

La vecchia infrastruttura di cablaggio limita la produttività? Scopriamo come convertire le fibre multimodali in fibre monomodali per supportare la crescente richiesta di banda.



Trasformare le fibre multimodali in fibre monomodali senza sostituirle

di Kevin Lenglé - Cailabs (*)

Le comunicazioni digitali stanno subendo un rapidissimo sviluppo e assumono ruoli di importanza sempre maggiore. Questa evoluzione delle modalità di comunicazione non può non avere una diretta influenza sull'infrastruttura che la deve supportare. Per essere compatibili con l'espansione delle comunicazioni e con le problematiche di congestione che ne potrebbero scaturire, le reti devono essere sempre più efficienti. Scopo di questo articolo è illustrare i problemi tecnici e gli aspetti fisici che limitano lo sviluppo di applicazioni a banda larga, ad alta velocità, su un'infrastruttura esistente composta da fibra multimodali per poi presentare una tecnologia innovativa di modellamento della luce che permette di usare i modi spaziali di una fibra multimodale per

superare la dispersione modale e tutte le limitazioni che ne derivano. Con questa tecnica, quindi, si riesce ad incrementare la larghezza di banda delle fibre multimodali e si può evitare l'installazione di nuove fibre.

L'ESIGENZA DI BANDA NELLE RETI LOCALI È IN FORTE CRESCITA

Negli anni passati, molte energie sono state profuse nello sviluppo di una nuova generazione di sistemi di trasmissione ottica a 10 Gb/s nelle reti locali.

Un numero sempre maggiore di applicazioni richiede grande larghezza di banda per assicurare un trasferimento senza interruzioni e in flusso continuo di grandi volumi di dati, file audio e video. I progressi nel mondo della tecnologia

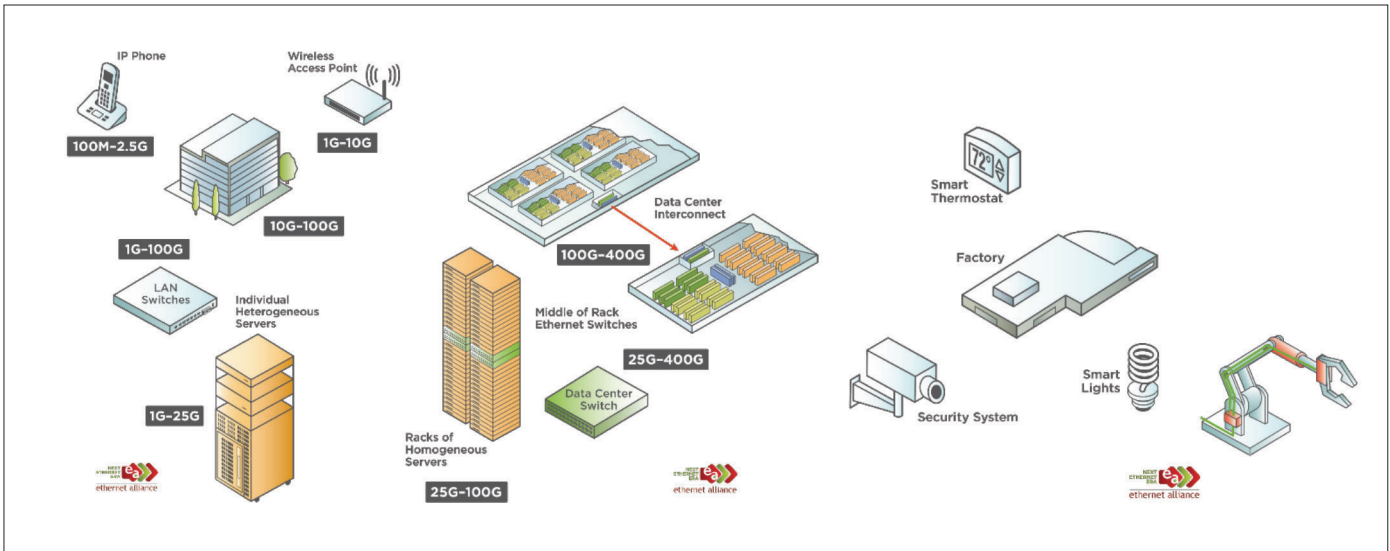


Figura 1 - Applicazioni di Ethernet. [Fonte: Ethernet Alliance]

per l'informazione (IT) hanno determinato un forte aumento del traffico sulle reti con il diffuso utilizzo di VoIP, della videoconferenza, delle applicazioni per la collaborazione on-line, con le applicazioni real-time, la virtualizzazione, il cloud computing e lo storage condiviso dei dati.

Inoltre, il proliferare dei terminali mobili e dei dispositivi connessi a internet ha ulteriormente contribuito ad accrescere l'esigenza di banda sempre più ampia. Applicazioni *band-intensive* e traffico sensibile alla latenza stanno diventando molto diffusi sulle LAN, pertanto è necessario essere capaci di trasportare con affidabilità questo flusso di dati e con una qualità del servizio (QoS) molto alta.

La grande maggioranza delle fibre ottiche multimodali (MMF) installate non supporta la prestazione di 10 Gb/s su lunghe distanze. Questa limitazione è principalmente dovuta alla struttura stessa di queste fibre che sono ottimizzate per prestazioni inferiori. Al contrario degli apparati attivi di rete, il cui adeguamento può essere effettuato in modo relativamente facile con l'aggiornamento del software o dell'hardware, l'infrastruttura ottica ha delle caratteristiche specifiche legate alle prestazioni che non possono essere migliorate senza sostituire fisicamente il cavo che trasporta le informazioni.

IL PROBLEMA DELLA DISPERSIONE MODALE NELLE FIBRE OTTICHE MULTIMODALI

Le fibre ottiche rappresentano un metodo largamente utilizzato per trasportare informazione per le loro ridotte di-

mensioni, per le basse perdite lineari, per l'insensibilità ai disturbi elettromagnetici, ecc. Peraltro, le fibre hanno limiti intrinseci per quanto riguarda le prestazioni che dipendono dalle loro proprietà fisiche, più specificatamente, per le fibre ottiche multimodali installate dagli anni '80 e '90, come OM1 (62,5/125 µm) e OM2 (50/125 µm), le trasmissioni ad alta velocità sono limitate soprattutto dalla dispersione modale.

La dispersione modale è un meccanismo di distorsione che si genera nelle fibre multimodali. A causa delle diverse velocità di propagazione dei vari modi, il segnale viene spalmato e spesso deformato nel tempo durante la propa-

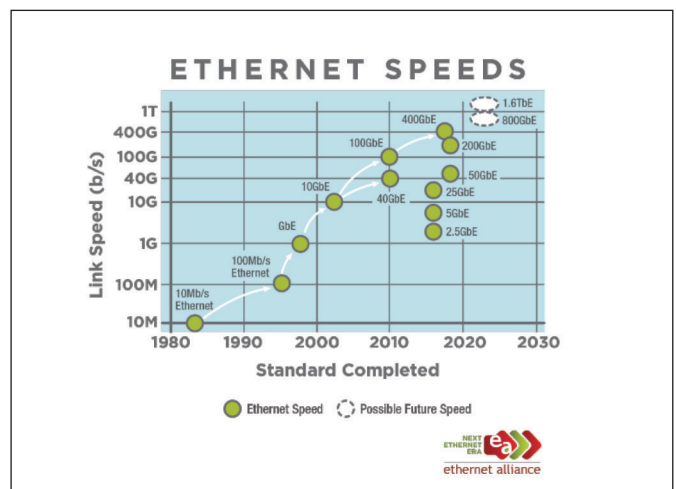


Figura 2 - Evoluzione delle velocità di Ethernet. [Fonte: Ethernet Alliance]

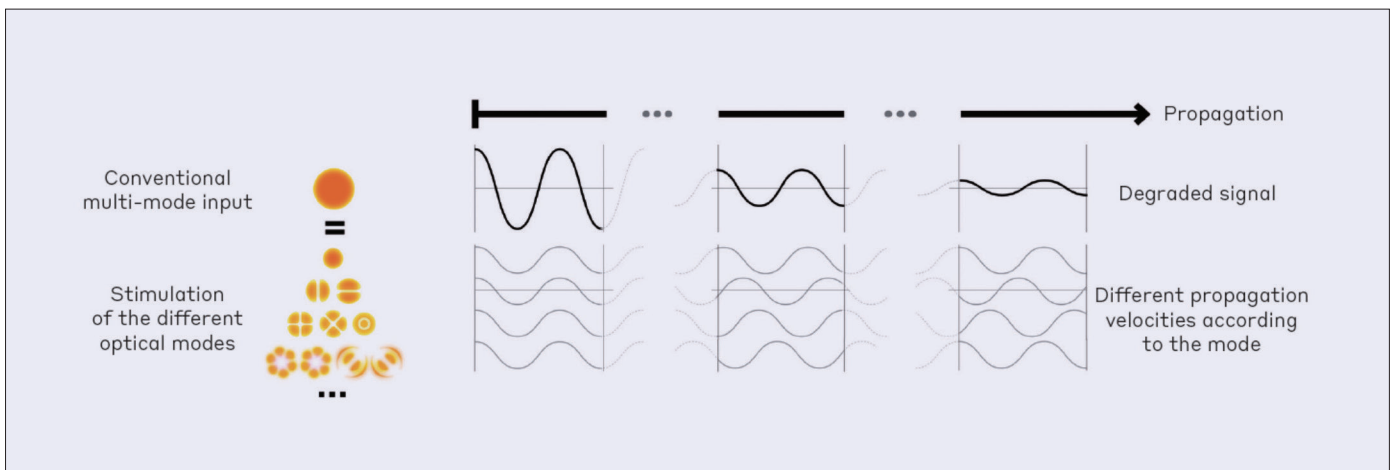


Figura 3 - Degradamento del segnale in una fibra multimodale a causa della dispersione modale.

un percorso più diretto rispetto ai raggi che entrano con un'angolazione maggiore e che sono destinati a riflettersi molte volte durante la propagazione.

Ciascun modo, quindi, viaggia su un percorso di diversa lunghezza all'interno della fibra e pertanto il tempo che il raggio impiega per arrivare alla fine della fibra varia a seconda del modo di propagazione. Questo effetto è noto come DMD - *Differential Mode Delay* (Ritardo di Modo Differenziale).

L'arrivo non simultaneo delle diverse componenti del segnale ne deforma l'aspetto e quindi, come conseguenza del DMD, l'impulso emesso può allargarsi durante la propagazione o, in casi estremi, può addirittura suddividersi in due impulsi distinti. Tutto ciò genera interferenza intersimbolica e comporta l'impossibilità di recuperare i dati se non sono trasmessi con sufficiente energia. Più è alto il data rate dei dati inviati, maggiore sarà la distorsione, perché un *data rate* elevato richiede impulsi corti e ravvicinati (tipicamente 100 ps tra gli impulsi a 10 Gb/s).

Per riassumere, il DMD degrada la larghezza di banda della fibra. Per un determinato livello di prestazioni influenza (riduce) la distanza tra trasmettitore e ricevitore che può essere raggiunta in modo affidabile. Il profilo dell'indice di rifrazione influenza sensibilmente la velocità dei diversi modi di propagazione e quindi la dispersione modale. Questo è il motivo per cui si sono succedute negli anni diverse generazioni di fibre multimodali a variazione di indice graduale (*graded index*) (OMx, x= 1, 2, 3, 4) che progressivamente riducono le differenze di tempo di gruppo tra i modi.

Nota: è interessante notare che quando le dimensioni trasversali della fibra (cioè il diametro del *core* - N.d.T.) sono sufficientemente piccole da consentire la propagazione di

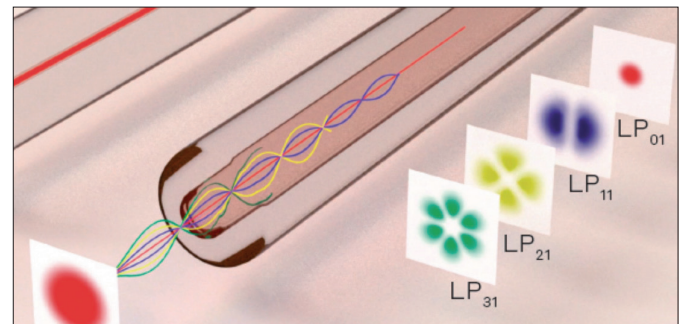


Figura 4 - Principio di propagazione del segnale nel caso di trasmissione multimodale.

un solo modo, si ottengono le condizioni ottimali per la dispersione e la dilatazione nel tempo del segnale luminoso durante la propagazione si riduce al minimo. Questo è esattamente ciò che si intende per "fibra monomodale" (SMF - *Single Mode Fiber*).

PRESTAZIONI DELLE FIBRE MULTIMODALI: DATA RATE IN FUNZIONE DELLA DISTANZA

Gigabit Ethernet è stata la prima tecnologia a subire il problema della dispersione modale, a causa della trasmissione su elevata larghezza di banda (ridotta durata del tempo di bit). Per i sistemi a 10 Gb/s (il bit rate più frequentemente adottato oggi sulle LAN) - come il 10 Gigabit Ethernet) - nonostante l'utilizzo di un laser ottimizzato, gli effetti della dispersione e le interferenze tra i modi degradano significativamente le prestazioni. Tutto ciò limita la massima distanza di trasmissione su fibra multimodale a poche centinaia di metri per le fibre di nuova generazione (OM3/OM4) e a qualche dozzina di metri per le fibre di prima generazione (OM1/OM2).

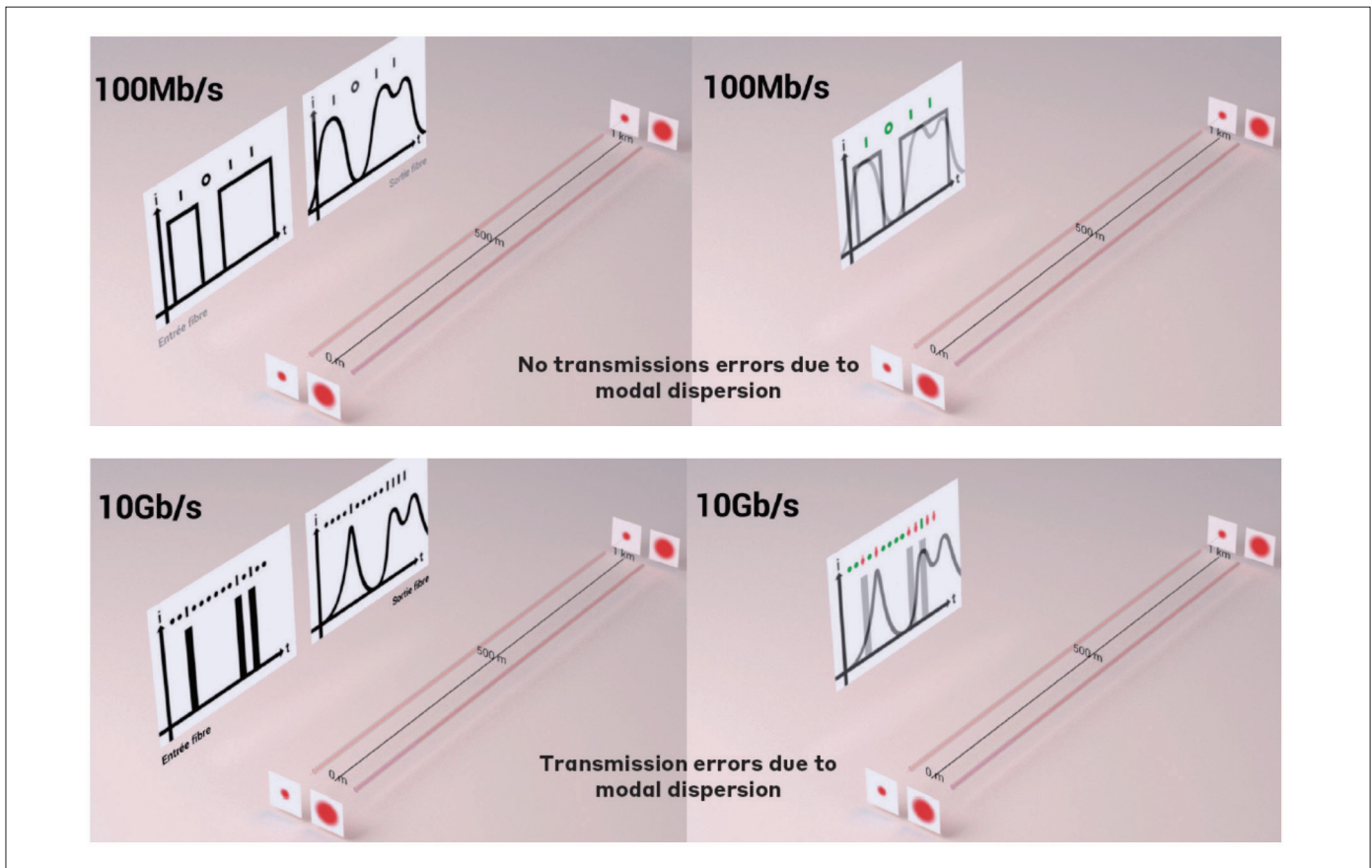


Figura 5 - Errori di trasmissione causati della dispersione modale nel caso di segnali ad elevato data rate.

Di solito la misura della dispersione modale di una fibra permette di calcolare la larghezza di banda della fibra stessa e quindi la massima distanza di trasmissione per un determinato livello di prestazioni. La Tabella 1 presenta una panoramica sulle prestazioni delle fibre multimodali con transceiver a 850 nm o 1310 nm .

Installare una nuova fibra? Non è necessario! Scopriamo come utilizzare i modi spaziali di una fibra ottica per superare le limitazioni di banda in una fibra MMF legate alla dispersione modale

Una soluzione per risolvere le limitazioni sul *data rate* e sulla distanza – dovute alla dispersione modale nelle fibre multimodali oggi in uso – potrebbe essere quella di sostituire questo tipo di fibre con fibre multimodali di ultima generazione oppure con fibre monomodali, che non presentano il problema della dispersione modale.

Tuttavia, reinstallare le fibre risulta spesso un compito tutt'altro che facile. Dipende dalle distanze coinvolte e dalle difficoltà di posa dei cavi. Un controllo dell'infrastruttura di cablaggio è necessario per verificare la disponibilità delle

MAXIMUM DISTANCE WITH TRANSCEIVERS (850 OR 1310 NM) (IEEE)	100 MB/S	1 GB/S	10 GB/S
OM1	2000 m	400 m	35 m*
OM2	2000 m	550 m	80 m*
OM3	2000 m	575 m	315 m
OM4	2000 m	600 m	500 m

*Possibility to extend to 220 m with LRM transceivers and mode conditioning patchcord

Tabella 1 - Prestazioni delle fibre multimodali a diversi data rate. [Fonte: IEEE e costruttori di apparati e di fibre]

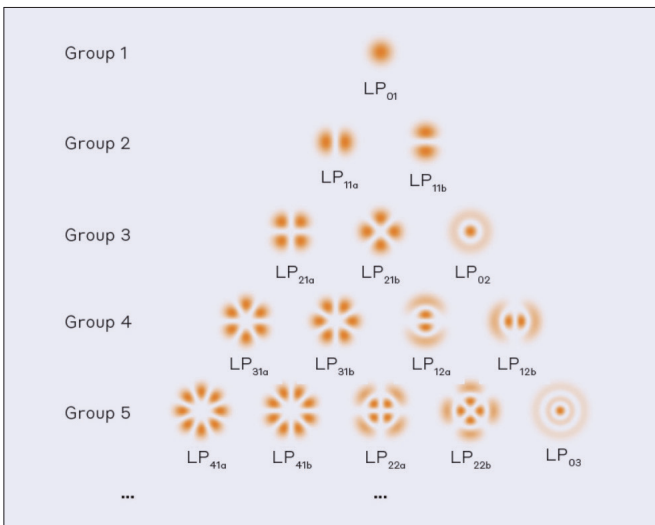


Figura 6 - Esempi di mappe di intensità dei modi di propagazione, appartenenti a diversi gruppi.

canalizzazioni e delle loro condizioni e, in qualche caso, potrebbero essere necessari lavori di ingegneria civile per installare le guaine dei nuovi cavi. Per tutte queste ragioni, il costo della reinstallazione di un nuovo cablaggio potrebbe risultare esorbitante. Seguire questo approccio può comportare un complesso lavoro di installazione e implicare un significativo impatto sul business.

Una fibra multimodale standard, con un profilo di variazione di indice graduale di tipo OM1-2-3-4-5, ha modi linearmente polarizzati chiamati LP con LP_{ij} costanti di propagazione degenerata. I modi degenerati si legano fortemente all'interno del loro gruppo modale. Al contrario, i modi appartenenti a gruppi diversi sono più isolati e possono essere considerati come canali di trasmissione indipendenti all'interno della stessa fibra ottica. Una fibra multimodale standard può tipicamente supportare dozzine di modi, divisi in pochi gruppi. In Figura 6 è riportato qual-



che esempio del profilo di intensità relativo ai modi di una fibra ottica multimodale.

Una maniera per superare la dispersione modale è quella di trasportare l'informazione coinvolgendo un solo modo o un singolo gruppo di modi di una fibra multimodale. Eccitando opportunamente un singolo modo spaziale nella fibra, l'accoppiamento del segnale con modi appartenenti a gruppi differenti e, quindi, di differenti velocità di propagazione, è del tutto trascurabile e il modo spaziale prescelto può essere utilizzato come se fosse un canale di

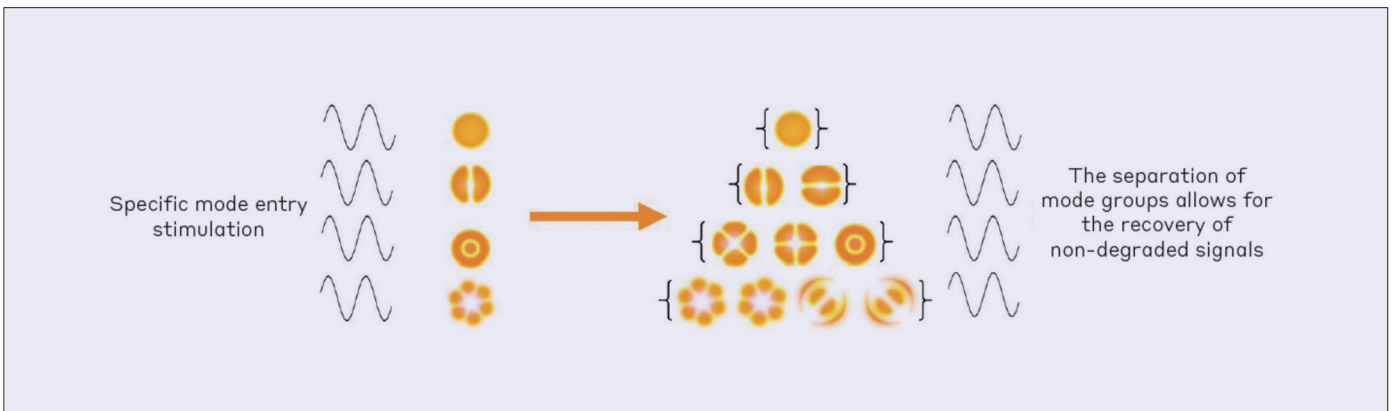


Figura 7 - La separazione dei gruppi a cui appartengono i modi utilizzati in trasmissione permette il recupero dei segnali senza degrado

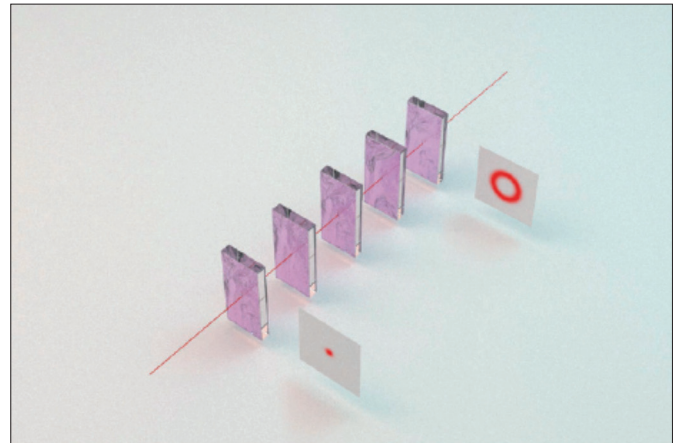


Figura 8 - Esempio di modellamento della luce ottenuto tramite la conversione multi-plane (MPLC)

trasmissione indipendente, ad alta velocità, con le stesse caratteristiche di una fibra monomodale.

È addirittura possibile utilizzare numerosi modi spaziali diversi come se fossero altrettanti canali indipendenti. Questa sorta di multiplexing spaziale rende possibile la trasmissione su più canali ad alte prestazioni (paragonabili alla capacità di una fibra monomodale) su una fibra multimodale, nonostante le limitazioni di banda intrinseche di questo supporto. Con questa tecnica, i multiplexer e de-multiplexer spaziali devono incorporare tutti i modi di ciascun gruppo modale. Più specificatamente, in trasmissione, durante la fase di multiplexing, solo un modo del gruppo viene eccitato. I modi dello stesso gruppo viaggiano alla stessa velocità nella fibra per cui l'accoppiamento tra modi all'interno del gruppo non induce alcuna distorsione del segnale. Nel ricevitore, tutti i modi di quel gruppo devono essere rilevati così tutta l'energia associata all'informazione trasmessa viene raccolta.

LA TECNOLOGIA DI CONVERSIONE DELLA LUCE MULTI-PLANE OFFRE NUOVE POSSIBILITÀ

Oggi la tecnologia di conversione della luce *Multi-Plane* (MPLC – *Multi-Plane Light Conversion*) permette il modellamento della luce in modo flessibile e completo e con perdite molto limitate, attraverso una successione di *Tran-*

sverse *Phase Profile*, simili a lenti ottiche molto complesse. La tecnologia MPLC modella la luce del laser proveniente dal transceiver in maniera tale che vengano eccitati, nella fibra ottica multimodale, dei modi ben distinti. Come già accennato, questa eccitazione modale molto selettiva e precisa rende possibile sovvertire il fenomeno fisico della dispersione modale che limita la banda nelle fibre multimodali. La tecnologia MPLC, inoltre, permette il condizionamento di diversi raggi di luce contemporaneamente; convertendo ciascuno in un diverso modo spaziale, permette di ottenere il multiplexing descritto in precedenza. Oggi, la tecnologia MPLC è la più flessibile ed efficace tecnica sul mercato per il condizionamento della luce e per il multiplexing spaziale. Vantaggiosa economicamente ed installabile in mezza giornata, la tecnologia MPLC è attualmente utilizzata come metodo per aumentare la capacità di trasmissione degli impianti in fibra ottica multimodali esistenti (di qualsiasi tipo di 62,5/125 μm o 50/125 μm). Superando le limitazioni in distanza ed in velocità, decine di Gb/s possono essere trasportati anche su una vecchia ed obsoleta infrastruttura di cablaggio multimodale fino alla distanza di parecchi chilometri. Sono disponibili soluzioni passive adatte alle diverse topologie (topologie LAN Ethernet standard o Passive Optical LAN su MMF) che permettono una progressiva e flessibile evoluzione della rete esistente.

Quando è necessario adottare nuovi servizi ad elevata richiesta di banda e far diventare l'infrastruttura esistente a "prova di futuro", ora esiste un'alternativa! ✓

(*) **Kevin Lenglé** - Product Line Manager - Cailabs
www.cailabs.com