



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

# UIBM

<b>DOMANDA NUMERO</b>	<b>101982900001102</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>16/12/1982</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>16/06/1984</b>

<b>Priorità</b>	<b>331.052</b>
<b>Nazione Priorità</b>	<b>US</b>
<b>Data Deposito Priorità</b>	<b>16-DEC-81</b>

Titolo

<b>DISPOSITIVO DI FILTRAGGIO CON CAVITA' RISONANTE A FIBRE OTTICHE</b>
--

# DOCUMENTAZIONE RILEGATA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO DI FILTRAGGIO CON CAVITA' RISONANTE A FIBRE OTTICHE"

del Signor John Wilburn HICKS, Jr.

a SOUTHBRIDGE, Massachusetts (U.S.A.)

**24802A/82****16 DIC. 1982**

.....

## R I A S S U N T O

Il filtraggio di lunghezza d'onda negli spettri ottici viene realizzato mediante un dispositivo a fibre ottiche meccanicamente separato dal dispositivo che porta lo spettro ampio di lunghezze d'onda. Gli elementi di filtro possono essere lineari o a forma di anello, e preferibilmente utilizzano l'accoppiamento laterale tra elementi di fibra. Elementi di filtro individuali possono essere allineati per una selettività aumentata. I filtri della presente invenzione hanno tipiche larghezze di linea da  $0,01 \text{ Å}$  ad  $1 \text{ Å}$  nella regione da  $0,2$  a  $3 \text{ micron}$ .

## TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda principalmente il filtraggio di lunghezza d'onda e più specificatamente il filtraggio di lunghezza d'onda per mezzo di tecniche a fibre ottiche. Ancora più specificatamente, la presente invenzione riguarda la separazione di bande strette di lunghezza d'onda da una regione spettrale più ampia attraverso l'uso di un dispositivo a fibre ottiche meccanicamente separato dal dispositivo che porta la lunghezza d'onda della regione spettrale più ampia.

In precedenti brevetti dello stesso richiedente, l'accoppiamento laterale dispersivo sintonizzato tra due anime di fibra è stato descritto; tuttavia la costruzione di un filtro mediante tali mezzi avente una larghezza inferiore a  $0,001$  della lunghezza d'onda centrale è risultata essere difficile. Tale difficoltà nasce dalle limitazioni del processo di trafilatura per il dispositivo a fibra che produce una

variazione nel diametro della fibra. La tecnica della trafilatura di fibre ottiche sta migliorando giorno per giorno, e la precedente limitazione sta scomparendo con la raffinazione della tecnica di trafilatura delle fibre; ciò nonostante esiste ancora la difficoltà e vi è attualmente una necessità per un filtro nella gamma di meno di  $1 \text{ Å}$  nella regione da 1 a 2 micron.

Il filtraggio a banda stretta come espresso nel precedente paragrafo è utile poiché in un grande sistema di comunicazioni il costo delle linee principali si riduce quando aumenta il numero di canali di segnale per fibra. Ancora ulteriormente il numero di porte possibili in una stazione di commutazione sale quando aumenta il numero di canali per fibra. Per mettere in risalto l'ultimo degli usi precedenti del filtro a banda stretta, la commutazione deve essere categorizzata ampiamente in due tecniche: una maniera comune di commutazione richiede l'intersezione di  $m$  linee su  $n$  in una matrice rettangolare e fornisce interruttori a ciascun punto di incrocio. Naturalmente un tale sistema si fonda principalmente su un numero grandissimo di interruttori a due posizioni.

Una seconda maniera utilizza la trasmissione per  $n$  stazioni. Ciascuna stazione di trasmissione usa uno di molti possibili canali. La commutazione viene realizzata sintonizzando l'appropriata porta ricevitrice allo stesso canale della porta trasmittitrice prescelta.

In termini di commutazione di trasmissione, una linea di trasmissione a molti canali offre un miglioramento sulla trasmissione a spazio libero poiché l'energia di ciascun canale non deve essere così grande. L'energia di canale viene incanalata ad una linea comune e rimane sulla linea finché passa una porta che rimuove l'energia dalla linea. Le fibre ottiche offrono un perfezionamento sulle stazioni di commutazione di trasmissione a canale a causa del numero grandissimo di canali

possono essere portati da una singola linea di fibra.

Se una fibra a modo singolo porta 100 canali distribuiti su 1/10 dello spettro ottico appena oltre il bordo a modo singolo, essa verrà caricata in termini di larghezza di banda soltanto quando il regime di modulazione su ciascun canale è di circa  $5 \times 10^{10}$  impulsi al secondo (presumendo che la regione di lunghezza d'onda sia attorno ad 1 micron). Tuttavia tali elevati regimi di modulazione sono difficili da ottenere con l'attuale tecnologia. Inoltre gli impulsi sono diffusi in modo relativamente rapido quando essi viaggiano lungo una lunghezza di fibra a causa della dispersione di velocità di gruppo. Ancora ulteriormente, nessuno sembra avere molta necessità per un singolo segnale di informazione con un regime superiore a quello video. Perciò per caricare completamente tale fibra a 100 canali di lunghezza d'onda, sarebbe necessario moltiplicare nel dominio del tempo approssimativamente 1000 segnali video. I mezzi per moltiplicare nel dominio del tempo sono relativamente molto costosi e con lo stato attuale della tecnica elettronica non è possibile effettuare moltiplicazione a divisione di tempo in pacchetti con segnali di regime video e regimi di tronco di  $5 \times 10^{10}$  impulsi al secondo. E' a malapena possibile, se si riesce, a  $5 \times 10^9$  impulsi al secondo.

Per le ragioni di cui sopra, sarebbe estremamente vantaggioso poter usare da 10.000 a 100.000 canali di lunghezza d'onda su una singola fibra e non dover usare affatto alcuna moltiplicazione a dominio di tempo. per realizzare ciò è necessario filtrare una larghezza di linea da 1/100.000 a 1/1.000.000 della lunghezza d'onda di base, che nella regione di lunghezza d'onda da un micron arriva da  $0,1 \text{ Å}^0$  giù fino a  $0,01 \text{ Å}^0$ . Non vi è nulla di cruciale circa questi numeri esatti. Vi è anche qualche vantaggio limitato in un filtro con una larghezza di linea da  $1 \text{ Å}^0$  in opposizione ad una larghezza di  $10 \text{ Å}^0$ .

Vi sono varie applicazioni per i filtri di lunghezza d'onda ma in quello giusto usato per illustrazione, si deve fare quanto segue: (1) separare via una linea spettrale stretta su un percorso separato. (2) Disturbare il resto dei canali di lunghezza d'onda il meno possibile. Per esempio se uno dovesse rimuovere la metà dell'energia nel resto dei canali, il numero di porte riceventi operabili diminuisce considerevolmente. Non é necessario porre tutti gli n ricevitori su una singola linea. La stessa serie di canali portatori di segnale può essere mandata su diverse linee in parallelo in modo che tutti i ricevitori non devono essere sulla stessa linea. Tuttavia vi é un vantaggio nel perturbare i canali non filtrati il meno possibile e usare il minimo numero di linee parallele in una stazione di commutazione.

Un'altra area di impiego é in un sistema di distribuzione a fibre ottiche. In un tale sistema, una stazione di commutazione locale indirizza un particolare ricevitore su una linea di distribuzione comune ponendo il segnale sul canale di lunghezza d'onda al quale il ricevitore é sintonizzato. Vale a dire il ricevitore ha una presa di linea sintonizzata fissa che rimuove un canale di lunghezza d'onda quando passa sulla linea comune. Di nuovo é desiderabile lasciare i canali non derivati il meno perturbati possibili. Il vantaggio di aumentare il numero di canali da 100 a 1.000 o 10.000 su una linea di distribuzione locale non é sorprendente, ma vi é un vantaggio periferico nell'uso della presente invenzione oltre la larghezza di linea. Tale vantaggio é l'aumentata stabilità alla temperatura della presente invenzione per una data larghezza di linea. Un secondo vantaggio periferico é la facilità di fare la derivazione di linea.

Nella tecnologia esistente vi sono altri sistemi per il filtraggio a linea stretta. Per esempio la normale scelta di mezzi di filtraggio di linea ottica é

disponibile, come prismi, reticoli di diffrazione, interferometri di Fabry-Perrot e simili. Essi soffrono tutti dello svantaggio della loro geometria. In nessuno di tali dispositivi é facile avere la luce filtrata su una fibra ed avere il resto della luce su un'altra fibra.

Il dispositivo di Fabry-Perrot é l'unico menzionato che raggiunge larghezze di linea basse fino ad  $1 \text{ \AA}^{\circ}$  in un piccolo volume. Il tipico monocromatore a reticolo di diffrazione atto a risolvere  $1 \text{ \AA}^{\circ}$  é lungo 3 m con un volume di circa  $14 \text{ m}^3$ . Chiamamente esso non é un dispositivo conveniente per i presenti scopi.

Di conseguenza uno scopo principale della presente invenzione é quello di fornire il filtraggio di lunghezza d'onda mediante mezzi a fibre ottiche in modo che bande strette di lunghezze d'onda vengono separate da una regione spettrale più ampia.

Uno scopo più specifico della presente invenzione é quello di fornire il filtraggio di cui sopra mediante accoppiamento laterale in relazione ad una cavità risonante ottica.

Questi ed altri scopi della presente invenzione vengono forniti in forme di realizzazione preferite ed alternative della presente invenzione che realizzano un filtro a cavità risonante per l'uso nella regione ottica da 0,2 micron a 3 micron ed in forma di fibra. Il dispositivo a cavità risonante di fibra della presente invenzione ha comparativamente basse perdite per ciclo ed é abbastanza piccolo per funzionare nella gamma di larghezza di linea da  $1 \text{ \AA}^{\circ}$  a  $0,01 \text{ \AA}^{\circ}$ . La presente invenzione diventa altamente analoga ad un interferometro di Fabry-Perrot ponendo un rivestimento di metallo altamente efficace come alluminio od argento all'estremità di una fibra a moto singolo. Così le equazioni che reggono l'operazione di Fabry-Perrot sono utili nel prevedere ed analizzare la fibra a cavità risonante della presente invenzione. Per evitare una perdita nell'accoppiamento, che si ritrova tipicamente

nelle strutture d'accoppiamento di testa, l'accoppiamento laterale risonante come descritto nel brevetto U.S.A. dello stesso richiedente Numero di Serie 21868 depositato il 19 Marzo 1979 e qui incorporato per riferimento, viene usato come tecnica principale per la presente invenzione. I tipi di fibre descritti in tale relazione rappresentano strutture di fibra preferite per la presente invenzione.

Forme di realizzazione alternative realizzano anche la tecnica di accoppiamento laterale, ma in un anello piuttosto che nella configurazione allungata della prima forma di realizzazione preferita. Un'ulteriore forma di realizzazione alternativa realizza anche l'accoppiamento laterale in una struttura di fibra con due stadi ad anello. Ancora un'ulteriore forma di realizzazione alternativa é effettivamente un filtro a due stadi ibrido con un accoppiatore laterale dispersivo in combinazione con un filtro risonatore a cavità. Ancora un'altra forma di realizzazione alternativa realizza una cavità risonante a tre stadi, in una forma di realizzazione con una configurazione ad anello ed in un'altra forma di realizzazione con cavità diritte. Ciascuna forma di realizzazione della presente invenzione contempla l'utilizzazione di energia luminosa a modo singolo o a modo multiplo.

Altri scopi, caratteristiche e vantaggi della presente invenzione diverranno chiari facendo riferimento alla seguente descrizione più dettagliata di forme di realizzazione preferite ed alternative ma ciò nonostante illustrative, con riferimento ai disegni annessi in cui:

la Fig. 1 rappresenta una forma della presente invenzione che realizza una struttura di tipo Fabry-Perrot, ed in cui le fibre di entrata e di uscita sono unite da una fibra di filtro intermedia accoppiata laterale in una configurazione allungata;

la Fig. 2 rappresenta una forma di realizzazione della presente invenzione che



realizza una fibra ad anello con accoppiamento di entrata e di uscita abilitato per mezzo di tecniche di accoppiamento laterali;

le Figg. 3A e 3B rappresentano forme di realizzazione della presente invenzione in cui l'elemento di filtro é una parte integrale rispettivamente della fibra di entrata o della fibra di uscita;

la Fig. 4 rappresenta i canali o linee prodotti ponendo due filtri a molte linee in serie, ma costruendoli in modo tale che essi hanno distanziamenti di linea differenti;

la Fig. 5 rappresenta una forma di realizzazione alternativa della presente invenzione, simile nel funzionamento alla forma di realizzazione mostrata in Fig. 2, ma con un anello di secondo stadio aggiunto;

le Figg. 6A - 6C rappresentano forme di realizzazione alternative simili nel funzionamento alle forme di realizzazione delle Figg. 2 e 5, ma con la Fig. 6A che mostra un filtro ulteriore, identico al primo filtro della Fig. 5 introdotto per rientrare in una parte dell'uscita di primo stadio sulla linea principale; la Fig. 6B mostrando un filtro ad anello a due stadi in linea e la Fig. 6C mostrando un filtro ad anello a due stadi parallelo;

la Fig. 7 mostra anche una forma di realizzazione alternativa di un filtro a due stadi, ma in una configurazione ibrida con un accoppiatore laterale dispersivo in combinazione con un filtro risonatore a cavità, che quando disposto diritto appare come mostrato in Fig. 7A;

le Figg. 7B, 7C e 7D permettono la spiegazione del funzionamento del filtro ibrido a due stadi della Fig. 7;

la Fig. 8 rappresenta la versione lineare del filtro ad accoppiatore laterale dispersivo della Fig. 7;

la Fig. 9 rappresenta schematicamente un filtro a cavità risonante a tre stadi secondo la presente invenzione come descritto in questa relazione, quando la fibra di uscita é accoppiata al di sotto delle estremità sovrapposte del primo elemento di filtro con la Fig. 9A che permette la spiegazione delle sue caratteristiche operative; e

la Fig. 10 schematicamente rappresenta una versione lineare di un filtro a cavità risonante a tre stadi.

Le cavità risonanti sono ben note nelle regioni più lunghe di lunghezza d'onda dello spettro elettromagnetico, ma tali dispositivi sono un'eccezione entro la regione ottica di tale spettro. Anche quando le cavità risonanti vengono usate nella parte ottica dello spettro, esse soffrono di elevati regimi di perdita per ciclo e non sono abbastanza piccole da funzionare nella gamma di larghezza di linea da  $1 \text{ Å}$  a  $0,01 \text{ Å}$ . Tali dispositivi sono universalmente in forma ottica piana piuttosto che in forma di fibra e la perdita di luce per giro é relativamente elevata in tali dispositivi piani. Ancora ulteriormente é stato provato difficile accoppiare efficacemente da una fibra ad un dispositivo piano. La struttura fisica dei dispositivi risonanti esistenti é così grande (30 cm di circonferenza e più) che alla linea di un micron il distanziamento é  $1/30$  di  $\text{Å}$  o meno con una larghezza di linea di  $1/3000$  di  $\text{Å}$ .

Se si usa un dispositivo a fibra sotto forma di una cavità risonante lineare avente rivestimenti metallici altamente riflettenti alle estremità ed un funzionamento a moto singolo con accoppiamento di testa alle fibre di trasmissione, ne risultano delle difficoltà.

La difficoltà fondamentale viene condivisa con l'apparecchio di Fabbry-Perrot. Vale a dire la natura di una superficie metallica altamente riflettente é quella

di assorbire la maggior parte della luce che non viene riflessa. Ciò é inerente nel processo di riflessione per gli specchi metallici, e così questo dispositivo ha un'efficacia di passaggio molto bassa alla lunghezza d'onda risonante.

Nel caso di un dispositivo di Fabry-Perrot, ciò può essere evitato usando rivestimenti dielettrici a molti strati altamente riflettenti. Tali specchi a molti strati sono necessariamente non sottili in confronto alla lunghezza d'onda della luce da riflettere.

Perciò a causa di questo spessore, essi non saranno altamente efficienti sulle facce terminali di un risonatore a cavità a fibra lineare, e costituiscono un interstizio indesiderabile nel percorso ottico.

Una seconda difficoltà é che il fascio di luce restante non filtrato viene ricondotto sulla stessa fibra che ha portato la luce alla cavità. Ciò é qualunque cosa all'infuori che conveniente.

Una terza difficoltà é comune a tutti i dispositivi a cavità risonante semplice di questo tipo. Vale a dire vi sono molte linee risonanti più o meno egualmente distanziate.

La condizione per la risonanza é che tutte le variazioni di fase risultanti da fattori che influenzano la fase della luce durante un percorso circolare completo devono aggiungersi ad un numero intero di lunghezze d'onda. Ovviamente se per una data lunghezza d'onda risonante il percorso ottico é 1000 lunghezze d'onda, allora vi sarà un'altra lunghezza d'onda risonante tale che il percorso ottico sia 999 lunghezze d'onda e un'altra a 1001 e così via. A meno che il mezzo sia molto acutamente dispersivo, queste si verificheranno ad una variazione nella lunghezza d'onda di circa  $1/1000$  della lunghezza d'onda originale. Invece di filtrare via una lunghezza d'onda qualsiasi cavità risonante semplice filtra via una serie di lun-

ghezze d'onda.

Il rapporto tra larghezza di linea (di ciascuna lunghezza d'onda risonante) rispetto al distanziamento tra linee approssimativamente proporzionale alla frazione di energia perduta nel corso di un percorso circolare. Questa perdita include le perdite di riflessione, la dispersione, le perdite di trasmissione e le perdite attraverso le porte di entrata e di uscita (assumendo che la sorgente di entrata sia momentaneamente esclusa).

Una forma di realizzazione della presente invenzione utilizza una cavità 1 a fibra ottica ad estremità a specchio risonante lineare accoppiata lateralmente come mostrato in Fig. 1. Riferendosi alla Fig. 1, si noterà che la luce filtrata nella fibra di uscita 14 va sfortunatamente a sinistra e destra ed andrà a sinistra anche nella fibra di entrata 10. L'energia è eguale in ciascun percorso alternativo. Ciò risulta dalla prima parte di ciò che può essere chiamata "la regola di equiportazione di energia". Vale a dire l'uscita di energia da ciascuna porta possibile sarà eguale se le porte sono accoppiate egualmente. Per questo scopo ciascun meccanismo di perdita possibile può essere considerato come una porta fittizia. Se le porte non sono accoppiate egualmente, allora l'uscita di luce da ciascuna porta sarà proporzionale all'accoppiamento di energia (oppure al quadrato dello accoppiamento di ampiezza). La seconda parte della regola di equiportazione è che il 100% dell'energia di luce proveniente dalla linea di entrata verrà estratto quando l'accoppiamento di energia della porta di entrata è eguale alla somma degli accoppiamenti di energia in tutte le porte di uscita comprese le perdite. Ciò avviene naturalmente alla risonanza.

La distribuzione può essere migliorata ponendo uno specchio sull'estremità di sinistra della fibra di uscita 14 in Fig. 1. L'estremità di sinistra della fibra su-

periore 14 riflette quindi la lunghezza d'onda filtrata. A causa degli effetti di interferenza, le ampiezze dell'onda che va a destra e di quella riflessa da sinistra verranno aggiunte. Se esse sono esattamente in fase per un  $\lambda_R$  (lunghezza d'onda di risonanza) della cavità, l'ampiezza sarà raddoppiata e l'energia diretta a destra verrà quadruplicata.

Una prima reazione è che 4/5 dell'energia luminosa andranno allora nel percorso desiderato. Ciò non è così. La porta che dà luogo al flusso di sinistra nella fibra di entrata è ovviamente accoppiata alla cavità egualmente così forte come la porta di entrata. L'unica maniera per ottenere il 100% di accoppiamento dalla porta di entrata è di rimuovere interamente la fibra superiore. L'aggiunta di una altra porta doppiamente accoppiata alla sommità fa disaccoppiare le porte di cavità molto male. Per un piccolo accoppiamento per porta, la seguente equazione è approssimativamente vera:

$$\text{energia accoppiata in} = \frac{4(X_1 + X_2 + X_3 \text{----})}{(1 + X_1 + X_2 + X_3 \text{---})^2}$$

in cui  $X_\lambda$  è il rapporto tra la costante di accoppiamento di energia (non ampiezza) della porta  $\lambda^{\text{esima}}$  con la costante di accoppiamento di energia della porta di entrata.

Ed inoltre:

$$\text{energia accoppiata nelle porte desiderate} = \frac{4(X_{d1} + X_{d2})}{(1 + X_1 + X_2 \text{---})^2}$$

In un caso, la prima porta non gestibile è la porta inferiore di direzione sinistra ed è della stessa forza di accoppiamento come la porta di entrata. Se non si assume alcuna perdita di energia dovuta a riflessione e così via, allora l'unica altra porta di uscita è la porta di combinazione superiore. Sia l'efficacia di accoppiamento di energia della porta combinata (interferita)  $X_d$ , allora l'uscita utile sarà:

$$\frac{4X_d}{(2 + X_d)^2} \text{ che ha un massimo a } X_d = 2$$

ma é ampiamente piatta da  $X_d =$  da 1 a 3.

Idealmente allora l'energia accoppiata nella fibra superiore in una direzione sarà grande la metà dell'energia accoppiata dalla fibra inferiore. L'interferenza aumenta ciò al doppio dell'energia accoppiata dalla fibra inferiore ed in questo caso il 50% della luce esce attraverso la fibra superiore, il 25% verso sinistra attraverso la fibra inferiore, il 25% passa senza essere diramato.

Per porre il caso in termini più generali, la terza parte della regola di equiportazione di energia dice che l'energia in una porta di uscita utile viene massimizzata se l'accoppiamento di energia in tale porta é eguale alla somma del coefficiente d'accoppiamento in tutte le altre porte contando le perdite come porte fittizie e contando la porta di entrata anche come una porta.

Vale a dire l'energia in una porta di uscita desiderata é massimizzata se:

$$X_d = X_{in} + \sum X_{perdita} + \sum X$$

Con l'assunzione che tutti i coefficienti di accoppiamento siano più piccoli.

L'uscita di energia attraverso la porta desiderata vicino ad una lunghezza d'onda di risonanza é:

$$E_{uscita} = E_{entrata} \frac{4 X_d}{[1 + \sum X_{perdita} + \sum X_{altre porte} + X_d]^2 + \left[ \frac{2 T, \delta \lambda}{K^2 entrata} \right]^2}$$

Ove  $\delta$  é lo spostamento in lunghezza d'onda da una linea di risonanza e  $\Delta \lambda$  é la distanza tra due linee di risonanza. Da ciò é ovvio che il punto in cui l'energia é la metà l'energia di picco é:

$$\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda} = \frac{(1 + \sum X) K_{entrata}}{2 \eta}$$

In questo caso:

$$1 + \sum X = 1^{\text{entrata}} + 1^{\text{uscita inferiore sinistra}} + 2^{\text{perdita di estremità}} + 4^{\text{uscita utile}} = 8$$

e  $K = 0,01$ .

Così al punto di metà energia:

$$\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda} = \frac{8 (0,01)}{2 \pi} \approx 0,013$$

Il 20% del punto di energia di picco é:

$$\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda} = \frac{2 (1 + \sum X)}{2 \pi} K_{in} \approx 0,026 \text{ nel nostro esempio.}$$

E il 10% del punto di picco é:

$$\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda} = \frac{3 (1 + \sum X)}{2 \pi} K_{in} \approx 0,039 \text{ nel nostro esempio.}$$

Se i canali di segnali vengono posti ad un distanziamento di  $0,039 \Delta \lambda$  circa il 10% di diafonia si otterrà tra i canali usando questo filtro, che può essere o no accettabile, e circa 25 canali possono essere compressi in un ordine.

Una forma di realizzazione alternativa della presente invenzione utilizza una fibra ad anello chiuso 16, come mostrato in Fig. 2, tra la fibra di entrata e di uscita preferibilmente usando accoppiamento laterale per la chiusura d'anello ed usando l'accoppiamento laterale per l'entrata e uscita, ed usando l'intero dispositivo per un filtro di lunghezza d'onda a cavità risonante.

Questo dispositivo ha il vantaggio di avere una perdita di energia molto bassa per giro. Una coppia laterale attentamente costruita può avere un'efficienza di passaggio ben superiore al 99% su una gamma spettrale di 1% della lunghezza d'onda di base.

Esso può anche essere fatto nella gamma di dimensioni di mezzo centimetro a 5 cm di diametro che é una regione di interesse. Il limite inferiore richiede considerevole attenzione. Un filtro ad elemento monofiltro utilizzante una fibra a circuito

chiuso può anche essere progettato in cui l'anello di filtro è una parte integrale della fibra di entrata o di uscita. Come mostrato nella Fig. 3A, la fibra di entrata 18 include l'anello di filtro integrale 20 che è accoppiato lateralmente su sé stesso nella regione 22 e che è lateralmente accoppiato alla fibra di uscita 14. Questa forma di realizzazione ha perdite minori rispetto a quella della Fig. 2, poiché tutta l'energia di entrata è o accoppiata nell'anello o continua attraverso la fibra di entrata.

Alternativamente l'anello può essere integrale con la fibra di uscita come mostrato in Fig. 3B. In questa forma di realizzazione la fibra di uscita 24 include il filtro ad anello 25 accoppiato lateralmente su sé stesso ed anche lateralmente accoppiato alla fibra di entrata 10.

I principi fisici e matematici dei dispositivi delle Figg. 2 e 3 sono più o meno gli stessi di quelli per la cavità risonante lineare. Ovviamente nessuna luce filtrata a movimento a ritroso si propagherà nell'una o l'altra fibra accoppiata. Lo svantaggio di una fibra ad anello chiuso è che non può essere fatta facilmente così piccola come la forma di realizzazione lineare. Se il raggio di curvatura viene fatto troppo piccolo si verificano perdite radiative. Inoltre deve esservi una lunghezza d'accoppiamento sufficiente tra l'anello e le fibre di entrata e di uscita. Se il diametro dell'anello è troppo piccolo, l'accoppiamento può non essere possibile nella lunghezza disponibile.

E' molto fastidioso rimuovere i canali uno alla volta da una linea principale ad una linea di alimentazione. E' difficile fare un filtro che rimuove diverse linee adiacenti in modo efficace e tuttavia taglia fuori in modo così netto che non interferisce con i canali vicino ai bordi tagliati. Un risonatore a cavità a molte linee realizza il risultato finale in modo molto efficace se è permessibile la rimozione



di tutti i canali per cui il filtro é risonante. L'obiettivo principale tuttavia é quello di rimuovere soltanto un canale.

Ciò viene realizzato ponendo due filtri a più linee in serie e costruendoli in modo tale che essi hanno differenti distanziamenti di linea come mostrato in Fig. 3.

I distanziamenti danno luogo ad una specie di effetto di nonio. In qualche punto le differenze dei  $\delta$  o distanziamento di linea si accumuleranno finché qualche linea del primo filtro si sovrapporrà alla successiva linea del secondo filtro. Le possibilità di sintonizzazione sono interessanti. Se le linee centrali sovrapposte sono contemporaneamente sintonizzate a destra (per esempio), la singola linea di uscita può essere scandita da A a B. Non é necessario scandire ulteriormente. Per andare al successivo canale possibile, il primo filtro viene lasciato ad A ed il secondo filtro viene sintonizzato per una quantità  $\delta$  a sinistra. La posizione successiva viene raggiunta muovendo entrambi i filtri di  $\delta$  verso destra e quindi così via finché alla fine si raggiunge C spostando il primo filtro di nuovo ad A ed il secondo filtro di  $2\delta$  alla sinistra di A e così via. Se il distanziamento di larghezza di linea rispetto a linea con linea é  $1/100$  e se  $\delta$  é 1 e B-A é 100, 10.000 canali possono essere raggiunti tenendo la posizione relativa ad un'accuratezza di una parte in cento e trattenendo la posizione simultanea ad una parte in cento.

Vale a dire se  $F_1$  é la posizione della linea centrale del primo filtro ed  $F_2$  é la posizione della linea centrale del secondo filtro,  $F_1$  deve essere tenuto ad un'accuratezza di  $\delta$  e  $(F_1 - F_2)$  ad un'accuratezza di  $\delta$ .

$F_1$  deve soltanto essere scandito su  $100 \delta$  ed  $(F_1 - F_2)$  su  $100 \delta$ . Questa é una realizzazione considerevole per poter scegliere una di 10.000 posizioni individuali senza avere più di 100 posizioni individuali di ciascuno dei due filtri.

Uno schema di un filtro a due stadi viene mostrato nella Fig. 5. Il primo ele-

mento di filtro 28 é dimensionato per lunghezze d'onda  $\lambda_i$ , ed il secondo elemento di filtro 30 é dimensionato per lunghezze d'onda  $\lambda_j$ . I due elementi di filtro sono accoppiati mediante un segmento di fibra intermedio 32.  $\lambda_{ij}$  é la serie di sovrapposizione di  $\lambda$  per i due filtri ed é questa serie di lunghezza d'onda che viene accoppiata alla fibra di uscita 14. E' anche possibile raggiungere risultati simili usando un filtro grossolano ed un filtro fine in serie.

I risultati sono più o meno gli stessi ma ora il filtro grossolano deve essere scandito attraverso 10.000  $\lambda$  per realizzare la gamma di sintonizzazione desiderata. Richiede ancora soltanto una precisione di una parte in cento (più o meno) poiché la sua larghezza di linea é cento volte maggiore.

Nell'uno o nell'altro caso, una parte dell'obiettivo che era quello di rimuovere una singola lunghezza d'onda su una fibra di uscita, é stato realizzato. Nel procedimento tutte le linee  $\lambda_i$  sono state tolte dalle linee principali e scartate. Ciò é naturalmente intollerabile per gli scopi della presente invenzione. Una facoltà é quella di reintrodurle sulla linea principale con un terzo filtro identico al primo filtro come mostrato in Fig. 6A, in cui la fibra intermedia 34 accoppia  $\lambda_i$  attraverso il terzo elemento di filtro 24 di nuovo alla fibra di entrata 10. Ciò é teoricamente buono, ma l'efficacia di passaggio del primo filtro 28 può essere portata fino anche al 90% soltanto con grande difficoltà. Ciò può essere visto dalle equazioni precedenti con il prezzo di far ciò che viene pagato riducendo  $\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda}$  al punto del 50% a circa 1/4. Ciò chiaramente annulla lo scopo. Inoltre anche se il 90% di tutto  $\lambda_i$  potrebbe essere risparmiato e l'81% rimanere dopo la reintroduzione, il  $\lambda_i$  verrebbe consumato molte volte prima di far ciò.

Un'alternativa é quella di abbassare gli obiettivi e disporre per rimuovere soltanto una piccola frazione di  $\lambda_{ij}$  ed usarla. Così si dovrà iniziare con un livello

di segnale superiore. Tuttavia non si attenuerà il  $\lambda_i$  così male. Come primo tentativo si toglie soltanto il 10% di  $\lambda_i$  in  $F_1$ . Quindi si verifica il compito quasi impossibile di porre di nuovo parte del 10% sulla linea principale. Per far ciò il filtro  $F_1$  dovrebbe avere un'elevata efficacia di trasferimento, ma ciò apre la larghezza di linea in modo che altre linee vengono tolte mentre si tenta di portare di nuovo  $\lambda_i$  su di essa. Ciò non può realizzare niente. Una tale piccola frazione di  $\lambda_i$  deve essere tolta e 100 tentativi lasceranno ancora abbastanza segnale per l'ultimo  $\lambda_i$  da togliere. Ciò porta a circa un livello di segnale dell'1% per  $\lambda_{ij}$ . Ciò non è impossibile ma non è molto soddisfacente.

Un filtro integrale a due stadi può essere costruito in diverse maniere. Due maniere vengono mostrate schematicamente nelle Figg. 6B e 6C. In Fig. 6B, niente luce passa del tutto attraverso a meno che il primo ed il secondo filtro 38 e 40 non siano direttamente accoppiati, ed essi abbiano una corisonanza (linea sovrapposta). Se il primo filtro 38 è risonante ed il secondo filtro 40 non lo è, allora la luce non può passare attraverso ed in teoria si può prevedere che torni indietro sulla linea principale. Accade un fatto piuttosto disturbante. Il primo filtro 38 avrà certe perdite e quando il secondo filtro 40 non serve come porta di uscita, l'energia viene forzata sulla porta di perdita fittizia o almeno la maggior parte di essa. Sfortunatamente anche se si cerca un trasferimento del 10% di  $\lambda_{ij}$ , il resto di  $\lambda_i$  viene risparmiato soltanto a spese di perdere il rapporto tra distanziamento di linea e larghezza di linea. Lo stesso è vero per la versione della Fig. 6C del filtro a due stadi in cui l'elemento di filtro lineare 42 è accoppiato direttamente al secondo filtro ad anello 44.

Così è stato escogitato un filtro ibrido a due stadi che raggiunge meglio gli obiettivi. Esso include un accoppiatore laterale dispersivo in combinazione con un

filtro risonatore a cavità.

Una versione é come mostrato schematicamente in Fig. 7. La luce é accoppiata lateralmente dalla fibra di entrata 10 all'elemento laterale interno 46 della sezione di risonatore 50 e viene accoppiata lateralmente fuori dall'elemento laterale esterno 48 alla fibra di uscita 14. Gli elementi esterno ed interno 46 e 48 formano un accoppiatore di filtro laterale sintonizzato che quando disteso diritto ha lo aspetto mostrato nella fig. 7A. La lunghezza d'onda risonante del filtro viene controllata dalla lunghezza degli elementi di filtro 46 e 48 con l'energia luminosa a quelle lunghezze d'onda che viene trasferita tra gli elementi come illustrati in Fig. 7A. Le interruzioni negli elementi di filtro sono così posizionate in modo da essere al punto in cui tutta l'energia per la lunghezza d'onda di interesse si trova nell'altro ramo, tale che quella lunghezza d'onda vede un percorso continuo. Per una lunghezza d'onda leggermente spostata dalla lunghezza d'onda sintonizzata, una parte dell'energia é perduta alle estremità aperte dell'interruzione. Così la cavità risonante ha una perdita per giro che é abbastanza fortemente dipendente dalla lunghezza d'onda. Ponendo una perdita ipotetica dipendente da lunghezza d'onda nella espressione di energia per l'energia accoppiata via dalla linea principale, si vede che se le altre perdite sono 0,01 e se il fattore di accoppiamento di energia dalle linee principali nella cavità é 0,002, l'energia trasferita all'uscita sarà

$$\frac{4(5)}{(1 + 5 + 5)^2} = \frac{20}{121} \approx 16\%$$

se l'accoppiamento alla linea di uscita é 0,01.

In corrispondenza della successiva linea risonante, se il fattore di perdita che é dipendente dalla lunghezza d'onda é soltanto 0,06, la luce accoppiata via dalla linea principale sarà soltanto:

$$\frac{4 (5 + 5 + 30)}{(1 + 5 + 5 + 30)^2} = \frac{4}{40} \cong 10\%$$

Si supponga che il fattore di perdita alla successiva linea risonante é aumentato a 0,12, l'energia a tale lunghezza d'onda rimossa dalle linee principali é soltanto 5,7% e così via.

Ciò che risulta é un'uscita che ha l'aspetto come mostrato nella Fig. 7B. L'operazione della Fig. 7B può essere ulteriormente migliorata mediante un altro filtro indipendente. La luce rimossa dalla linea principale appare come mostrato in Fig. 7C che illustra soltanto il lato di sinistra dello spettro completo come mostrato in Fig. 7B. Ciò é di molto il miglior risultato ottenuto. Soltanto il 10% viene rimosso dalla linea immediatamente adiacente ed il 6% dalla successiva é ancor meno dalla successiva. In questa maniera un gran numero di filtri di rimozione di linea singola può essere posto sulla linea principale. Ciascuno ruba al suo immediato vicino un poco di energia ma il risultato finale é che é limitato dall'accoppiamento di risonanza sfalsato che é 0,2%. Ciò permetterebbe probabilmente 500 di tali filtri in serie su una linea principale.

E' stato ipotizzato un certo fattore di perdita. Nei fatti attuali, la curva per il filtro laterale sintonizzato può essere usata come mostrata in Fig. 7D. Quindi é necessaria una scala di lunghezza d'onda. Un valore della regola del pollice viene dato per la dispersione relativa di due anime come:

$$\Delta n \cos \Theta = 1/3 (n_1 - n_2)$$

in cui  $n_1$  = indice di rifrazione. Si può ottenere un valore  $(n_1 - n_2)$  di 0,01.

Perciò in un accoppiatore di filtro lungo 2 cm con una lunghezza d'onda di  $1\mu$ ,

il primo nullo su ciascun lato é spostato di circa  $30 \text{ \AA}$ . La perdita a  $5 \text{ \AA}$  del

picco sarà di circa 0,06. Così l'involucro in questo caso sarà molto più ampio di

quello ipotizzato, poiché i distanziamenti di linea del risonatore a cavità (lungo 2 cm) sono  $1/2 \overset{0}{\text{Å}}$ . La curva di energia di rimozione dalla linea principale cadrà al 10% soltanto alla decima linea dal centro. Tale situazione è non inutilizzabile, ma illustra la necessità di una dispersione relativa superiore allo 0,03. Sarà vantaggioso avere una dispersione di almeno 0,1.

E' necessario far cadere l'estrazione di energia alla linea risonante centrale un poco meno e/o aumentare l'energia disponibile sulla linea principale in modo che anche dopo sconfinamento da parte dei filtri adiacenti ed anche dopo un'efficienza di passaggio piuttosto bassa, il livello di energia è adeguato per il rilevamento. Anche con i parametri dati il sistema è operabile.

La versione lineare del filtro della Fig. 7 viene presentata in Fig. 8. In questa forma di realizzazione gli elementi di filtro 52 e 54 definiscono una coppia di filtro dispersivo sintonizzata. L'elemento 52 ha lo specchio 56 alla sua sinistra e mentre l'elemento 54 ha lo specchio 58 alla sua estremità di destra per definire la lunghezza appropriata. La lunghezza di accoppiamento tra gli elementi viene scelta per dare preferenza alla lunghezza d'onda specifica di interesse in modo che si sviluppa il funzionamento a due stadi. Per acuire ulteriormente la risposta del filtro, le estremità non a specchio possono essere rese perdenti in modo aumentante per aiutare ad attenuare le lunghezze d'onda non desiderate.

Gli specchi non è necessario che siano posizionati come mostrato. A seconda della lunghezza della coppia dispersiva, gli specchi possono essere posizionati sulla stessa fibra o sull'estremità di destra della fibra superiore 54 e l'estremità inferiore della fibra inferiore 52. Il requisito è che essi definiscono un numero integrale di lunghezze d'onda tra di essi per la lunghezza d'onda di interesse.

La successiva forma di realizzazione è una cavità risonante a tre stadi come mo-

strato in Fig. 9.

Riferendosi all'illustrazione della Fig. 9A, si consideri dapprima il terzo filtro ad anello 64. Esso é risonante a  $\lambda_0$ . Si supponga il coefficiente di accoppiamento di energia dal secondo filtro 62 al terzo filtro 64 che sia 0,01, e si supponga che le perdite nel terzo filtro 64 sono 0,01 al giro. Alla risonanza tutta l'energia proveniente dal primo filtro 60 viene accoppiata nel terzo filtro 64. Vale a dire l'accoppiamento dal filtro 62 al filtro 64 diventa 1,0 invece di 0,01. Il filtro 62 si trova alla risonanza in  $\lambda_1$ , ma mediante l'equazione riportata in precedenza, l'energia accoppiata via dal filtro 64 da parte del filtro 62 é 0,01 a causa del grande accoppiamento dal filtro 62 al filtro 64. Infatti il filtro 62 appare essere interrotto all'intersezione con il filtro 64. Se l'accoppiamento dal filtro 60 al filtro 62 alla risonanza é soltanto 0,01, il 16% di  $\lambda_0$  viene accoppiato nell'uscita utile. A  $\lambda_1$  il filtro 64 non é risonante. Perciò l'accoppiamento dal filtro 62 al filtro 64 é approssimativamente 0,01. Il filtro 62 é risonante a  $\lambda_1$ . Perciò l'energia accoppiata dal filtro 60 al filtro 62 é

$$\frac{4 (1)}{(1 + 1)^2} = 100\%$$

Perciò benché il filtro 60 é nominalmente risonante, esso appare interrotto alla giunzione con il filtro 62 e così non può risonare e preleva via soltanto circa lo 0,2% di  $\lambda_1$  dalla linea principale. E così si é finalmente realizzato ciò che si era stabilito di fare. Si deve notare che la fibra di uscita 10 é accoppiata allo elemento di filtro 60 al di sotto dell'area di sovrapposizione terminale.

L'accoppiamento di  $\lambda_0$  può essere aumentato nell'appropriata uscita aumentando l'accoppiamento dalla linea principale 10 sul filtro 60. Tuttavia ciò aumenta la linea di base, l'accoppiamento fuori risonanza di ciascun canale nel filtro 60. Il limite a ciò viene fissato dal numero di filtri che si intende porre sulla linea

principale. Il valore di 0,2% permette forse da 500 a 2000 filtri sulla linea principale. Questo sconfinamento risonante della linea di base non é quasi così dannoso come lo sconfinamento risonante di ordine adiacente che si incontrava prima, poiché questa perdita di energia dipende se qualche filtro a monte é sintonizzato ad un certo  $\lambda$ . In altre parole la variabilità e non prevedibilità della energia erogata al filtro n<sup>esimo</sup> era più dannosa rispetto ad un basso livello di energia.

La forma di realizzazione a cavità diritta di questo filtro a tre stadi viene mostrata in Fig. 10. Tre anime sono state poste in una fibra per realizzare questa versione.

Questa spiegazione é la stessa come per la cavità ad anello. Entrambe le estremità del blocco di filtro 66 sono riflettenti. E' stata mostrata una sezione trasversale con le fibre principali 68 che passano attraverso nella direzione Z. La fibra di uscita 70 origina in corrispondenza della prima faccia del blocco di filtro e va avanti indefinitamente nella direzione Z.

Il primo filtro 70 ed il secondo filtro 72 sono stati mostrati sull'asse X della disposizione ordinata, con il terzo filtro 74 spostato nella dimensione Y. Ciò viene fatto per illustrare uno schema di sintonizzazione. L'organo piuttosto grande mostrato come blocco di sintonizzazione 76 si estende per alcuni cm in ciascuna direzione nella dimensione Z. Così esso può essere facilmente piegato nel piano X-Z o nel piano Y-Z oppure in entrambi.

Il blocco é molto più largo nella direzione X di quanto mostrato ma soltanto spesso quanto il complesso di fibra. La geometria é tale che quando vi é una piega Y-Z la linea di sollecitazione 0 giace lungo 70, 72 nella dimensione Y. Così una piega lascia i filtri 70 e 72 invariati e comprime il terzo filtro 74. In questa



maniera le linee risonanti di filtro del filtro 74 sono spostate rispetto a quelle del primo e del secondo filtro 70 e 72. Nel piano X-Y ed il blocco di sintonizzazione è così spesso che per gli scopi pratici una piega in tale dimensione stira tutti e tre gli elementi di filtro. Questa geometria piuttosto esatta è necessaria soltanto per la semplicità di spiegazione. Con questo dispositivo si può sintonizzare a qualsiasi lunghezza d'onda mediante una combinazione di curve nelle due dimensioni. Il movimento nella dimensione Y-Z tende a sintonizzare alla linea 0, 100, 200, 300 e così via, e nella dimensioni X-Z a sintonizzare da 1 a 2 a 3 o 101 a 102 a 103 e così via. Ciò viene approssimato nel dispositivo dell'invenzione. Questa è soltanto una delle molte possibilità di sintonizzazione. In questi dispositivi a cavità, la risonanza è una funzione di  $n \cos \theta \frac{L}{\lambda}$  ove n è l'indice di rifrazione,  $n \cos \theta$  è la costante di propagazione ed L è la lunghezza fisica del dispositivo. Così per una data variazione percentuale in n, vi è una corrispondente variazione percentuale in  $\lambda$ .

Nella coppia dispersiva

$$\frac{dn}{d\lambda} \approx \frac{1}{3} (n_1 - n_2)$$

$\frac{1}{3} (n_1 - n_2)$  è molto meno di uno in modo che una variazione in n produce una variazione corrispondentemente molto più grande in  $\lambda$ .

In tutti gli esempi riportati in questa relazione, tutti gli elementi di fibra preferibilmente funzionano nella regione di lunghezza d'onda a modo singolo senza discussione dell'esistenza di due possibili polarizzazione. E' stata fatta la presunzione che l'elemento di fibra di entrata ha soltanto un modo di polarizzazione eccitato e che l'accoppiamento tra gli elementi è tale da evitare la stimolazione del secondo modo di polarizzazione. Ciò non è tuttavia una limitazione necessaria. In ogni caso se due polarizzazione vengono stimulate, si verificherà una doppia

serie di linee risonanti. Il filtro funziona ancora ma l'esistenza della doppia serie di linee deve essere tenuta in considerazione quando si usa il filtro.

Anche la limitazione al modo singolo non è necessaria benché sia la forma di realizzazione preferita. L'esistenza di modi multipli in uno qualsiasi degli elementi di risonatore moltiplica e complica la struttura di linea risonante ma non impedisce ai dispositivi di funzionare.

Rispetto ai risonatori a modo singolo e ad un elemento di fibra di entrata a molti modi, la presente invenzione differisce da altri filtri selettivi di lunghezza d'onda per il fatto che fornisce una unica struttura di linea di filtro indipendente dalla struttura di modo della fibra di entrata. Nei filtri precedenti la lunghezza d'onda viene determinata dalla relazione tra la costante di propagazione di un modo di fibra di entrata e quello della fibra di uscita.

Nella presente invenzione la linea o linee di filtro sono determinate soltanto dal risonatore. Soltanto il grado di accoppiamento di ingresso è influenzato dal trasferimento laterale accoppiato in fase.

Perciò nell'usare una fibra a molti modi come elemento di entrata, è necessario soltanto fornire un accoppiamento di fase sufficientemente stretto alla lunghezza d'onda desiderata tra il risonatore e almeno un modo della fibra di entrata. Se l'energia nella fibra a molti modi viene divisa tra molti modi possibili, allora è impossibile rimuovere una grande percentuale dell'energia totale poiché non sarà possibile accoppiarsi in fase con tutti i modi. Infatti soltanto uno può essere accoppiato esattamente. In alcune applicazioni una tale derivazione parziale di una lunghezza d'onda da una fibra a molti modi sarà una realizzazione utile poiché non vi è attualmente alcuna altra maniera per far ciò con una diramazione laterale.

L'accoppiamento in fase di un modo della fibra a molti modi con il risonatore

può essere realizzato mediante progettazione o per sintonizzazione. L'intera struttura di modo della fibra a molti modi può essere spostata mediante sollecitazione longitudinale, variazione di temperatura, sollecitazione laterale o piegamento.

Si deve perciò riconoscere che mentre la precedente descrizione è stata applicata a forme di realizzazione specifiche, numerose modifiche e adattamenti possono essere fatti entro l'ambito dell'invenzione così come rivendicata.

#### RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo per trasferire energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica accoppiato lateralmente ad un risonatore a cavità di fibra.
2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1 in cui detto risonatore a cavità di fibra è sotto forma di un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità a specchio.
3. Dispositivo secondo la rivendicazione 1 in cui detto risonatore a cavità a fibra è sotto forma di un elemento a fibra ottica lineare formato ad anello chiuso.
4. Dispositivo secondo la rivendicazione 3 in cui le estremità dell'elemento a fibra ottica lineare di detto anello chiuso sono accoppiate lateralmente l'una all'altra.
5. Filtro per energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica di entrata, un risonatore a cavità a fibra ed un elemento a fibra ottica di uscita avente una prima estremità, dette fibre di entrata e di uscita essendo accoppiate lateralmente a detto risonatore a cavità a fibra.
6. Filtro secondo la rivendicazione 5 in cui detta sezione di risonatore a cavità a fibra è sotto forma di un elemento a fibra ottica lineare.
7. Filtro secondo la rivendicazione 5 in cui detta fibra di uscita include uno specchio alla sua prima estremità.

8. Filtro secondo la rivendicazione 5 in cui detto risonatore a cavità a fibra é sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità.

9. Filtro secondo la rivendicazione 8 in cui l'estremità dell'elemento a fibra ottica che forma l'anello chiuso sono accoppiate lateralmente l'una all'altra.

10. Filtro secondo la rivendicazione 8 oppure 9 in cui il diametro dell'anello chiuso é da circa 0,5 a 5,0 cm.

11. Filtro ottico a due stadi per energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica di entrata, una prima sezione di risonatore a cavità a fibra accoppiata lateralmente a detta fibra di entrata, una seconda sezione a risonatore a cavità a fibra accoppiata a detta prima sezione di risonatore, ed un elemento a fibra ottica di uscita accoppiato lateralmente a detta seconda sezione di risonatore.

12. Filtro secondo la rivendicazione 11 in cui detta seconda sezione di risonatore é accoppiata a detto primo filtro risonatore attraverso un elemento intermedio formato da un elemento a fibra ottica avente una prima ed una seconda estremità.

13. Filtro secondo la rivendicazione 12 in cui dette prima e seconda sezione di risonatore sono accoppiate lateralmente a detto elemento intermedio.

14. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta prima sezione di risonatore é sintonizzabile.

15. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta seconda sezione di risonatore é sintonizzabile.

16. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui dette prima e seconda sezione di risonatore sono sintonizzabili.

17. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta prima sezione di risonatore ha una lunghezza effettiva eguale ad un primo numero intero di lunghezze d'onda della

lunghezza d'onda che si vuole filtrare e detta seconda sezione di risonatore ha una lunghezza effettiva eguale ad un secondo numero intero di lunghezze d'onda della lunghezza d'onda che si vuole filtrare.

18. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta prima sezione di risonatore é sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità.

19. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta seconda sezione di risonatore é sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità.

20. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui dette prima e seconda sezione di risonatore sono ciascuna sotto forma di un anello chiuso.

21. Filtro secondo le rivendicazioni 17 o 18 in cui le estremità dell'elemento di fibra ottica formanti detto anello chiuso sono accoppiate lateralmente l'una alla altra.

22. Filtro secondo la rivendicazione 20 in cui le estremità degli elementi di fibra ottica che formano detto anello chiuso sono accoppiate lateralmente l'una alla altra.

23. Filtro secondo le rivendicazioni 13, 18, 19 o 20 comprendente inoltre una terza sezione di risonatore a cavità a fibra lateralmente accoppiata a detto elemento intermedio e a detta porta di entrata.

24. Filtro secondo la rivendicazione 23 in cui detta terza sezione di risonatore é sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità.

25. Filtro secondo la rivendicazione 24 in cui le estremità dell'elemento a fibra ottica che forma detta terza sezione di risonatore sono accoppiate lateralmente

l'una all'altra.

26. Filtro per l'energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica di entrata accoppiato ad una coppia laterale dispersiva formata da un primo ed un secondo elemento a fibra ottica ciascuno avente una prima ed una seconda estremità, ed un elemento a fibra ottica di uscita accoppiato a detto accoppiatore laterale dispersivo.

27. Filtro secondo la rivendicazione 26 in cui detto elemento a fibra ottica di entrata è accoppiato lateralmente a detto primo elemento di fibra ottica e detto elemento di fibra ottica di uscita è accoppiato lateralmente a detto secondo elemento di fibra ottica.

28. Filtro secondo la rivendicazione 27 in cui detti primo e secondo elemento forma una coppia di anelli concentrici ciascuno avente una prima ed una seconda estremità in una relazione non accoppiata l'una rispetto all'altra, detto primo formando l'anello esterno di detta coppia.

29. Filtro secondo la rivendicazione 28 in cui dette estremità non accoppiate di detto primo elemento sono posizionate in vicinanza della porta di entrata e dette estremità non accoppiate di detto secondo elemento sono diametralmente opposte a dette estremità distanziate di detto primo elemento.

30. Filtro secondo la rivendicazione 20 in cui le lunghezze effettive di detti primo e secondo elemento ottico sono tali che l'energia luminosa si trasferisce tra di essi in modo che tutta tale energia è entro detto primo elemento ottico in corrispondenza del punto adiacente alle estremità non accoppiate di detto secondo elemento ed entro detto secondo elemento in corrispondenza del punto adiacente alle estremità distanziate di detto primo elemento.

31. Filtro secondo la rivendicazione 27 in cui detti primo e secondo elemento

a fibra ottica sono lineari.

32. Filtro secondo la rivendicazione 31 in cui detto primo elemento a fibra ottica ha uno specchio alla sua prima estremità ed il secondo elemento di fibra ottica ha uno specchio alla sua seconda estremità.

33. Filtro secondo la rivendicazione 32 e comprendente inoltre mezzi per aumentare preferenzialmente le perdite per le lunghezze d'onda risonanti per la coppia laterale dispersiva che non forniscono un numero intero esatto di trasferimenti d'accoppiamento tra detti primo e secondo elemento di fibra ottica.

34. Filtro secondo la rivendicazione 33 in cui detti mezzi di perdita preferenziale sono posizionati in vicinanza delle estremità non a specchio di detti primo e secondo elemento di fibra ottica.

35. Filtro ottico per l'energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica di entrata accoppiato ad una prima sezione di risonatore a cavità a fibra, una seconda sezione di risonatore a cavità a fibra lateralmente accoppiata a detta prima sezione di risonatore a cavità a fibra, una terza sezione di risonatore a cavità a fibra lateralmente accoppiata a detta seconda sezione di risonatore a cavità a fibra, ed un elemento a fibra ottica di uscita lateralmente accoppiato a detta prima sezione di risonatore a cavità a fibra.

36. Filtro secondo la rivendicazione 35 in cui una o più di dette sezioni di risonatore a fibra sono sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica avente una prima ed una seconda estremità.

37. Filtro secondo la rivendicazione 36 in cui le estremità dell'elemento che forma detto anello o toro sono accoppiate lateralmente l'una all'altra.

38. Filtro secondo la rivendicazione 37 in cui detta terza sezione di risonatore a cavità a fibra è risonante ad una prima lunghezza d'onda e dette prima e seconda

sezione di risonatore a cavità a fibra sono entrambe risonanti ad una seconda lunghezza d'onda.

39. Filtro secondo la rivendicazione 35 in cui dette prima, seconda e terza sezione di risonatore a cavità a fibra sono lineari e parallele l'una all'altra.

40. Filtro secondo la rivendicazione 39 in cui dette prima, seconda e terza sezione di risonatore a cavità sono formate da un singolo elemento a fibra ottica lineare.

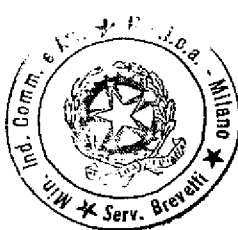
41. Filtro secondo la rivendicazione 40 in cui dette prima e seconda sezione di risonatore a cavità a fibra giacciono in un piano e detta terza sezione di risonatore a cavità a fibra é sfalsata da detto piano.

42. Filtro secondo la rivendicazione 41 comprendente inoltre mezzi per sintonizzare detto filtro.

43. Filtro secondo la rivendicazione 39 in cui detti mezzi di sintonizzazione includono un blocco di sintonizzazione atto ad applicare sollecitazioni a detto singolo elemento a fibra ottica lineare.

pp. Signor John Wilburn HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDELLI & CO. S.R.L.



l'Ufficiale Rogante  
Pietro Messinero



24802 A/82

Numero di serie: 331052

Esaminatore assistente: LEE

Classe 350 ; Sottoclasse 96.15 ; Gruppo 254 ;

Data di deposito: 16/12/81

Richiedent e: JOHN W. HICKS Jr, SOUTHBRIDGE, MA.

Titolo dell'invenzione: "DISPOSITIVO DI FILTRAGGIO CON CAVITA' RISONANTE A  
FIBRE OTTICHE"

Inviare corrispondenza a: WOLDER, GROSS & YAVNER  
41 E. 42ND ST.  
NEW YORK, NY 10017

Principale procuratore:

La presente sta a certificare che l'allegata é una copia autentica dai registri dell'Ufficio Brevetti degli Stati Uniti della domanda come originariamente depositata e che é sopraidentificata.

F.to R.L. HARVEY

Ufficiale Certificante

Data: 4 GENNAIO 1983

Timbro rotondo  
Ufficio Brevetti e Marchi degli Stati Uniti  
Stanza ricevimento posta  
16/12/1981

N° 331052

# DISPOSITIVO DI FILTRAGGIO CON CAVITA' RISONANTE A FIBRE OTTICHE"

La presente invenzione riguarda principalmente il filtraggio di lunghezza d'onda e più specificatamente il filtraggio di lunghezza d'onda per mezzo di tecniche a fibre ottiche. Ancora più specificatamente, la presente invenzione riguarda la separazione di bande strette di lunghezza d'onda da una regione spettrale più ampia attraverso l'uso di un dispositivo a fibre ottiche meccanicamente separato dal dispositivo che porta la lunghezza d'onda della regione spettrale più ampia.

In precedenti brevetti dello stesso richiedente, l'accoppiamento laterale dispersivo sintonizzato tra due anime di fibra è stato descritto; tuttavia la costruzione di un filtro mediante tali mezzi avente una larghezza inferiore a 0,001 della lunghezza d'onda centrale è risultata essere difficile. Tale difficoltà nasce dalle limitazioni del processo di trafilatura per il dispositivo a fibra che produce una

variazione nel diametro della fibra. La tecnica della trafilatura di fibre ottiche sta migliorando giorno per giorno, e la precedente limitazione sta scomparendo con la raffinazione della tecnica di trafilatura delle fibre; ciò nonostante esiste ancora la difficoltà e vi è attualmente una necessità per un filtro nella gamma di meno di  $1 \text{ Å}$  nella regione da 1 a 2 micron.

Il filtraggio a banda stretta come espresso nel precedente paragrafo è utile poiché in un grande sistema di comunicazioni il costo delle linee principali si riduce quando aumenta il numero di canali di segnale per fibra. Ancora ulteriormente il numero di porte possibili in una stazione di commutazione sale quando aumenta il numero di canali per fibra. Per mettere in risalto l'ultimo degli usi precedenti del filtro a banda stretta, la commutazione deve essere categorizzata ampiamente in due tecniche: una maniera comune di commutazione richiede l'intersezione di  $m$  linee su  $n$  in una matrice rettangolare e fornisce interruttori a ciascun punto di incrocio. Naturalmente un tale sistema si fonda principalmente su un numero grandissimo di interruttori a due posizioni.

Una seconda maniera utilizza la trasmissione per  $n$  stazioni. Ciascuna stazione di trasmissione usa uno di molti possibili canali. La commutazione viene realizzata sintonizzando l'appropriata porta ricevitrice allo stesso canale della porta trasmittitrice prescelta.

In termini di commutazione di trasmissione, una linea di trasmissione a molti canali offre un miglioramento sulla trasmissione a spazio libero poiché l'energia di ciascun canale non deve essere così grande. L'energia di canale viene incanalata ad una linea comune e rimane sulla linea finché passa una porta che rimuove l'energia dalla linea. Le fibre ottiche offrono un perfezionamento sulle stazioni di commutazione di trasmissione a canale a causa del numero grandissimo di canali

possono essere portati da una singola linea di fibra.

Se una fibra a modo singolo porta 100 canali distribuiti su 1/10 dello spettro ottico appena oltre il bordo a modo singolo, essa verrà caricata in termini di larghezza di banda soltanto quando il regime di modulazione su ciascun canale è di circa  $5 \times 10^{10}$  impulsi al secondo (presumendo che la regione di lunghezza d'onda sia attorno ad 1 micron). Tuttavia tali elevati regimi di modulazione sono difficili da ottenere con l'attuale tecnologia. Inoltre gli impulsi sono diffusi in modo relativamente rapido quando essi viaggiano lungo una lunghezza di fibra a causa della dispersione di velocità di gruppo. Ancora ulteriormente, nessuno sembra avere molta necessità per un singolo segnale di informazione con un regime superiore a quello video. Perciò per caricare completamente tale fibra a 100 canali di lunghezza d'onda, sarebbe necessario moltiplicare nel dominio del tempo approssimativamente 1000 segnali video. I mezzi per moltiplicare nel dominio del tempo sono relativamente molto costosi e con lo stato attuale della tecnica elettronica non è possibile effettuare moltiplicazione a divisione di tempo in pacchetti con segnali di regime video e regimi di tronco di  $5 \times 10^{10}$  impulsi al secondo. E' a malapena possibile, se si riesce, a  $5 \times 10^9$  impulsi al secondo.

Per le ragioni di cui sopra, sarebbe estremamente vantaggioso poter usare da 10.000 a 100.000 canali di lunghezza d'onda su una singola fibra e non dover usare affatto alcuna moltiplicazione a dominio di tempo. per realizzare ciò è necessario filtrare una larghezza di linea da 1/100.000 a 1/1.000.000 della lunghezza d'onda di base, che nella regione di lunghezza d'onda da un micron arriva da  $0,1 \text{ Å}^0$  giù fino a  $0,01 \text{ Å}^0$ . Non vi è nulla di cruciale circa questi numeri esatti. Vi è anche qualche vantaggio limitato in un filtro con una larghezza di linea da  $1 \text{ Å}^0$  in opposizione ad una larghezza di  $10 \text{ Å}^0$ .

Vi sono varie applicazioni per i filtri di lunghezza d'onda ma in quello giusto usato per illustrazione, si deve fare quanto segue: (1) separare via una linea spettrale stretta su un percorso separato. (2) Disturbare il resto dei canali di lunghezza d'onda il meno possibile. Per esempio se uno dovesse rimuovere la metà dell'energia nel resto dei canali, il numero di porte riceventi operabili diminuisce considerevolmente. Non è necessario porre tutti gli n ricevitori su una singola linea. La stessa serie di canali portatori di segnale può essere mandata su diverse linee in parallelo in modo che tutti i ricevitori non devono essere sulla stessa linea. Tuttavia vi è un vantaggio nel perturbare i canali non filtrati il meno possibile e usare il minimo numero di linee parallele in una stazione di commutazione.

Un'altra area di impiego è in un sistema di distribuzione a fibre ottiche. In un tale sistema, una stazione di commutazione locale indirizza un particolare ricevitore su una linea di distribuzione comune ponendo il segnale sul canale di lunghezza d'onda al quale il ricevitore è sintonizzato. Vale a dire il ricevitore ha una presa di linea sintonizzata fissa che rimuove un canale di lunghezza d'onda quando passa sulla linea comune. Di nuovo è desiderabile lasciare i canali non derivati il meno perturbati possibili. Il vantaggio di aumentare il numero di canali da 100 a 1.000 o 10.000 su una linea di distribuzione locale non è sorprendente, ma vi è un vantaggio periferico nell'uso della presente invenzione oltre la larghezza di linea. Tale vantaggio è l'aumentata stabilità alla temperatura della presente invenzione per una data larghezza di linea. Un secondo vantaggio periferico è la facilità di fare la derivazione di linea.

Nella tecnologia esistente vi sono altri sistemi per il filtraggio a linea stretta. Per esempio la normale scelta di mezzi di filtraggio di linea ottica è

disponibile, come prismi, reticoli di diffrazione, interferometri di Fabry-Perrot e simili. Essi soffrono tutti dello svantaggio della loro geometria. In nessuno di tali dispositivi é facile avere la luce filtrata su una fibra ed avere il resto della luce su un'altra fibra.

Il dispositivo di Fabry-Perrot é l'unico menzionato che raggiunge larghezze di linea basse fino ad  $1 \text{ \AA}$  in un piccolo volume. Il tipico monocromatore a reticolo di diffrazione atto a risolvere  $1 \text{ \AA}$  é lungo 3 m con un volume di circa  $14 \text{ m}^3$ . Chiamamente esso non é un dispositivo conveniente per i presenti scopi.

Di conseguenza uno scopo principale della presente invenzione é quello di fornire il filtraggio di lunghezza d'onda mediante mezzi a fibre ottiche in modo che bande strette di lunghezze d'onda vengono separate da una regione spettrale più ampia.

Uno scopo più specifico della presente invenzione é quello di fornire il filtraggio di cui sopra mediante accoppiamento laterale in relazione ad una cavità risonante ottica.

Questi ed altri scopi della presente invenzione vengono forniti in forme di realizzazione preferite ed alternative della presente invenzione che realizzano un filtro a cavità risonante per l'uso nella regione ottica da 0,2 micron a 3 micron ed in forma di fibra. Il dispositivo a cavità risonante di fibra della presente invenzione ha comparativamente basse perdite per ciclo ed é abbastanza piccolo per funzionare nella gamma di larghezza di linea da  $1 \text{ \AA}$  a  $0,01 \text{ \AA}$ . La presente invenzione diventa altamente analoga ad un interferometro di Fabry-Perrot ponendo un rivestimento di metallo altamente efficace come alluminio od argento all'estremità di una fibra a moto singolo. Così le equazioni che reggono l'operazione di Fabry-Perrot sono utili nel prevedere ed analizzare la fibra a cavità risonante della presente invenzione. Per evitare una perdita nell'accoppiamento, che si ritrova tipicamente

nelle strutture d'accoppiamento di testa, l'accoppiamento laterale risonante come descritto nel brevetto U.S.A. dello stesso richiedente Numero di Serie 21868 depositato il 19 Marzo 1979 e qui incorporato per riferimento, viene usato come tecnica principale per la presente invenzione. I tipi di fibre descritti in tale relazione rappresentano strutture di fibra preferite per la presente invenzione.

Forme di realizzazione alternative realizzano anche la tecnica di accoppiamento laterale, ma in un anello piuttosto che nella configurazione allungata della prima forma di realizzazione preferita. Un'ulteriore forma di realizzazione alternativa realizza anche l'accoppiamento laterale in una struttura di fibra con due stadi ad anello. Ancora un'ulteriore forma di realizzazione alternativa é effettivamente un filtro a due stadi ibrido con un accoppiatore laterale dispersivo in combinazione con un filtro risonatore a cavità. Ancora un'altra forma di realizzazione alternativa realizza una cavità risonante a tre stadi, in una forma di realizzazione con una configurazione ad anello ed in un'altra forma di realizzazione con cavità diritte. Ciascuna forma di realizzazione della presente invenzione contempla l'utilizzazione di energia luminosa a modo singolo o a modo multiplo.

Altri scopi, caratteristiche e vantaggi della presente invenzione diverranno chiari facendo riferimento alla seguente descrizione più dettagliata di forme di realizzazione preferite ed alternative ma ciò nonostante illustrative, con riferimento ai disegni annessi in cui:

la Fig. 1 rappresenta una forma della presente invenzione che realizza una struttura di tipo Fabry-Perrot, ed in cui le fibre di entrata e di uscita sono unite da una fibra di filtro intermedia accoppiata laterale in una configurazione allungata;

la Fig. 2 rappresenta una forma di realizzazione della presente invenzione che

realizza una fibra ad anello con accoppiamento di entrata e di uscita abilitato per mezzo di tecniche di accoppiamento laterali;

le Figg. 3A e 3B rappresentano forme di realizzazione della presente invenzione in cui l'elemento di filtro é una parte integrale rispettivamente della fibra di entrata o della fibra di uscita;

la Fig. 4 rappresenta i canali o linee prodotti ponendo due filtri a molte linee in serie, ma costruendoli in modo tale che essi hanno distanziamenti di linea differenti;

la Fig. 5 rappresenta una forma di realizzazione alternativa della presente invenzione, simile nel funzionamento alla forma di realizzazione mostrata in Fig. 2, ma con un anello di secondo stadio aggiunto;

le Figg. 6A - 6C rappresentano forme di realizzazione alternative simili nel funzionamento alle forme di realizzazione delle Figg. 2 e 5, ma con la Fig. 6A che mostra un filtro ulteriore, identico al primo filtro della Fig. 5 introdotto per rientrare in una parte dell'uscita di primo stadio sulla linea principale; la Fig. 6B mostrando un filtro ad anello a due stadi in linea e la Fig. 6C mostrando un filtro ad anello a due stadi parallelo;

la Fig. 7 mostra anche una forma di realizzazione alternativa di un filtro a due stadi, ma in una configurazione ibrida con un accoppiatore laterale dispersivo in combinazione con un filtro risonatore a cavità, che quando disposto diritto appare come mostrato in Fig. 7A;

le Figg. 7B, 7C e 7D permettono la spiegazione del funzionamento del filtro ibrido a due stadi della Fig. 7;

la Fig. 8 rappresenta la versione lineare del filtro ad accoppiatore laterale dispersivo della Fig. 7;



la Fig. 9 rappresenta schematicamente un filtro a cavità risonante a tre stadi secondo la presente invenzione come descritto in questa relazione, quando la fibra di uscita è accoppiata al di sotto delle estremità sovrapposte del primo elemento di filtro con la Fig. 9A che permette la spiegazione delle sue caratteristiche operative; e

la Fig. 10 schematicamente rappresenta una versione lineare di un filtro a cavità risonante a tre stadi.

Le cavità risonanti sono ben note nelle regioni più lunghe di lunghezza d'onda dello spettro elettromagnetico, ma tali dispositivi sono un'eccezione entro la regione ottica di tale spettro. Anche quando le cavità risonanti vengono usate nella parte ottica dello spettro, esse soffrono di elevati regimi di perdita per ciclo e non sono abbastanza piccole da funzionare nella gamma di larghezza di linea da  $1 \text{ Å}$  a  $0,01 \text{ Å}$ . Tali dispositivi sono universalmente in forma ottica piana piuttosto che in forma di fibra e la perdita di luce per giro è relativamente elevata in tali dispositivi piani. Ancora ulteriormente è stato provato difficile accoppiare efficacemente da una fibra ad un dispositivo piano. La struttura fisica dei dispositivi risonanti esistenti è così grande (30 cm di circonferenza e più) che alla linea di un micron il distanziamento è  $1/30$  di  $\text{Å}$  o meno con una larghezza di linea di  $1/3000$  di  $\text{Å}$ .

Se si usa un dispositivo a fibra sotto forma di una cavità risonante lineare avente rivestimenti metallici altamente riflettenti alle estremità ed un funzionamento a moto singolo con accoppiamento di testa alle fibre di trasmissione, ne risultano delle difficoltà.

La difficoltà fondamentale viene condivisa con l'apparecchio di Fabbry-Perrot. Vale a dire la natura di una superficie metallica altamente riflettente è quella

di assorbire la maggior parte della luce che non viene riflessa. Ciò é inerente nel processo di riflessione per gli specchi metallici, e cosí questo dispositivo ha un'efficacia di passaggio molto bassa alla lunghezza d'onda risonante.

Nel caso di un dispositivo di Fabry-Perrot, ciò può essere evitato usando rivestimenti dielettrici a molti strati altamente riflettenti. Tali specchi a molti strati sono necessariamente non sottili in confronto alla lunghezza d'onda della luce da riflettere.

Perciò a causa di questo spessore, essi non saranno altamente efficienti sulle facce terminali di un risonatore a cavità a fibra lineare, e costituiscono un interstizio indesiderabile nel percorso ottico.

Una seconda difficoltà é che il fascio di luce restante non filtrato viene ricondotto sulla stessa fibra che ha portato la luce alla cavità. Ciò é qualunque cosa all'infuori che conveniente.

Una terza difficoltà é comune a tutti i dispositivi a cavità risonante semplice di questo tipo. Vale a dire vi sono molte linee risonanti più o meno egualmente distanziate.

La condizione per la risonanza é che tutte le variazioni di fase risultanti da fattori che influenzano la fase della luce durante un percorso circolare completo devono aggiungersi ad un numero intero di lunghezze d'onda. Ovviamente se per una data lunghezza d'onda risonante il percorso ottico é 1000 lunghezze d'onda, allora vi sarà un'altra lunghezza d'onda risonante tale che il percorso ottico sia 999 lunghezze d'onda e un'altra a 1001 e cosí via. A meno che il mezzo sia molto acutamente dispersivo, queste si verificheranno ad una variazione nella lunghezza d'onda di circa  $1/1000$  della lunghezza d'onda originale. Invece di filtrare via una lunghezza d'onda qualsiasi cavità risonante semplice filtra via una serie di lun-

ghezze d'onda.

Il rapporto tra larghezza di linea (di ciascuna lunghezza d'onda risonante) rispetto al distanziamento tra linee approssimativamente proporzionale alla frazione di energia perduta nel corso di un percorso circolare. Questa perdita include le perdite di riflessione, la dispersione, le perdite di trasmissione e le perdite attraverso le porte di entrata e di uscita (assumendo che la sorgente di entrata sia momentaneamente esclusa).

Una forma di realizzazione della presente invenzione utilizza una cavità 1 a fibra ottica ad estremità a specchio risonante lineare accoppiata lateralmente come mostrato in Fig. 1. Riferendosi alla Fig. 1, si noterà che la luce filtrata nella fibra di uscita 14 va sfortunatamente a sinistra e destra ed andrà a sinistra anche nella fibra di entrata 10. L'energia è eguale in ciascun percorso alternativo. Ciò risulta dalla prima parte di ciò che può essere chiamata "la regola di equiportazione di energia". Vale a dire l'uscita di energia da ciascuna porta possibile sarà eguale se le porte sono accoppiate egualmente. Per questo scopo ciascun meccanismo di perdita possibile può essere considerato come una porta fittizia. Se le porte non sono accoppiate egualmente, allora l'uscita di luce da ciascuna porta sarà proporzionale all'accoppiamento di energia (oppure al quadrato dello accoppiamento di ampiezza). La seconda parte della regola di equiportazione è che il 100% dell'energia di luce proveniente dalla linea di entrata verrà estratto quando l'accoppiamento di energia della porta di entrata è eguale alla somma degli accoppiamenti di energia in tutte le porte di uscita comprese le perdite. Ciò avviene naturalmente alla risonanza.

La distribuzione può essere migliorata ponendo uno specchio sull'estremità di sinistra della fibra di uscita 14 in Fig. 1. L'estremità di sinistra della fibra su-

• periore 14 riflette quindi la lunghezza d'onda filtrata. A causa degli effetti di interferenza, le ampiezze dell'onda che va a destra e di quella riflessa da sinistra verranno aggiunte. Se esse sono esattamente in fase per un  $\lambda_R$  (lunghezza d'onda di risonanza) della cavità, l'ampiezza sarà raddoppiata e l'energia diretta a destra verrà quadruplicata.

Una prima reazione é che 4/5 dell'energia luminosa andranno allora nel percorso desiderato. Ciò non é così. La porta che dà luogo al flusso di sinistra nella fibra di entrata é ovviamente accoppiata alla cavità egualmente così forte come la porta di entrata. L'unica maniera per ottenere il 100% di accoppiamento dalla porta di entrata é di rimuovere interamente la fibra superiore. L'aggiunta di una altra porta doppiamente accoppiata alla sommità fa disaccoppiare le porte di cavità molto male. Per un piccolo accoppiamento per porta, la seguente equazione é approssimativamente vera:

$$\text{energia accoppiata in} = \frac{4(X_1 + X_2 + X_3 \text{----})}{(1 + X_1 + X_2 + X_3 \text{---})^2}$$

in cui  $X_\lambda$  é il rapporto tra la costante di accoppiamento di energia (non ampiezza) della porta  $\lambda^{\text{esima}}$  con la costante di accoppiamento di energia della porta di entrata.

Ed inoltre:

$$\text{energia accoppiata nelle porte desiderate} = \frac{4(X_{d1} + X_{d2})}{(1 + X_1 + X_2 \text{---})^2}$$

In un caso, la prima porta non gestibile é la porta inferiore di direzione sinistra ed é della stessa forza di accoppiamento come la porta di entrata. Se non si assume alcuna perdita di energia dovuta a riflessione e così via, allora l'unica altra porta di uscita é la porta di combinazione superiore. Sia l'efficacia di accoppiamento di energia della porta combinata (interferita)  $X_d$ , allora l'uscita utile sarà:

$$\frac{4X_d}{(2 + X_d)^2} \text{ che ha un massimo a } X_d = 2$$

ma é ampiamente piatta da  $X_d = 1$  a  $3$ .

Idealmente allora l'energia accoppiata nella fibra superiore in una direzione sarà grande la metà dell'energia accoppiata dalla fibra inferiore. L'interferenza aumenta ciò al doppio dell'energia accoppiata dalla fibra inferiore ed in questo caso il 50% della luce esce attraverso la fibra superiore, il 25% verso sinistra attraverso la fibra inferiore, il 25% passa senza essere diramato.

Per porre il caso in termini più generali, la terza parte della regola di equipartizione di energia dice che l'energia in una porta di uscita utile viene massimizzata se l'accoppiamento di energia in tale porta é eguale alla somma del coefficiente d'accoppiamento in tutte le altre porte contando le perdite come porte fittizie e contando la porta di entrata anche come una porta.

Vale a dire l'energia in una porta di uscita desiderata é massimizzata se:

$$X_d = X_{in} + \sum X_{perdita} + \sum X$$

Con l'assunzione che tutti i coefficienti di accoppiamento siano più piccoli.

L'uscita di energia attraverso la porta desiderata vicino ad una lunghezza d'onda di risonanza é:

$$E_{uscita} = E_{entrata} \frac{4 X_d}{[1 + \sum X_{perdita} + \sum X_{altre porte} + X_d]^2 + \left[ \frac{2\pi \delta \lambda}{K^2 entrata} \right]^2}$$

Ove  $\delta$  é lo spostamento in lunghezza d'onda da una linea di risonanza e  $\Delta \lambda$  é la distanza tra due linee di risonanza. Da ciò é ovvio che il punto in cui l'energia é la metà l'energia di picco é:

$$\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda} = \frac{(1 + \sum X) K_{entrata}}{2 \eta}$$

In questo caso:

$$1 + \sum X = 1^{\text{entrata}} + 1^{\text{uscita inferiore sinistra}} + 2^{\text{perdita di estremità}} + 4^{\text{uscita utile}} = 8$$

e  $K = 0,01$ .

Così al punto di metà energia:

$$\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda} = \frac{8 (0,01)}{2 \pi} \approx 0,013$$

Il 20% del punto di energia di picco é:

$$\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda} = \frac{2 (1 + \sum X)}{2 \pi} K_{in} \approx 0,026 \text{ nel nostro esempio.}$$

E il 10% del punto di picco é:

$$\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda} = \frac{3 (1 + \sum X)}{2 \pi} K_{in} \approx 0,039 \text{ nel nostro esempio.}$$

Se i canali di segnali vengono posti ad un distanziamento di  $0,039 \Delta \lambda$  circa il 10% di diafonia si otterrà tra i canali usando questo filtro, che può essere o no accettabile, e circa 25 canali possono essere compressi in un ordine.

Una forma di realizzazione alternativa della presente invenzione utilizza una fibra ad anello chiuso 16, come mostrato in Fig. 2, tra la fibra di entrata e di uscita preferibilmente usando accoppiamento laterale per la chiusura d'anello ed usando l'accoppiamento laterale per l'entrata e uscita, ed usando l'intero dispositivo per un filtro di lunghezza d'onda a cavità risonante.

Questo dispositivo ha il vantaggio di avere una perdita di energia molto bassa per giro. Una coppia laterale attentamente costruita può avere un'efficienza di passaggio ben superiore al 99% su una gamma spettrale di 1% della lunghezza d'onda di base.

Esso può anche essere fatto nella gamma di dimensioni di mezzo centimetro a 5 cm di diametro che é una regione di interesse. Il limite inferiore richiede considerevole attenzione. Un filtro ad elemento monofiltro utilizzante una fibra a circuito

chiuso può anche essere progettato in cui l'anello di filtro è una parte integrale della fibra di entrata o di uscita. Come mostrato nella Fig. 3A, la fibra di entrata 18 include l'anello di filtro integrale 20 che è accoppiato lateralmente su sé stesso nella regione 22 e che è lateralmente accoppiato alla fibra di uscita 14. Questa forma di realizzazione ha perdite minori rispetto a quella della Fig. 2, poiché tutta l'energia di entrata è o accoppiata nell'anello o continua attraverso la fibra di entrata.

Alternativamente l'anello può essere integrale con la fibra di uscita come mostrato in Fig. 3B. In questa forma di realizzazione la fibra di uscita 24 include il filtro ad anello 25 accoppiato lateralmente su sé stesso ed anche lateralmente accoppiato alla fibra di entrata 10.

I principi fisici e matematici dei dispositivi delle Figg. 2 e 3 sono più o meno gli stessi di quelli per la cavità risonante lineare. Ovviamente nessuna luce filtrata a movimento a ritroso si propagherà nell'una o l'altra fibra accoppiata. Lo svantaggio di una fibra ad anello chiuso è che non può essere fatta facilmente così piccola come la forma di realizzazione lineare. Se il raggio di curvatura viene fatto troppo piccolo si verificano perdite radiative. Inoltre deve esservi una lunghezza d'accoppiamento sufficiente tra l'anello e le fibre di entrata e di uscita. Se il diametro dell'anello è troppo piccolo, l'accoppiamento può non essere possibile nella lunghezza disponibile.

E' molto fastidioso rimuovere i canali uno alla volta da una linea principale ad una linea di alimentazione. E' difficile fare un filtro che rimuove diverse linee adiacenti in modo efficace e tuttavia taglia fuori in modo così netto che non interferisce con i canali vicino ai bordi tagliati. Un risonatore a cavità a molte linee realizza il risultato finale in modo molto efficace se è permissibile la rimozione

di tutti i canali per cui il filtro è risonante. L'obiettivo principale tuttavia è quello di rimuovere soltanto un canale.

Ciò viene realizzato ponendo due filtri a più linee in serie e costruendoli in modo tale che essi hanno differenti distanziamenti di linea come mostrato in Fig. 3.

I distanziamenti danno luogo ad una specie di effetto di nonio. In qualche punto le differenze dei  $\delta$  o distanziamento di linea si accumuleranno finché qualche linea del primo filtro si sovrapporrà alla successiva linea del secondo filtro. Le possibilità di sintonizzazione sono interessanti. Se le linee centrali sovrapposte sono contemporaneamente sintonizzate a destra (per esempio), la singola linea di uscita può essere scandita da A a B. Non è necessario scandire ulteriormente. Per andare al successivo canale possibile, il primo filtro viene lasciato ad A ed il secondo filtro viene sintonizzato per una quantità  $\delta$  a sinistra. La posizione successiva viene raggiunta muovendo entrambi i filtri di  $\delta$  verso destra e quindi così via finché alla fine si raggiunge C spostando il primo filtro di nuovo ad A ed il secondo filtro di  $2\delta$  alla sinistra di A e così via. Se il distanziamento di larghezza di linea rispetto a linea con linea è  $1/100$  e se  $\delta$  è 1 e  $B-A$  è 100, 10.000 canali possono essere raggiunti tenendo la posizione relativa ad un'accuratezza di una parte in cento e trattenendo la posizione simultanea ad una parte in cento.

Vale a dire se  $F_1$  è la posizione della linea centrale del primo filtro ed  $F_2$  è la posizione della linea centrale del secondo filtro,  $F_1$  deve essere tenuto ad un'accuratezza di  $\delta$  e  $(F_1 - F_2)$  ad un'accuratezza di  $\delta$ .

$F_1$  deve soltanto essere scandito su  $100 \delta$  ed  $(F_1 - F_2)$  su  $100 \delta$ . Questa è una realizzazione considerevole per poter scegliere una di 10.000 posizioni individuali senza avere più di 100 posizioni individuali di ciascuno dei due filtri.

Uno schema di un filtro a due stadi viene mostrato nella Fig. 5. Il primo ele-



mento di filtro 28 é dimensionato per lunghezze d'onda  $\lambda_i$ , ed il secondo elemento di filtro 30 é dimensionato per lunghezze d'onda  $\lambda_j$ . I due elementi di filtro sono accoppiati mediante un segmento di fibra intermedio 32.  $\lambda_{ij}$  é la serie di sovrapposizione di  $\lambda$  per i due filtri ed é questa serie di lunghezza d'onda che viene accoppiata alla fibra di uscita 14. E' anche possibile raggiungere risultati simili usando un filtro grossolano ed un filtro fine in serie.

I risultati sono piú o meno gli stessi ma ora il filtro grossolano deve essere scandito attraverso 10.000  $\delta$  per realizzare la gamma di sintonizzazione desiderata. Richiede ancora soltanto una precisione di una parte in cento (piú o meno) poiché la sua larghezza di linea é cento volte maggiore.

Nell'uno o nell'altro caso, una parte dell'obiettivo che era quello di rimuovere una singola lunghezza d'onda su una fibra di uscita, é stato realizzato. Nel procedimento tutte le linee  $\lambda_i$  sono state tolte dalle linee principali e scartate. Ciò é naturalmente intollerabile per gli scopi della presente invenzione. Una facoltá é quella di reintrodurle sulla linea principale con un terzo filtro identico al primo filtro come mostrato in Fig. 6A, in cui la fibra intermedia 34 accoppia  $\lambda_i$  attraverso il terzo elemento di filtro 24 di nuovo alla fibra di entrata 10. Ciò é teoricamente buono, ma l'efficacia di passaggio del primo filtro 28 può essere portata fino anche al 90% soltanto con grande difficoltà. Ciò può essere visto dalle equazioni precedenti con il prezzo di far ciò che viene pagato riducendo  $\frac{\delta \lambda}{\Delta \lambda}$  al punto del 50% a circa 1/4. Ciò chiaramente annulla lo scopo. Inoltre anche se il 90% di tutto  $\lambda_i$  potrebbe essere risparmiato e l'81% rimanere dopo la reintroduzione, il  $\lambda_i$  verrebbe consumato molte volte prima di far ciò.

Un'alternativa é quella di abbassare gli obiettivi e disporre per rimuovere soltanto una piccola frazione di  $\lambda_{ij}$  ed usarla. Così si dovrà iniziare con un livello

di segnale superiore. Tuttavia non si attenuerà il  $\lambda_i$  così male. Come primo tentativo si toglie soltanto il 10% di  $\lambda_i$  in  $F_1$ . Quindi si verifica il compito quasi impossibile di porre di nuovo parte del 10% sulla linea principale. Per far ciò il filtro  $F_1$  dovrebbe avere un'elevata efficacia di trasferimento, ma ciò apre la larghezza di linea in modo che altre linee vengono tolte mentre si tenta di portare di nuovo  $\lambda_i$  su di essa. Ciò non può realizzare niente. Una tale piccola frazione di  $\lambda_i$  deve essere tolta e 100 tentativi lasceranno ancora abbastanza segnale per l'ultimo  $\lambda_i$  da togliere. Ciò porta a circa un livello di segnale dell'1% per  $\lambda_{ij}$ . Ciò non è impossibile ma non è molto soddisfacente.

Un filtro integrale a due stadi può essere costruito in diverse maniere. Due maniere vengono mostrate schematicamente nelle Figg. 6B e 6C. In Fig. 6B, niente luce passa del tutto attraverso a meno che il primo ed il secondo filtro 38 e 40 non siano direttamente accoppiati, ed essi abbiano una corisonanza (linea sovrapposta). Se il primo filtro 38 è risonante ed il secondo filtro 40 non lo è, allora la luce non può passare attraverso ed in teoria si può prevedere che torni indietro sulla linea principale. Accade un fatto piuttosto disturbante. Il primo filtro 38 avrà certe perdite e quando il secondo filtro 40 non serve come porta di uscita, l'energia viene forzata sulla porta di perdita fittizia o almeno la maggior parte di essa. Sfortunatamente anche se si cerca un trasferimento del 10% di  $\lambda_{ij}$ , il resto di  $\lambda_i$  viene risparmiato soltanto a spese di perdere il rapporto tra distanziamento di linea e larghezza di linea. Lo stesso è vero per la versione della Fig. 6C del filtro a due stadi in cui l'elemento di filtro lineare 42 è accoppiato direttamente al secondo filtro ad anello 44.

Così è stato escogitato un filtro ibrido a due stadi che raggiunge meglio gli obiettivi. Esso include un accoppiatore laterale dispersivo in combinazione con un

filtro risonatore a cavità.

Una versione é come mostrato schematicamente in Fig. 7. La luce é accoppiata lateralmente dalla fibra di entrata 10 all'elemento laterale interno 46 della sezione di risonatore 50 e viene accoppiata lateralmente fuori dall'elemento laterale esterno 48 alla fibra di uscita 14. Gli elementi esterno ed interno 46 e 48 formano un accoppiatore di filtro laterale sintonizzato che quando disteso diritto ha lo aspetto mostrato nella Fig. 7A. La lunghezza d'onda risonante del filtro viene controllata dalla lunghezza degli elementi di filtro 46 e 48 con l'energia luminosa a quelle lunghezze d'onda che viene trasferita tra gli elementi come illustrati in Fig. 7A. Le interruzioni negli elementi di filtro sono così posizionate in modo da essere al punto in cui tutta l'energia per la lunghezza d'onda di interesse si trova nell'altro ramo, tale che quella lunghezza d'onda vede un percorso continuo. Per una lunghezza d'onda leggermente spostata dalla lunghezza d'onda sintonizzata, una parte dell'energia é perduta alle estremità aperte dell'interruzione. Così la cavità risonante ha una perdita per giro che é abbastanza fortemente dipendente dalla lunghezza d'onda. Ponendo una perdita ipotetica dipendente da lunghezza d'onda nella espressione di energia per l'energia accoppiata via dalla linea principale, si vede che se le altre perdite sono 0,01 e se il fattore di accoppiamento di energia dalle linee principali nella cavità é 0,002, l'energia trasferita all'uscita sarà

$$\frac{4(5)}{(1 + 5 + 5)^2} = \frac{20}{121} \approx 16\%$$

se l'accoppiamento alla linea di uscita é 0,01.

In corrispondenza della successiva linea risonante, se il fattore di perdita che é dipendente dalla lunghezza d'onda é soltanto 0,06, la luce accoppiata via dalla linea principale sarà soltanto:

$$\frac{4 (5 + 5 + 30)}{(1 + 5 + 5 + 30)^2} = \frac{4}{40} \approx 10\%$$

Si supponga che il fattore di perdita alla successiva linea risonante é aumentato a 0,12, l'energia a tale lunghezza d'onda rimossa dalle linee principali é soltanto 5,7% e così via.

Ciò che risulta é un'uscita che ha l'aspetto come mostrato nella Fig. 7B. L'operazione della Fig. 7B può essere ulteriormente migliorata mediante un altro filtro indipendente. La luce rimossa dalla linea principale appare come mostrato in Fig. 7C che illustra soltanto il lato di sinistra dello spettro completo come mostrato in Fig. 7B. Ciò é di molto il miglior risultato ottenuto. Soltanto il 10% viene rimosso dalla linea immediatamente adiacente ed il 6% dalla successiva é ancor meno dalla successiva. In questa maniera un gran numero di filtri di rimozione di linea singola può essere posto sulla linea principale. Ciascuno ruba al suo immediato vicino un poco di energia ma il risultato finale é che é limitato dall'accoppiamento di risonanza sfalsato che é 0,2%. Ciò permetterebbe probabilmente 500 di tali filtri in serie su una linea principale.

E' stato ipotizzato un certo fattore di perdita. Nei fatti attuali, la curva per il filtro laterale sintonizzato può essere usata come mostrata in Fig. 7D. Quindi é necessaria una scala di lunghezza d'onda. Un valore della regola del pollice viene dato per la dispersione relativa di due anime come:

$$\Delta n \cos \Theta = 1/3 (n_1 - n_2)$$

in cui  $n_1$  = indice di rifrazione. Si può ottenere un valore  $(n_1 - n_2)$  di 0,01. Perciò in un accoppiatore di filtro lungo 2 cm con una lunghezza d'onda di  $1\mu$ , il primo nullo su ciascun lato é spostato di circa  $30 \text{ \AA}$ . La perdita a  $5 \text{ \AA}$  dal picco sarà di circa 0,06. Così l'involucro in questo caso sarà molto più ampio di

quello ipotizzato, poiché i distanziamenti di linea del risonatore a cavità (lungo 2 cm) sono  $1/2 \lambda^0$ . La curva di energia di rimozione dalla linea principale cadrà al 10% soltanto alla decima linea dal centro. Tale situazione è non inutilizzabile, ma illustra la necessità di una dispersione relativa superiore allo 0,03. Sarà vantaggioso avere una dispersione di almeno 0,1.

E' necessario far cadere l'estrazione di energia alla linea risonante centrale un poco meno e/o aumentare l'energia disponibile sulla linea principale in modo che anche dopo sconfinamento da parte dei filtri adiacenti ed anche dopo un'efficienza di passaggio piuttosto bassa, il livello di energia è adeguato per il rilevamento. Anche con i parametri dati il sistema è operabile.

La versione lineare del filtro della Fig. 7 viene presentata in Fig. 8. In questa forma di realizzazione gli elementi di filtro 52 e 54 definiscono una coppia di filtro dispersivo sintonizzata. L'elemento 52 ha lo specchio 56 alla sua sinistra e mentre l'elemento 54 ha lo specchio 58 alla sua estremità di destra per definire la lunghezza appropriata. La lunghezza di accoppiamento tra gli elementi viene scelta per dare preferenza alla lunghezza d'onda specifica di interesse in modo che si sviluppa il funzionamento a due stadi. Per acuire ulteriormente la risposta del filtro, le estremità non a specchio possono essere rese perdenti in modo aumentante per aiutare ad attenuare le lunghezze d'onda non desiderate.

Gli specchi non è necessario che siano posizionati come mostrato. A seconda della lunghezza della coppia dispersiva, gli specchi possono essere posizionati sulla stessa fibra o sull'estremità di destra della fibra superiore 54 e l'estremità inferiore della fibra inferiore 52. Il requisito è che essi definiscono un numero integrale di lunghezze d'onda tra di essi per la lunghezza d'onda di interesse.

La successiva forma di realizzazione è una cavità risonante a tre stadi come mo-

strato in Fig. 9.

Riferendosi all'illustrazione della Fig. 9A, si consideri dapprima il terzo filtro ad anello 64. Esso é risonante a  $\lambda_0$ . Si supponga il coefficiente di accoppiamento di energia dal secondo filtro 62 al terzo filtro 64 che sia 0,01, e si supponga che le perdite nel terzo filtro 64 sono 0,01 al giro. Alla risonanza tutta l'energia proveniente dal primo filtro 60 viene accoppiata nel terzo filtro 64. Vale a dire l'accoppiamento dal filtro 62 al filtro 64 diventa 1,0 invece di 0,01. Il filtro 62 si trova alla risonanza in  $\lambda_1$ , ma mediante l'equazione riportata in precedenza, l'energia accoppiata via dal filtro 64 da parte del filtro 62 é 0,01 a causa del grande accoppiamento dal filtro 62 al filtro 64. Infatti il filtro 62 appare essere interrotto all'intersezione con il filtro 64. Se l'accoppiamento dal filtro 60 al filtro 62 alla risonanza é soltanto 0,01, il 16% di  $\lambda_0$  viene accoppiato nell'uscita utile. A  $\lambda_1$  il filtro 64 non é risonante. Perciò l'accoppiamento dal filtro 62 al filtro 64 é approssimativamente 0,01. Il filtro 62 é risonante a  $\lambda_1$ . Perciò l'energia accoppiata dal filtro 60 al filtro 62 é

$$\frac{4 (1)}{(1 + 1)^2} = 100\%$$

Perciò benché il filtro 60 é nominalmente risonante, esso appare interrotto alla giunzione con il filtro 62 e così non può risonare e preleva via soltanto circa lo 0,2% di  $\lambda_1$  dalla linea principale. E così si é finalmente realizzato ciò che si era stabilito di fare. Si deve notare che la fibra di uscita 10 é accoppiata allo elemento di filtro 60 al di sotto dell'area di sovrapposizione terminale.

L'accoppiamento di  $\lambda_0$  può essere aumentato nell'appropriata uscita aumentando l'accoppiamento dalla linea principale 10 sul filtro 60. Tuttavia ciò aumenta la linea di base, l'accoppiamento fuori risonanza di ciascun canale nel filtro 60. Il limite a ciò viene fissato dal numero di filtri che si intende porre sulla linea

principale. Il valore di 0,2% permette forse da 500 a 2000 filtri sulla linea principale. Questo sconfinamento risonante della linea di base non é quasi così dannoso come lo sconfinamento risonante di ordine adiacente che si incontrava prima, poiché questa perdita di energia dipende se qualche filtro a monte é sintonizzato ad un certo  $\lambda$ . In altre parole la variabilità e non prevedibilità della energia erogata al filtro n<sup>esimo</sup> era più dannosa rispetto ad un basso livello di energia.

La forma di realizzazione a cavità diritta di questo filtro a tre stadi viene mostrata in Fig. 10. Tre anime sono state poste in una fibra per realizzare questa versione.

Questa spiegazione é la stessa come per la cavità ad anello. Entrambe le estremità del blocco di filtro 66 sono riflettenti. E' stata mostrata una sezione trasversale con le fibre principali 68 che passano attraverso nella direzione Z. La fibra di uscita 70 origina in corrispondenza della prima faccia del blocco di filtro e va avanti indefinitamente nella direzione Z.

Il primo filtro 70 ed il secondo filtro 72 sono stati mostrati sull'asse X della disposizione ordinata, con il terzo filtro 74 spostato nella dimensione Y. Ciò viene fatto per illustrare uno schema di sintonizzazione. L'organo piuttosto grande mostrato come blocco di sintonizzazione 76 si estende per alcuni cm in ciascuna direzione nella dimensione Z. Così esso può essere facilmente piegato nel piano X-Z o nel piano Y-Z oppure in entrambi.

Il blocco é molto più largo nella direzione X di quanto mostrato ma soltanto spesso quanto il complesso di fibra. La geometria é tale che quando vi é una piega Y-Z la linea di sollecitazione 0 giace lungo 70, 72 nella dimensione Y. Così una piega lascia i filtri 70 e 72 invariati e comprime il terzo filtro 74. In questa

maniera le linee risonanti di filtro del filtro 74 sono spostate rispetto a quelle del primo e del secondo filtro 70 e 72. Nel piano X-Y ed il blocco di sintonizzazione è così spesso che per gli scopi pratici una piega in tale dimensione stira tutti e tre gli elementi di filtro. Questa geometria piuttosto esatta è necessaria soltanto per la semplicità di spiegazione. Con questo dispositivo si può sintonizzare a qualsiasi lunghezza d'onda mediante una combinazione di curve nelle due dimensioni. Il movimento nella dimensione Y-Z tende a sintonizzare alla linea 0, 100, 200, 300 e così via, e nella dimensioni X-Z a sintonizzare da 1 a 2 a 3 o 101 a 102 a 103 e così via. Ciò viene approssimato nel dispositivo dell'invenzione. Questa è soltanto una delle molte possibilità di sintonizzazione. In questi dispositivi a cavità, la risonanza è una funzione di  $n \cos \theta \frac{L}{\lambda}$  ove  $n$  è l'indice di rifrazione,  $n \cos \theta$  è la costante di propagazione ed  $L$  è la lunghezza fisica del dispositivo. Così per una data variazione percentuale in  $n$ , vi è una corrispondente variazione percentuale in  $\lambda$ .

Nella coppia dispersiva

$$\frac{dn}{d\lambda} \approx \frac{1}{3} (n_1 - n_2)$$

$\frac{1}{3} (n_1 - n_2)$  è molto meno di uno in modo che una variazione in  $n$  produce una variazione corrispondentemente molto più grande in  $\lambda$ .

In tutti gli esempi riportati in questa relazione, tutti gli elementi di fibra preferibilmente funzionano nella regione di lunghezza d'onda a modo singolo senza discussione dell'esistenza di due possibili polarizzazioni. E' stata fatta la presunzione che l'elemento di fibra di entrata ha soltanto un modo di polarizzazione eccitato e che l'accoppiamento tra gli elementi è tale da evitare la stimolazione del secondo modo di polarizzazione. Ciò non è tuttavia una limitazione necessaria. In ogni caso se due polarizzazioni vengono stimulate, si verificherà una doppia



serie di linee risonanti. Il filtro funziona ancora ma l'esistenza della doppia serie di linee deve essere tenuta in considerazione quando si usa il filtro.

Anche la limitazione al modo singolo non è necessaria benché sia la forma di realizzazione preferita. L'esistenza di modi multipli in uno qualsiasi degli elementi di risonatore moltiplica e complica la struttura di linea risonante ma non impedisce ai dispositivi di funzionare.

Rispetto ai risonatori a modo singolo e ad un elemento di fibra di entrata a molti modi, la presente invenzione differisce da altri filtri selettivi di lunghezza d'onda per il fatto che fornisce una unica struttura di linea di filtro indipendente dalla struttura di modo della fibra di entrata. Nei filtri precedenti la lunghezza d'onda viene determinata dalla relazione tra la costante di propagazione di un modo di fibra di entrata e quello della fibra di uscita.

Nella presente invenzione la linea o linee di filtro sono determinate soltanto dal risonatore. Soltanto il grado di accoppiamento di ingresso è influenzato dal trasferimento laterale accoppiato in fase.

Perciò nell'usare una fibra a molti modi come elemento di entrata, è necessario soltanto fornire un accoppiamento di fase sufficientemente stretto alla lunghezza d'onda desiderata tra il risonatore e almeno un modo della fibra di entrata. Se l'energia nella fibra a molti modi viene divisa tra molti modi possibili, allora è impossibile rimuovere una grande percentuale dell'energia totale poiché non sarà possibile accoppiarsi in fase con tutti i modi. Infatti soltanto uno può essere accoppiato esattamente. In alcune applicazioni una tale derivazione parziale di una lunghezza d'onda da una fibra a molti modi sarà una realizzazione utile poiché non vi è attualmente alcuna altra maniera per far ciò con una diramazione laterale.

L'accoppiamento in fase di un modo della fibra a molti modi con il risonatore

può essere realizzato mediante progettazione o per sintonizzazione. L'intera struttura di modo della fibra a molti modi può essere spostata mediante sollecitazione longitudinale, variazione di temperatura, sollecitazione laterale o piegamento.

Si deve perciò riconoscere che mentre la precedente descrizione é stata applicata a forme di realizzazione specifiche, numerose modifiche e adattamenti possono essere fatti entro l'ambito dell'invenzione così come rivendicata.

#### RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo per trasferire energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica accoppiato lateralmente ad un risonatore a cavità di fibra.
2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1 in cui detto risonatore a cavità di fibra é sotto forma di un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità a specchio.
3. Dispositivo secondo la rivendicazione 1 in cui detto risonatore a cavità a fibra é sotto forma di un elemento a fibra ottica lineare formato ad anello chiuso.
4. Dispositivo secondo la rivendicazione 3 in cui le estremità dell'elemento a fibra ottica lineare di detto anello chiuso sono accoppiate lateralmente l'una all'altra.
5. Filtro per energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica di entrata, un risonatore a cavità a fibra ed un elemento a fibra ottica di uscita avente una prima estremità, dette fibre di entrata e di uscita essendo accoppiate lateralmente a detto risonatore a cavità a fibra.
6. Filtro secondo la rivendicazione 5 in cui detta sezione di risonatore a cavità a fibra é sotto forma di un elemento a fibra ottica lineare.
7. Filtro secondo la rivendicazione 5 in cui detta fibra di uscita include uno specchio alla sua prima estremità.

8. Filtro secondo la rivendicazione 5 in cui detto risonatore a cavità a fibra é sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità.

9. Filtro secondo la rivendicazione 8 in cui l'estremità dell'elemento a fibra ottica che forma l'anello chiuso sono accoppiate lateralmente l'una all'altra.

10. Filtro secondo la rivendicazione 8 oppure 9 in cui il diametro dell'anello chiuso é da circa 0,5 a 5,0 cm.

11. Filtro ottico a due stadi per energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica di entrata, una prima sezione di risonatore a cavità a fibra accoppiata lateralmente a detta fibra di entrata, una seconda sezione a risonatore a cavità a fibra accoppiata a detta prima sezione di risonatore, ed un elemento a fibra ottica di uscita accoppiato lateralmente a detta seconda sezione di risonatore.

12. Filtro secondo la rivendicazione 11 in cui detta seconda sezione di risonatore é accoppiata a detto primo filtro risonatore attraverso un elemento intermedio formato da un elemento a fibra ottica avente una prima ed una seconda estremità.

13. Filtro secondo la rivendicazione 12 in cui dette prima e seconda sezione di risonatore sono accoppiate lateralmente a detto elemento intermedio.

14. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta prima sezione di risonatore é sintonizzabile.

15. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta seconda sezione di risonatore é sintonizzabile.

16. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui dette prima e seconda sezione di risonatore sono sintonizzabili.

17. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta prima sezione di risonatore ha una lunghezza effettiva eguale ad un primo numero intero di lunghezze d'onda della

lunghezza d'onda che si vuole filtrare e detta seconda sezione di risonatore ha una lunghezza effettiva eguale ad un secondo numero intero di lunghezze d'onda della lunghezza d'onda che si vuole filtrare.

18. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta prima sezione di risonatore è sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità.

19. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui detta seconda sezione di risonatore è sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità.

20. Filtro secondo la rivendicazione 13 in cui dette prima e seconda sezione di risonatore sono ciascuna sotto forma di un anello chiuso.

21. Filtro secondo la rivendicazione 17 o 18 in cui le estremità dell'elemento di fibra ottica formanti detto anello chiuso sono accoppiate lateralmente l'una alla altra.

22. Filtro secondo la rivendicazione 20 in cui le estremità degli elementi di fibra ottica che formano detto anello chiuso sono accoppiate lateralmente l'una alla altra.

23. Filtro secondo le rivendicazioni 13, 18, 19 o 20 comprendente inoltre una terza sezione di risonatore a cavità a fibra lateralmente accoppiata a detto elemento intermedio e a detta porta di entrata.

24. Filtro secondo la rivendicazione 23 in cui detta terza sezione di risonatore è sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica lineare avente una prima ed una seconda estremità.

25. Filtro secondo la rivendicazione 24 in cui le estremità dell'elemento a fibra ottica che forma detta terza sezione di risonatore sono accoppiate lateralmente

l'una all'altra.

26. Filtro per l'energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica di entrata accoppiato ad una coppia laterale dispersiva formata da un primo ed un secondo elemento a fibra ottica ciascuno avente una prima ed una seconda estremità, ed un elemento a fibra ottica di uscita accoppiato a detto accoppiatore laterale dispersivo.

27. Filtro secondo la rivendicazione 26 in cui detto elemento a fibra ottica di entrata è accoppiato lateralmente a detto primo elemento di fibra ottica e detto elemento di fibra ottica di uscita è accoppiato lateralmente a detto secondo elemento di fibra ottica.

28. Filtro secondo la rivendicazione 27 in cui detti primo e secondo elemento forma una coppia di anelli concentrici ciascuno avente una prima ed una seconda estremità in una relazione non accoppiata l'una rispetto all'altra, detto primo formando l'anello esterno di detta coppia.

29. Filtro secondo la rivendicazione 28 in cui dette estremità non accoppiate di detto primo elemento sono posizionate in vicinanza della porta di entrata e dette estremità non accoppiate di detto secondo elemento sono diametralmente opposte a dette estremità distanziate di detto primo elemento.

30. Filtro secondo la rivendicazione 20 in cui le lunghezze effettive di detti primo e secondo elemento ottico sono tali che l'energia luminosa si trasferisce tra di essi in modo che tutta tale energia è entro detto primo elemento ottico in corrispondenza del punto adiacente alle estremità non accoppiate di detto secondo elemento ed entro detto secondo elemento in corrispondenza del punto adiacente alle estremità distanziate di detto primo elemento.

31. Filtro secondo la rivendicazione 27 in cui detti primo e secondo elemento

a fibra ottica sono lineari.

32. Filtro secondo la rivendicazione 31 in cui detto primo elemento a fibra ottica ha uno specchio alla sua prima estremità ed il secondo elemento di fibra ottica ha uno specchio alla sua seconda estremità.

33. Filtro secondo la rivendicazione 32 e comprendente inoltre mezzi per aumentare preferenzialmente le perdite per le lunghezze d'onda risonanti per la coppia laterale dispersiva che non forniscono un numero intero esatto di trasferimenti d'accoppiamento tra detti primo e secondo elemento di fibra ottica.

34. Filtro secondo la rivendicazione 33 in cui detti mezzi di perdita preferenziale sono posizionati in vicinanza delle estremità non a specchio di detti primo e secondo elemento di fibra ottica.

35. Filtro ottico per l'energia luminosa comprendente un elemento a fibra ottica di entrata accoppiato ad una prima sezione di risonatore a cavità a fibra, una seconda sezione di risonatore a cavità a fibra lateralmente accoppiata a detta prima sezione di risonatore a cavità a fibra, una terza sezione di risonatore a cavità a fibra lateralmente accoppiata a detta seconda sezione di risonatore a cavità a fibra, ed un elemento a fibra ottica di uscita lateralmente accoppiato a detta prima sezione di risonatore a cavità a fibra.

36. Filtro secondo la rivendicazione 35 in cui una o più di dette sezioni di risonatore a fibra sono sotto forma di un anello chiuso formato da un elemento a fibra ottica avente una prima ed una seconda estremità.

37. Filtro secondo la rivendicazione 36 in cui le estremità dell'elemento che forma detto anello o toro sono accoppiate lateralmente l'una all'altra.

38. Filtro secondo la rivendicazione 37 in cui detta terza sezione di risonatore a cavità a fibra è risonante ad una prima lunghezza d'onda e dette prima e seconda

sezione di risonatore a cavità a fibra sono entrambe risonanti ad una seconda lunghezza d'onda.

39. Filtro secondo la rivendicazione 35 in cui dette prima, seconda e terza sezione di risonatore a cavità a fibra sono lineari e parallele l'una all'altra.

40. Filtro secondo la rivendicazione 39 in cui dette prima, seconda e terza sezione di risonatore a cavità sono formate da un singolo elemento a fibra ottica lineare.

41. Filtro secondo la rivendicazione 40 in cui dette prima e seconda sezione di risonatore a cavità a fibra giacciono in un piano e detta terza sezione di risonatore a cavità a fibra è sfalsata da detto piano.

42. Filtro secondo la rivendicazione 41 comprendente inoltre mezzi per sintonizzare detto filtro.

43. Filtro secondo la rivendicazione 39 in cui detti mezzi di sintonizzazione includono un blocco di sintonizzazione atto ad applicare sollecitazioni a detto singolo elemento a fibra ottica lineare.

#### R I A S S U N T O

Il filtraggio di lunghezza d'onda negli spettri ottici viene realizzato mediante un dispositivo a fibre ottiche meccanicamente separato dal dispositivo che porta lo spettro ampio di lunghezze d'onda. Gli elementi di filtro possono essere lineari o a forma di anello, e preferibilmente utilizzano l'accoppiamento laterale tra elementi di fibra. Elementi di filtro individuali possono essere allineati per una selettività aumentata. I filtri della presente invenzione hanno tipiche larghezze di linea da  $0,01 \overset{\circ}{\text{\AA}}$  ad  $1 \overset{\circ}{\text{\AA}}$  nella regione da 0,2 a 3 micron.

24802A/82

TAV. I

FIG. 1

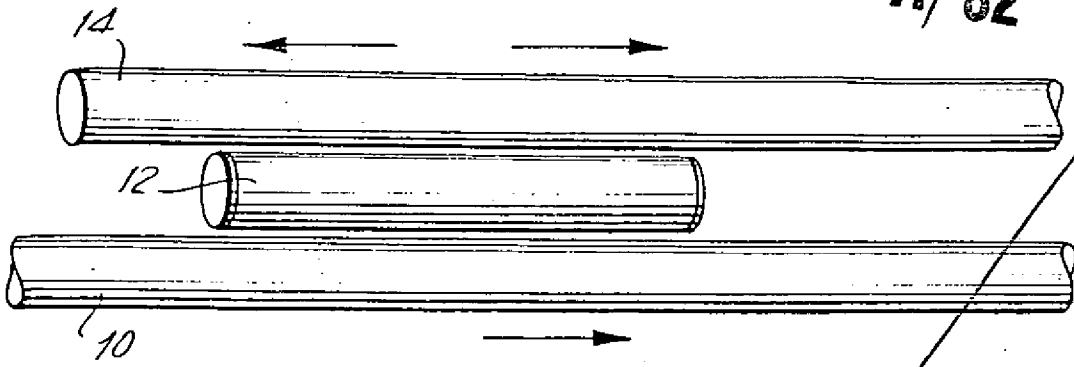


FIG. 2

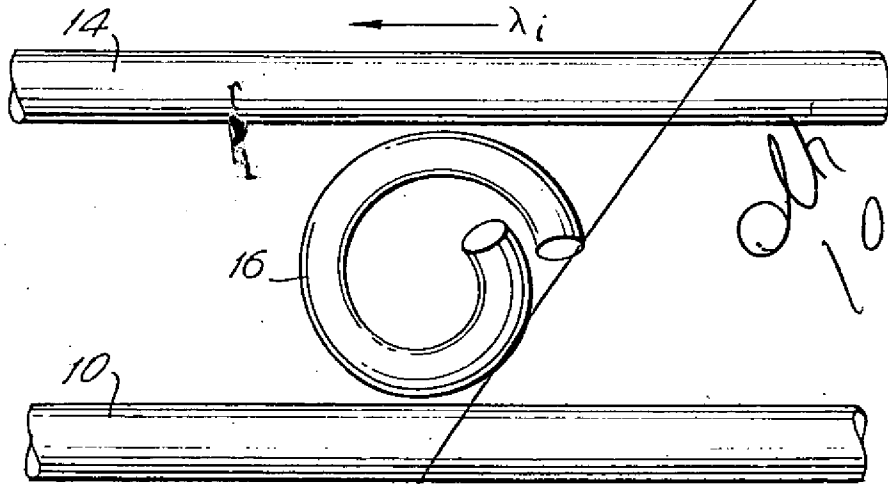


FIG. 3A

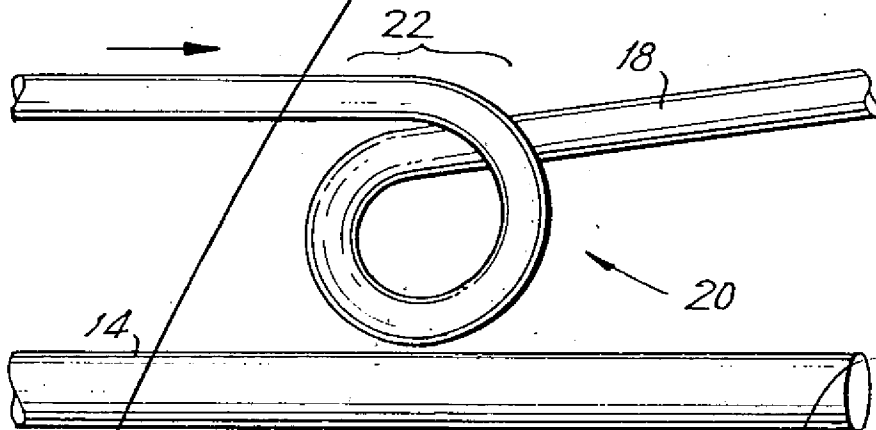
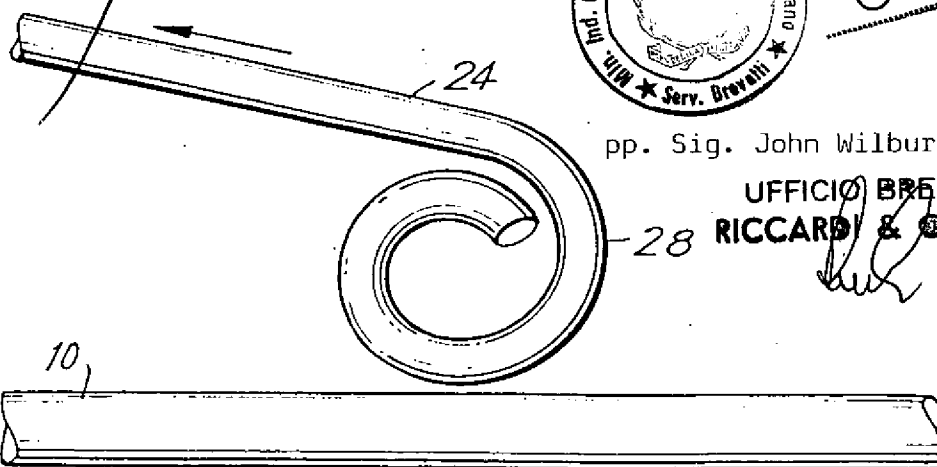


FIG. 3B



l'Ufficiale Regente  
Pietro Mazzino

pp. Sig. John Wilburn HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.



FIG. 4

TAV. II

24802A/82

FIRST PRIMO  
RISONATORE

SECONDO  
RISONATORE

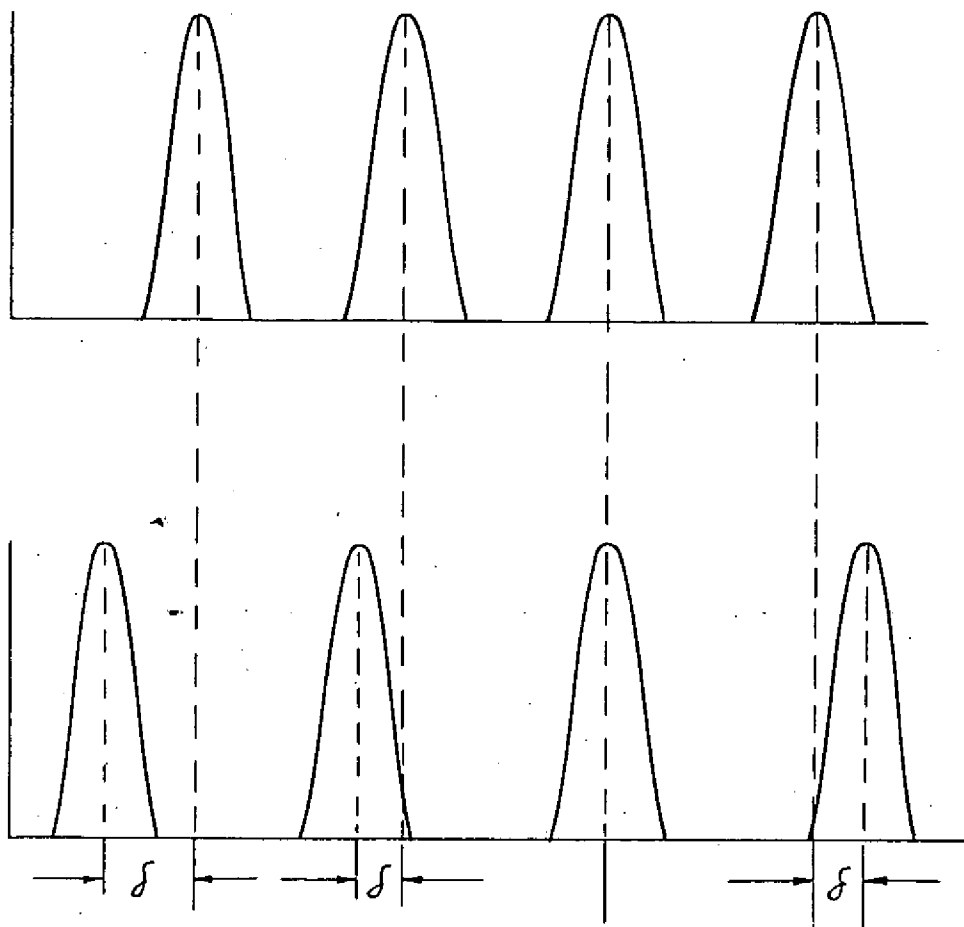
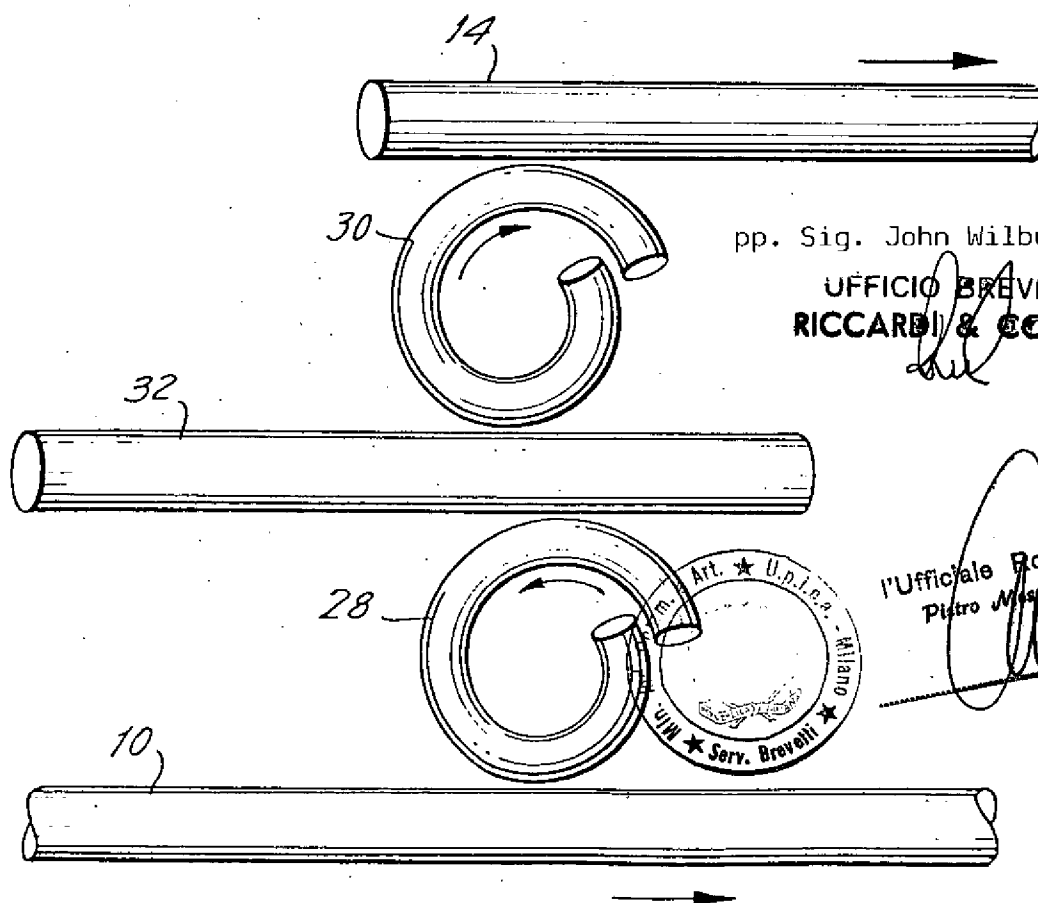


FIG. 5



pp. Sig. John Wilburn HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.

L'Ufficiale Rogante  
Pietro Masetto

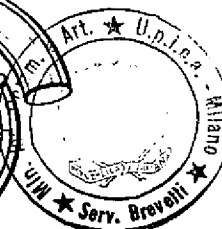
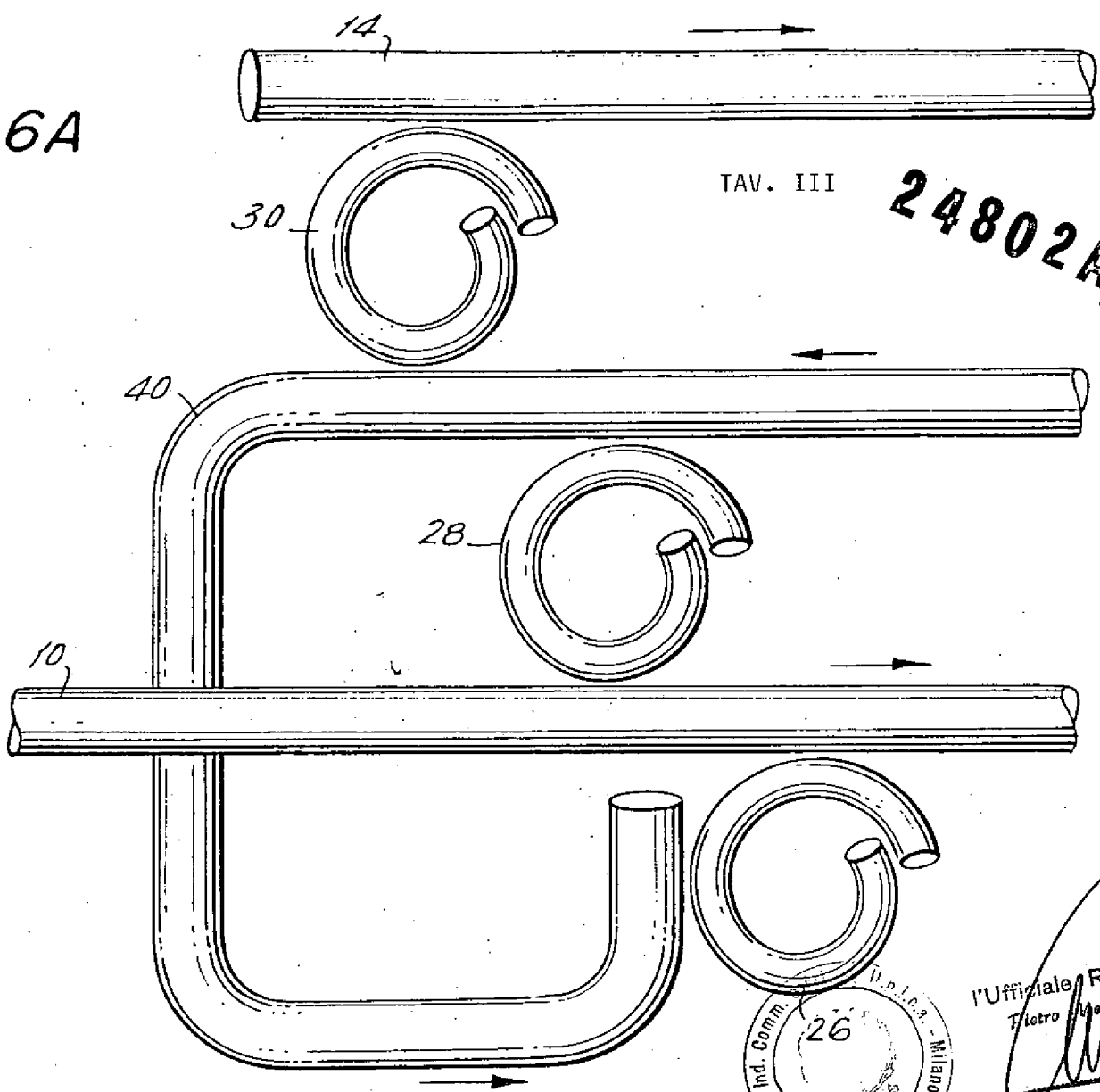
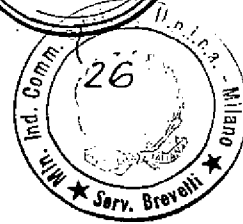


FIG. 6A



TAV. III

24802A/82



L'Ufficiale Rogante  
Pietro Messinas

FIG. 6B

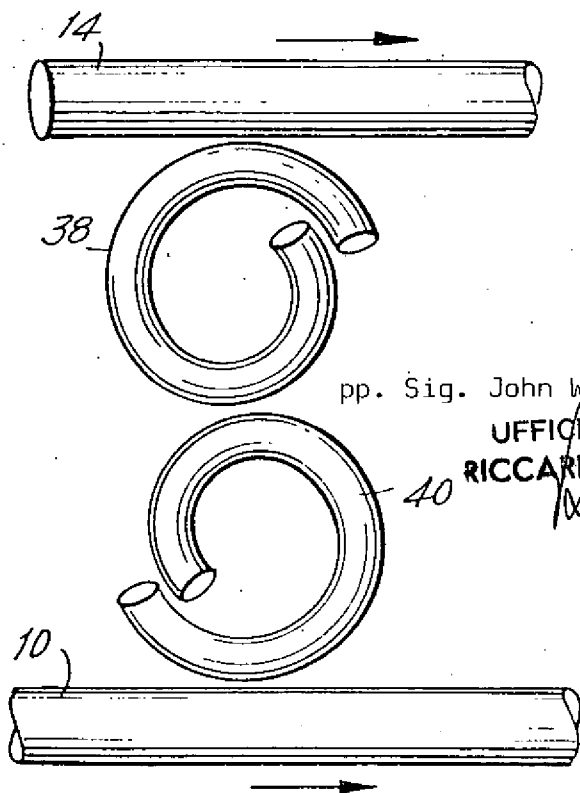
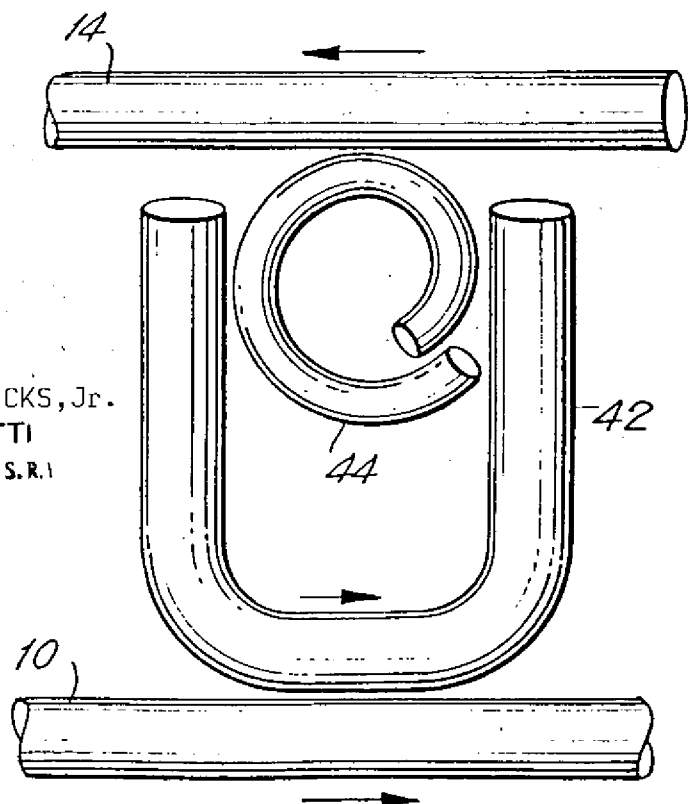


FIG. 6C



pp. Sig. John Wilburn HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.



TAV. 24802A/82

FIG. 7

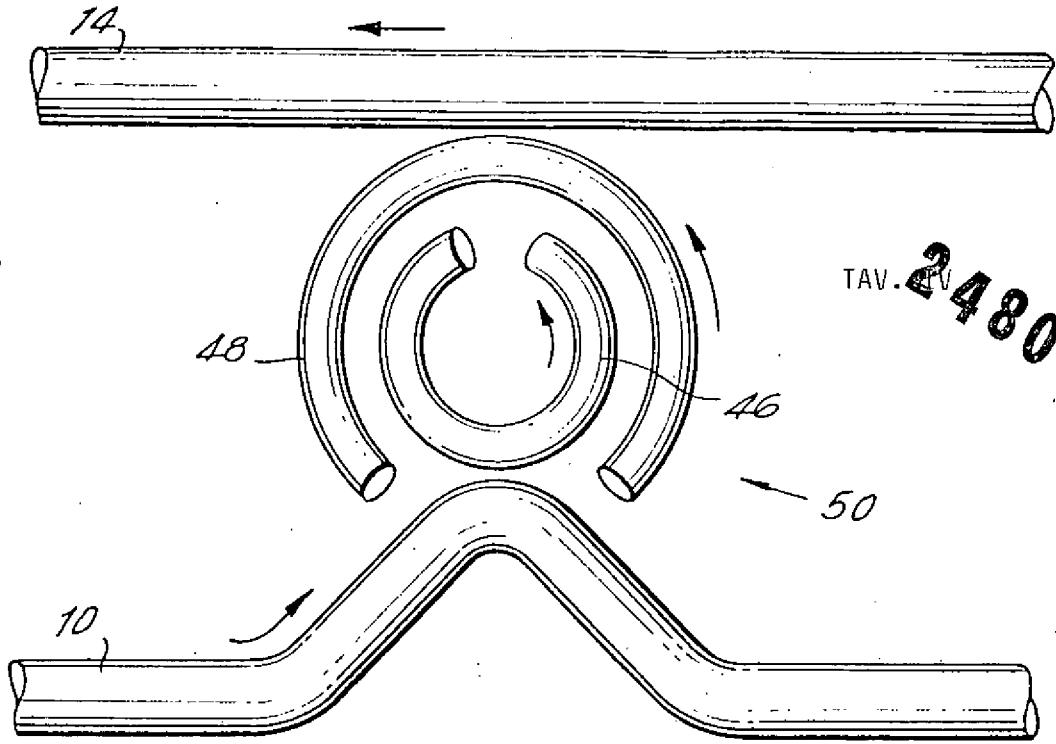


FIG. 7A

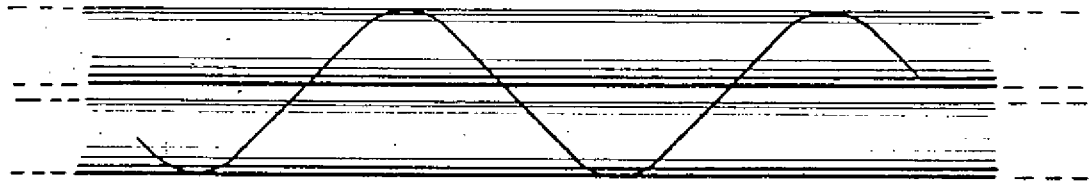


FIG. 7B

OUTPUT  
INTENSITA'  
DI USCITA

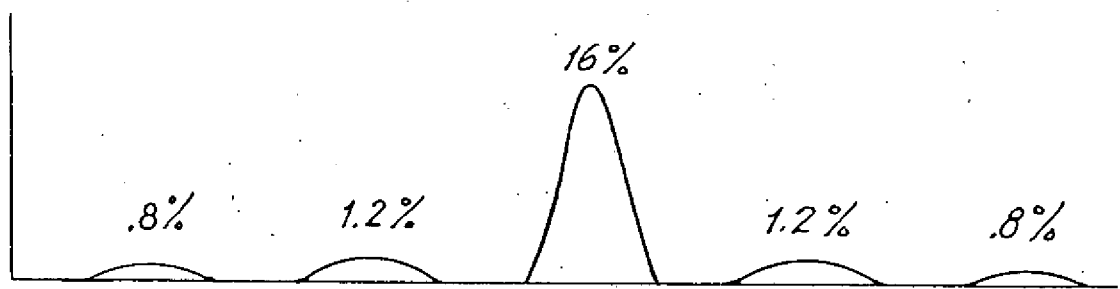
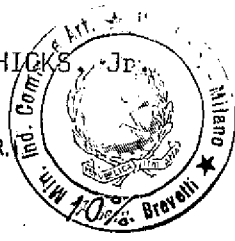


FIG. 7C

REMOVAL  
FROM  
TRUNK  
RIMOZIONE DALLA  
LINEA PRINCIPALE

pp. Sig. John Wilburn HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.



l'Officiale Rogante  
Pietro Messineo

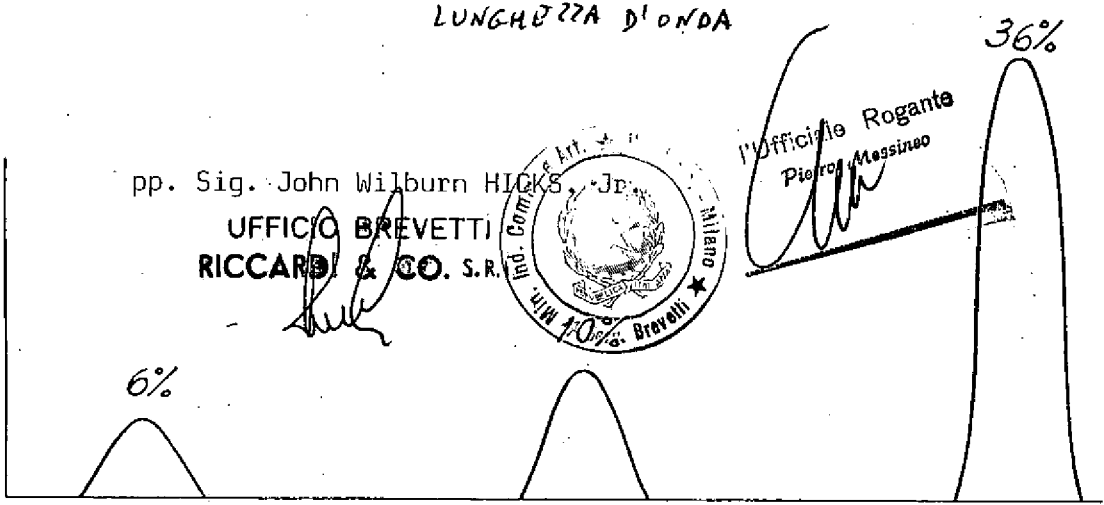
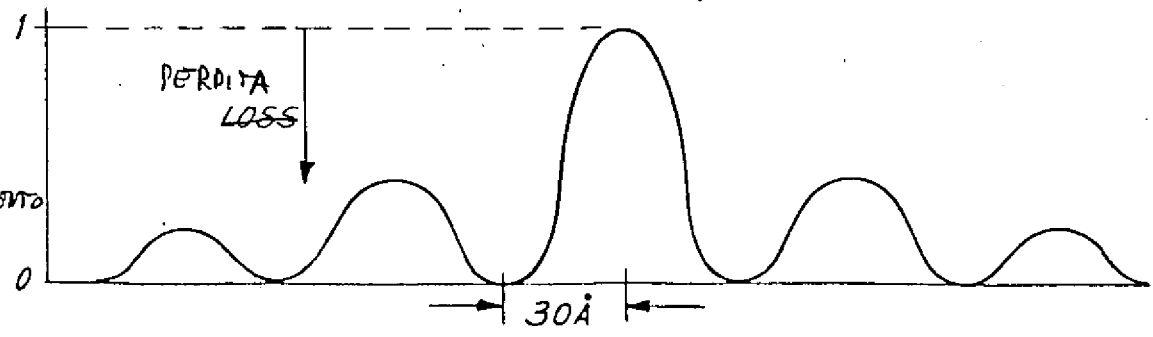


FIG. 7D

TRANSFERIMENTO



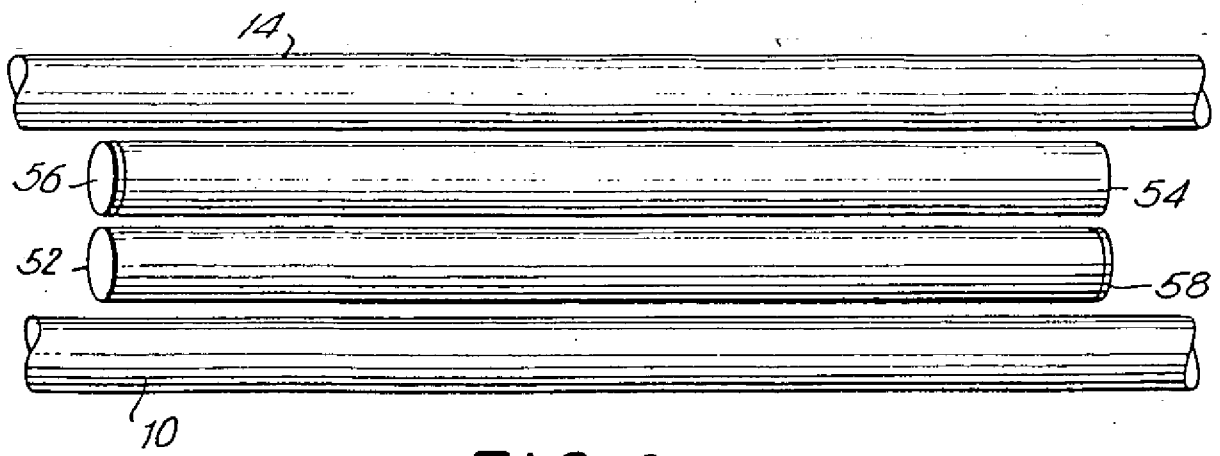


FIG. 8

TAV. V

24802A/82

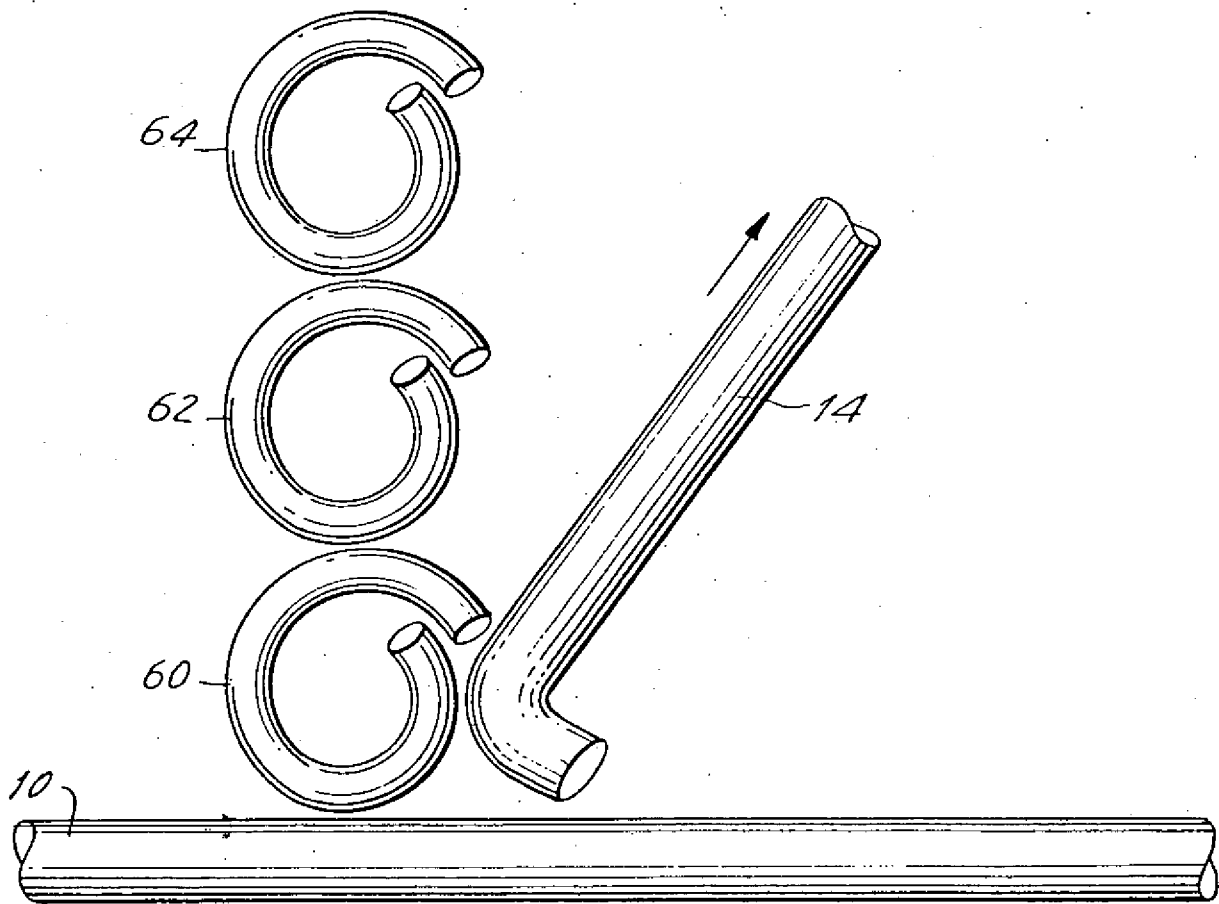


FIG. 9

pp. Sig. John Wilburn HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.

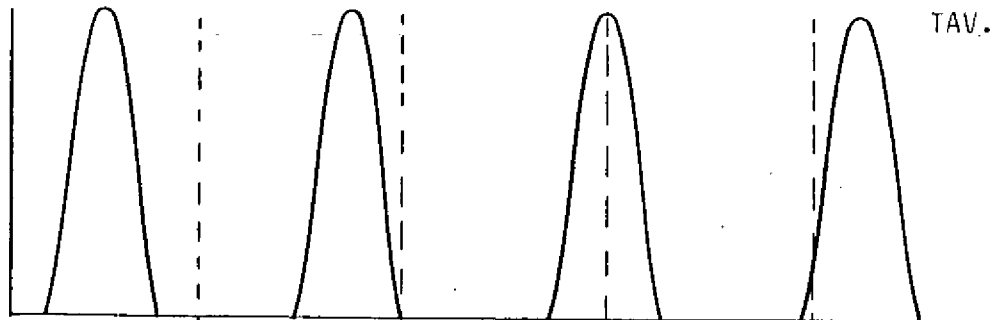


Ufficiale Rogante  
Pietro Melegnano

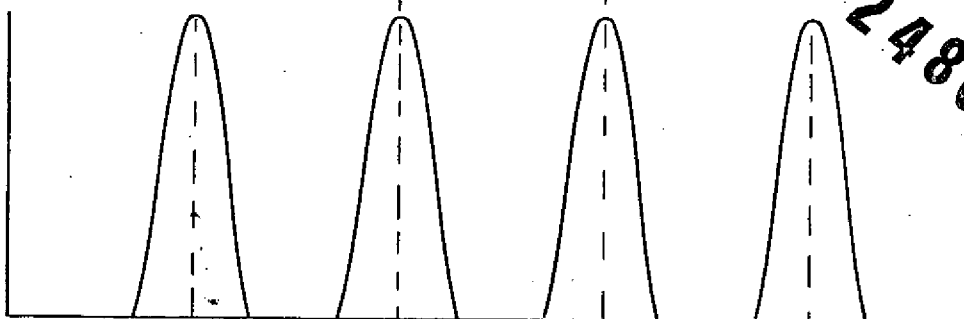
# FIG. 9A

TAV. VI

RESONATORE  
64

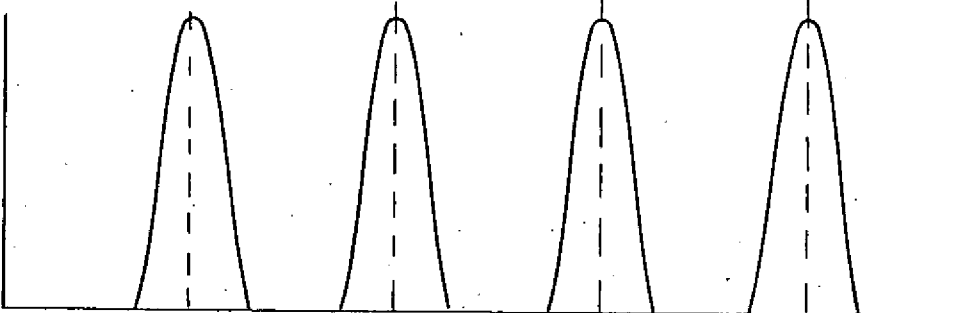


RESONATORE  
62



24802A/82

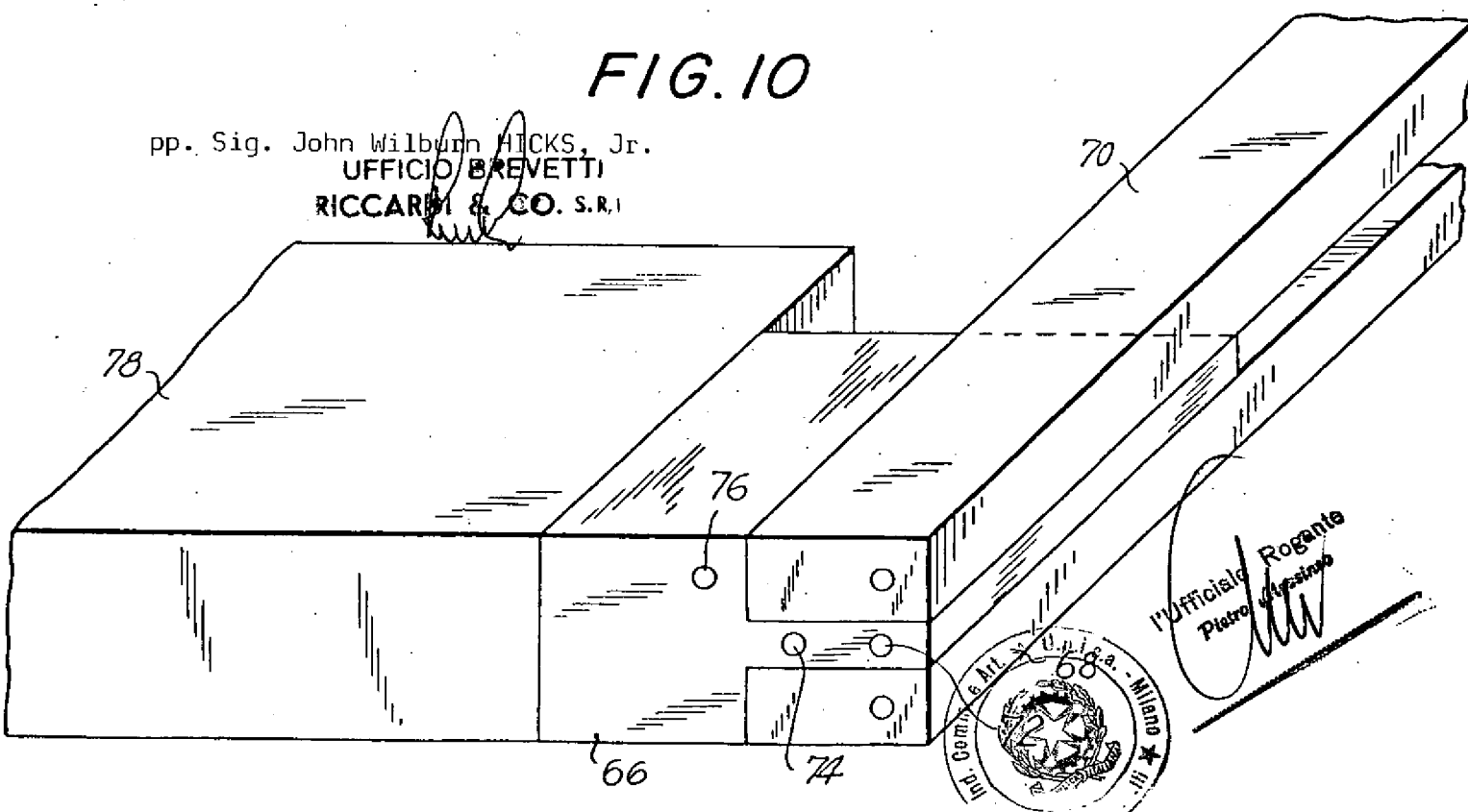
RESONATORE  
60



$\lambda_0$   $\lambda_1$

# FIG. 10

pp. Sig. John Wilburn HICKS, Jr.  
UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.



l'Ufficiale Rogante  
Pietro Cossentino

FIG. 1

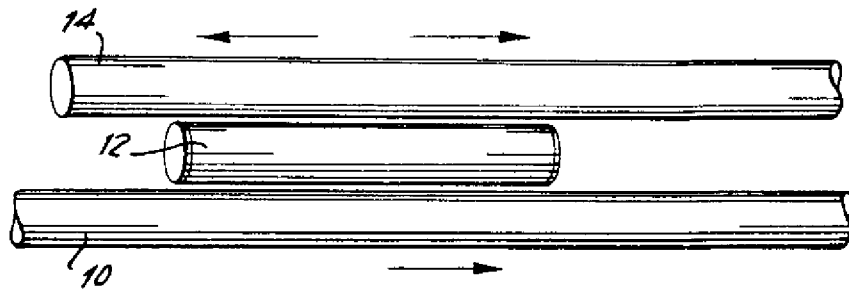


FIG. 2

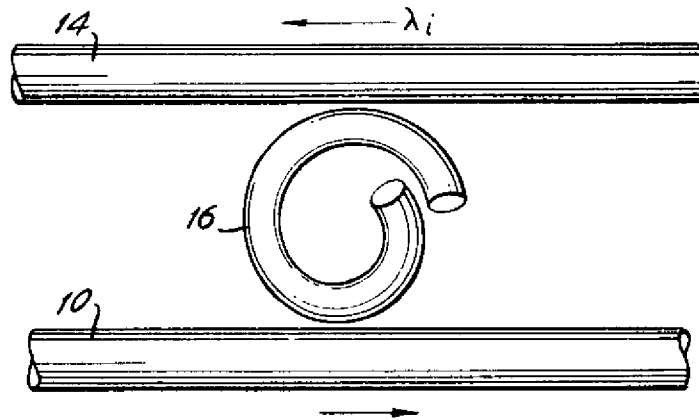


FIG. 3A

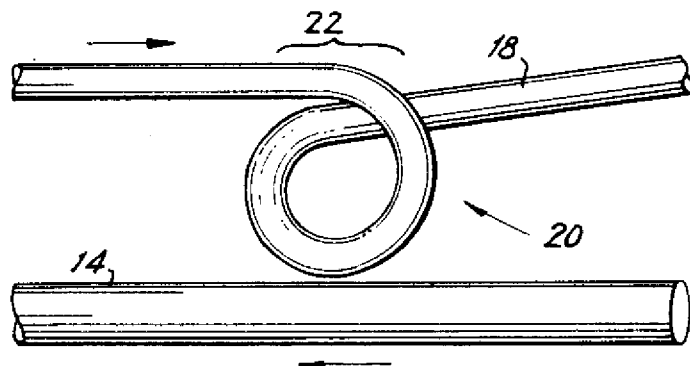
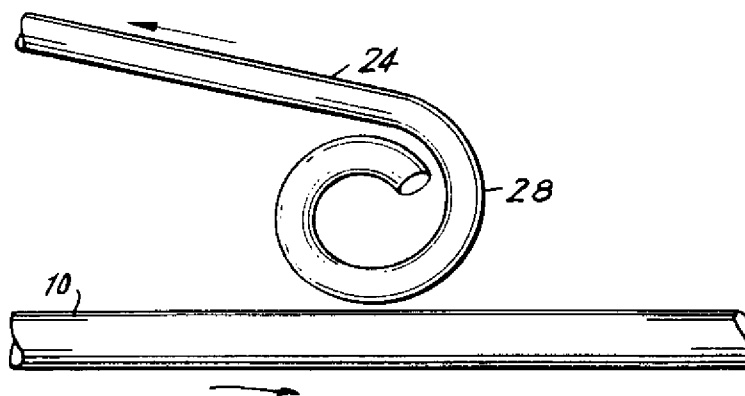


FIG. 3B



pp. Signor John Wilbur HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.

FIG. 4

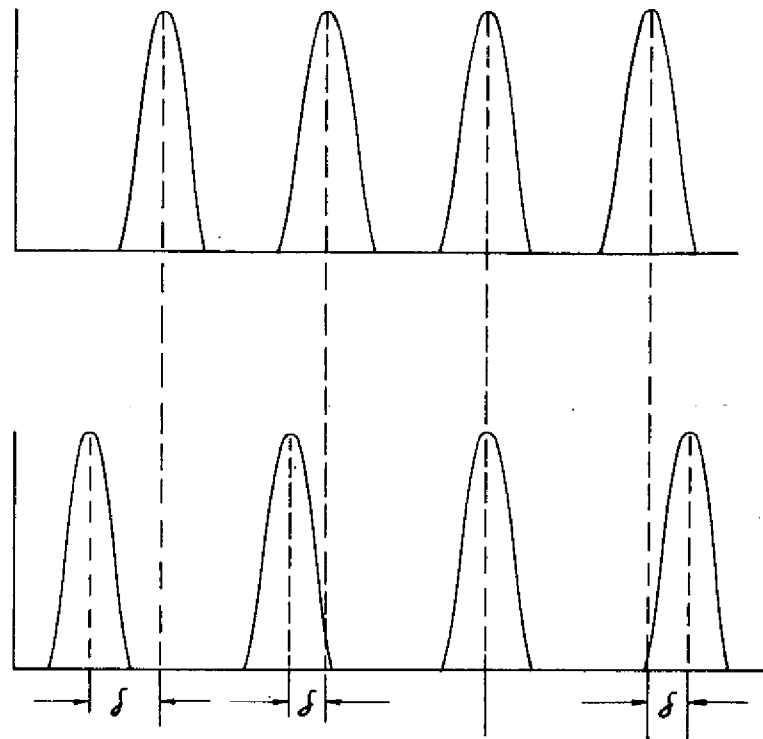
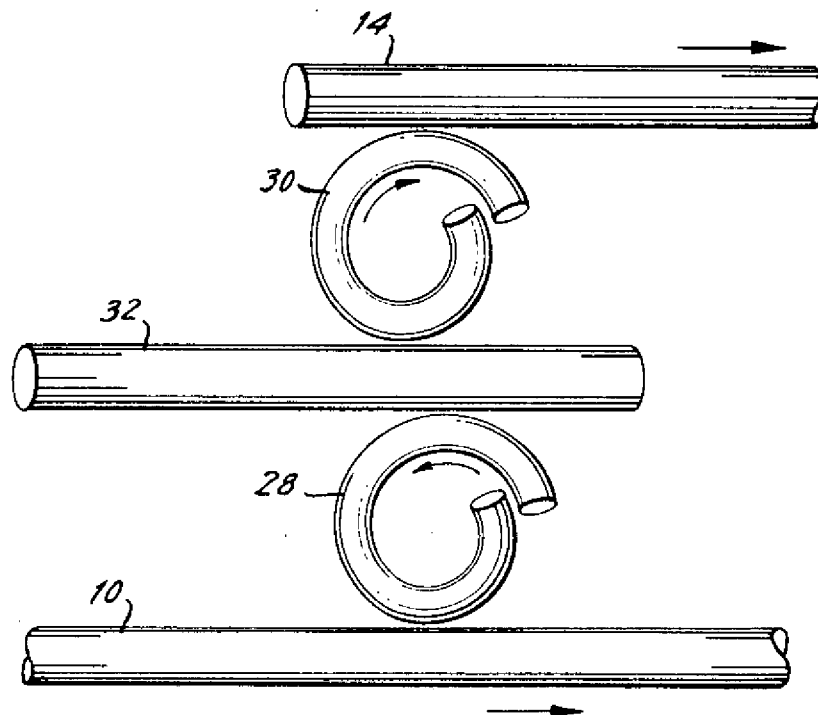
PRIMO  
RISONATORESECONDO  
RISONATORE

FIG. 5



pp. Signor John Wilbur HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.

FIG. 6A

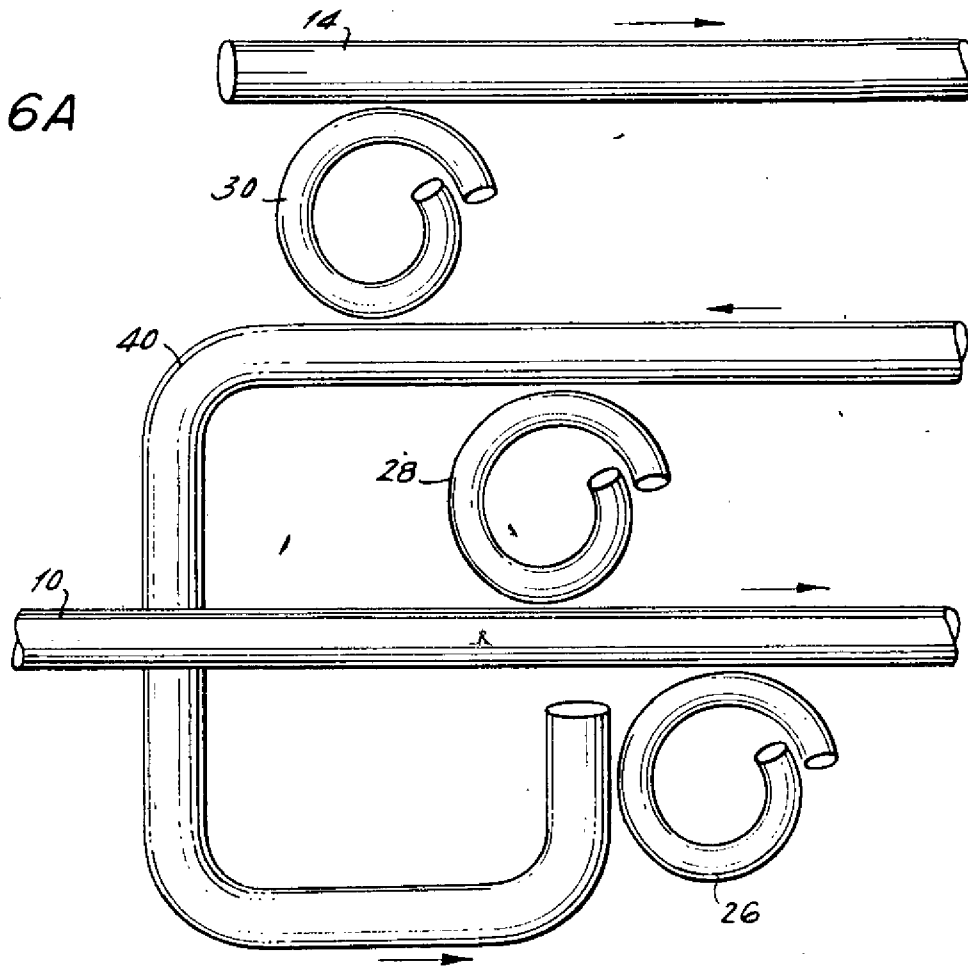


FIG. 6B

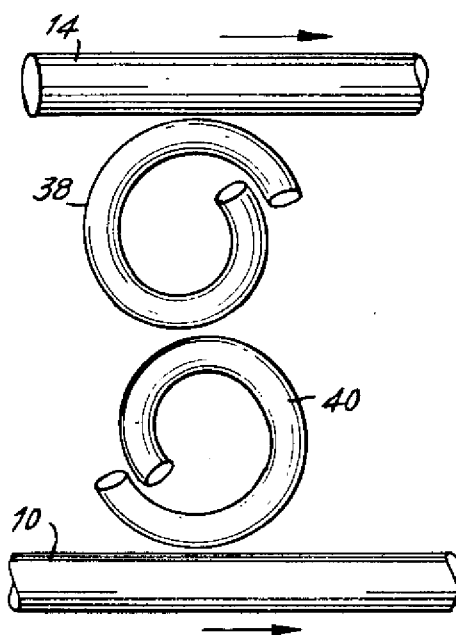
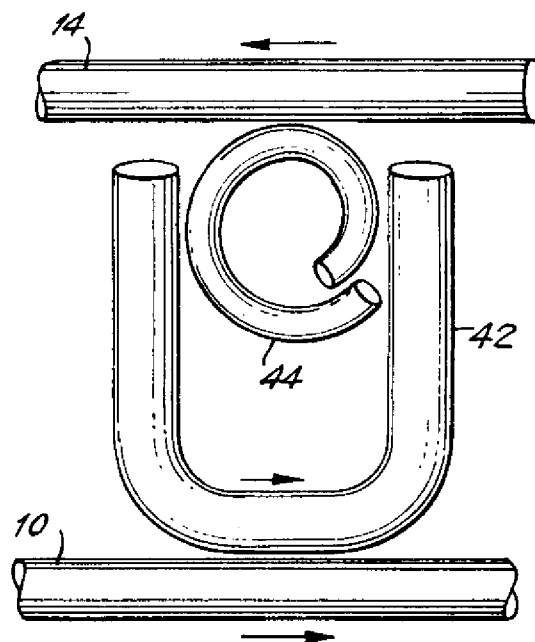


FIG. 6C



pp. Signor John Wilbur HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCAI & C. S.p.A.



FIG. 7

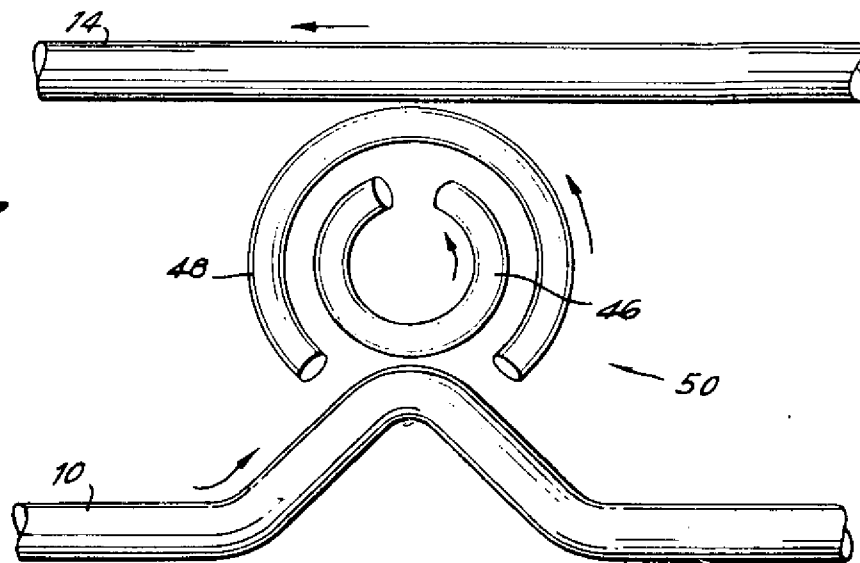


FIG. 7A

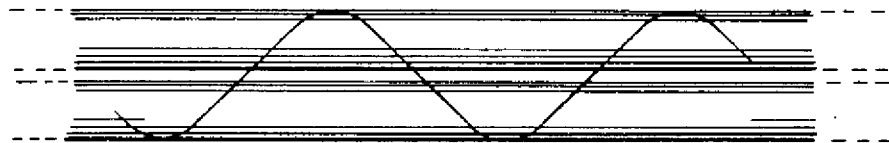


FIG. 7B

INTENSITA'  
DI USCITA

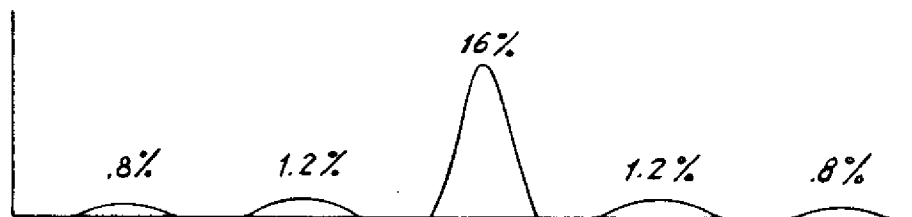


FIG. 7C

RIMOZIONE DALLA  
LINEA PRINCIPALE

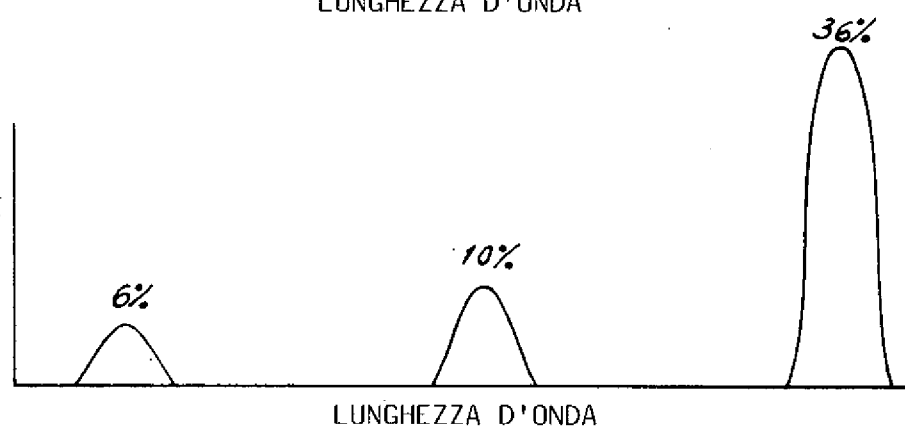
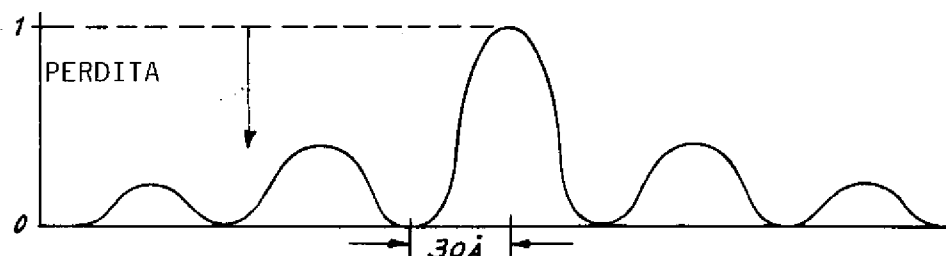


FIG. 7D

TRASFERIMENTO



pp. Signor John Wilbur HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCAI & CO. S.R.L.

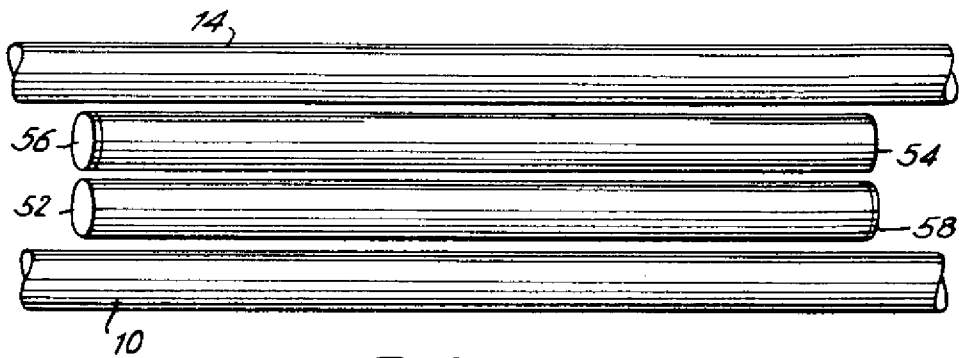


FIG. 8

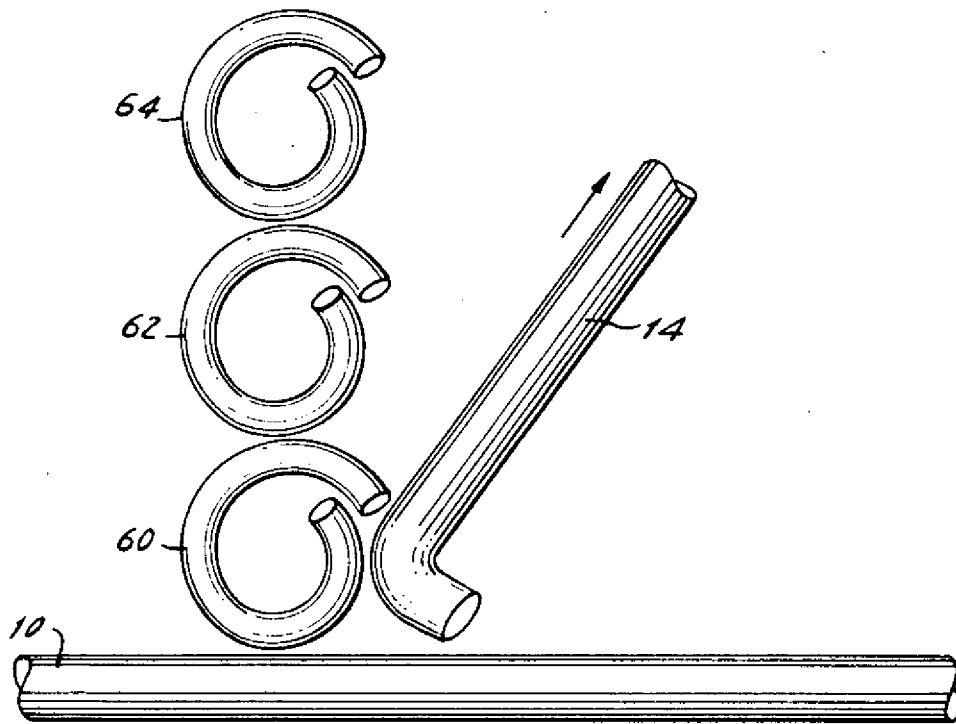
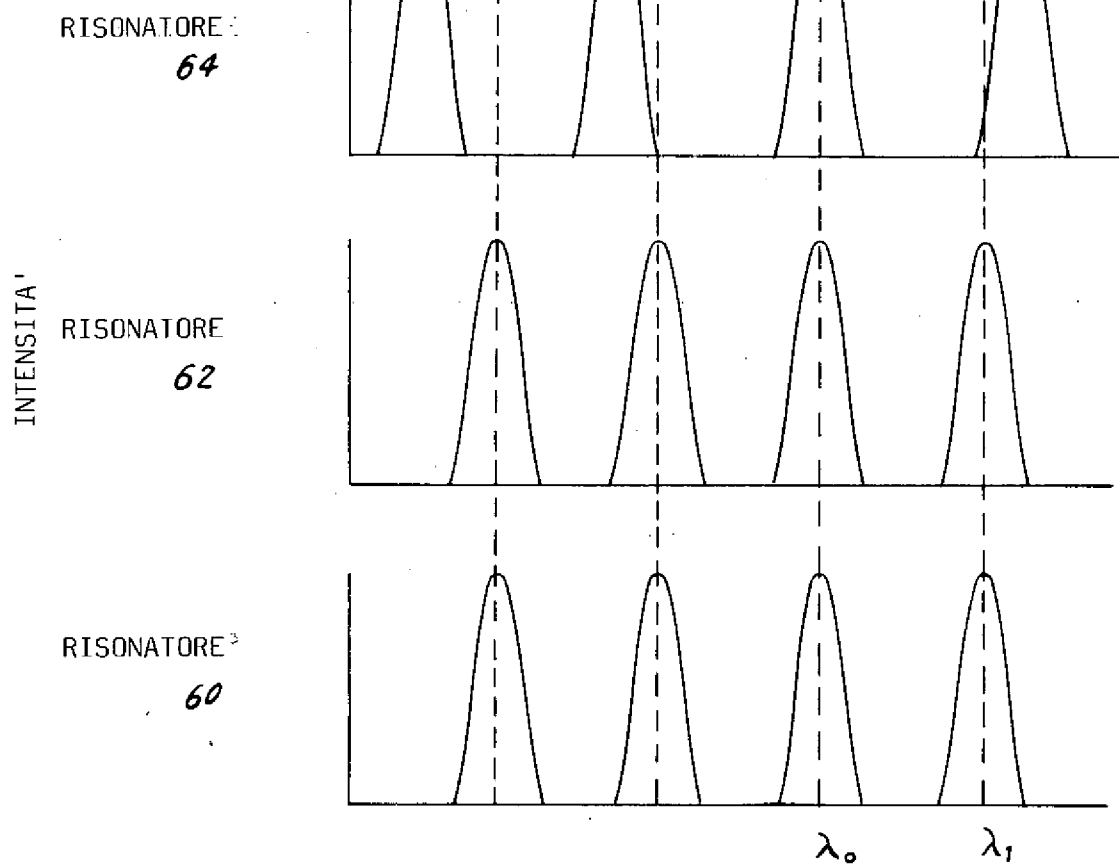
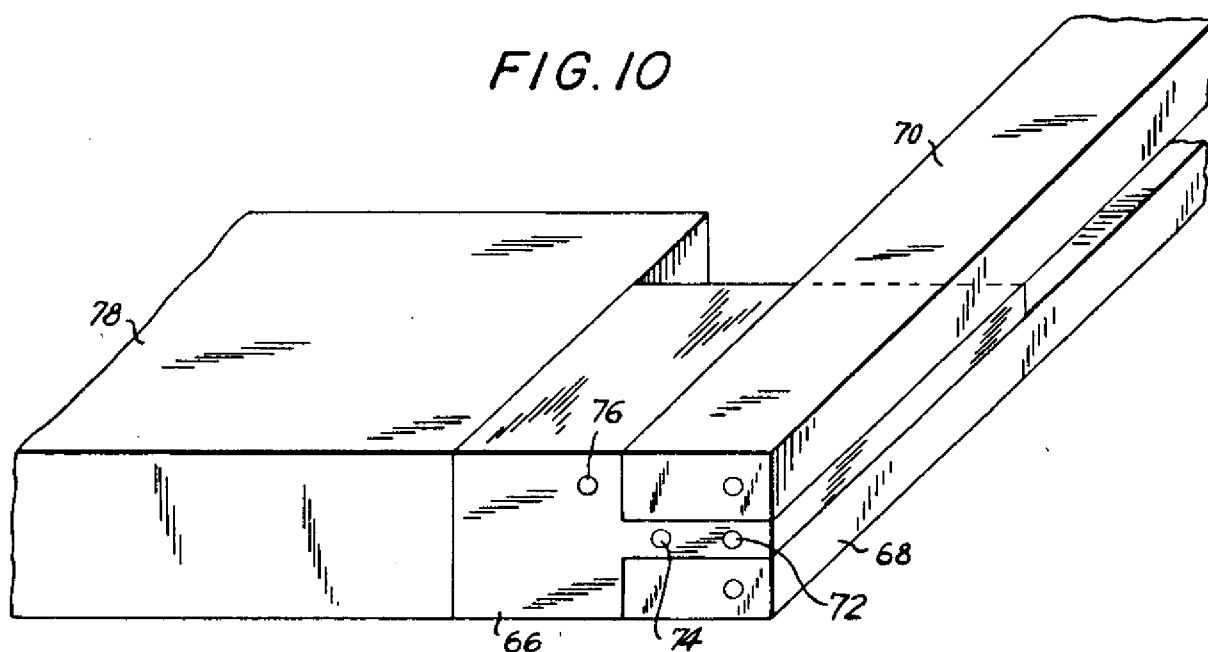


FIG. 9

pp. Signor John Wilbur HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.

**FIG. 9A****FIG. 10**

pp. Signor John Wilbur HICKS, Jr.

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.