

# Comprendere La Modulazione Ottica Coerente

## Sommario

---

[Introduzione](#)

[Premesse](#)

[Proprietà della luce](#)

[Problema](#)

[Soluzione](#)

[PSK \(Phase Shift Key\)](#)

[BPSK \(Binary Phase Shift Key\)](#)

[Trasferimento fase quadricromia](#)

[QAM \(Quadrature Amplitude Modulation\)](#)

[8-QAM](#)

[16-QAM](#)

[32-QAM e 64-QAM](#)

[Polarizzazione Multiplexing \(PM\)](#)

[Monitoraggio delle prestazioni ottiche](#)

---

## Introduzione

Questo documento descrive i principi base degli schemi di modulazione ottica coerenti usati nelle reti DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexed).

## Premesse

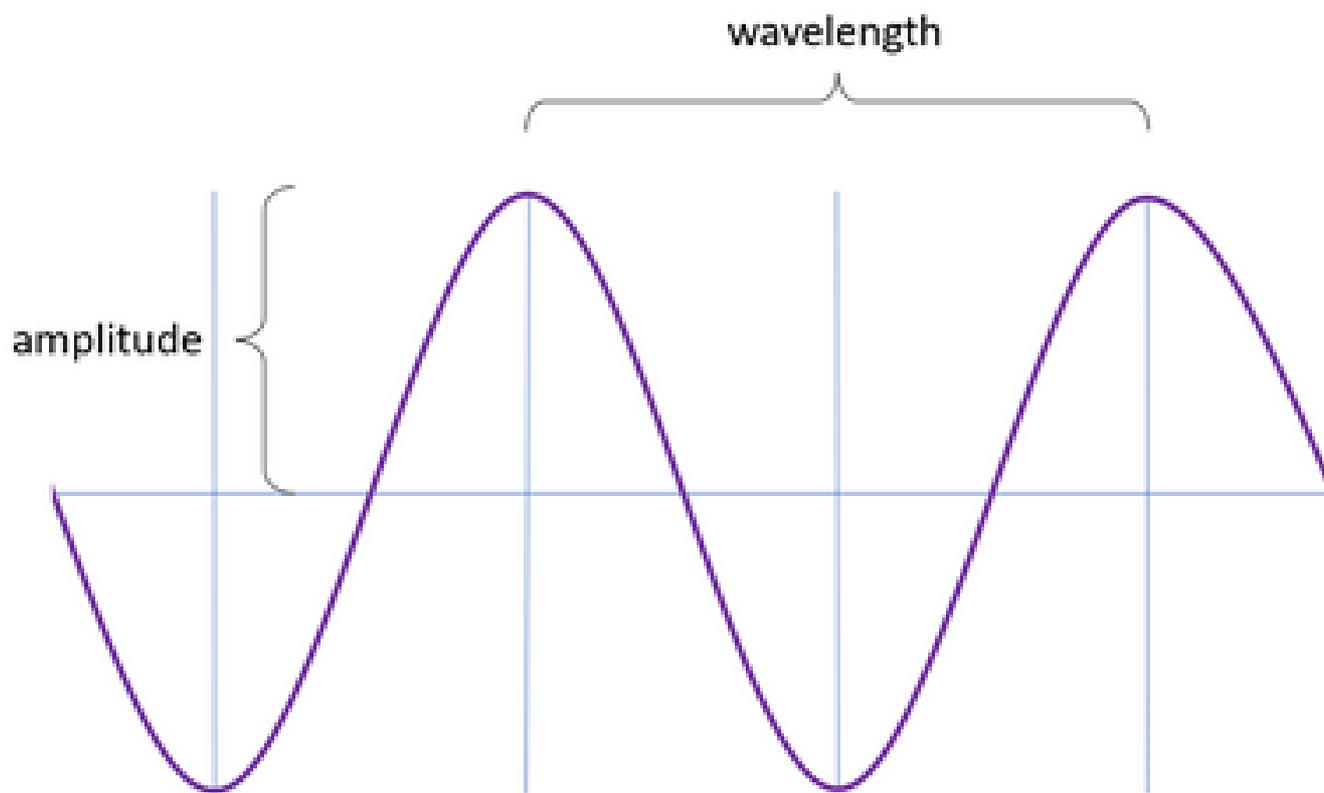
Uno schema di modulazione altera continuamente le proprietà di una forma d'onda. In questo caso, è leggero, per codificare le informazioni binarie nella forma d'onda. Le moderne reti ottiche utilizzano una varietà di schemi di modulazione per trasportare i dati su centinaia o migliaia di chilometri.

## Proprietà della luce

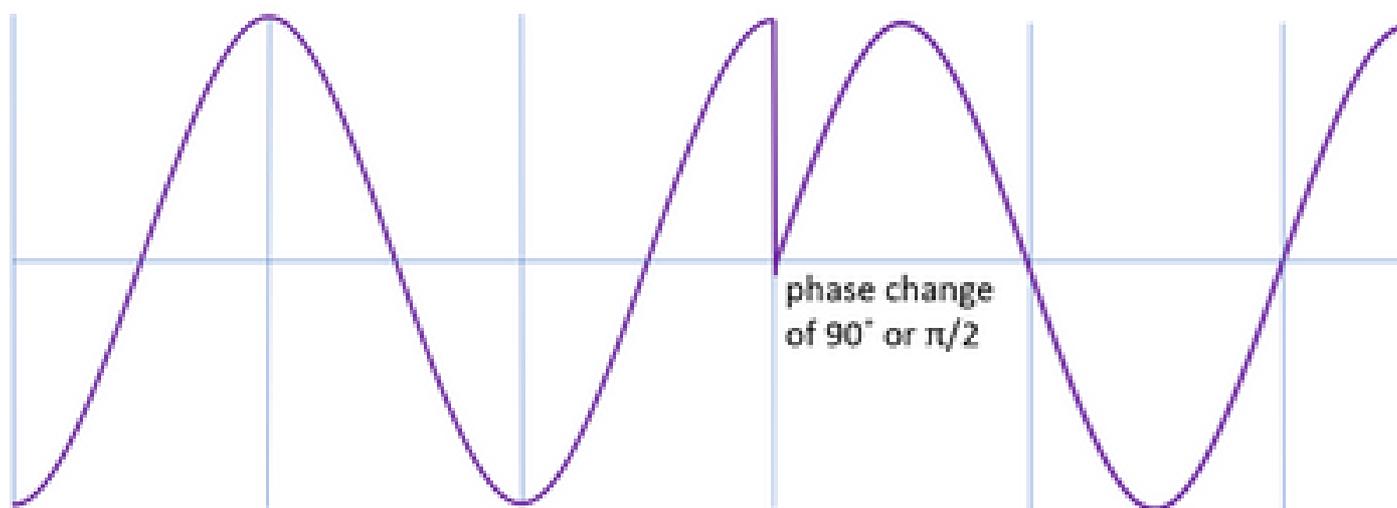
Le reti DWDM utilizzano diverse proprietà della luce per codificare efficientemente le informazioni.

1. Lunghezza d'onda o frequenza: ogni canale in una rete DWDM usa una specifica lunghezza d'onda nella banda C, tra circa 1527 nm e 1565 nm. Ogni segnale può fornire una larghezza di banda variabile a seconda della velocità in baud e dello schema di modulazione.
2. Fase - Angolo di una forma d'onda in genere misurato in radianti. Cambiando la fase si traduce il periodo della forma d'onda nel tempo.
3. Ampiezza - Misura della potenza totale di un segnale in decibel-milliwatt (dBm).
4. Polarizzazione - Le onde elettromagnetiche hanno due stati di polarizzazione primari definiti dai campi elettrici e magnetici. Ogni polarizzazione può contenere informazioni codificate da uno schema di modulazione. Alcuni prodotti ottici Cisco usano la notazione Coherent

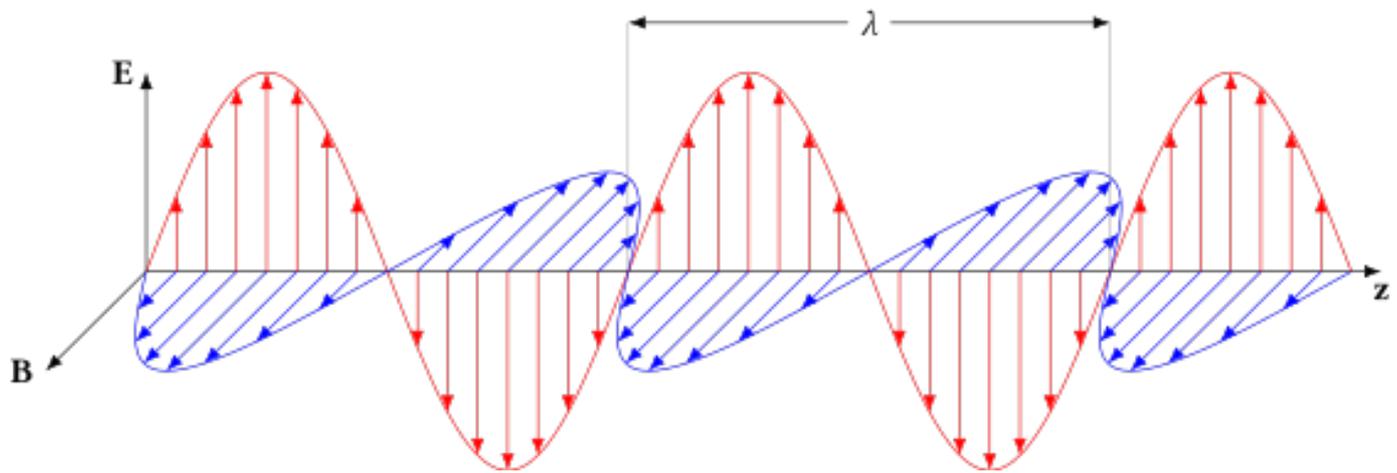
Polarization-Multiplexed (CP) o Polarization Multiplexed (PM) per identificare l'uso della polarizzazione nella modulazione.



Lunghezza d'onda e ampiezza



Modulazione di fase



Polarizzazione trasversale della luce

## Problema

La trasmissione elettrica dei dati presenta notevoli limitazioni di distanza rispetto alla trasmissione ottica. Gli schemi di codifica ottica legacy che utilizzano segnali on/off, come il non ritorno a zero (NRZ), risentono degli effetti della dispersione cromatica (CD), limitando la distanza effettiva senza l'uso di unità di compensazione della dispersione (DCU). Per trasferire efficacemente i dati su molti chilometri a velocità superiori a 10 Gb/s, i ricetrasmittitori devono utilizzare schemi di modulazione coerenti.

## Soluzione

Cambiando la fase e/o l'ampiezza di un'onda, le informazioni vengono codificate come un simbolo, una singola unità di trasmissione contenente uno o più bit. Il valore del simbolo dipende dalla fase e dall'ampiezza misurate sul ricevitore. Tutti gli schemi elencati possono utilizzare il multiplexing di polarizzazione per aumentare la velocità dei dati.

### PSK (Phase Shift Key)

La modulazione PSK sposta la fase del segnale per codificare un bit o dei bit. Poiché la fase del segnale può cambiare mentre attraversa la fibra, il ricevitore misura la differenza di fase tra i simboli successivi per determinarne più accuratamente il valore. Questo processo è denominato DPSK (Differential Phase Shift Keying).

### BPSK (Binary Phase Shift Key)

BPSK modifica la fase del segnale in base ai radianti o a 180 gradi per codificare uno 0 o uno 1. La notevole differenza tra le fasi determina requisiti OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) ridotti e i segnali che utilizzano questa modulazione possono viaggiare potenzialmente migliaia di chilometri. Il basso numero di bit per simbolo limita la velocità dati dei segnali BPSK a circa 100 Gbps.

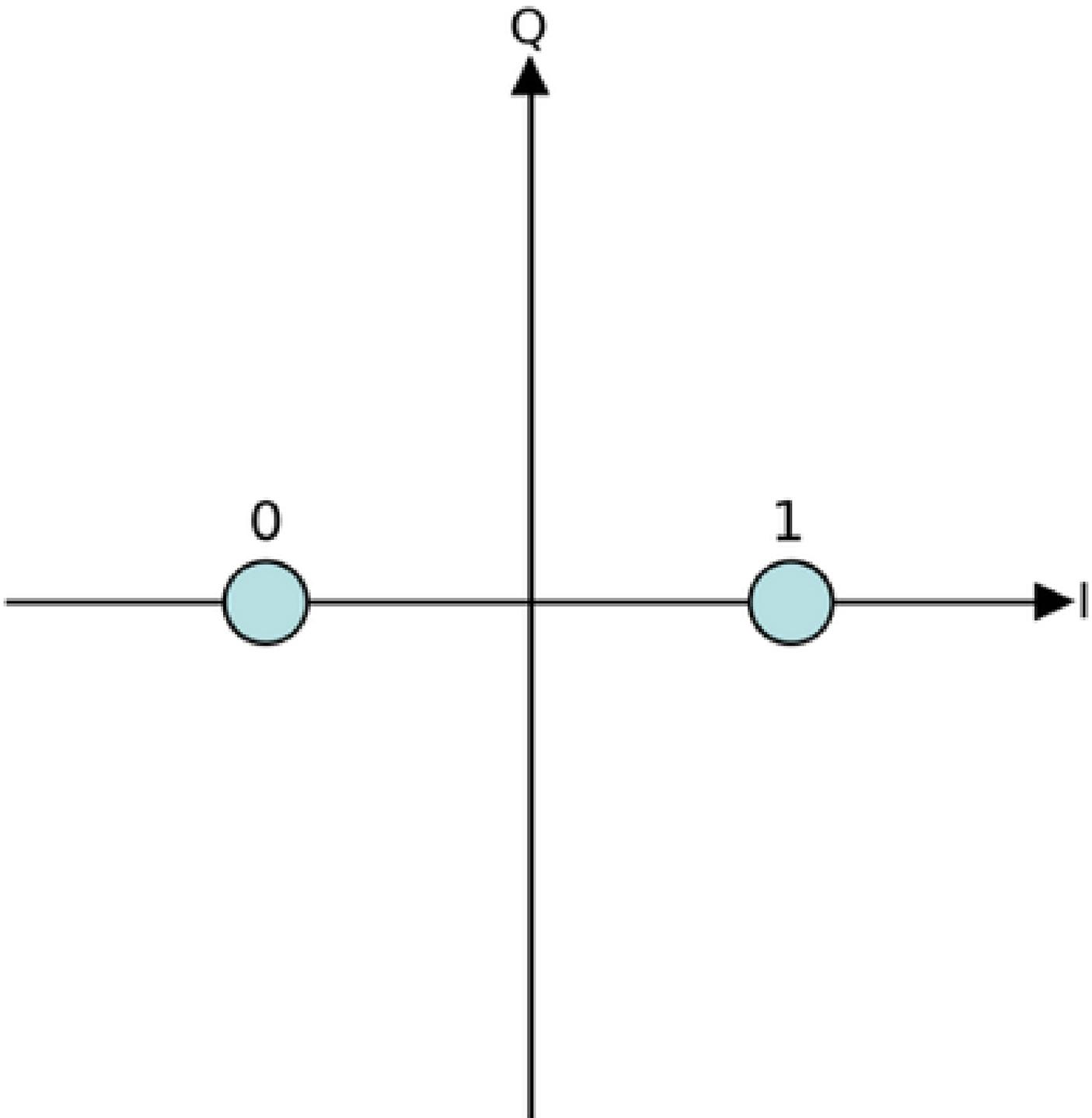


Diagramma di costellazione della modulazione BPSK

### Trasferimento fase quadricromia

QPSK modifica la fase tra simboli successivi utilizzando  $\pi/2$  radianti o 90 gradi. La modifica più piccola nella fase aumenta la densità delle informazioni a due bit per simbolo, in quanto QPSK ha quattro possibili stati.

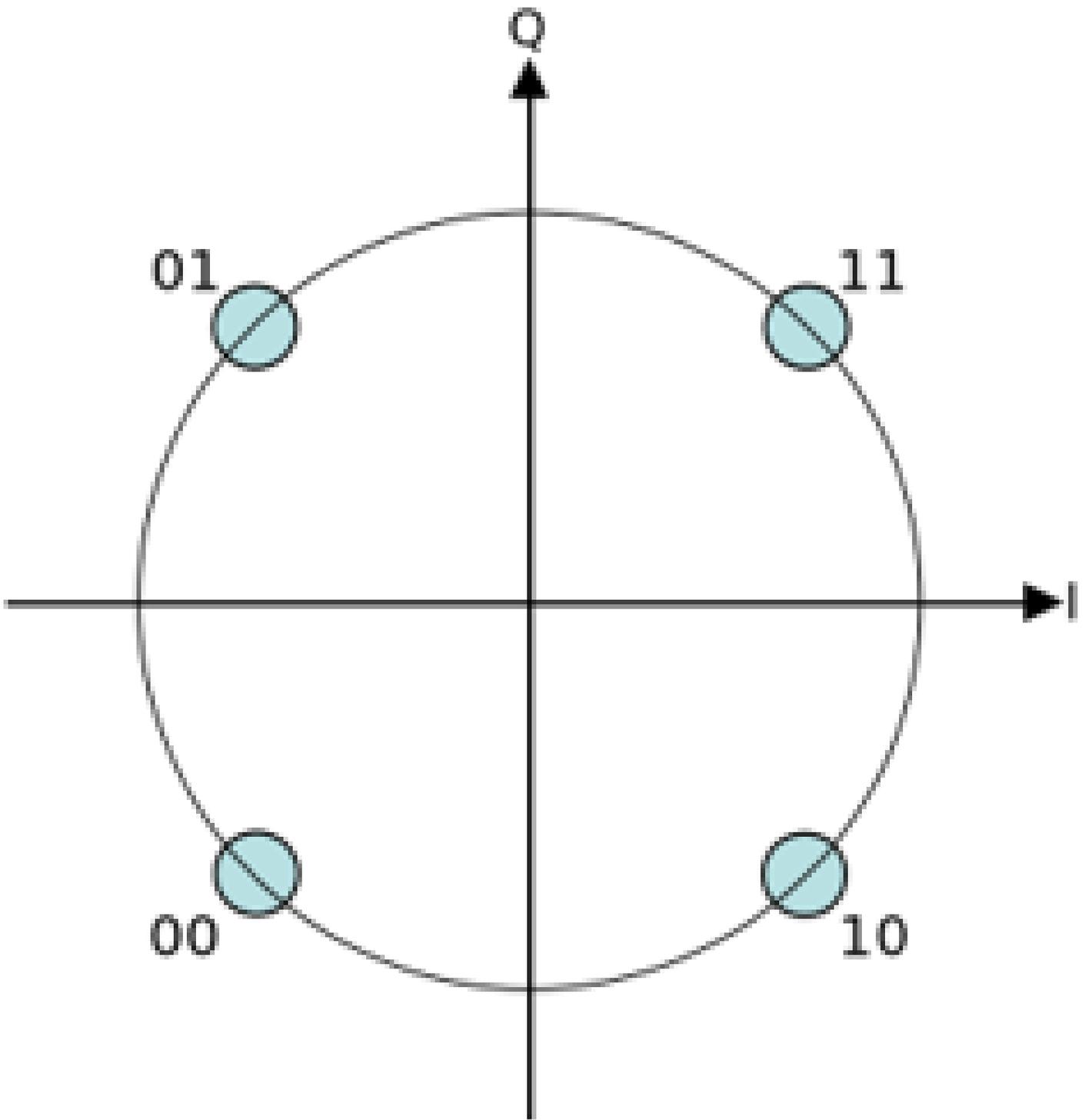


Diagramma a costellazione della modulazione QSPK

## QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Per aumentare ulteriormente il numero di bit per simbolo, il trasmettitore può modificare l'ampiezza del segnale oltre alla fase. Il numero di punti nella configurazione (simboli) definisce il tipo di QAM.

### 8-QAM

Otto stati possibili assegnano tre bit per simbolo per questo schema di modulazione.

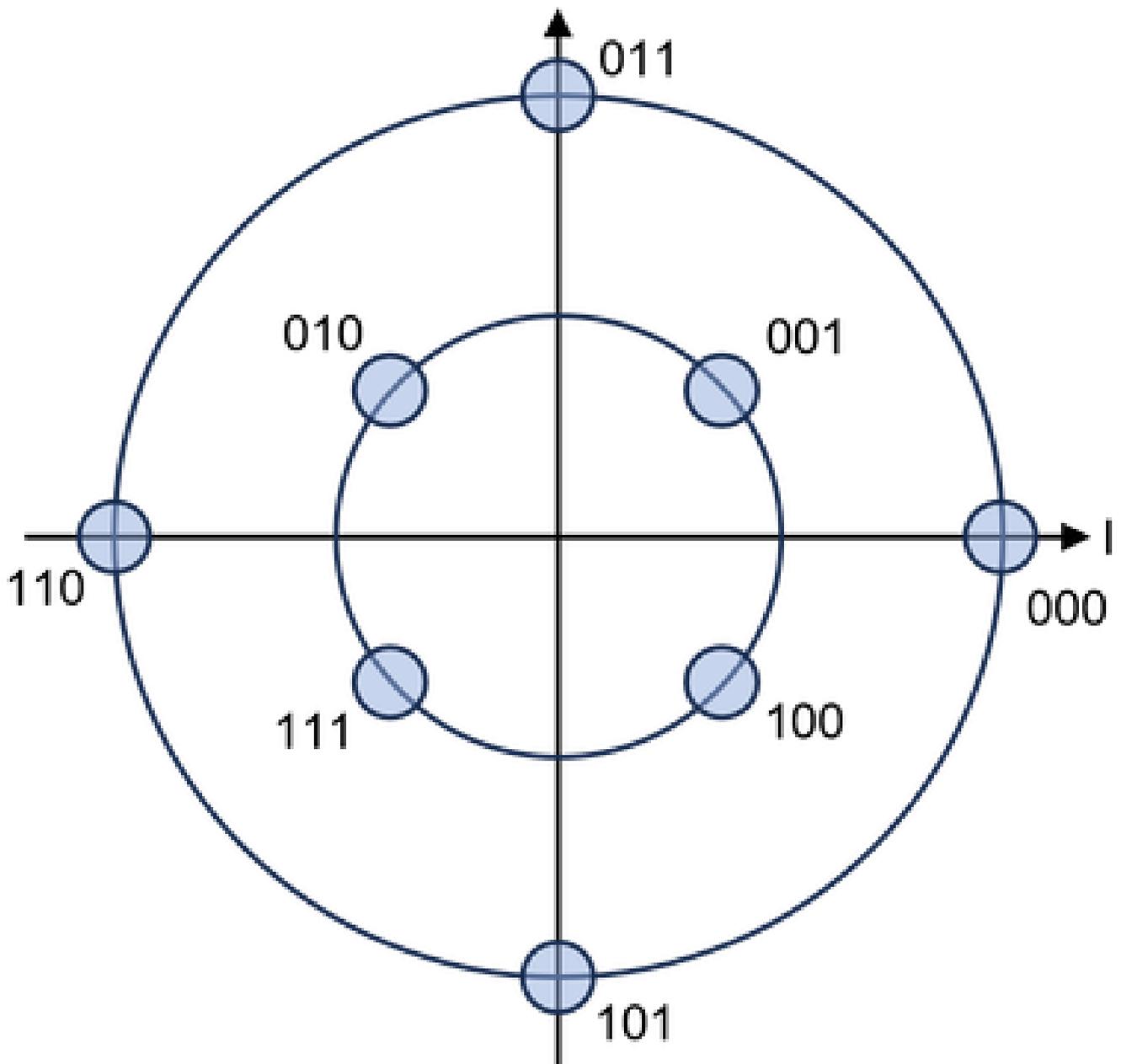


Diagramma a costellazione di 8-QAM

### 16-QAM

A velocità di trasmissione di circa 30 Gbaud, 16-QAM ha una velocità di trasmissione dati di 200 Gbps. L'aumento a 60 Gbaud fornisce velocità fino a 400 Gbps. Modifiche minori di fase e ampiezza aumentano i requisiti OSNR e limitano la sua portata a poche centinaia di chilometri.

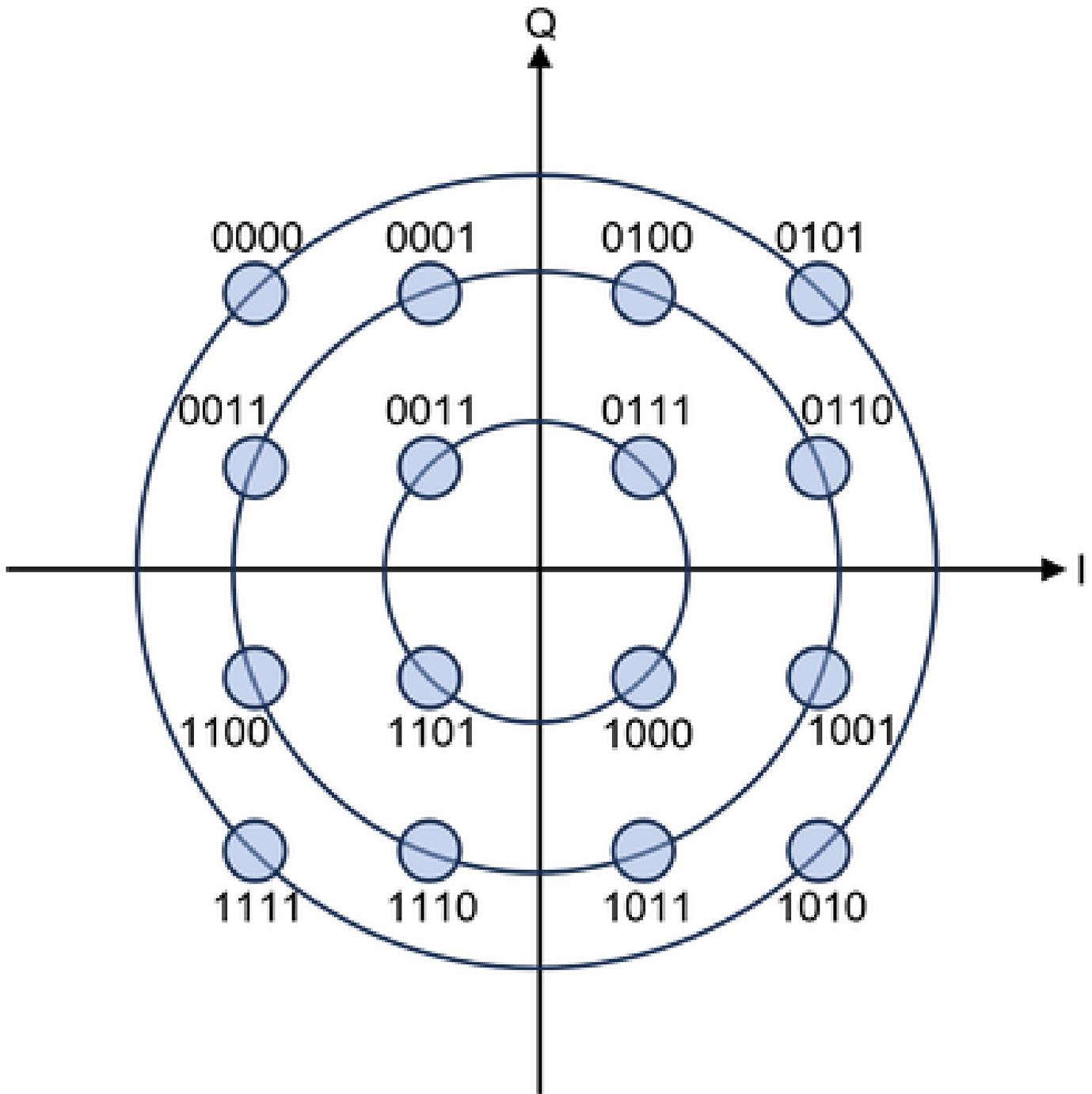


Diagramma a costellazione di 16-QAM

### 32-QAM e 64-QAM

Questi due schemi di modulazione high-order usano rispettivamente cinque e sei bit per simbolo, consentendo velocità di trasmissione fino a 600 Gb/s. I requisiti OSNR elevati di 64-QAM limitano l'autonomia effettiva a meno di 200 km.

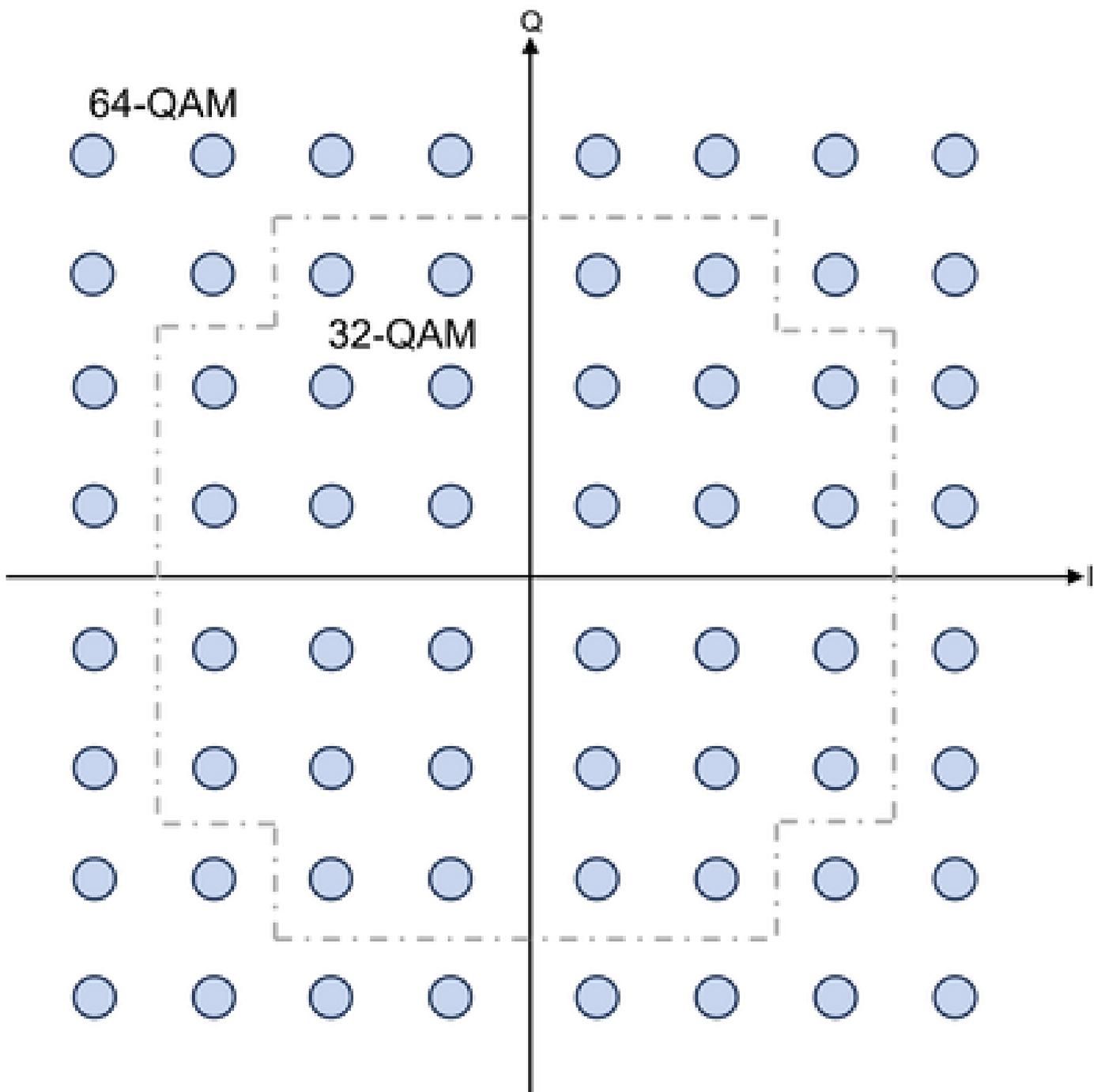


Diagramma di costellazione di 32-QAM e 64-QAM

## Polarizzazione Multiplexing (PM)

Tutti gli schemi di modulazione elencati utilizzano il multiplexing della polarizzazione per codificare le polarizzazioni trasversali in modo indipendente, raddoppiando la velocità dei dati ma introducendo potenziali compromessi come la polarizzazione della perdita dipendente (PDL) e la polarizzazione della dispersione (PMD). Con questa tecnica, la velocità dati è approssimativamente uguale alla velocità in baud moltiplicata per i bit per simbolo moltiplicata per due.

Modulazione	Descrizione	Bit per	Velocità di	PID di esempio*
-------------	-------------	---------	-------------	-----------------

		simbolo	trasmissione dati tipica (Gbps)	
BPSK	Applicazione di chiavi Binary Phase Shift	1	100	NCS1K4-1,2T-K9
QPSK	Trasferimento fase quadricromia	2	110, 200	NCS2K-100G-CK-C
8-QAM	Modulazione ampiezza quadratura a 8 stati	3	110, 200	NCS1K4-2-QDD-C-K9, QDD-400G-ZRP-S
16-QAM	Modulazione ampiezza quadratura a 16 stati	4	201, 300, 400	ONS-CFP2-WDM, QDD-400G-ZRP-S, NCS2K-100G-CK-C
32-QAM	Modulazione ampiezza quadratura a 32 stati	5	400, 500	NCS1K4-1,2T-K9
64-QAM	Modulazione ampiezza quadratura a 64 stati	6	500, 600	NCS1K4-1,2T-K9

\* Molti PID supportano più tipi di modulazione. L'elenco non è esaustivo.

## Monitoraggio delle prestazioni ottiche

I ricetrasmittitori ottici Cisco misurano diverse statistiche sulle prestazioni relative alla modulazione coerente. In questa sezione viene fornita una breve definizione di ciascuna di esse.

- Differential Group Delay (DGD) - Differenza nel tempo di propagazione delle due modalità di polarizzazione dal trasmettitore al ricevitore misurata in picosecondi.
- Dispersione cromatica (CD): lunghezze d'onda diverse viaggiano più velocemente o più lentamente attraverso una guida d'onda (fibra). La variazione nel tempo di propagazione per ogni spettro unitario è misurata in picosecondi nanometri (ps-nm) e si accumula linearmente man mano che il segnale attraversa la fibra. La quantità di dispersione cromatica tollerata al ricevitore varia notevolmente a seconda dello schema di modulazione. I ricetrasmittitori con

una tolleranza inferiore per la dispersione richiedono unità di compensazione della dispersione per rimuovere questo effetto prima di raggiungere il ricevitore. I tipi di fibra ottica possono avere coefficienti CD significativamente diversi.

- Rapporto S/N (OSNR): la differenza tra l'energia del segnale e quella del rumore in dB misurata sul ricevitore. Il valore OSNR richiesto per mantenere l'integrità del segnale dipende principalmente dallo schema di modulazione utilizzato.
- Dispersione modalità polarizzazione (PMD): questa quantità si riferisce a DGD e rappresenta la differenza totale accantonata nel tempo di propagazione tra le modalità di polarizzazione misurata in picosecondi.
- Dispersione modalità polarizzazione secondo ordine (SOPMD) - simile alla dispersione cromatica, l'effetto della dispersione modalità polarizzazione dipende dalla lunghezza d'onda. SOPMD caratterizza questa dipendenza con unità di picosecondi al quadrato ( $\text{ps}^2$ ).
- PCR (Polarization Change Rate) - Frequenza media con cui gli stati di polarizzazione cambiano quando il segnale attraversa la fibra, misurata in multipli di radianti al secondo.
- PDL (Polarization Dependent Loss): attenuazione effettiva in dB dovuta ai cambiamenti negli stati di polarizzazione della fibra.

## Informazioni su questa traduzione

Cisco ha tradotto questo documento utilizzando una combinazione di tecnologie automatiche e umane per offrire ai nostri utenti in tutto il mondo contenuti di supporto nella propria lingua. Si noti che anche la migliore traduzione automatica non sarà mai accurata come quella fornita da un traduttore professionista. Cisco Systems, Inc. non si assume alcuna responsabilità per l'accuratezza di queste traduzioni e consiglia di consultare sempre il documento originale in inglese (disponibile al link fornito).