



AREA CULTURALE

Fondamenti sulle trasmissioni ottiche e sulle sorgenti luminose

La ricerca sulle onde luminose risale alla fine del XIX secolo, quando Alexander Graham Bell inventò il fotofono, che sfruttava le onde luminose che colpivano un piccolo specchio, sollecitato dalle onde sonore emesse dalla voce umana. Con questo metodo si coprivano distanze fino a 200 metri, che fanno un po' sorridere rispetto alla situazione attuale.

Comunque, per arrivare al vero sviluppo della tecnologia ottica bisogna spostarsi intorno al 1960, con la prima dimostrazione di un apparato laser, e passare al decennio successivo per avere la prima fibra ottica, realizzata alla Corning, con attenuazione di 20 dB/km. Da questo momento lo studio di nuove sorgenti luminose, basate sui semiconduttori, e di portanti fisici sempre più efficienti non ha mai cessato di progredire.

Al di là dei luoghi comuni, che accostano il cablaggio ottico ai gestori di telecomunicazioni, è interessante notare che il 20% del cablaggio installato nelle aziende e il 40% di quello dei data center è costituito da fibra ottica. Così, se il cablaggio a coppie twistate viene ancora considerato come il prodotto più semplice, familiare e a costo contenuto per gli ambienti LAN, stanno emergendo diverse motivazioni che fanno considerare importante agli utenti finali l'impiego di fibra:

- Maggior distanza supportata rispetto ai 100 metri del cablaggio in rame
- Cavi di dimensioni ridotte
- Cavi più leggeri
- Significativa maggior densità di porte attive
- Supporti cavi più piccoli

- Miglior circolazione dell'aria negli ambienti, causa minor ingombro dei cavi
- Maggior robustezza dei cavi ottici
- Riduzione dei costi di alimentazione degli apparati e del condizionamento
- Supporto ad applicazioni ad altissima velocità
- Possibilità di realizzare un cablaggio centralizzato, eliminando i distributori di piano
- Immunità elettromagnetica e alle interferenze a radio frequenza
- Immunità ai fulmini.

Trasmissione su fibra ottica

La comunicazione ottica è realizzata tramite energia fotonica (o luce) trasmessa attraverso una guida d'onda a bassa perdita, la cui funzione è di propagare i segnali luminosi su lunga distanza. Nei sistemi di telecomunicazioni, la sorgente di energia può essere un diodo emettitore di luce o laser semiconduttore, che produce luce a una singola lunghezza d'onda. Accendendo e spegnendo velocemente la sorgente luminosa, flussi di uno e zero possono essere trasmessi per formare un canale di comunicazione digitale. Sorgenti luminose LED e laser si differenziano notevolmente per costo, velocità di trasmissione e proprietà fisiche.

La lunghezza d'onda della sorgente luminosa descrive la frequenza dell'onda luminosa trasmessa (più lunga la lunghezza d'onda, più bassa la frequenza dell'onda luminosa) ed è stata selezionata per accoppiarsi meglio con le proprietà trasmissive dei tipi di fibra ottica riconosciuti.

Un'utile analogia è di pensare alla "lunghezza d'onda" come a un colore del



AREA CULTURALE

segnale luminoso che di sta trasmettendo. Le comuni lunghezze d'onda di comunicazione ottica da 850 nm a 1550 nm cadono tra le frequenze di ultravioletto e microonde nello spettro luminoso.

"Apertura di sorgente" descrive l'ampiezza dell'impulso del segnale luminoso trasmesso. Questa caratteristica è anche correlata al diametro della fibra ottica (la "guida d'onda") che trasmetterà in modo ottimale gli impulsi luminosi, che aiuta a spiegare perché ci sono diversi tipi di sistemi di cablaggio ottico disponibili. Fibra ottica di ampio diametro (50 e 62,5 μm) è richiesta per supportare adeguatamente la trasmissione di sorgenti luminose con aperture più grandi, come LED e VCSEL (Vertical-cavity surface-emitting laser), minimizzando la perdita di segnale e massimizzando le distanze di trasmissione. Fibra ottica di piccolo diametro (9 μm) viene richiesta per operare adeguatamente con sorgenti luminose laser.

Come risultanza della variazione nell'apertura della sorgente e nella dimensione della fibra ottica, ci sono due modi in cui la luce può propagarsi attraverso la fibra ottica. Poiché i diametri di 62,5 e 50 μm sono relativamente larghi, comparati con la lunghezza d'onda del segnale luminoso trasmesso, ci sono molti percorsi o "modi" che l'energia luminosa può prendere quando si propaga attraverso la fibra ottica. Questo tipo di trasmissione è denominata multimodo. Poiché il diametro della fibra ottica 9 μm è simile alla lunghezza d'onda del segnale luminoso trasmesso, solo la lunghezza d'onda associata alla trasmissione si propaga attraverso la fibra ottica. Questo tipo di trasmissione si chiama monomodo.

Indice di rifrazione

Un attento esame della propagazione del segnale multimodale genera prontamente interesse su come il profilo della stessa fibra ottica potrebbe impattare negativamente sulla propagazione del segnale. Il primo profilo della fibra ottica, riferita a quella step index, era costruito con un indice di rifrazione uniforme. Ciò significava che tutti i percorsi luminosi, sia che si propagassero nel core o al limite della fibra ottica, viaggiavano alla stessa velocità. La risultanza non desiderata è che, sulla distanza, i modi principali che si propagano in una fibra step index (con indice di rifrazione a gradino; variazione brusca dell'indice di rifrazione passando dal core, o nucleo, al cladding, o mantello) avranno percorsi di diversa lunghezza e l'impulso in uscita avrà, di conseguenza, minor ampiezza e maggior estensione (maggiore durata) del segnale in ingresso, a causa dei percorsi ottici più o meno veloci. La dispersione modale descrive il grado in cui l'impulso in uscita ha estensione comparabile con l'impulso in ingresso e limiti effettivamente la velocità di trasmissione (o l'ampiezza di banda) della fibra step index tra 20 e 30 milioni di cicli di segnale per secondo, trasmessa sulla distanza di un chilometro. Questa ampiezza di banda è tipicamente presentata come "da 20 MHz*km a 30 MHz*km".

Per compensare questo fenomeno, si è costruita la fibra graded index (ad indice di rifrazione graduale), in modo che l'indice di rifrazione cambi gradualmente da un massimo al centro della fibra ("rallentando" il segnale luminoso) a un minimo vicino al margine ("velocizzando" il segnale luminoso) della fibra ottica. Ciò aumenta l'ampiezza di banda della fibra graded-index a più di un miliardo di cicli di segnale trasmessi per secondo su una distanza di un chilometro – 1 GHz*km. Virtualmente, tutte le fibre multimodali costruite oggi sono graded-index. Dato che la fibra monomodale



AREA CULTURALE

supporta una sola lunghezza d'onda luminosa, la dispersione modale non riguarda questo prodotto.

Un ulteriore miglioramento alla progettazione di fibre ottiche multimodali coinvolge l'ottimizzazione dei mezzi per supportare specificamente la sorgente luminosa VCSEL. Poiché l'apertura di una sorgente LED è superiore al diametro della fibra ottica più larga utilizzata nelle telecomunicazioni (62,5 μm), tutti i modi di una fibra multimodale sono attivi e l'uscita dell'impulso è abbastanza facile da controllare con la fibra graded index. Comunque, essendo l'apertura di una sorgente VCSEL minore del diametro della fibra più piccola impiegata nelle telecomunicazioni (50 μm), solo una porzione dei percorsi di trasmissione disponibili in una fibra multimodale saranno attivati. La seconda generazione delle fibre graded index "laser-optimized" è ancora più strettamente specificata, per assicurare che l'uscita dell'impulso di un VCSEL mostri una dispersione modale limitata e ben controllata.

Considerando le applicazioni di prossima generazione, che impiegheranno schemi di trasmissione più complessi (come trasmettere più di una lunghezza d'onda su una singola fibra; multiplex a divisione di lunghezza d'onda), sarà necessario assicurare che le fibre ottiche abbiano un profilo di attenuazione "uniforme" su tutta

la gamma di possibili lunghezze d'onda di trasmissione. In particolare, l'incremento di attenuazione nella banda tra 1360 e 1480 nm (nota come E-band o banda del picco d'acqua) dovuta a ioni di idrossido che sono stati assorbiti nelle fibre monomodali durante il processo di costruzione. Le fibre monomodali a basso picco d'acqua (LWP: Low Water Peak) sono sottoposte ad un ulteriore passo di lavorazione, per invertire l'assorbimento dell'acqua ed ottenere un andamento quasi lineare del profilo di attenuazione. Le fibre monomodali con picco d'acqua nullo (ZWP: Zero Water Peak) subiscono un processo ancora più complesso, che elimina tutte le perdite nella banda del picco d'acqua e ulteriori minori attenuazioni nell'intero spettro.

Le molte variabili associate alla trasmissione su fibra ottica, comprese le proprietà della sorgente luminosa, la dispersione modale, la dispersione cromatica (un effetto di secondo ordine, caratterizzato da leggeri spostamenti nello spettro di luce trasmesso), l'ampiezza di banda e le perdite nella linea di trasmissione contribuiscono a definire la velocità di trasmissione e alle distanze raggiungibili dai vari tipi di fibra ottica. In generale, i laser che trasmettono su fibra monomodale supportano le bande più ampie e le distanze maggiori, mentre i LED che trasmettono su fibra multimodale di diametro maggiore (62,5 μm) supportano bande inferiori e distanze minori.

Considerazioni sul cablaggio e i componenti ottici (ovvero come passare dalla teoria alla pratica)

A differenza dei cavi a coppie intrecciate e bilanciate, il cablaggio ottico può essere considerato un mezzo dipendente dall'applicazione. Ciò significa che parametri come la distanza, l'applicazione e il costo degli apparati giocano un ruolo importante nel processo di selezione del portante fisico.

TIA e ISO, con riferimento alle specifiche emesse da IEC e da ITU, riconoscono sei gradi di fibre ottiche multimodali e monomodali, come dalla tabella che segue:



AREA CULTURALE

Distanze supportabili dall'applicazione per tipo di fibra (in metri)										
Applicazione	OM1		OM2		OM3		OM4		OS1/OS2	
	Lunghezza d'onda	850	1300	850	1300	850	1300	850	1300	1310
FDDI PMD		2.000		2.000		2.000		2.000		
FDDI SMF-PMD									10.000	
10Base-FL	2.000		1.514		1.514		1.514			
10/100Base-SX	300		300		300		300			
100Base-FX		2.000		2.000		2.000		2.000		
1000Base-SX	275		550		1.000		1.100			
1000Base-LX		550		550		550		550	5.000	
10GBase-SW/SR	33		82		300		550			
10GBase-LX4		300		300		300		300	10.000	
10GBase-L									10.000	
10GBase-LRM		220		220		220		220		
10GBase-EW/ER										40.000
40GBase-SR4					100	100	150			
40GBase-LR4									10.000	
100GBase-SR10					100		150			
100GBase-LR4									10.000	
100GBase-ER4										40.000

Sono specificate le dimensioni fisiche della fibra (per esempio diametro, non circolarità e requisiti meccanici), come le specifiche ottiche (quali attenuazione e ampiezza di banda). E' importante tenere a mente che queste specifiche riguardano la fibra "grezza", prima che sia soggetta al processo di cablaggio. TIA e ISO utilizzano questi requisiti ottici per specificare i cavi ottici e cablaggio di tipo OM1, OM2, OM3, OM4, OS1 e OS2.

Mentre la selezione del portante fisico sembra onerosa, comparare la capacità di trasmissione e di distanza raggiungibile con i parametri prestazionali è un buon metodo per iniziare il processo di selezione. Sebbene alcuni confronti potrebbero portare alla conclusione che la fibra monomodale sia il mezzo ottimale per tutti gli scenari, ci sono da considerare i costi dell'optoelettronica e della realizzazione dell'applicazione.

In particolare, l'optoelettronica monomodale si appoggia su sorgenti luminose più potenti e precise, che possono costare da 2 a 4 volte di più di quelle multimodali. In più, i componenti multimodali sono tipicamente più facili da terminare e installare in campo rispetto a quelli monomodo. Inoltre, è sempre più economico trasmettere a 850 nm per le applicazioni multimodo e a 1310 nm per quelle monomodo. Infine, l'optoelettronica che impiega laser a trasmissione multipla (per esempio, 10GBase-LX4 utilizza 4 sorgenti laser separate per fibra) o altre tecniche di multiplexing costa significativamente di più di quella che trasmette su una sola lunghezza d'onda.

Una buona regola pratica è di considerare la fibra multimodale come la scelta meno costosa per applicazioni fino a 550 metri di lunghezza.



AREA CULTURALE

Configurazioni di cablaggio ottico

Il cablaggio in fibra ottica è tipicamente realizzato in coppie; una fibra è usata per trasmettere e l'altra per ricevere. A causa della distanza estesa nel supportare le applicazioni, comparato al cablaggio in coppie twistate e bilanciate, il cablaggio in fibra è il mezzo perfetto per l'impiego in impianti esterni privati, dorsali e applicazioni di cablaggio centralizzato.

Il *cablaggio in esterno* è impiegato tra edifici in un ambiente di campus e comprende i componenti di terminazione e connessione tra le strutture. Questi impianti hanno una vita media attesa di oltre 30 anni, per cui bisogna porre molta cura nello specificare prodotti robusti. I requisiti relativi al cablaggio e ai percorsi sono disponibili nelle normative ANSI/TIA-758-A e BS EN 50174-3.

Il *cablaggio di dorsale* si sviluppa tra l'ingresso delle strutture, gli spazi riservati ai provider di servizi, le sale apparati di telecomunicazioni comuni e i distributori di telecomunicazioni all'interno di un edificio (commerciale). Deve essere configurato con topologia a stella e dovrebbe comprendere uno (principale) o due (principale e intermedio) livelli di permutazione. Le specifiche relative fanno riferimento agli standard ANSI/TIA-568-C.0, ANSI/TIA-568-C.1 e ISO/IEC 11801 Ed. 2.0.

Il *cablaggio ottico centralizzato* dovrebbe essere sviluppato come alternativa a quello distribuito, per supportare componentistica attiva centralizzata in edifici a proprietario unico. E' costituito da connessioni dirette tra le aree di lavoro e il distributore centralizzato, impiegando interconnessione o giunzione nella sala telecomunicazioni. Si noti che la massima distanza permessa tra l'area di lavoro e il distributore centralizzato è di 90 metri. Le norme che definiscono questa modalità di cablaggio sono specificate in ANSI/TIA-568-C.0, ANSI/TIA-568-C.1 e ISO/IEC 11801 Ed. 2.0.

Il cablaggio in fibra ottica può anche essere usato nell'infrastruttura orizzontale, sebbene non ci siano disposizioni negli standard TIA e ISO che permettano collegamenti estesi.

Il cavo in fibra ottica

La fibra ottica che permette la trasmissione della luce è, attualmente, un assemblaggio di tre sub componenti: il nucleo (core); il mantello (cladding); il rivestimento (coating). Il nucleo è fatto di vetro (o, più accuratamente, di silicio) ed è il mezzo attraverso cui la luce si propaga. Può avere un diametro totale di 9 µm per trasmissione monomodale o 50 µm oppure 62,5 µm per quella multimodale. Circonda il nucleo un secondo strato di vetro, con un indice di rifrazione molto differente, che focalizza e contiene la luce, riflettendola all'interno del nucleo stesso. Questo secondo strato è chiamato mantello e, rispetto alla costruzione del nucleo, ha un diametro complessivo di 125 µm. La combinazione dei diametri di nucleo e mantello è la sorgente delle descrizioni della fibra ottica, come 50/125 µm o 62,5 µm, che sono applicate alle fibre ottiche comunemente utilizzate per le applicazioni di telecomunicazione. Lo scopo dello strato più esterno, chiamato rivestimento (coating), è di aggiungere robustezza e aumentare il diametro esterno alla dimensione più gestibile di 250 µm (circa 3 volte il diametro di un capello umano). Il rivestimento non è di vetro, ma un polimero protettivo come l'uretano acrilato, che può anche essere colorato per l'identificazione della fibra.

Le fibre per il cablaggio ottico sono facili da maneggiare, rendono semplice la terminazione del connettore, sono adeguatamente protette e hanno ottima robustezza e durata.

Il processo di cablaggio si differenzia in ragione del tipo di fibra che si intende



AREA CULTURALE

impiegare per uso in interno, in esterno o in ambiente misto.

I cavi ottici *da interno* sono adatti per applicazioni all'interno degli edifici (compresi i percorsi verticali e in controsoffitto). Per facilitare la terminazione dei connettori, viene applicato sull'insieme dei tre componenti visti sopra uno strato plastico di 900 µm, per realizzare una fibra denominata tight buffered. Fino a 12 fibre possono essere assemblate con filati aramidici per rinforzarle, per poi essere racchiuse da una guaina termoplastica ritardante la fiamma, per formare un cavo ottico finito. Per cavi da interno con più di 12 fibre, vengono assemblati insieme più gruppi di cavi inguainati (in genere da 6 o 12 fibre), con un membro di rinforzo centrale (di supporto e mantenimento della geometria del cavo), che poi sono ricoperti da una guaina globale, sempre di materiale termoplastico ritardante la fiamma. I cavi da interno di normale commercializzazione hanno da 2 a 144 fibre.

I cavi ottici *da esterno* sono impiegati al di fuori degli edifici e sono adatti per applicazioni su tesate aeree, in condotti/tubazioni e sotterranee. Per proteggere la fibra dall'acqua e del gelo, fino a 12 fibre da 250 µm vengono inserite in un tubo lasco, che viene riempito con

Interconnessione ottica

A differenza della combinazione plug-jack che realizza una connessione bilanciata su coppie twistate, per accoppiare due fibre ottiche viene utilizzata un'interconnessione. Un'interconnessione tra fibre ottiche consiste tipicamente di due connettori maschi (plug) che vengono allineati e tenuti in posizione tramite un adattatore (chiamato anche accoppiatore o bussola). Le prestazioni di una interconnessione ottica sono fortemente correlate alla

gel bloccante l'acqua. Per applicazioni che richiedono al massimo 12 fibre, il tubetto così confezionato viene rivestito con nastri anti-umidità e filati aramidici e incluso in una guaina nera poliolefinica (in genere polietilene) resistente ai raggi ultra-violetti e all'acqua. Per cavi che richiedono più di 12 fibre, vengono riuniti attorno a un membro centrale di rinforzo gruppi di tubetti (normalmente ognuno contiene da 6 a 12 fibre), che sono poi avvolti in nastro anti-umidità e filati aramidici, il tutto racchiuso nella guaina di poliolefina descritta sopra. Possono essere applicate armature di alluminio corrugato, di acciaio interbloccante o doppie guaine, per ottenere una protezione addizionale contro schiacciamenti e danni derivati da roditori. I cavi di questo tipo hanno da 12 a 144 fibre.

I cavi ottici *per interno/esterno* offrono i benefici della guaina resistente agli ultra-violetti e all'acqua dei cavi da esterno, combinati con una guaina ritardante la fiamma; il che permette al cavo di essere installato anche all'interno degli edifici per un massimo di 15 metri. Ma questa regola vale solo per gli USA (non in Europa). Il vantaggio di utilizzare cavi di questo tipo è che viene ridotto il numero di giunti di transizione e delle connessioni.

ferrula del connettore e al manicotto di allineamento dell'adattatore. Questi componenti lavorano in tandem, per mantenere in posizione e allineare correttamente le fibre ottiche nella configurazione plug-adattatore-plug. La ferrula interna del connettore è fabbricata usando un processo di costruzione di elevata precisione, per assicurare che la fibra ottica sia propriamente installata e la sua posizione sia strettamente controllata. Le elevate tolleranze del manicotto di allineamento assicurano che le fibre ottiche tenute in posizione dalla ferrula siano allineate il più perfettamente possibile. Sebbene più costosi,



AREA CULTURALE

i manicotti di allineamento in ceramica mantengono tolleranze maggiori di quelli in metallo o in plastica, non sono suscettibili a variazioni di prestazioni dovute a fluttuazioni di temperatura e possono essere prescritte per applicazioni con perdite estremamente contenute.

Un accurato allineamento plug-adattatore-plug minimizza l'energia luminosa persa nella interconnessione ottica, mantenendo tolleranze di precisione che diventano particolarmente critiche con la diminuzione del diametro della fibra ottica. Per esempio, se due fibre ottiche 62,5 μm sono scentrate di 4 μm in direzioni opposte, il 13% dell'energia luminosa sfugge o è perduta nel punto di interconnessione. Questo stesso disallineamento in una fibra monomodale di 9 μm potrebbe comportare una perdita totale di energia. La natura critica dell'allineamento del nucleo è la ragione per cui tipi diversi di fibre, inclusi quelli multimodali, non dovrebbero mai essere mischiati nello stesso link o canale.

Kit ottici breakout vengono impiegati per facilitare la terminazione di fibre ottiche loose-tube, utilizzate in applicazioni interno/esterno o in esterno. Una volta che il gel è completamente rimosso dalle fibre ottiche, il kit breakout permette di installare i tubetti di adattamento (tipicamente di diametro da 1,2 a 3 mm) sulle fibre di 250 μm , aumentandone il diametro e formando una corta "guaina", che permette alle fibre di essere terminate sul connettore ottico desiderato. La corretta selezione del tubetto assicura la compatibilità con tutti i connettori ottici.

Si può scegliere tra molti tipi di connettori. I *connettori ottici tradizionali* sono rappresentati da SC e ST. Questi due connettori furono riconosciuti quando il cablaggio ottico entrò nella prima edizione degli standard di cablaggio TIA e ISO/IEC. Il connettore ST si caratterizza per un anello di accoppiamento metallico che ruota e si blocca sull'adattatore ed è disponibile solo

in configurazione simplex (per realizzare un link o un canale sono richiesti due connettori). I connettori SC si caratterizzano per una modalità di inserimento e disinserimento rapido (configurazione push-pull; semplificando, significa spingi-e-tira) e hanno il vantaggio di poter essere utilizzati in modo congiunto, assemblandoli con una "molletta" duplex, che molto facilmente supporta l'interconnessione di due fibre ottiche in un link o canale. I connettori SC sono, in genere, raccomandati rispetto agli ST per l'impiego in nuove installazioni, proprio per questa loro capacità duplex. Entrambi i connettori possono essere terminati in campo usando metodi a doppio componente adesivo o giunzione meccanica.

Small form factor (SFF: a basso ingombro) fa riferimento a una famiglia di interfacce ottiche che supporta una densità di connettori doppia rispetto ai connettori ottici tradizionali. L'interfaccia SFF più comune è il connettore LC, mentre MT-RJ ha avuto una presenza di mercato limitata. Ambedue le interfacce hanno una configurazione duplex e una forma piccola, che assomiglia approssimativamente, anche nelle dimensioni, a un connettore modulare a 8 posizioni per il rame. Il connettore LC può essere terminato in campo con gli stessi metodi di SC e ST. Il connettore MT-RJ può essere terminato in campo con un metodo tradizionale di terminazione a giunto meccanico senza adesivo. La principale differenza tra i connettori MT-RJ e LC è correlata alle prestazioni della ferrula interna. Quella del connettore LC mantiene una tolleranza sufficiente per supportare applicazioni monomodo e multimodo, mentre il connettore MT-RJ è raccomandato solo per l'uso in applicazioni "datate". La terminazione in campo di connettori MT-RJ non è raccomandata per applicazioni monomodali.

I connettori ottici *array* (in serie) sono le più nuove e riconosciute interfacce ottiche per supportare ambienti ad elevata intensità e le



AREA CULTURALE

tecnologie emergenti, come 40GBase-SR4 e 100GBase-SR100, che richiederanno più di due connettori ottici per link o canale. Tipicamente, ci sono 12 o 24 fibre in ogni connettore array, sebbene tale connettore possa supportare fino a 144 fibre. L'interfaccia di tipo "multi-fiber push on" (MPO) è quella più diffusa. I connettori MTP sono compatibili con quelli MPO; essi sono stati ingegnerizzati per avere prestazioni meccaniche e ottiche migliori e sono raccomandati per l'impiego nelle nuove installazioni. I connettori MPO/MTP non sono terminabili in campo. I moduli array o "plug-and-play" normalmente supportano l'interconnessione di due interfacce MPO/MTP con 24 connessioni LC, oppure un MPO/MTP si interfaccia con 12 connettori SC o LC.

Realizzazione di cablaggio in fibra ottica

L'approccio di cablaggio ottico più comune è la terminazione in campo dei connettori ottici sulle fibre, utilizzando metodi di terminazione con adesivi o meccanici. I nuovi moduli MPO/MTP non prevedono terminazione in campo e ci sono considerazioni, come l'impiego di installatori esperti e i tempi di realizzazione e di aggiornamento di una struttura IT, che potrebbero favorire l'uso di pigtail o cavi completi realizzati in fabbrica rispetto alla terminazione in campo.

Ecco i pro e i contro di questi due metodi di terminazione.

La *terminazione in campo* ha i costi più bassi dei componenti base per sistemi ottici SC, ST, LC e MT-RJ, ma il tempo necessario per la terminazione in campo è il più lungo delle tre opzioni e il livello di competenza dell'installatore deve essere elevato; il che può incrementare i costi di installazione del progetto. I metodi di terminazione senza

adesivi e alcuni tipi di giunzione meccanica richiedono minori conoscenze tecniche, anche se i connettori impiegati con queste tecniche sono più cari e le prestazioni (specie usando il sistema senza adesivi) possono essere inferiori e molto variabili.

I *pigtails ottici* sono caratterizzati da connettori SC, ST, LC e MT-RJ preterminati e collaudati in fabbrica e da uno spezzone (lungo 1 o 2 metri) di fibra multimodale o monomodale. L'estremo libero del pigtail viene poi giuntato a fusione alla fibra ottica. La giunzione a fusione fornisce una terminazione costante e quasi senza perdita e può essere eseguita velocemente con apparati e tecnici appropriati. I maggiori benefici di questo approccio sono l'assicurazione di prestazioni a bassa perdita nell'interconnessione, l'eliminazione della necessità di ispezione della "faccia" del connettore e le possibili riterminazioni.

I *cavi assemblati in fabbrica* forniscono un'alternativa efficiente ai due metodi precedenti e permettono tempi di realizzazione in campo più rapidi del 75%. I cavi preassemblati sono preterminati e collaudati in fabbrica su specifica dell'utente (come lunghezza della tratta di cavo, tipologia e numero di fibre e tipo di connettori) e vengono semplicemente posati e posizionati in campo. Dunque, la lunghezza del cavo è un parametro critico, come pure una pianificazione precisa e per tempo. I cavi assemblati con connettori MPO/MTP a uno o entrambi gli estremi sono comunemente chiamati cavi "plug-and-play". Hanno il profilo del connettore più piccolo e, in genere, anche il minor ingombro nelle canalizzazioni e nei distributori, rispetto agli altri cavi preassemblati.

E' importante mantenere la polarità della fibra, per assicurare che la fibra in trasmissione sia accoppiata alla porta di ricezione su ogni estremo del link o del canale.