



CONFEDERAZIONE SVIZZERA

UFFICIO FEDERALE DELLA PROPRIETÀ INTELLETTUALE

⑪ CH 659 131 A5

⑤① Int. Cl.⁴: G 01 H 9/00**Brevetto d'invenzione rilasciato per la Svizzera ed il Liechtenstein**

Trattato sui brevetti, del 22 dicembre 1978, fra la Svizzera ed il Liechtenstein

⑫ **FASCICOLO DEL BREVETTO** A5

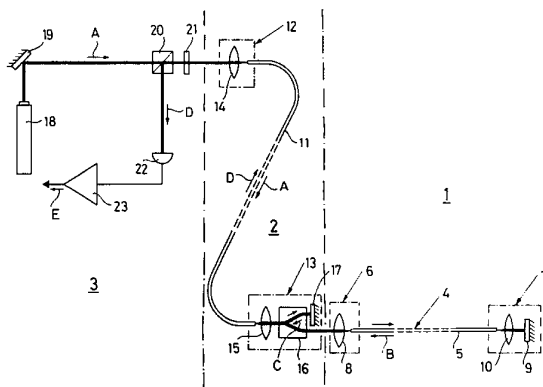
⑳ Numero della domanda: 4141/83

㉔ Data di deposito: 28.07.1983

㉔ Brevetto rilasciato il: 31.12.1986

④⑤ Fascicolo del
brevetto pubblicato il: 31.12.1986㉔ Titolare/Titolari:
CISE - Centro Informazioni Studi Esperienze
S.p.A., Milano (IT)㉔ Inventore/Inventori:
Marinelli, Mario, Milano (IT)㉔ Mandatario:
Patentanwälte Schaad, Balass, Sandmeier, Alder,
Zürich⑤④ **Rivelatore di tipo interferometrico con sensore a fibra ottica.**

⑤⑦ Il rivelatore comprende una sezione (3) elettroottica di analisi del segnale, una fibra ottica (11) di trasmissione, un giunto (13) a fibra ottica ad alta immunità al rumore ambientale ed un sensore (4) a fibra ottica terminato da un elemento riflettente (9). Esso può essere previsto in versione omodina o eterodina (a modulazione di fase o di frequenza). Quest'ultima versione realizza di vantaggio di rivelare modulazioni di fase superiori a 2π radianti. Entrambe le versioni realizzano il vantaggio di permettere misure non disturbate da perturbazioni ambientali affidenti la fibra ottica (11) di trasmissione.



RIVENDICAZIONI

1. Rivelatore di tipo interferometrico con sensore a fibra ottica, caratterizzato dal fatto di essere costituito da tre sezioni principali (1, 2, 3) collegate tra loro, una prima sezione (1) includendo un sensore (4) a fibra ottica terminante con un elemento riflettente (9) atto a riflettere un segnale di misura quando raggiunto da un segnale di esplorazione trasmesso a detto sensore, una seconda sezione (2) includendo un giunto interferometrico (13) a fibra ottica per la combinazione di detto segnale di misura e di un segnale di riferimento in un segnale combinato di ritorno ed una fibra ottica (11) di trasmissione in sensi opposti di detto segnale di esplorazione e di detto segnale combinato di riflesso, ed una terza sezione (3) includendo un generatore (18) di segnale ottico di esplorazione ed un sistema di analisi (22, 23) elettroottica di detto segnale di ritorno.

2. Rivelatore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto giunto interferometrico (13) a fibra ottica comprende un divisore di fascio (16) ed un elemento riflettente (17) per la riflessione di detto segnale di riferimento.

3. Rivelatore secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta terza sezione (3) include un separatore di fascio polarizzatore (20) atto a permettere il passaggio di detto segnale di esplorazione verso detta fibra ottica (11) di trasmissione e a deviare invece detto fascio di ritorno verso detto sistema di analisi (22, 23) elettroottica.

4. Rivelatore secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detta terza sezione (3) include inoltre una lamina ritardatrice (21) a $\lambda/4$ interposta fra detto separatore di fascio polarizzatore (20) e detta fibra ottica (11) di trasmissione.

5. Rivelatore secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detto sistema di analisi elettroottica comprende un fotoregistratore (22) ed un amplificatore (23) di segnale.

6. Rivelatore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto giunto interferometrico comprende un divisore polarizzatore di fascio (24) ed un elemento riflettente (17) per la riflessione di detto segnale di riferimento.

7. Rivelatore secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detta terza sezione (3) include una lamina polarizzatrice (25) attraversata da detto segnale di esplorazione ed una pluralità di separatori di fascio (28, 29, 30) e separatori di fascio polarizzatori (26, 27) atti a suddividere detto segnale di esplorazione in un segnale a polarizzazione orizzontale trasmesso liberamente a detta fibra ottica (11) di trasmissione ed in un segnale a polarizzazione verticale fatto passare attraverso un modulatore (33) e poi trasmesso a detta fibra ottica (11) di trasmissione, detti separatori di fascio (28, 29, 30) e detti separatori di fascio polarizzatori (26, 27) operando inoltre la suddivisione di detto segnale di ritorno in detto segnale di misura e in detto segnale di riferimento e poi la loro ricomposizione previo passaggio di detto segnale di misura attraverso una lamina ritardatrice (34) a $\lambda/4$.

8. Rivelatore secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detto sistema di analisi elettroottica comprende una coppia di fotoregistratori (35, 36) per la rivelazione delle frange di interferenza di detto segnale di ritorno ricombinato ed un amplificatore differenziale (23) per la somma algebrica delle uscite di detti fotoregistratori (35, 36).

9. Rivelatore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto generatore (18) è costituito da una sorgente laser.

La presente invenzione concerne un rivelatore di tipo interferometrico con sensore a fibra ottica.

L'impiego di sensori a fibra ottica per la rivelazione di fenomeni fisici, quali le vibrazioni e le deformazioni lente, presenta alcuni problemi, che si possono così riassumere:

— Nel caso dei sensori a fibra ottica per la rivelazione di vibrazioni è stato dimostrato che l'elevata sensibilità del sensore è limitata dal rumore indesiderato indotto dalle vibrazioni sul tratto di fibra che conduce al sensore vero e proprio. La misura, anche quantitativa, delle caratteristiche della vibrazione richiede invece l'elisione pressoché totale di tale rumore. Inoltre, per ampiezze tipiche delle strutture, lo sfasamento indotto sul sensore richiede di operare in condizioni di modulazione di frequenza.

— Nel caso di sensori a fibra ottica per la rivelazione di deformazioni lente (estensimetri) il segnale di fase utile viene mascherato da un segnale di origine termica e meccanica di frequenza analoga a quella del segnale utile. Anche in questo caso è necessaria l'elisione del segnale di disturbo. Un opportuno sistema di modulazione di fase del segnale di riferimento permette di fornire una misura dello sfasamento utile.

Scopo della presente invenzione è quello di realizzare un rivelatore con sensore a fibra ottica, che sia utilizzabile con efficacia e senza inconvenienti per una varietà di impieghi e fenomeni fisici diversi, in particolare per la rivelazione di vibrazioni e deformazioni lente.

In accordo con l'invenzione tale scopo è raggiunto per mezzo di un rivelatore di tipo interferometrico, che si caratterizza per il fatto di essere costituito da tre sezioni principali collegate tra loro, una prima sezione includendo un sensore a fibra ottica terminante con un elemento riflettente atto a riflettere un segnale di misura quando raggiunto da un segnale di esplorazione trasmesso a detto sensore, una seconda sezione includendo un giunto interferometrico a fibra ottica per la combinazione di detto segnale di misura e di un segnale di riferimento in un segnale combinato di ritorno ed una fibra ottica di trasmissione in sensi opposti di detto segnale di esplorazione e di detto segnale combinato di ritorno, ed una terza sezione includendo un generatore di segnale ottico di esplorazione ed un sistema di analisi elettroottica di detto segnale di ritorno.

La prerogativa principale del rivelatore secondo l'invenzione, che nel suo insieme può essere visto come un particolare tipo di interferometro a fibra ottica in versione modificata rispetto al noto interferometro di Michelson, consiste nel fatto che la combinazione del segnale di misura riflesso con il segnale di riferimento, consente l'elisione del rumore indesiderato indotto nel tratto di fibra ottica interposto fra il sensore e la sezione di generazione ed analisi. Sono così possibili misure non disturbate da perturbazioni ambientali afferenti la fibra ottica di trasmissione.

Inoltre, attraverso un'opportuna modulazione di frequenza o di fase del segnale di riferimento, è resa possibile la demodulazione, e quindi la rivelazione, di segnali di fase superiori a 2π radianti provenienti dal sensore a fibra ottica.

Infine, grazie alla suddivisione in tre sezioni distinte, si ha il vantaggio di una costruzione modulare che consente la facile diversificazione delle singole sezioni per l'adattamento del rivelatore ad impieghi diversi.

Le caratteristiche della presente invenzione saranno rese maggiormente evidenti dalla seguente descrizione dettagliata di due possibili forme di realizzazione pratica illustrate a titolo di esempio negli uniti disegni, in cui:

la figura 1 mostra un rivelatore secondo l'invenzione in versione omodina, ossia senza modulazione del segnale di riferimento;

la figura 2 mostra un rivelatore secondo l'invenzione in versione eterodina, ossia con modulazione di frequenza (o di fase) del segnale di riferimento.

Il rivelatore illustrato in figura 1, è costituito da tre sezioni principali 1, 2 e 3 collegate tra loro ed integrabili in un unico complesso, come pure sviluppabili separatamente.

La sezione 1 (o sezione di rilevamento) comprende un sensore a fibra ottica 4 costituito da una fibra ottica monomodo 5

(anche se non è esclusa la possibilità potenziale dell'uso di una fibra ottica multimodo), che rappresenta l'elemento sensore delle grandezze fisiche di interesse (pressione, deformazione, temperatura, ecc.) e da due connettori di terminazione 6 e 7. Il connettore 6 è di un semplice connettore per fibra ottica monomodo provvisto (non obbligatoriamente) di un sistema di focalizzazione 8, che permette un più facile accoppiamento. Il connettore 7 è costituito a sua volta da un elemento riflettente 9, che permette di rinviare nella fibra ottica 5 il segnale ottico di esplorazione fatto pervenire, nell'uso, al sensore 4. Detto elemento riflettente può essere deposto direttamente sulla fibra ottica 5 (versione integrata) oppure realizzato a parte e provvisto di sistema di focalizzazione 10, come illustrato in figura 1.

La sezione 2 (o sezione di trasmissione in fibra ottica) comprende a sua volta una fibra ottica monomodo 11 terminata da due connettori 12 e 13. Il connettore 12, uguale al connettore 6 del sensore 4, è un connettore comune per fibra ottica monomodo munito (non obbligatoriamente) di un sistema di focalizzazione 14. Il connettore 13 consiste a sua volta in un giunto interferometrico a fibra ottica composto da un sistema di focalizzazione 15, da un divisore di fascio 16 e da un elemento riflettente 17. Il divisore 16 e l'elemento riflettente 17 possono costituire un unico componente. Il divisore 16 può d'altra parte essere realizzato con diverse tecnologie: elemento ottico discreto, elemento ottico integrato, divisore a fibra ottica. Può risultare non necessaria la presenza del sistema di focalizzazione 15.

La sezione 3 (o sezione di generazione e di analisi) comprende infine un generatore di segnale ottico di esplorazione, costituito da una sorgente laser 18, un specchio 19 di deviazione del fascio laser, un separatore di fascio polarizzatore 20, una lamina ritardatrice a $\lambda/4$ indicata con 21, un fotorivelatore 22 ed infine un amplificatore di segnale 23. La sorgente laser 18 è scelta con caratteristiche di coerenza adatte per la rivelazione interferometrica e polarizzazione lineare (per esempio, orizzontale).

Il rivelatore di figura 1 è destinato ad operare come segue. La sorgente laser 18 genera un segnale ottico di esplorazione A, costituito da un fascio laser a polarizzazione orizzontale, che attraverso il separatore di fascio polarizzatore 20 e la lamina ritardatrice 21, oltre la quale risulta essere a polarizzazione circolare, raggiunge la sezione di trasmissione a fibra ottica 2, dove viene focalizzato dal sistema di focalizzazione 14 del connettore 12. Percorsa la fibra ottica 11 e raggiunto il divisore di fascio 16, una parte del segnale o fascio di esplorazione A prosegue verso il sensore a fibra ottica 4 e fino all'elemento riflettente 9, che dà luogo al segnale o fascio di misura riflesso B, mentre un'altra parte dello stesso segnale di esplorazione viene deviata verso l'elemento riflettente 17 e da questa riflessa per dar luogo ad un segnale o fascio di riferimento C, che ha sopportato le stesse perturbazioni ambientali del segnale di misura B durante il passaggio attraverso la fibra ottica 11. I due segnali B e C si combinano tra loro interferenzialmente nel divisore di fascio 16, dando origine ad un segnale o fascio combinato di ritorno D, che attraverso la fibra ottica 11 torna alla sezione di generazione ed analisi 3. Qui detto fascio riflesso attraversa la lamina 21, emergendo con polarizzazione verticale ed è poi deviato dal separatore di fascio 20 verso il fotorivelatore 22, che lo converte in segnale elettrico successivamente amplificato dall'amplificatore 23. Si ottiene così un segnale elettrico di misura E, che per effetto della combinazione dei segnali di misura e di riferimento B e C nel giunto interferometrico 13 risulta immune da rumore ambientale comunque originato.

Mentre il rivelatore di figura 1 è realizzato in versione omodyna, ossia con segnale di misura e segnale di riferimento di pari frequenza, il rivelatore di figura 2 è realizzato in versione eterodyna, ossia con modulazione di frequenza (o di fase) del segnale di riferimento.

Esso è ancora suddiviso in tre sezioni 1, 2 e 3, come quello di figura 1, ed è identicamente costruito per quanto riguarda la sezione di rilevamento 1. Cambia invece la sezione di trasmissione 2, dove un divisore polarizzatore di fascio 24 svolge, all'interno del giunto interferometrico 13, funzioni analoghe a quelle svolte dal divisore di fascio 16 nel rivelatore di figura 1. Ancora più diversa è inoltre la sezione di generazione di analisi 3, dove il separatore di fascio polarizzatore 20, la lamina ritardatrice 21 ed il fotorivelatore 22 sono sostituiti dall'insieme di una lamina polarizzatrice 25, due separatori di fascio polarizzatori 26 e 27, tre separatori di fascio 28, 29 e 30, due specchi 31 e 32, un modulatore 33, una lamina ritardatrice a $\lambda/4$ indicata con 34 e due fotorivelatori 35 e 36 e dove l'amplificatore 23 è ora di tipo differenziale.

Ne consegue, per le parti modificate, il seguente diverso modo di funzionare. Il fascio laser A viene polarizzato circolarmente o ellitticamente dalla lamina 25 e quindi inviato al separatore di fascio polarizzatore 26, che lo suddivide in due parti A' e A'', rispettivamente a polarizzazione orizzontale e verticale.

Il fascio a polarizzazione orizzontale A' attraversa indisturbato i separatori di fascio 28 e 27, raggiungendo quindi la fibra ottica 11 e poi il sensore 5, dove, riflesso dall'elemento riflettente 9, va a costituire il fascio o segnale di misura riflesso B.

Il fascio a polarizzazione verticale A'' viene invece deviato verso lo specchio 31 e da qui inviato al modulatore 33, che permette una modulazione controllata del fascio ottico. Il fascio modulato è poi ricondotto dai separatori di fascio 29 e 27 alla fibra ottica di trasmissione 11, attraverso la quale raggiunge il separatore di fascio polarizzatore 24, che lo devia verso l'elemento riflettente 17 per dare origine, per retroriflessione, al fascio o segnale di riferimento C. Quest'ultimo è modulato in frequenza o fase in funzione del tipo di modulatore 33 che è stato adottato. In particolare, per ottenere una modulazione di frequenza, il modulatore 33 può essere costituito da un cristallo elettro-ottico alimentato da una tensione sinusoidale o a «dente di sega»; per ottenere una modulazione di fase lenta, invece, il modulatore può essere del tipo a «lamina rotante» pilotato da un segnale di retroazione dai fotorivelatori. In ogni caso il modulatore 33 è da scegliere in funzione delle esigenze poste dalla rivelazione.

Il separatore di fascio 27 separa poi nuovamente i due fasci di ritorno B e C, che si combinano successivamente nel separatore di fascio 30 dopo aver attraversato, il primo, il separatore di fascio 28 e la lamina ritardatrice 34 (che rende verticale la polarizzazione del fascio di misura) e, il secondo, il separatore di fascio 29. Le frange di interferenza prodotte dalla ricombinazione dei fasci vengono infine rivelate dai fotorivelatori 35 e 36, disposti in configurazione differenziale agli ingressi dell'amplificatore 23. Questa configurazione aumenta la sensibilità di rivelazione ed elide segnali in modo comune afferenti ai fotorivelatori.

Ne risulta in definitiva un segnale rivelatore E, che grazie alla combinazione dei segnali B e C nel giunto interferometrico 13 è immune da rumore ambientale e grazie alla modulazione di frequenza (o di fase) del segnale di riferimento è in grado di rivelare segnali di fase superiore a 2π radianti provenienti dal sensore a fibra ottica.

È da notare che, a parte le configurazioni illustrate nei disegni e qui descritte in dettagli, la sezione elettro-ottica di analisi del segnale di ritorno, specialmente nella versione eterodyna, può assumere configurazioni ottiche leggermente diverse al fine di soddisfare requisiti di disaccoppiamento fra sorgente laser e segnale di ritorno e requisiti della rivelazione elettronica. In ogni caso queste configurazioni mantengono inalterato il principio generale di funzionamento qui illustrato.

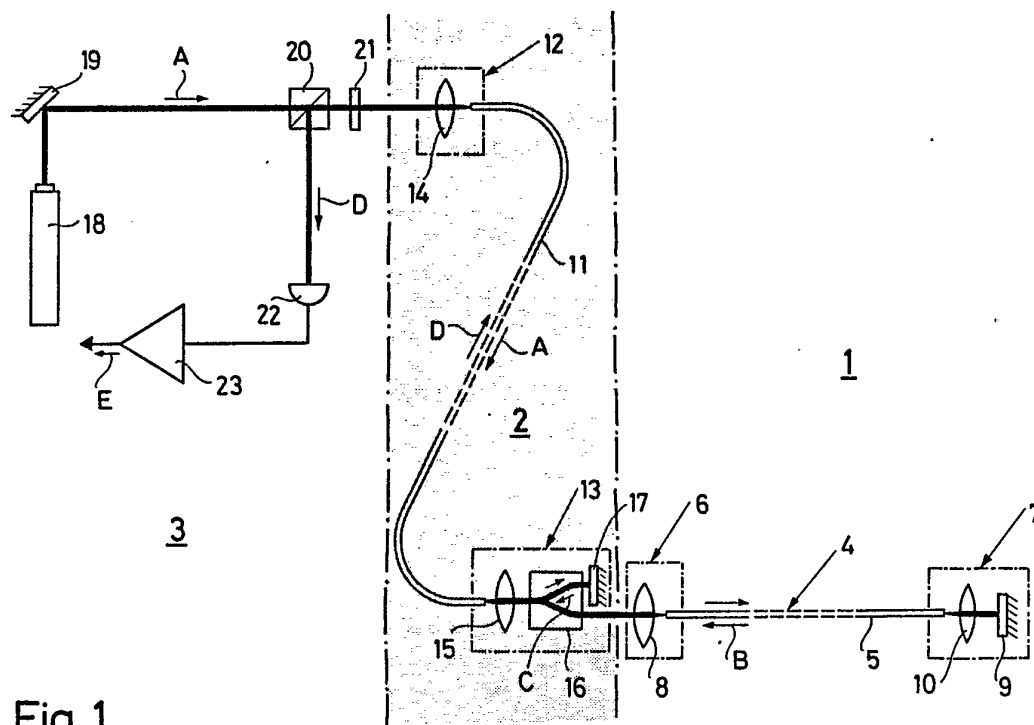


Fig. 1

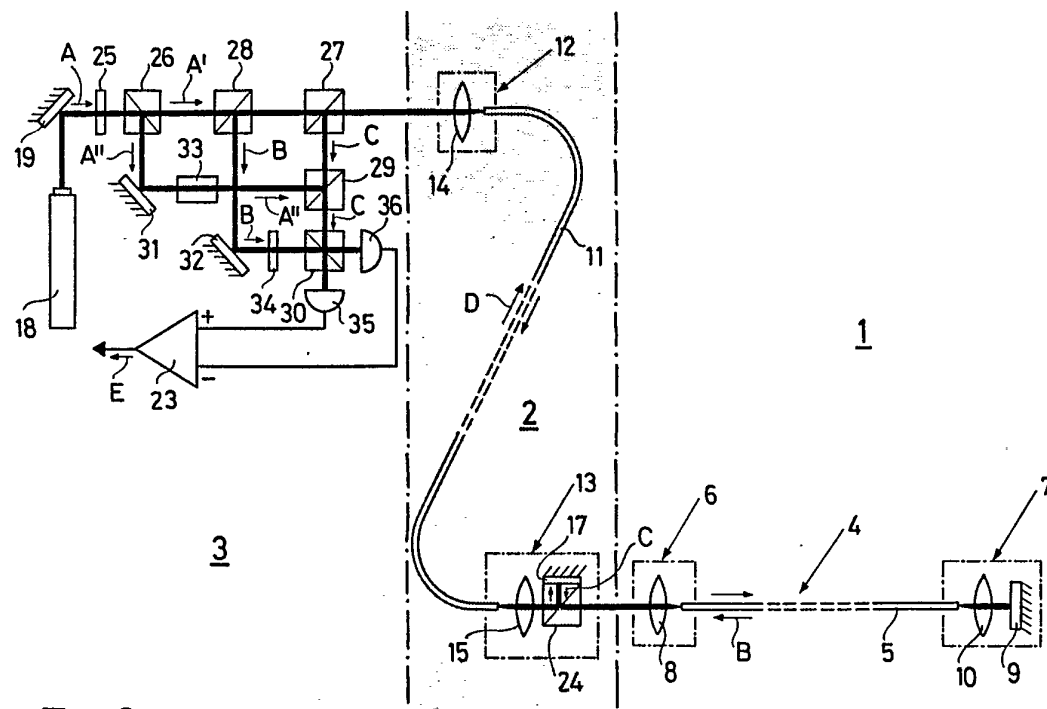


Fig. 2