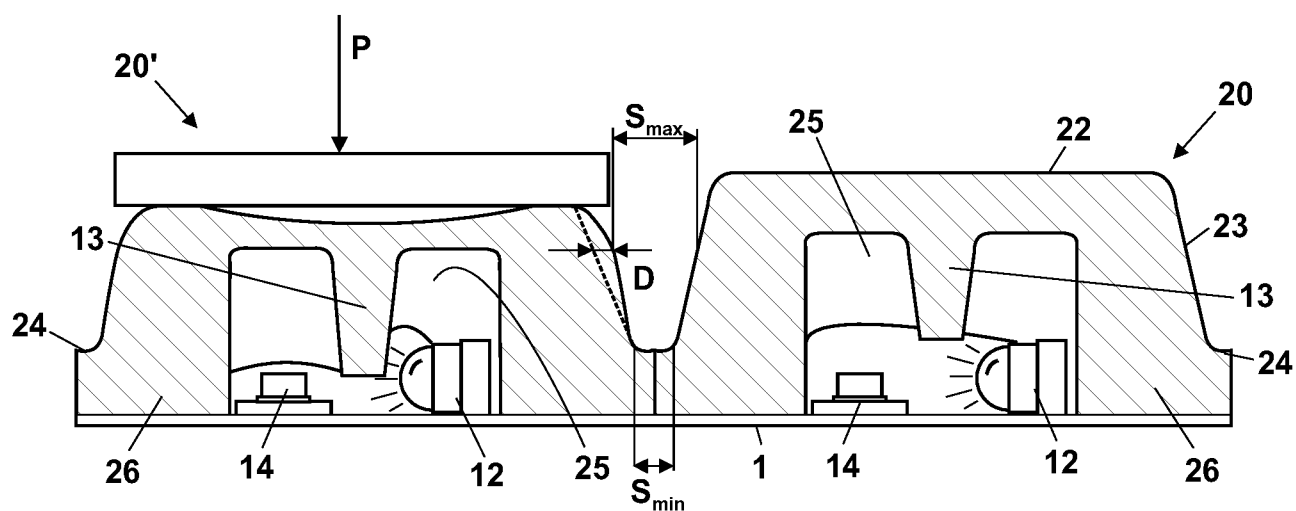


Fig. 4

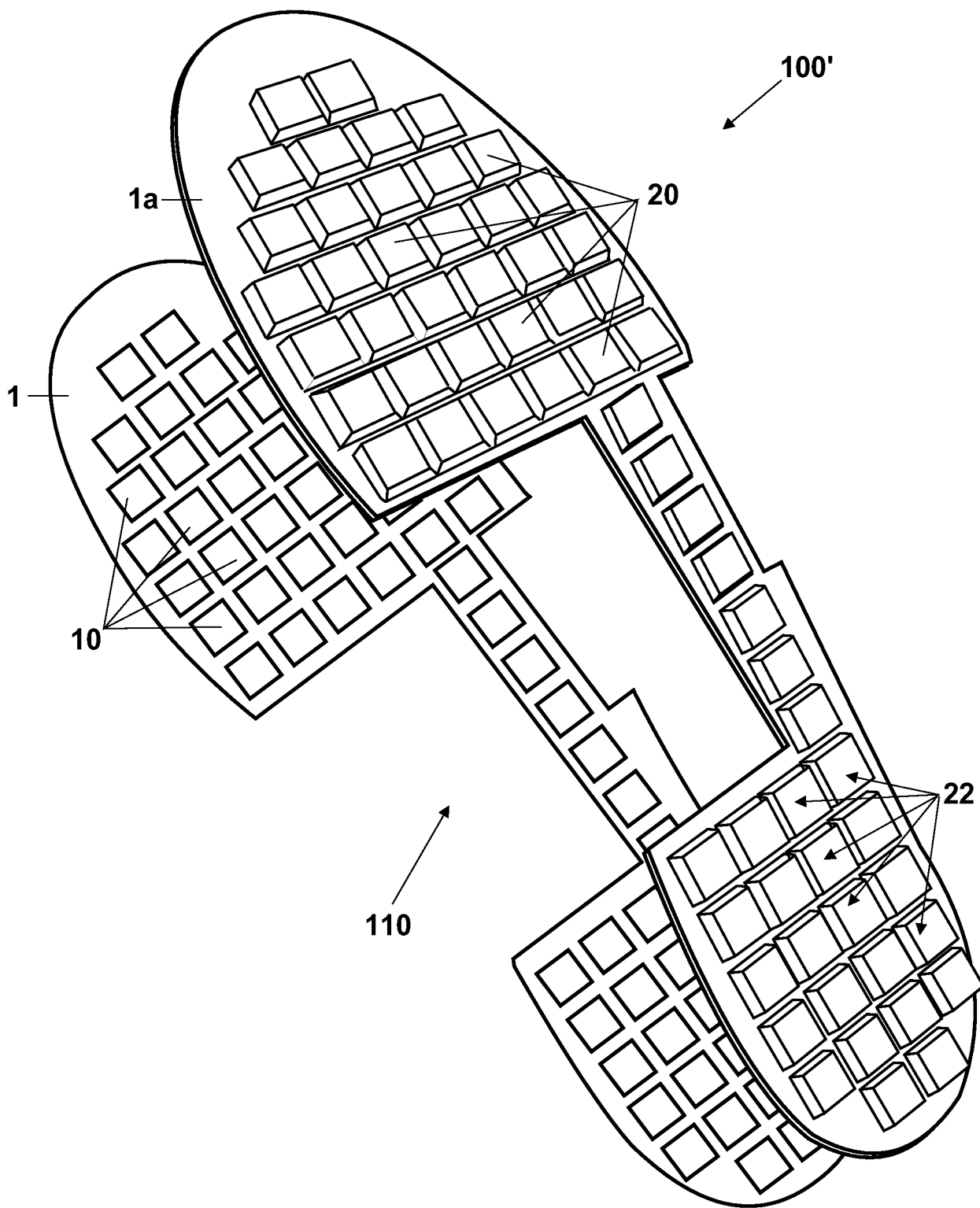


Fig. 5

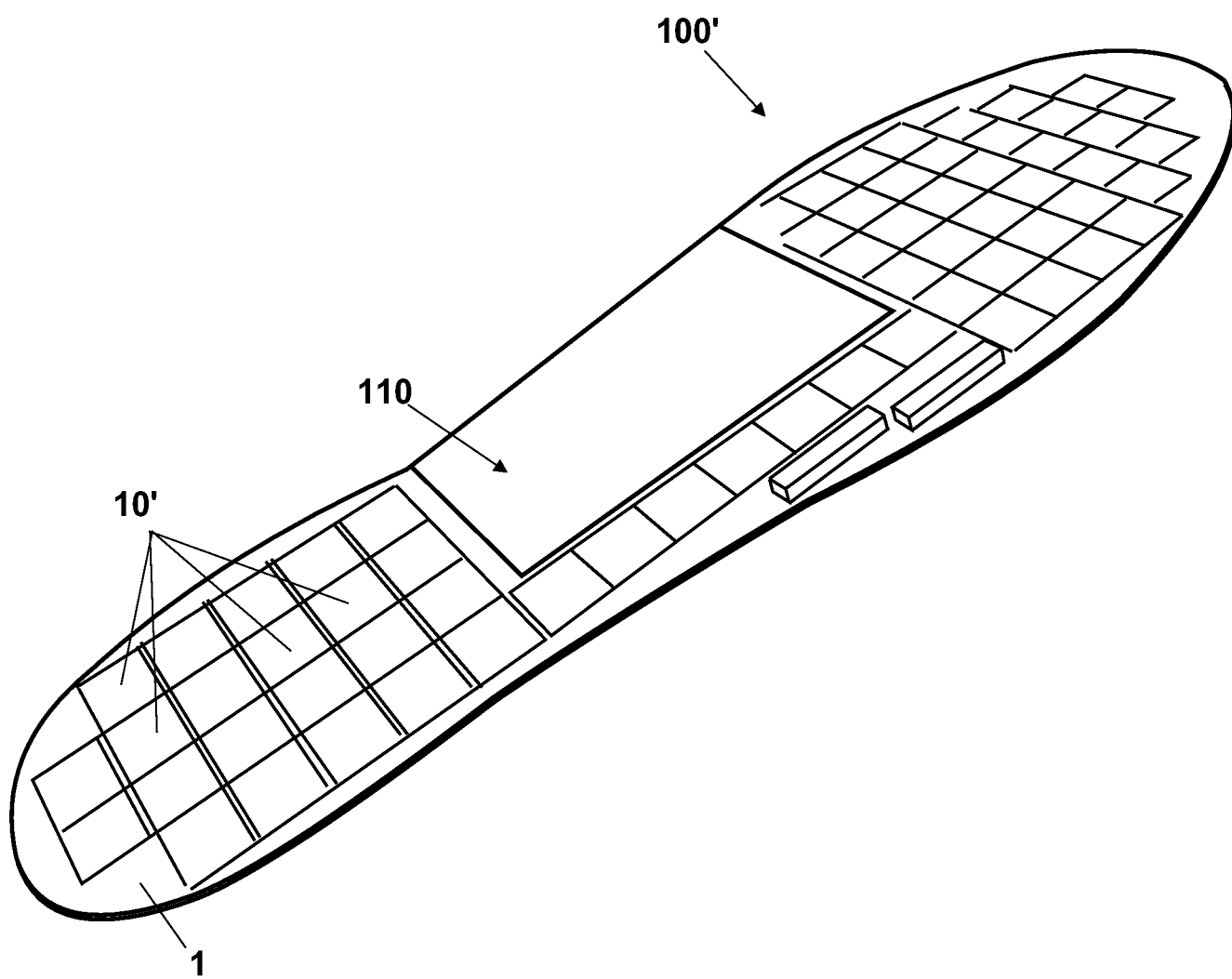


Fig. 5A

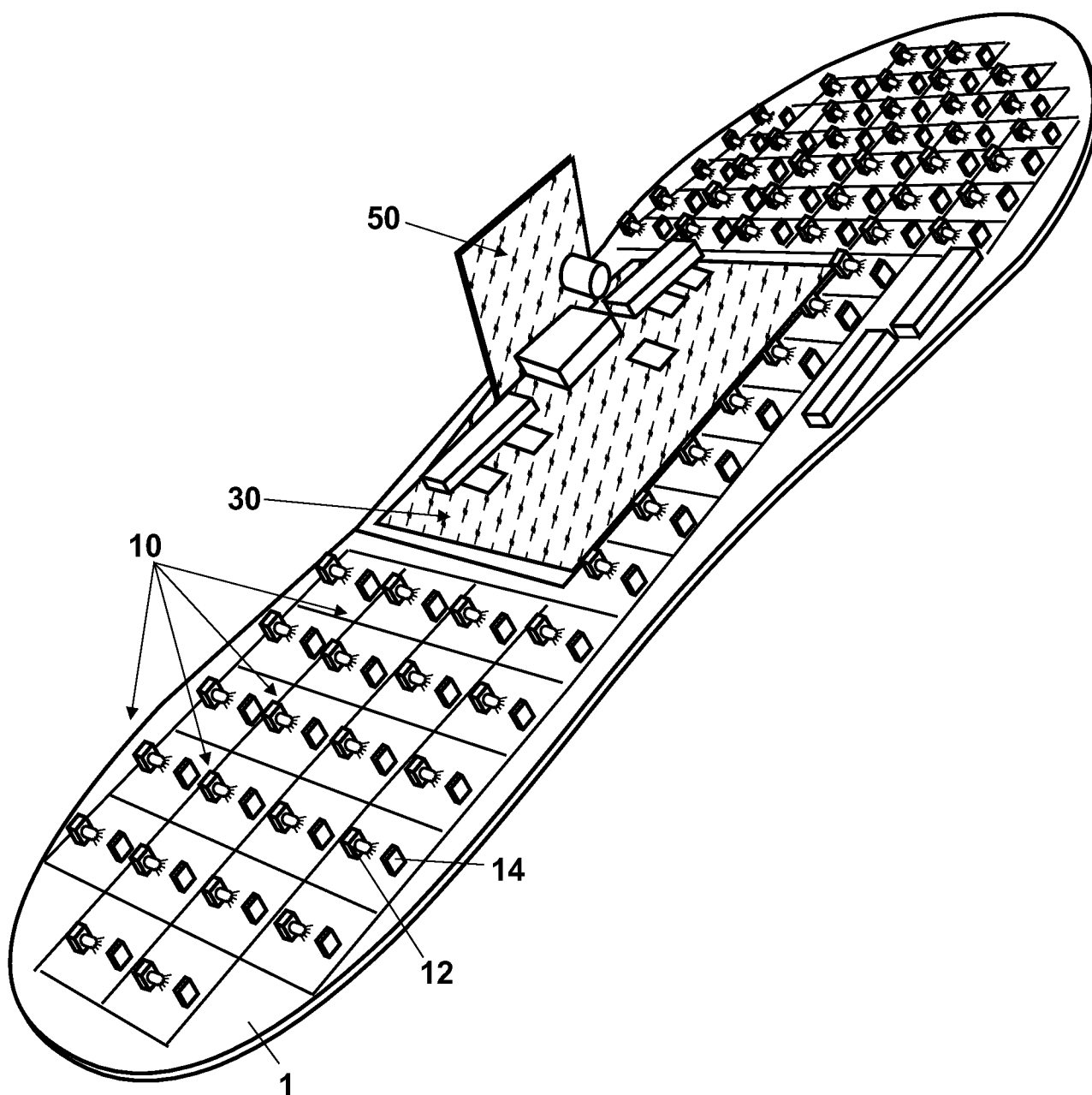


Fig. 6

