

premessa

Lo “stato di polarizzazione” della luce è uno dei tre parametri fondamentali che caratterizza un segnale luminoso, insieme alla frequenza ed al vettore d’onda.

Lo “stato di polarizzazione” è una proprietà che la luce presenta sia nella sua rappresentazione elettromagnetica (ad onde) che nella sua rappresentazione ad intensità (numero di fotoni) : è quindi un dato caratteristico fondamentale della luce e dei suoi costituenti fondamentali: i fotoni.

premessa

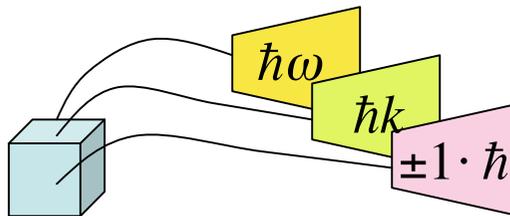
I fotoni sono caratterizzati da

Energia: $\hbar\omega$

Momento della Quantità di Moto: $\hbar k$

Momento Angolare Proprio o Interno (spin): $\pm 1 \cdot \hbar$

Queste tre quantità sono misurabili indipendentemente una dall'altra
Sono le uniche quantità misurabili del singolo fotone ed anche di una “collezione di fotoni”
che può quindi essere etichettato dai valori di queste tre quantità

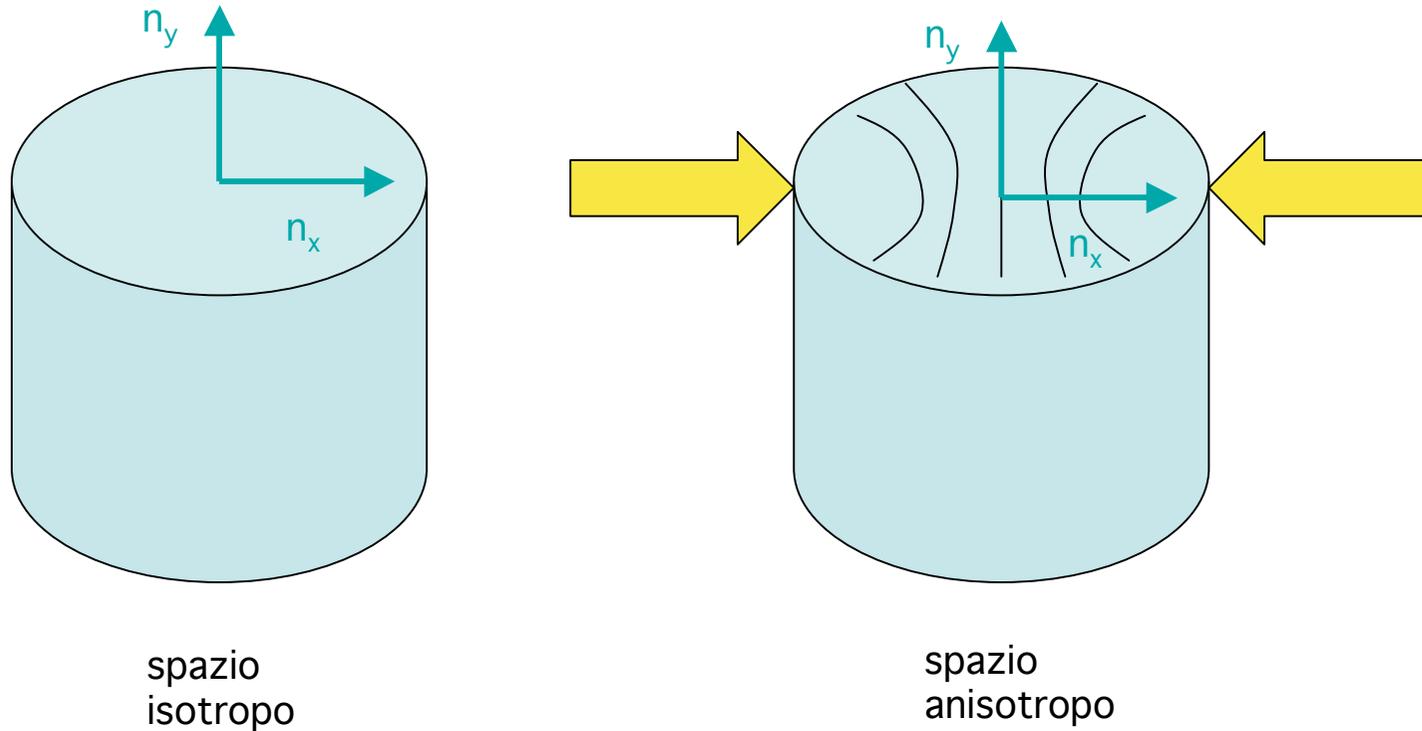


La “collezione di fotoni” è un comune fascio di luce
Quindi sono le uniche quantità misurabili della luce

premessa

In generale la luce coerente originata dal laser possiede un alto grado di polarizzazione (normalmente è linearmente polarizzata) : essa conserverebbe questo grado e questo stato di polarizzazione se propagasse in uno spazio omogeneo, uno spazio cioè che non presenta birifrangenza.

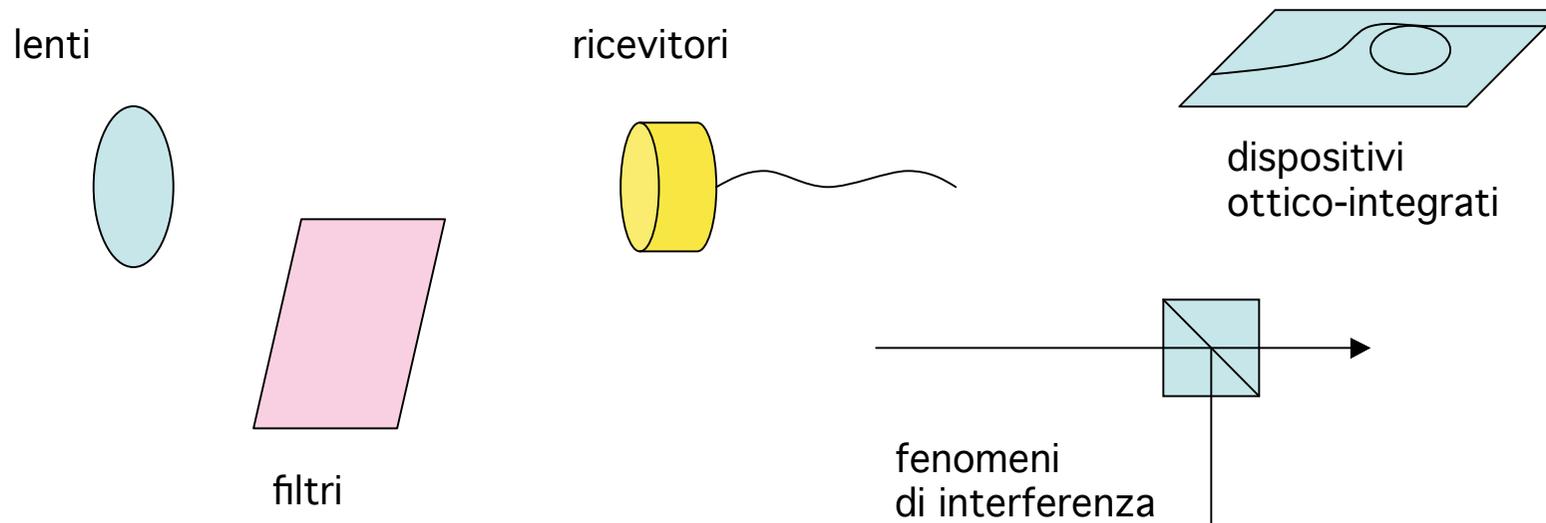
premessa



In generale lo stato di polarizzazione di un segnale luminoso varia durante la sua propagazione quando incontra uno spazio anisotropo, cioè uno spazio che presenta un diverso indice di rifrazione nelle diverse direzioni spaziali.

premessa

E' importante conoscere lo stato di polarizzazione e poterne stimare la sua evoluzione perché molti dispositivi e componenti ottici sono "polarizzazione sensibili", cioè hanno un comportamento che dipende dallo stato di polarizzazione della luce di ingresso.

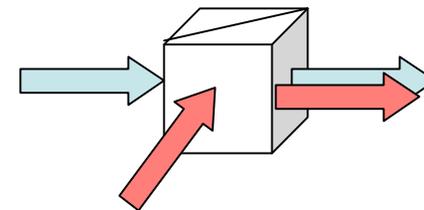
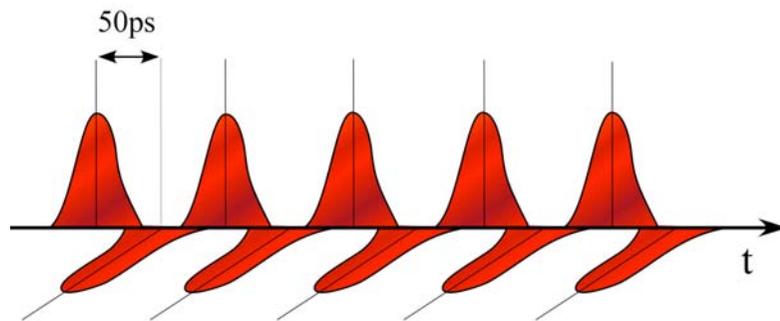


Why to stabilize the state of polarization ?

1) high-contrast integrated-optics circuits are polarization sensitive

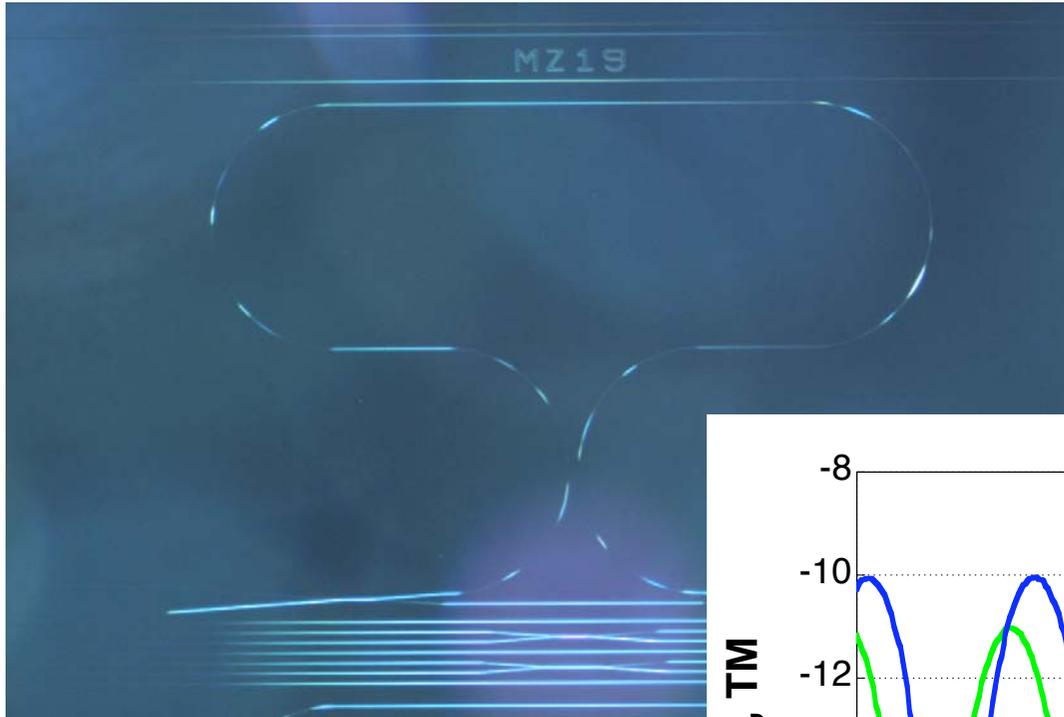


2) polarization control enables the exploitation of novel modulation formats

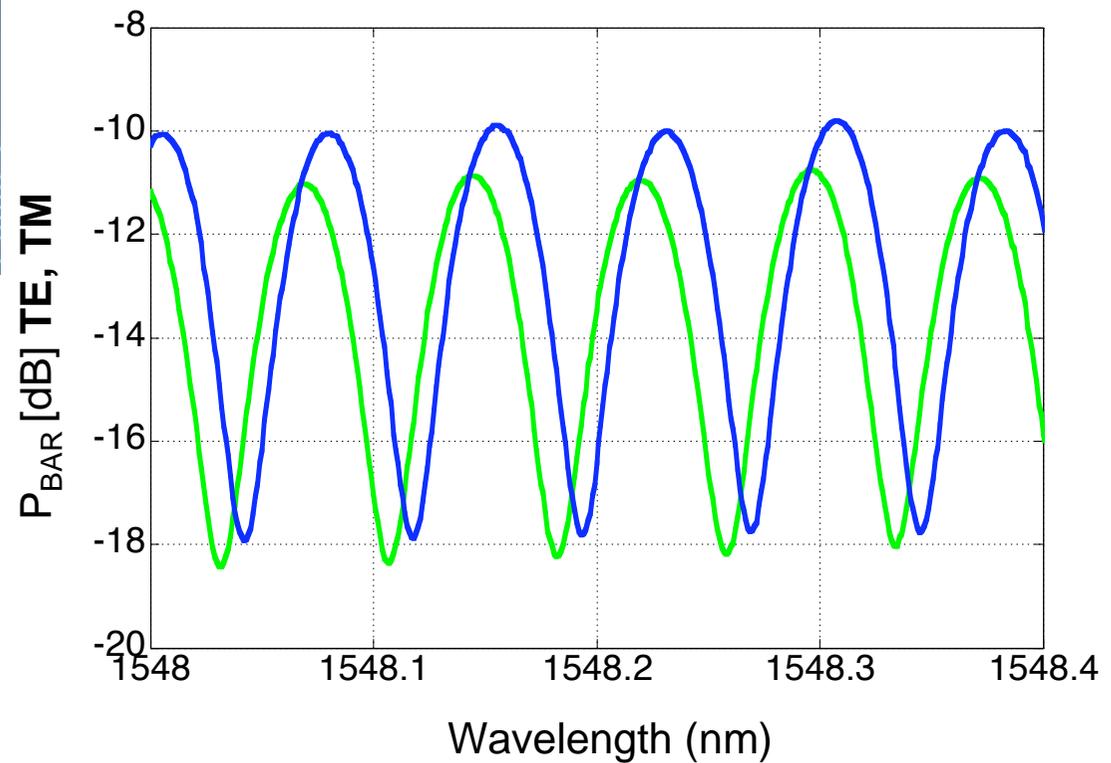


3) polarization control is desired in any coherent system

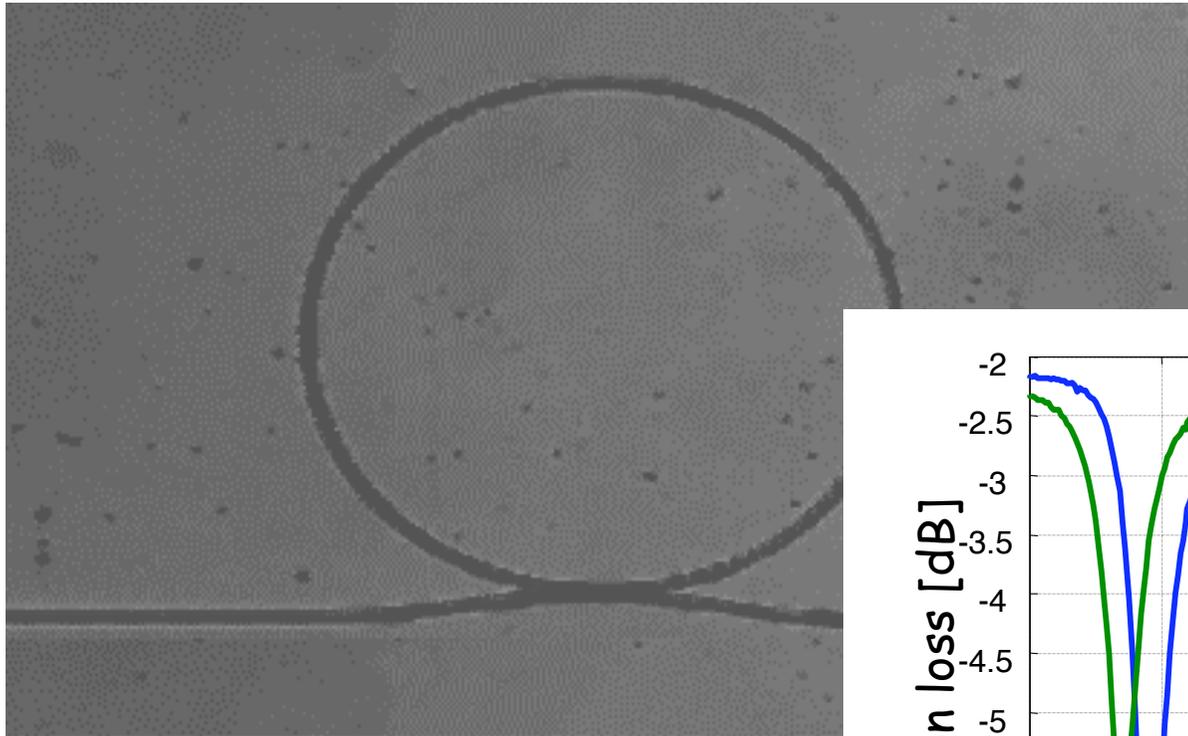
Birifrangenza dei circuiti ottico-integrati



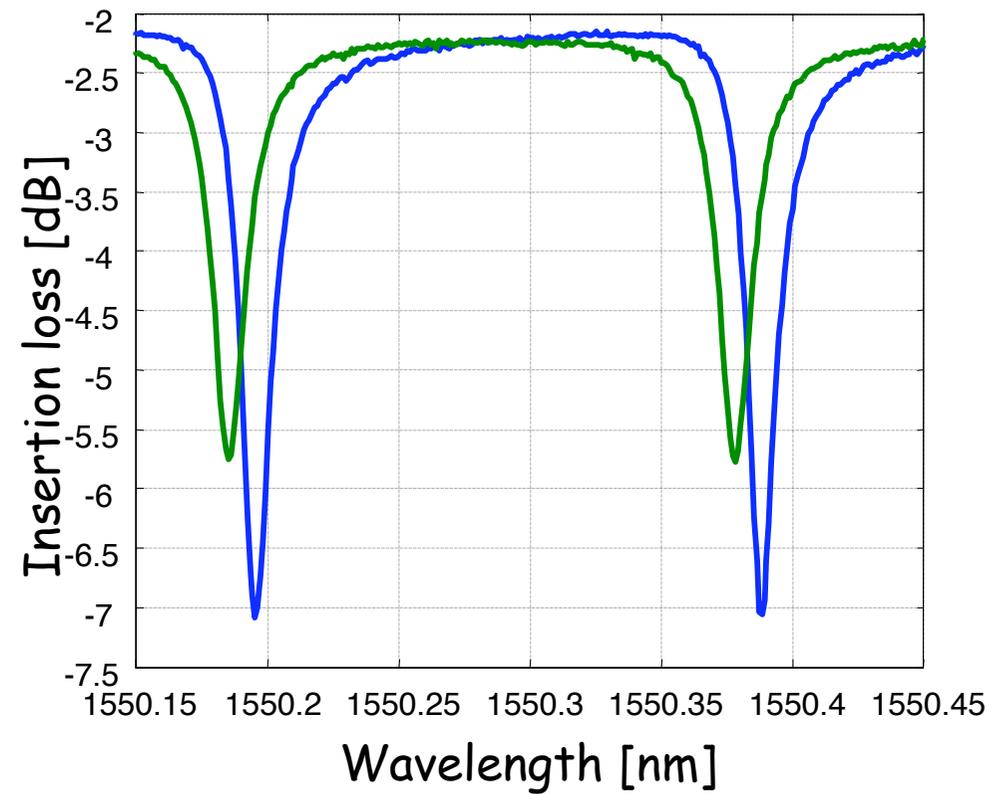
MZ con $\Delta L=2\text{cm}$ $\Delta n=6\%$



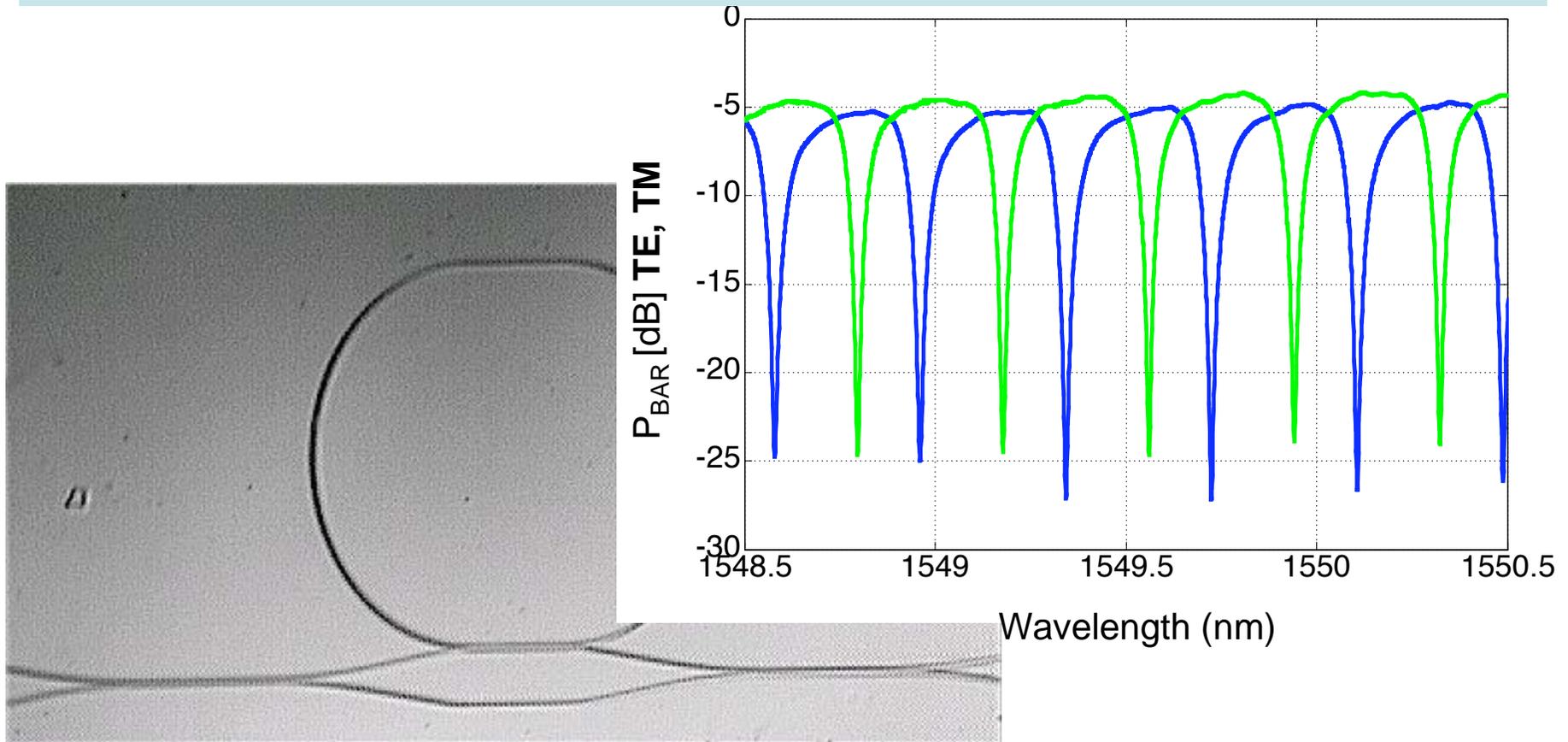
Birifrangenza dei circuiti ottico-integrati



Ring phase shifter $\Delta n=6\%$



Birifrangenza dei circuiti ottico-integrati



In Integrated optical devices it is common to deal with a birefringent behavior, due to the waveguide geometry and to the technological process used for the fabrication.

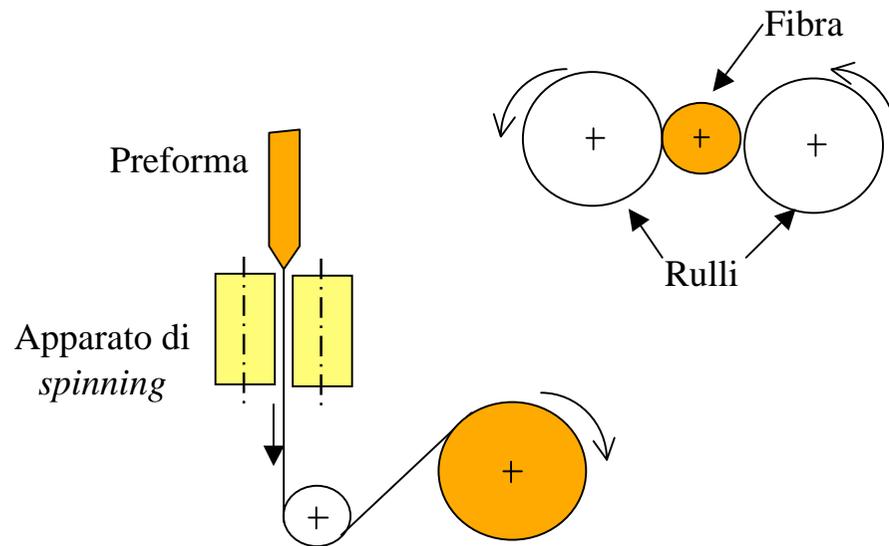
Achieving a polarization independence of the optical response of a device is a non trivial task, sometimes unreachable.

It is thus important to guarantee a controlled polarization state of the input signal.

premessa

Un tipico esempio di spazio anisotropo è rappresentato dalla propagazione in fibra ottica in cui l'insieme di cause meccaniche e termiche produce una anisotropia nel materiale vetroso di cui è costituita la fibra ottica.

Lo *spinning* come tecnica di riduzione della PMD



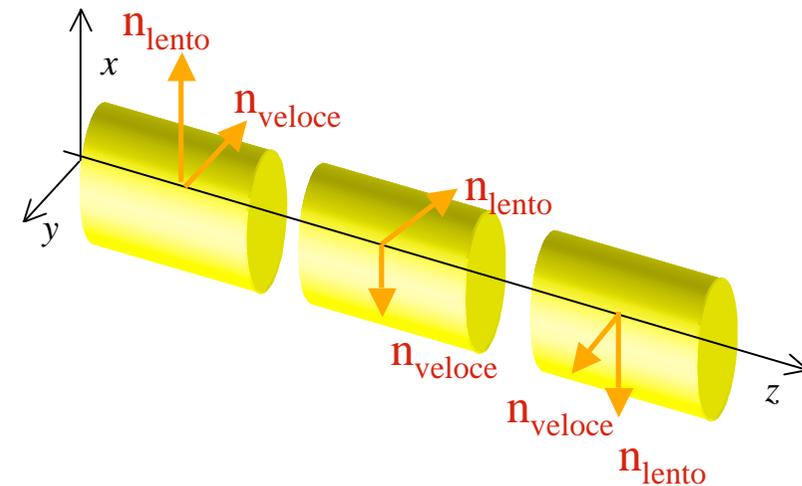
Il processo di “spinning” consiste nell’applicazione di una torsione sulla fibra durante il processo di filatura



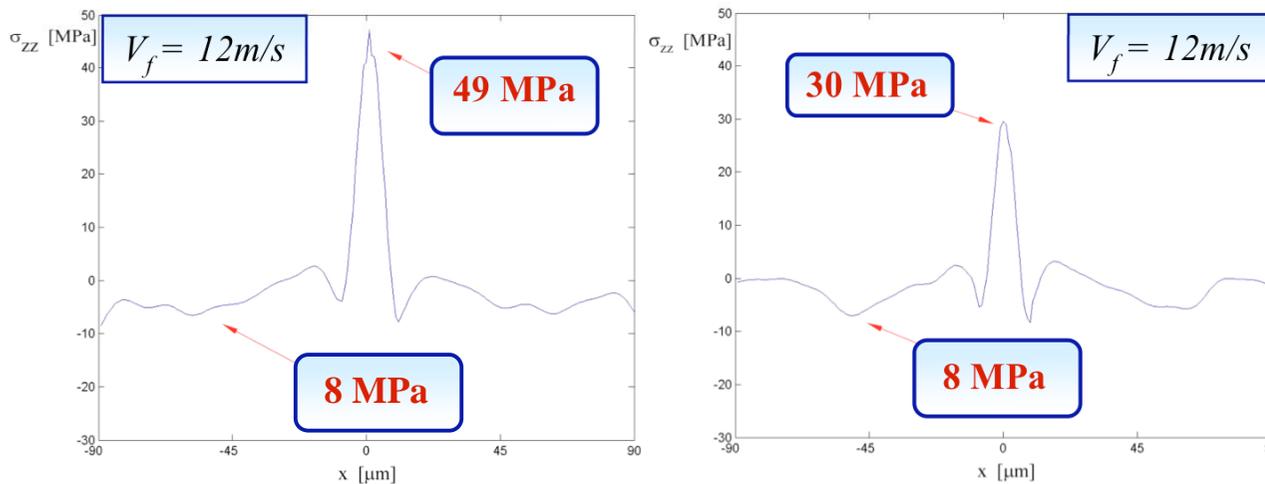
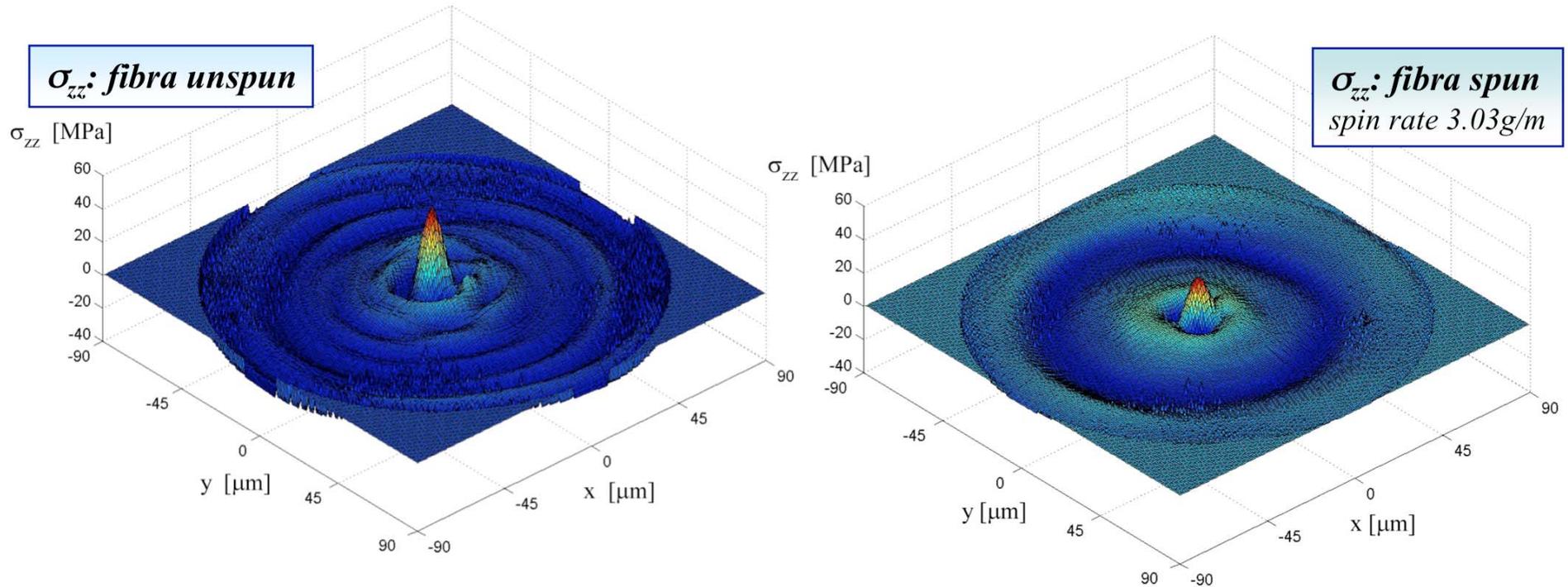
Nella fibra rimane congelata una rotazione permanente degli assi di birifrangenza

Ha luogo un continuo accoppiamento tra le due componenti di polarizzazione del segnale propagante in fibra.

Il ritardo accumulato in un tratto di fibra viene compensato dal ritardo del tratto successivo.



Ricostruzione tomografica distribuzione stress



fibra unspun

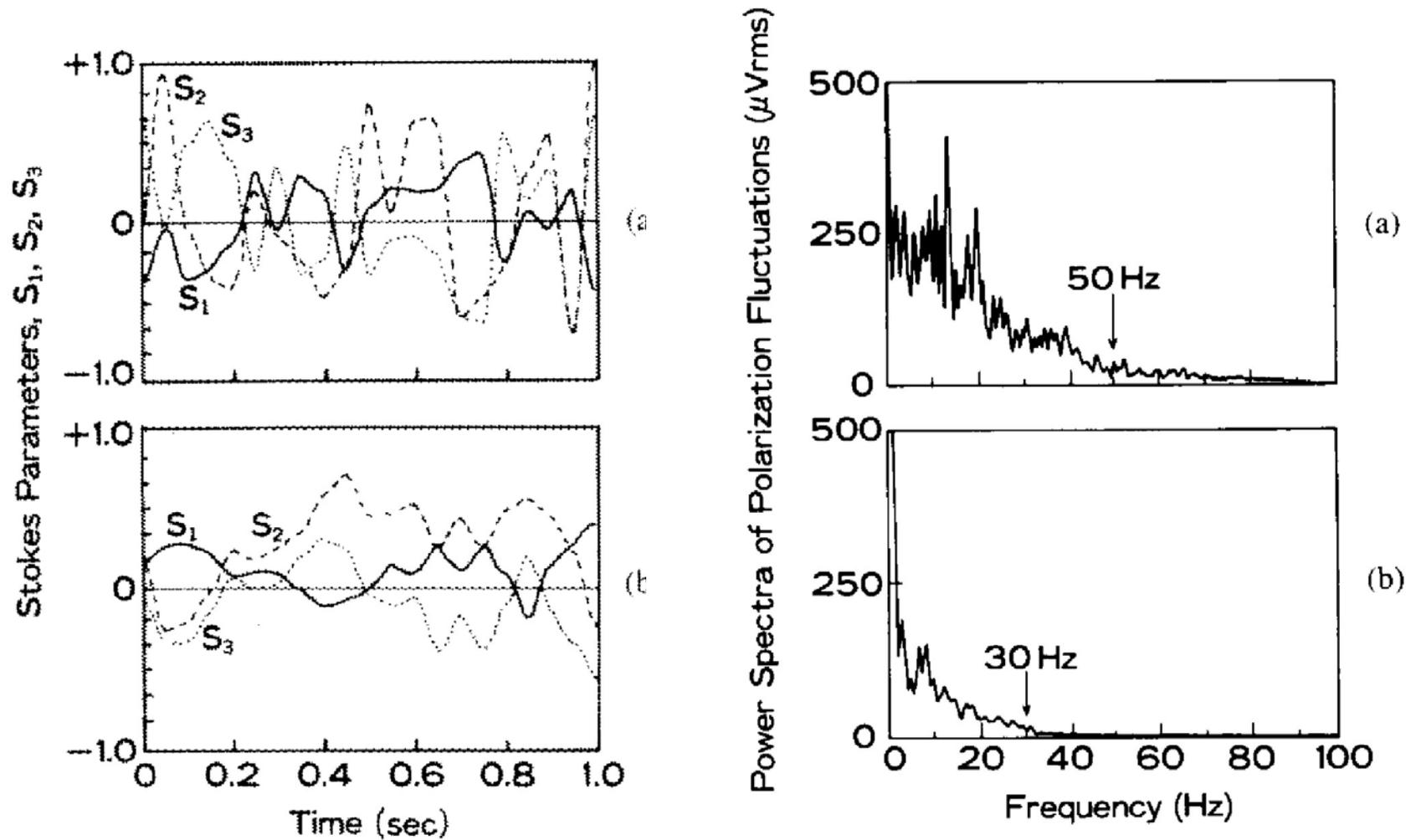
fibra spun 3.03g/m

Velocità di filatura=12m/s
Entità degli stress nel cladding
paragonabile nelle due fibre

Effetto applicazione spinning
Riduzione degli stress nel core

Origin

SOP fluctuation in optical submarine cable during the recovery and the laying



Yoshinori N. et al., IEEE JLT pag.1201(1989)

Origin

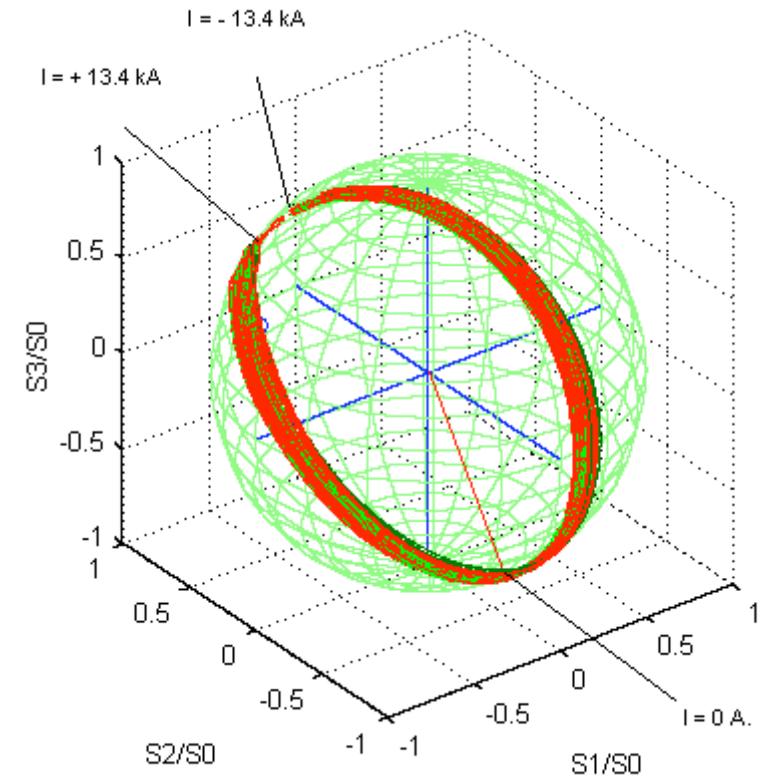
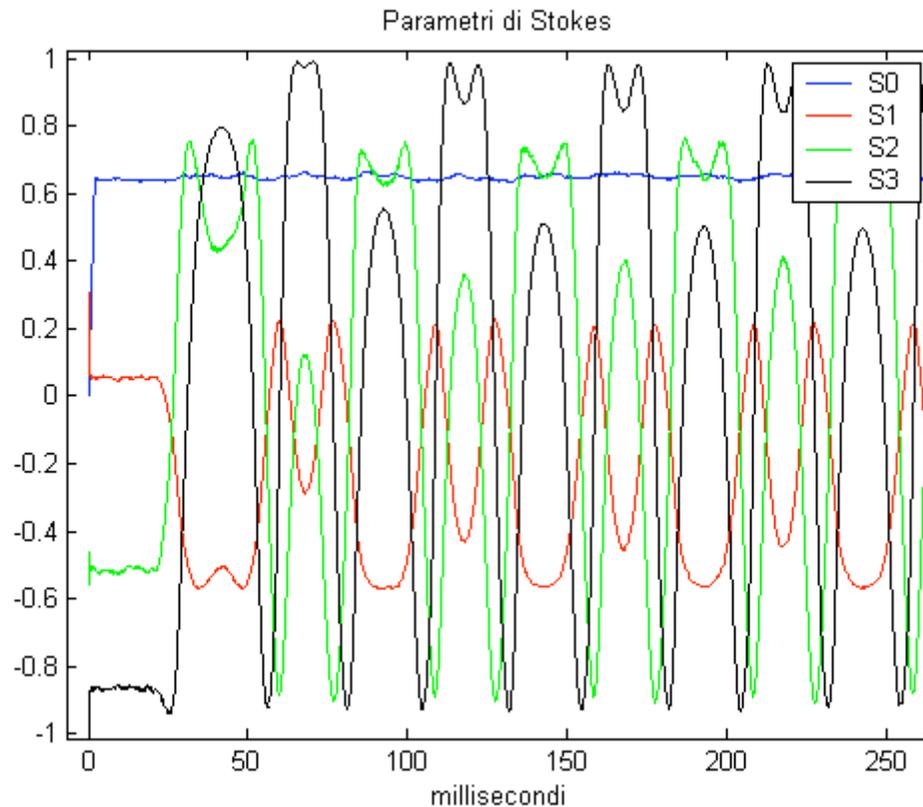


Origin

Eventi di corto-circuito

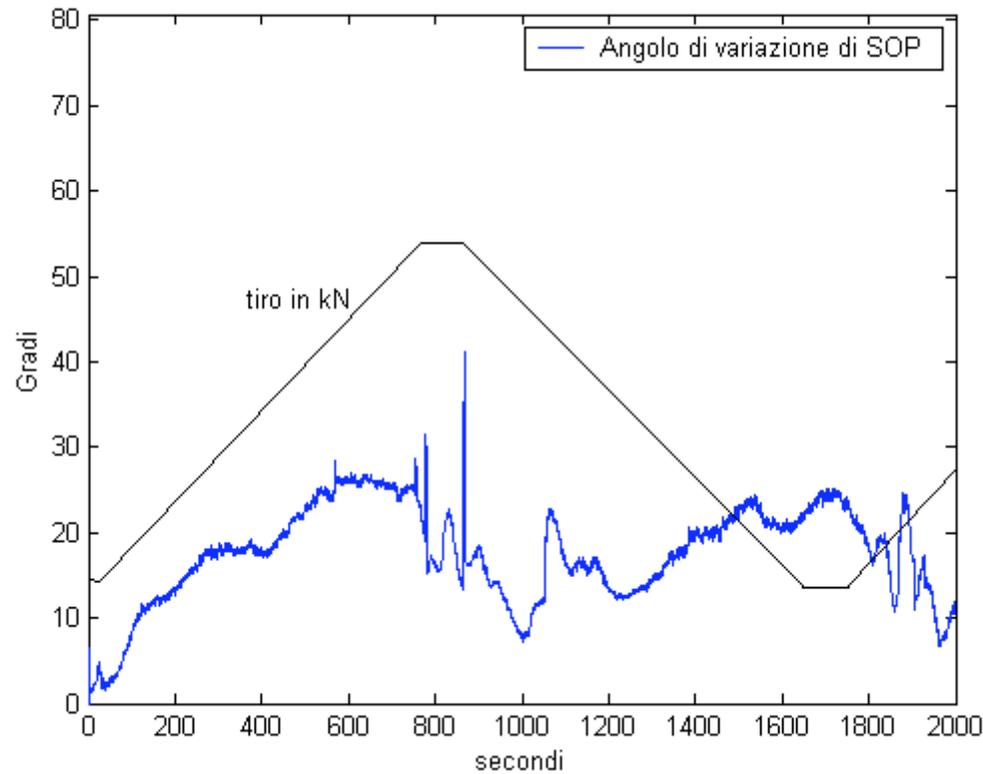
Escursione Faraday $I = 13.4 \text{ kA}$, durata 1.5 s.

L'escursione Faraday vale 178° (da 0 a 13.4 kA) e l'escursione del SOP è massima (180°) - SOP in ingresso lineare.

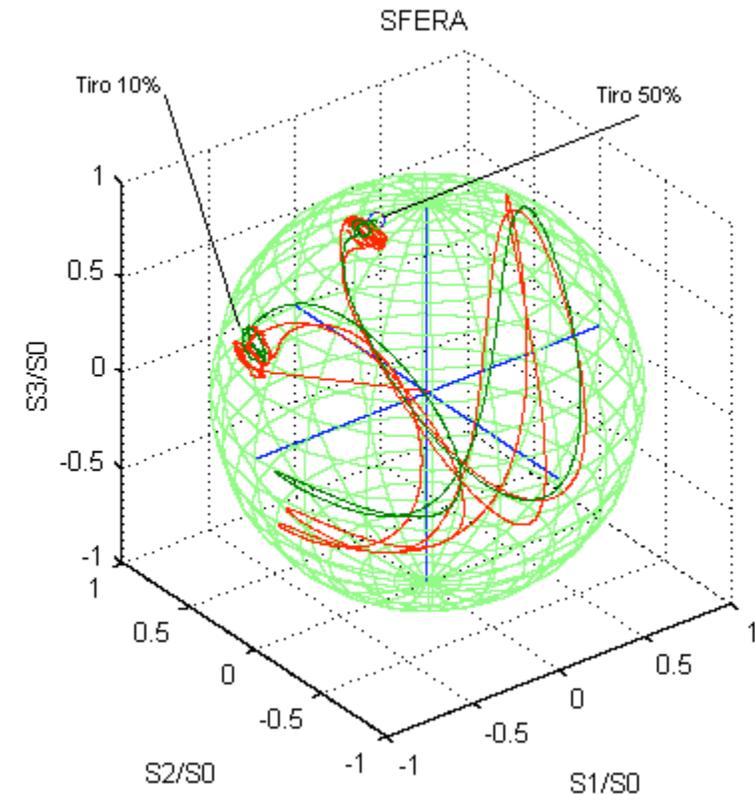


Origin

Prove meccaniche



Angolo di variazione del SOP durante un ciclo di tiro meccanico di 30 minuti su OPGW, l'angolo descrive un escursione massima di 42°.

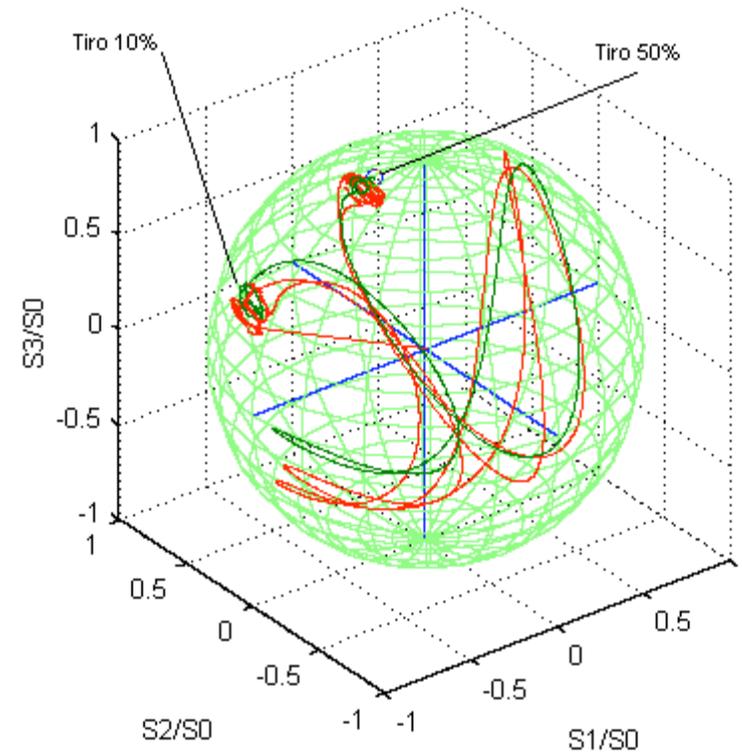


Cavo avvolto a fune di guardia: Escursione SOP su più cicli termici. Si distinguono gli stati iniziali (tiro al 10% del suo carico di rottura) e finali (50%)

Origin

typical speed of
polarization fluctuations
in standard fiber link

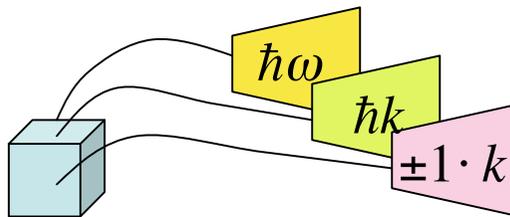
cable laying in submarine link	< 300 rad/s
cable recovery in submarine link	< 200 rad/s
mechanical shock	< 300 rad/s
environmental perturbations	< 1 rad/s



premessa

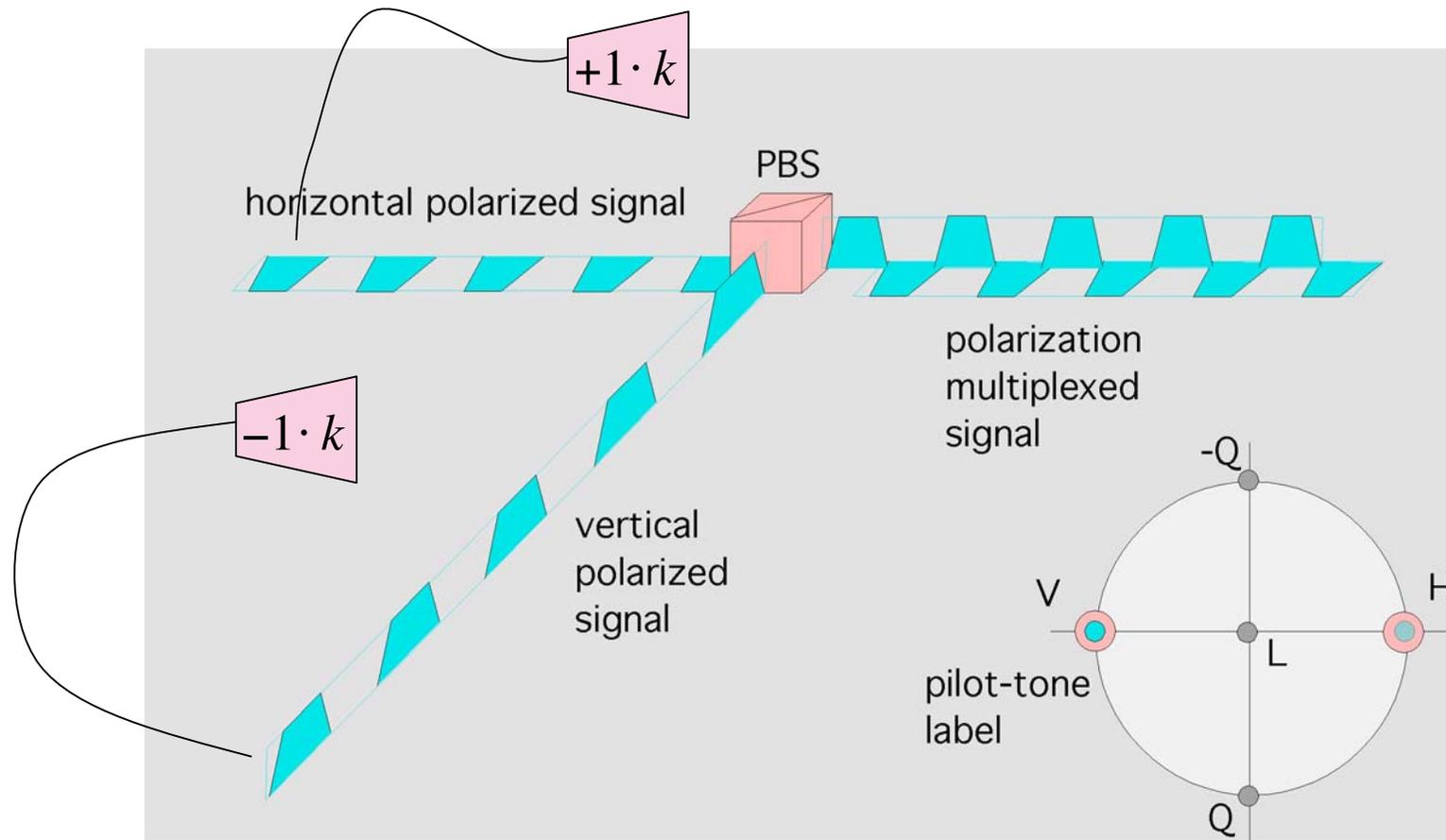
La polarizzazione non è solo un problema ma anche una opportunità.

Il fatto che la polarizzazione sia una “etichetta” separata dalle altre due possedute dalla luce, offre un ulteriore grado di multiplexazione rispetto a quelli normalmente usati nei sistemi di comunicazione ottica (multiplexazione a divisione di tempo, multiplexazione a divisione di lunghezza d’onda) : si stanno quindi sviluppando dei sistemi di comunicazione ottica avanzati conosciuti come sistemi a multiplexazione di polarizzazione



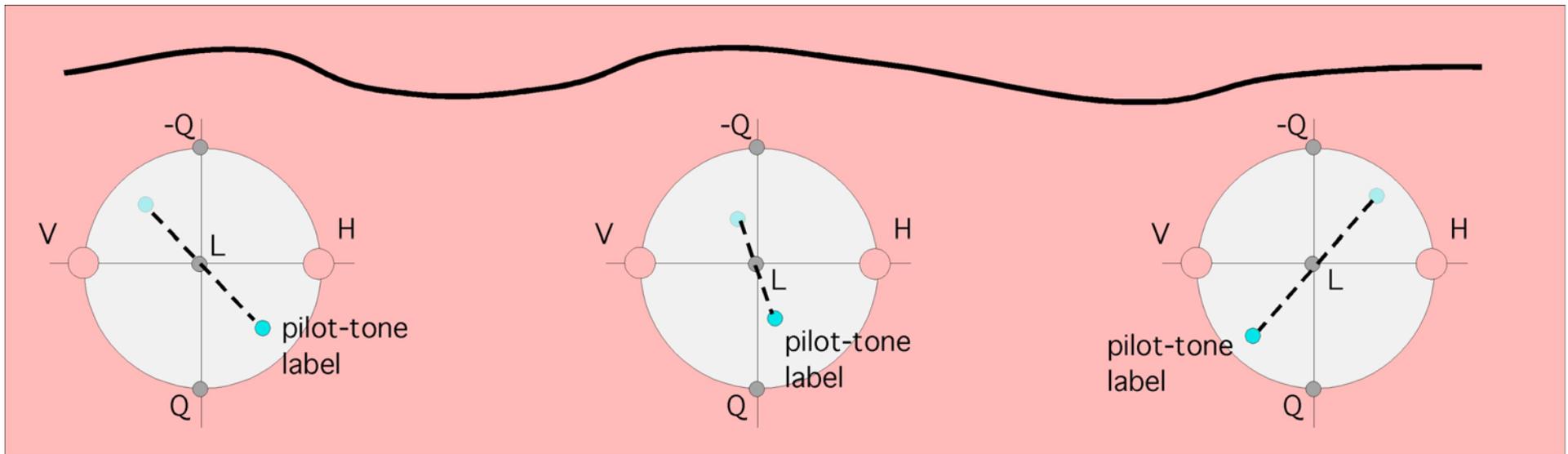
double-stage polarization stabilizer: application to PoDM

PoDM realizes a multiplexing of two communication streams each in two orthogonal SOP. In order to identify a channel, a pilot tone (low-frequency intensity modulation) is added



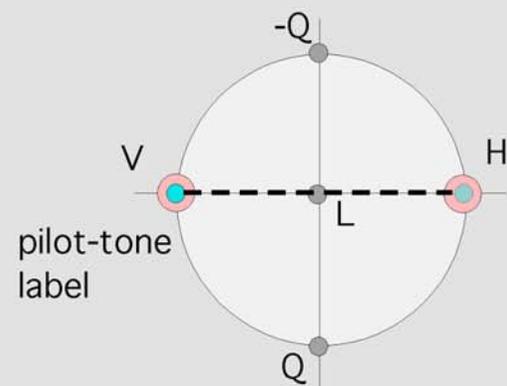
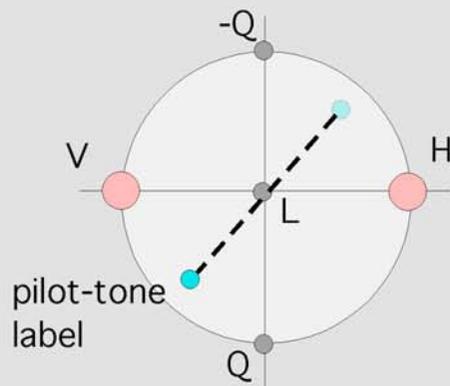
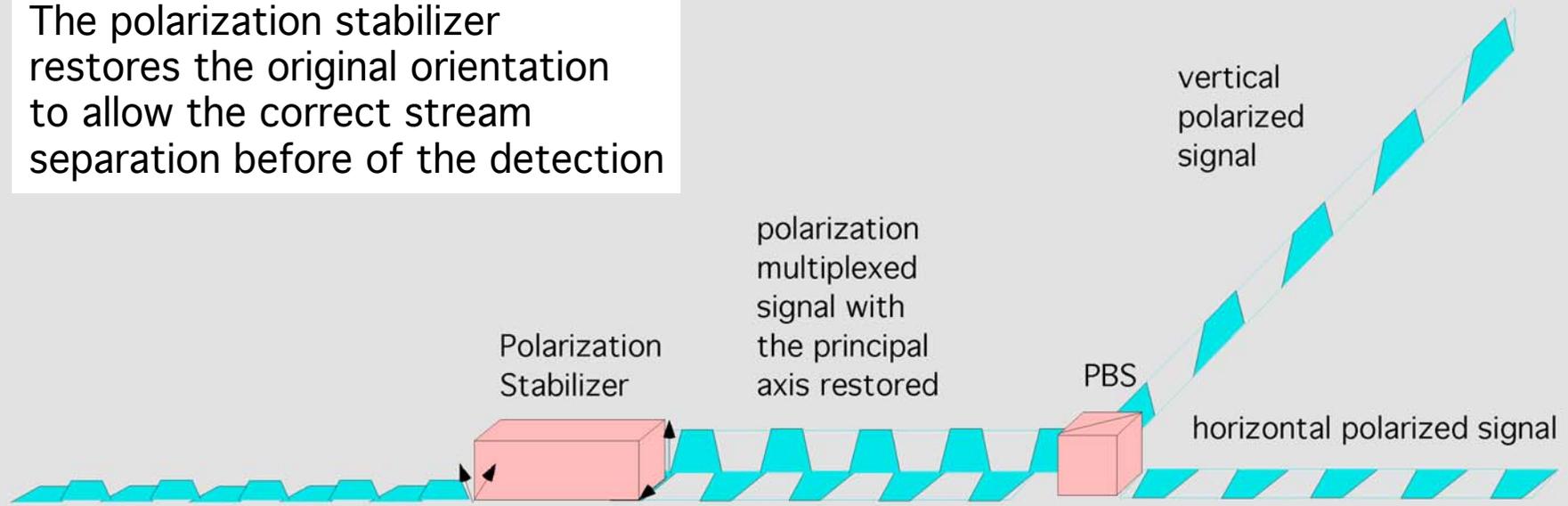
double-stage polarization stabilizer: application to PoDM

during the fiber propagation the multiplexed signals remain respectively
Orthogonal but move randomly on the Poincarè sphere

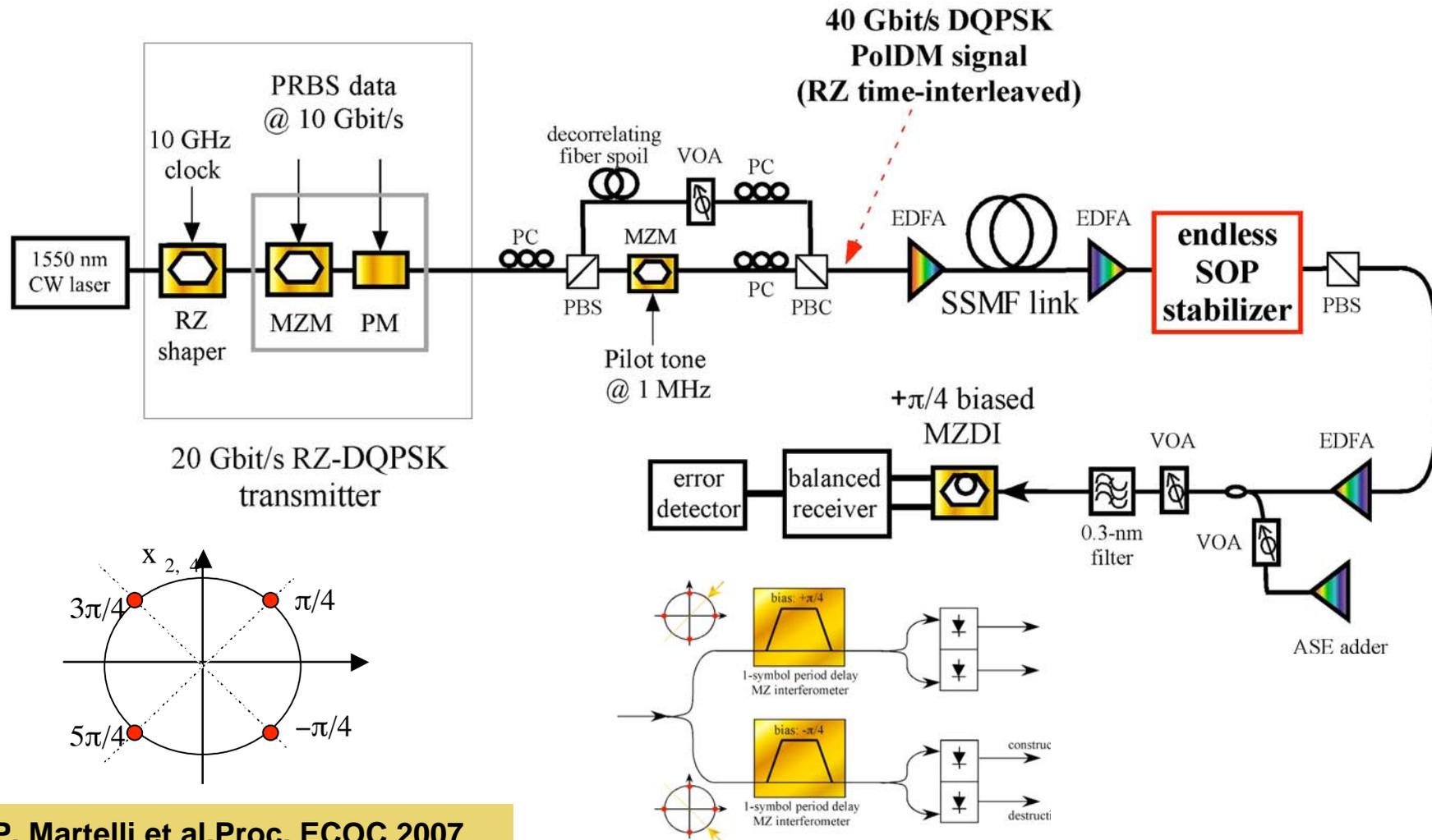


double-stage polarization stabilizer: application to PoDM

The polarization stabilizer restores the original orientation to allow the correct stream separation before of the detection

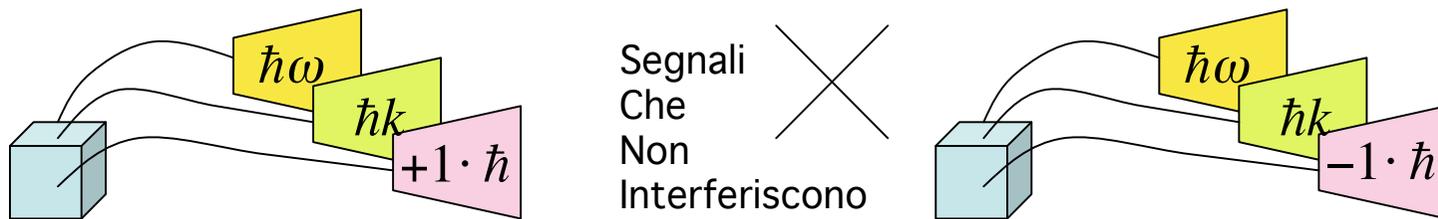


application 2: RZ-DQPSK Format, time-interleaved

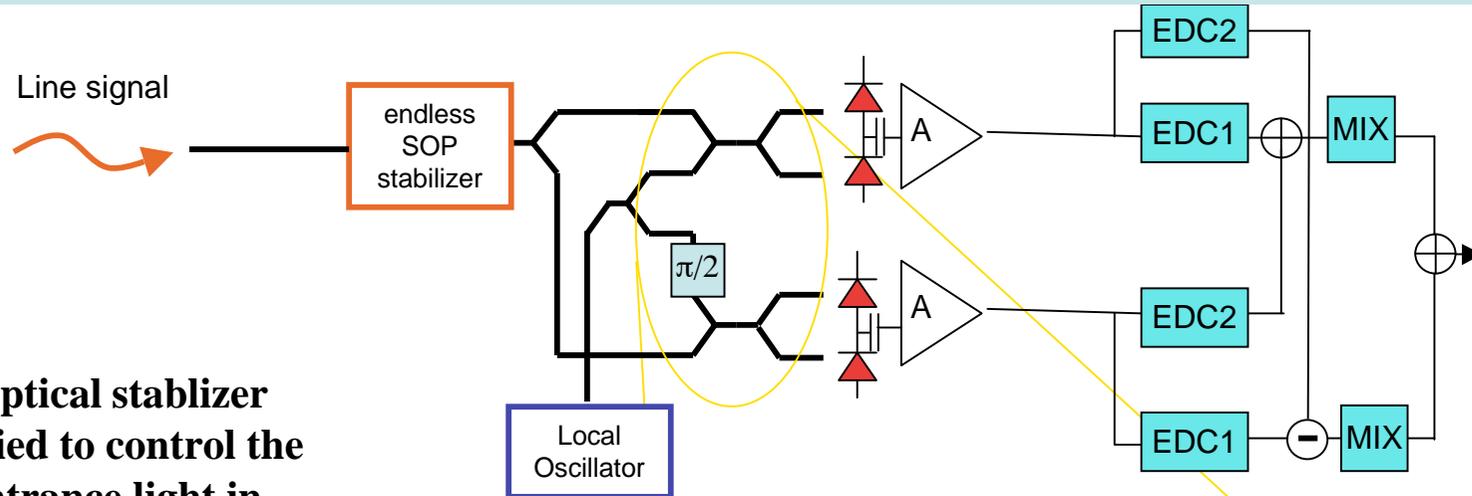


premessa

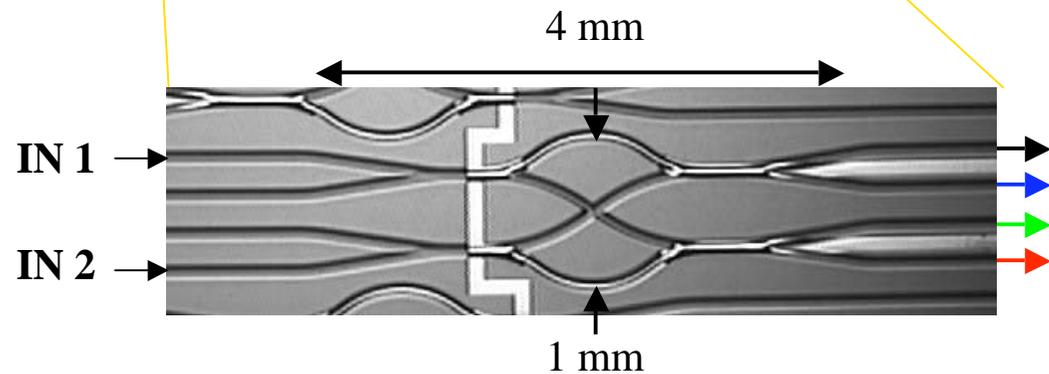
Controllando lo stato di polarizzazione si possono espandere anche le capacità di rivelazione dei segnali ottici: in particolare si può sviluppare la tecnica di rivelazione coerente (o eterodina) in cui un segnale viene rivelato dopo essere stato miscelato con un segnale di riferimento: anche in questo caso affinché l'interferenza avvenga è necessario che i due segnali abbiano lo stesso stato di polarizzazione



application 5: Coherent Detection



The endless optical stabilizer has been applied to control the SOP of the entrance light in Coherent Detection experiments. The Phase-Diversity scheme has been implemented by High Contrast Planar Lightwave Circuit



Phase-Diversity Integrated Optics Chip for Coherent Detection in SiON (4.5%)

Unpublished

criptografia quantistica

La polarizzazione come “stato” dei fotoni ha negli ultimi anni offerto una opportunità importante per sviluppare sistemi di crittografia quantistica per la trasmissione ottica sicura. Si può dimostrare che questi sistemi, basati sull’assegnamento di una etichetta di polarizzazione indecidibile ai fotoni, permette di sviluppare un sistema crittografico “ a chiave pubblica” assolutamente non-decifrabile

Crittografia quantistica

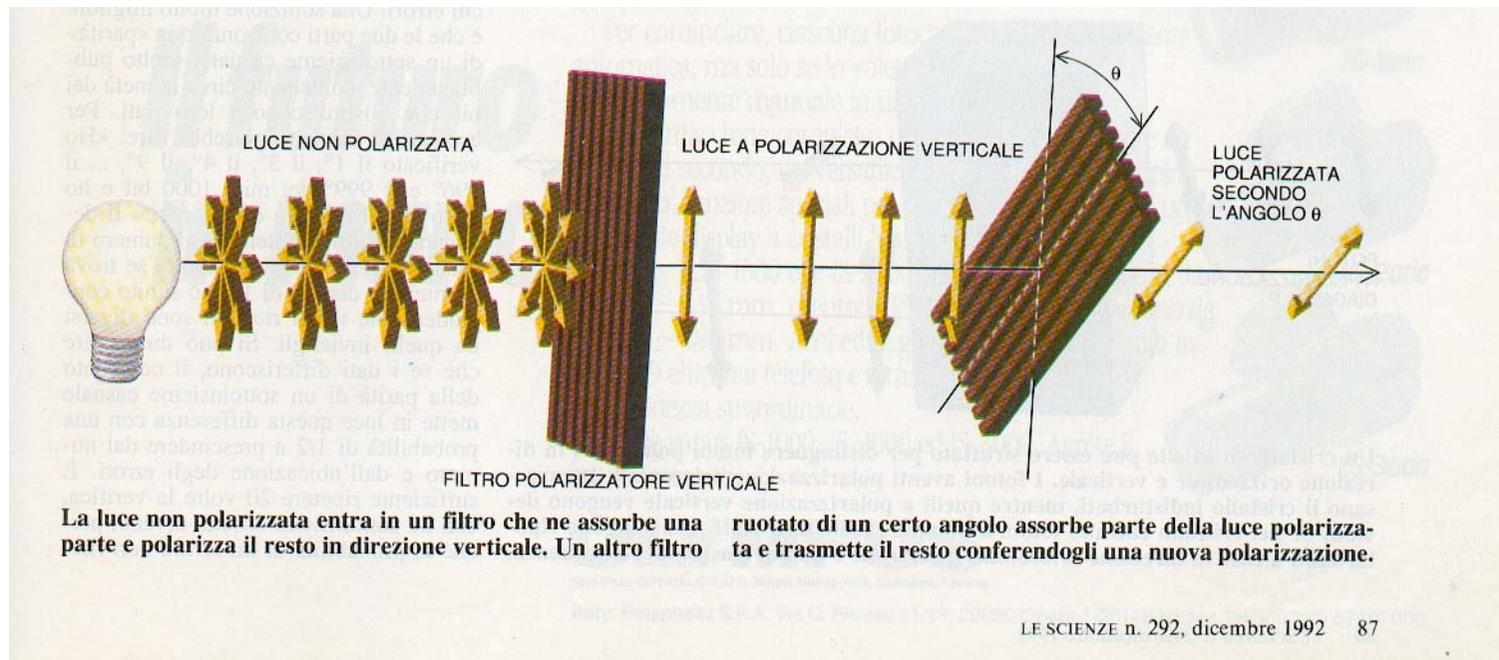
Per secoli si sono cercati sistemi per scambiarsi messaggi in assoluta segretezza, ma soltanto ora il connubio fra meccanica quantistica e crittologia sembra far compiere un passo decisivo in questa direzione

di Charles H. Bennett, Gilles Brassard e Artur K. Ekert

Le Scienze, dicembre 1992

criptografia quantistica

Siccome la polarizzazione è uno “stato” quantistico, come tale esso è regolato dalle leggi della meccanica quantistica: la polarizzazione è sicuramente la più importante “manifestazione” della meccanica quantistica nel mondo “classico”



criptografia quantistica

La distribuzione di chiavi quantistiche

Un sistema crittografico quantistico consente a due persone di scambiarsi una chiave segreta. Il sistema è costituito da un trasmettitore e da un ricevitore. Il mittente usa il trasmettitore per inviare fotoni polarizzati in una di quattro direzioni: 0, 45, 90 o 135 gradi. Il destinatario utilizza il ricevitore per misurare la polarizzazione. Secondo le leggi della meccanica quantistica, il ricevitore può differenziare le polarizzazioni rettilinee (0 e 90 gradi), oppure può essere modificato rapidamente per distinguere le polarizzazioni diagonali (45 e 135 gradi); tuttavia non può mai distinguere entrambi i tipi. La distribuzione di chiavi comporta diversi passaggi. Il mittente invia fotoni polarizzati in quattro modi possibili, scelti a caso:



Per ciascun fotone, il destinatario sceglie a caso il tipo di misurazione: o rettilineo (+) o diagonale (x).



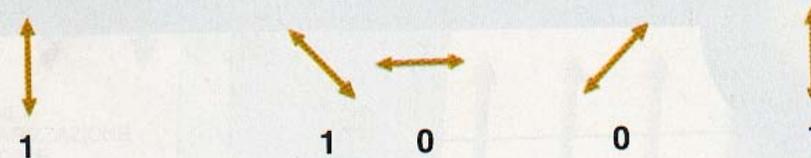
Il destinatario registra il risultato della misurazione, ma lo tiene segreto.



Il destinatario annuncia pubblicamente il tipo di misurazione che ha eseguito e il mittente gli dice quali misurazioni erano del tipo corretto.



Le due parti conservano tutti i casi in cui il destinatario ha eseguito la misurazione corretta. Questi casi, tradotti in bit (1 e 0), diventano la chiave.



premessa

Nel seguito verranno riassunte due metodologie comunemente sviluppate per comprendere e studiare l'evoluzione della polarizzazione in una sequenza comunque complessa di elementi birifrangenti: la tecnica dei vettori e delle matrici di Jones e la rappresentazione di Stokes e di Poincaré.

La descrizione di Jones fa riferimento ad una descrizione "di campo" dei fasci ottici

La descrizione di Stokes fa riferimento ad una descrizione "di intensità" dei fasci ottici

Siccome la descrizione "di intensità" coinvolge solo grandezze "fotoniche" (numero di fotoni ed energia del fotone), essa è compatibile con la descrizione "a fotoni" della luce:
essa è quindi più "potente" di quella di Jones

$$I = \frac{\text{numero di fotoni} \cdot \hbar\omega}{\text{sec} \cdot \text{area}}$$

materiale

Nel sito del CoreCom/didattica/martinelli/onde ed ottica/fascicolo 6 polarizzazione

Clarke D., Grainger J.F.
Polarized light and optical measurement
Pergamon press 1971

Collett E.
Polarized light
Dekker 1993

Kliger S.K.
Polarized light in optics and spectroscopy
Academic press, 1990

