

Livello fisico

Scritto da [Febogamedev](#)

Il livello fisico è il livello più basso della pila di rete. Si occupa della trasmissione dei bit attraverso un mezzo fisico, per esempio un cavo di rame, una fibra ottica o lo spazio attraversato da onde radio (International Organization for Standardization [ISO], 1994; Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2022).

A questo livello i dati non vengono più considerati come pacchetti o frame, ma come sequenze di bit da rappresentare tramite segnali fisici. Il compito del livello fisico è quindi trasformare gli 0 e gli 1 in segnali che possano viaggiare sul mezzo trasmissivo e poi essere interpretati correttamente dal destinatario (ISO, 1994; IEEE, 2022).

I mezzi trasmissivi utilizzati per la realizzazione di un canale in una rete vengono solitamente suddivisi in tre categorie, a seconda del fenomeno fisico utilizzato per trasmettere i bit:

- Mezzi elettrici: per la trasmissione utilizzano la proprietà dei metalli di condurre l'energia elettrica (come doppini telefonici) (IEEE, 2022).
- Mezzi ottici: per la trasmissione utilizzano la luce (come le fibre ottiche) (International Telecommunication Union [ITU], 2024a).
- Mezzi wireless ("senza cavo"): per la trasmissione utilizzano le onde elettromagnetiche (come le trasmissioni radio a microonde e le trasmissioni radio via satellite). In questo caso il mezzo trasmissivo può essere considerato lo spazio libero, o l'ambiente, attraverso cui si propagano le onde elettromagnetiche (IEEE, 2025).

Il livello fisico deve codificare i dati in modo che possano essere trasportati dal mezzo di trasmissione (IEEE, 2022, 2025).

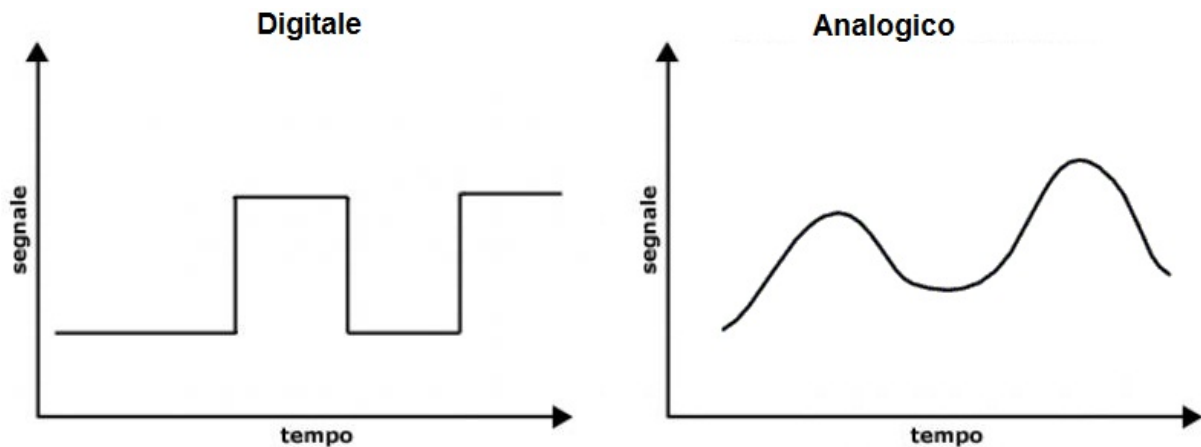
Il metodo di codifica dipende dalle caratteristiche del mezzo di trasmissione usato: per esempio, per trasmettere informazioni su un filo di rame si modula una variabile fisica come la tensione o la corrente (IEEE, 2022).

Per questo deve esistere un dispositivo di rete che converta i bit in segnali adatti al mezzo utilizzato. Questa conversione può essere svolta da componenti diversi, come una scheda di rete Ethernet, un modulo Wi-Fi, un modem o un convertitore ottico (IEEE, 2022, 2025; ITU, 2024a).

Il segnale trasmesso sul mezzo può essere di due tipi:

- Un segnale analogico varia in modo continuo nel tempo e può assumere molti valori intermedi (ITU, 1993).
- Un segnale digitale, invece, rappresenta l'informazione usando un insieme limitato di valori distinti, per esempio due livelli di tensione associati a 0 e 1 (ITU, 1993).

Il tipo di segnale dipende dal mezzo e dalla tecnologia: alcune codifiche trasmettono i bit come segnale digitale, cioè con livelli distinti di tensione o di luce; in altri casi, come il modem su linea telefonica, i bit vengono convertiti in un segnale analogico (è proprio da questa operazione di modulazione e demodulazione che il modem prende il nome) (ITU, 1993; IEEE, 2022).



Esempio

Un esempio comune di codifica dei bit tramite un segnale di tensione è la codifica NRZ (Non Return to Zero, "non ritorno a zero"). In questa codifica, a ciascun valore binario viene associato un livello fisso di tensione, mantenuto per tutta la durata del bit:

- "1" è codificato con un livello di tensione alto, per esempio +5 volt.
- "0" è codificato con un livello di tensione basso, per esempio 0 volt.

Supponiamo di voler trasmettere la sequenza di bit "101010".

Con la codifica NRZ, il segnale di tensione assume in successione i valori:

+5 V, 0 V, +5 V, 0 V, +5 V, 0 V.

Nota: questo è un esempio semplificato. Nelle tecnologie reali, come Ethernet o Wi-Fi, le codifiche fisiche sono molto più complesse.

Fibra ottica

La fibra ottica è una tecnologia di trasmissione dati che utilizza impulsi di luce per inviare informazioni attraverso un cavo composto da filamenti di vetro o plastica (ITU, 2024a).

È uno dei mezzi di trasmissione più importanti e performanti nelle reti moderne, grazie alla sua alta velocità, alla grande capacità di trasportare dati e alla resistenza alle interferenze elettromagnetiche (ITU, 2024a; IEEE, 2022).

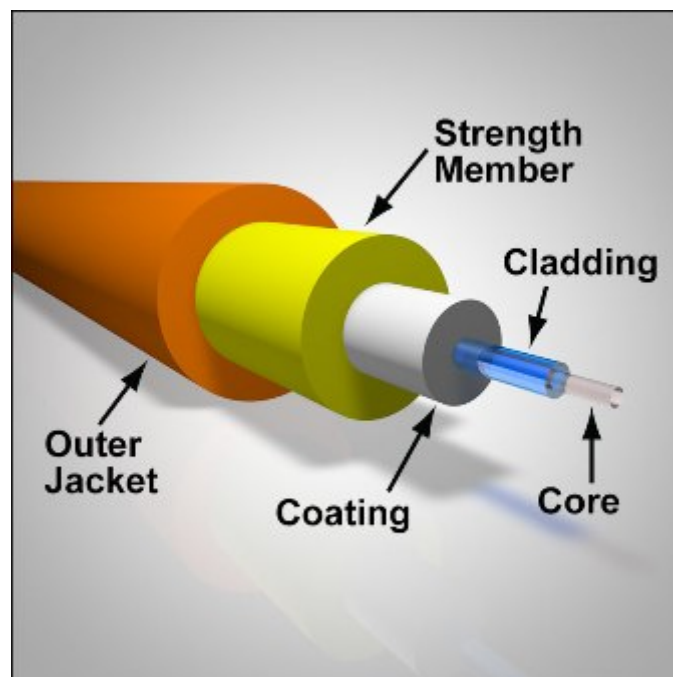
In modo semplificato, possiamo immaginare che i dati digitali vengano rappresentati così:

- 1 = presenza di un impulso luminoso.
- 0 = assenza di impulso luminoso.

Nelle tecnologie reali, però, i sistemi di codifica e modulazione della luce possono essere più complessi (IEEE, 2022).

Poiché il filamento ottico è molto sottile e delicato, il cavo in fibra ottica è formato da diversi strati di protezione; in particolare, la sua struttura è questa (International Electrotechnical Commission [IEC], 2023):

- Core (nucleo): cuore in vetro (o plastica) dove viaggia la luce.
- Cladding (mantello): lo strato che circonda il core.
- Coating (rivestimento): protezione plastica per resistere a graffi, micro-piegature, umidità e polvere.
- Strength member (elemento di resistenza): fornisce resistenza meccanica. In particolare, resiste alla trazione (per esempio, durante l'installazione), ai piegamenti, alle compressioni, agli urti e agli stress ambientali.
- L'outer jacket: la guaina più esterna che riveste e protegge l'intero cavo in fibra ottica. È l'elemento che si vede e si tocca quando maneggi un cavo in fibra (IEC, 2023).



Ma come funziona?

Una fibra ottica è un filamento sottilissimo (più sottile di un capello umano) in grado di guidare la luce al suo interno grazie a un principio fisico chiamato **riflessione totale interna** (Ling et al., 2016; ITU, 2024b).

La riflessione totale interna fa sì che, quando un raggio di luce colpisce l'interfaccia tra core e cladding con un angolo sufficiente, non esca, ma venga completamente riflesso (Ling et al., 2016).

La riflessione totale interna funziona perché il core e il cladding hanno indici di rifrazione diversi (Ling et al., 2016; ITU, 2024b).

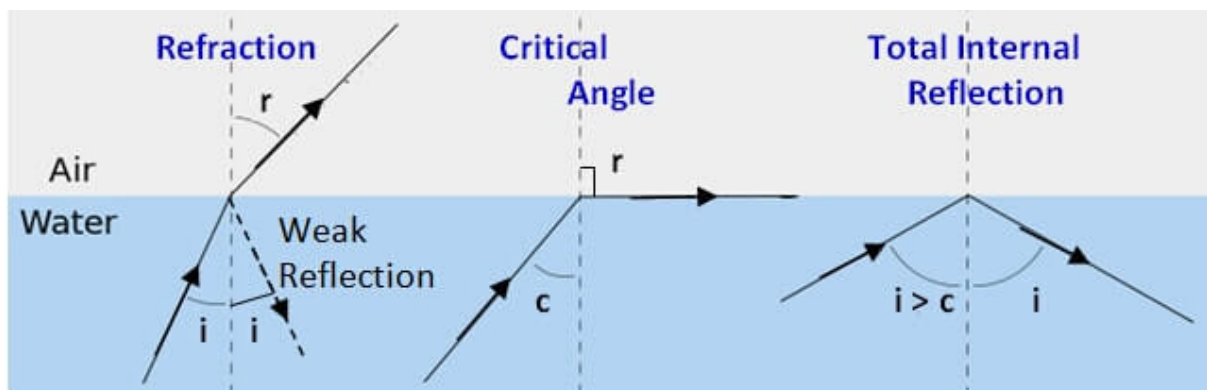
L'indice di rifrazione indica quanto la luce rallenta quando attraversa un materiale: più l'indice è alto, più la luce viene rallentata (Ling et al., 2016).

Nella fibra ottica, il core ha un indice di rifrazione maggiore del cladding (Ling et al., 2016; ITU, 2024b).

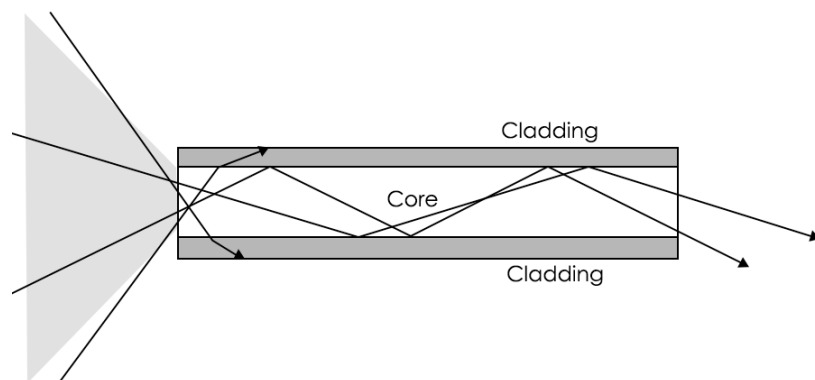
Quando la luce viaggia nel core e raggiunge il confine con il cladding, tende a cambiare direzione.

Poiché sta passando da un materiale con indice maggiore a uno con indice minore, la luce viene deviata allontanandosi dalla perpendicolare al confine tra i due materiali (Ling et al., 2016).

Se l'angolo con cui la luce colpisce il confine è abbastanza grande, la luce dovrebbe uscire nel cladding con una direzione quasi parallela al confine. Superato un certo angolo, chiamato angolo critico, non esiste più una direzione possibile con cui la luce possa propagarsi nel cladding. Per questo motivo la luce non esce dal core, ma viene riflessa completamente al suo interno (Ling et al., 2016).



In questo modo gli impulsi luminosi rimangono guidati dentro la fibra e possono percorrere lunghe distanze (Ling et al., 2016).



Questo effetto guida la luce lungo tutta la fibra, anche su lunghissime distanze (Ling et al., 2016).

Come metafora, possiamo immaginare la fibra come un tunnel di specchi: la luce viene guidata lungo il percorso e riesce a raggiungere l'altra estremità della fibra.

Materiale di supporto

Elementi chiave

- Il **livello fisico** trasmette i bit attraverso un mezzo fisico.
- Trasforma gli 0 e gli 1 in **segnali elettrici, luminosi o radio**.
- I mezzi trasmissivi possono essere **elettrici, ottici** oppure **wireless**.
- La conversione dei bit in segnali può essere svolta da schede di rete, modem, moduli Wi-Fi o convertitori ottici.
- I segnali possono essere **analogici**, se variano continuamente, oppure **digitali**, se usano valori distinti.
- La **codifica NRZ** rappresenta 0 e 1 mediante differenti livelli di tensione.
- La **fibra ottica** trasmette i dati mediante impulsi luminosi in filamenti di vetro o plastica.
- La fibra offre alta velocità, grande capacità e resistenza alle interferenze elettromagnetiche.
- Il cavo è formato da **core, cladding, rivestimenti protettivi** ed **elementi di resistenza**.
- La luce rimane nel core grazie **alla riflessione totale interna**, dovuta ai diversi indici di rifrazione del core e del cladding.

Esercizi

Trasformare i bit in segnali

Un computer deve trasmettere attraverso un cavo elettrico la seguente sequenza di bit:

1 0 1 1 0 0 1

Per semplificare, il sistema utilizza la codifica NRZ descritta nella dispensa:

- 1 = +5 V
- 0 = 0 V

Rispondi alle seguenti domande:

- Scrivi la sequenza dei livelli di tensione che dovrà essere trasmessa sul cavo.
- Spiega quale compito sta svolgendo il livello fisico in questa situazione.
- Spiega perché, a questo livello, non è più importante sapere se i bit rappresentano una pagina web, un'immagine o un messaggio.
- Indica quale fenomeno fisico viene utilizzato per trasportare l'informazione in questo esempio.
- Spiega perché deve esistere un componente capace di convertire i bit in segnali adatti al mezzo trasmissivo.
- Immagina ora di sostituire il cavo con una fibra ottica. Spiega quale grandezza fisica verrebbe utilizzata al posto della tensione.
- Se la comunicazione avvenisse invece tramite Wi-Fi, indica attraverso quale fenomeno fisico verrebbero trasmessi i bit.
- Usa i tre casi per spiegare perché la stessa sequenza di bit può essere rappresentata fisicamente in modi differenti a seconda del mezzo utilizzato.

Scegliere il mezzo di trasmissione

Un'azienda deve realizzare tre collegamenti differenti:

- Collegare due computer presenti nella stessa stanza tramite cavo.
- Collegare due edifici distanti, dove sono presenti molti apparati elettrici che possono generare interferenze elettromagnetiche.
- Collegare temporaneamente alcuni tablet senza utilizzare cavi.

Per ciascuna situazione:

- Scegli tra mezzo elettrico, mezzo ottico e mezzo wireless la soluzione che ritieni più appropriata.
- Motiva ogni scelta facendo riferimento alle caratteristiche descritte nella dispensa.
 - Per il collegamento elettrico, spiega quale tipo di fenomeno permette di trasportare l'informazione.
 - Per il collegamento ottico, spiega quale tipo di segnale attraversa il mezzo.
 - Per il collegamento wireless, spiega perché anche lo spazio può essere considerato parte del mezzo trasmissivo.
- Indica quale delle tre tecnologie risulta particolarmente resistente alle interferenze elettromagnetiche.
- Spiega perché scegliere il mezzo fisico non significa cambiare necessariamente i dati originali: ciò che cambia è il modo in cui i bit vengono rappresentati e trasmessi.

Perché la luce rimane dentro la fibra?

Un tecnico deve spiegare a un cliente perché un segnale luminoso riesce a percorrere una fibra ottica senza uscire continuamente dal filamento.

Il cavo utilizzato contiene core, cladding, coating, strength member e outer jacket.

Rispondi alle seguenti domande:

- Indica in quale parte della fibra viaggia principalmente la luce.
- Spiega quale funzione svolge il cladding rispetto al core.
- Spiega perché core e cladding devono avere indici di rifrazione differenti.
- Indica quale dei due deve avere l'indice di rifrazione maggiore secondo il funzionamento descritto nella dispensa.
- Spiega cosa accade quando la luce raggiunge il confine tra core e cladding con un angolo sufficientemente grande.
- Definisci con parole tue il principio della riflessione totale interna.
- Spiega quale ruolo svolge l'angolo critico.
- Descrivi perché questo fenomeno permette alla luce di percorrere lunghe distanze all'interno della fibra.
- Associa inoltre coating, strength member e outer jacket alle rispettive funzioni di protezione.
- Un tecnico elimina tutti gli strati esterni lasciando soltanto core e cladding. Spiega perché il principio ottico potrebbe ancora esistere, ma il cavo diventerebbe molto meno adatto all'uso reale.
- Utilizza infine la metafora del "tunnel di specchi" della dispensa per spiegare in modo intuitivo come la luce viene guidata lungo la fibra.

Bibliografia

- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2022). *IEEE standard for Ethernet* (IEEE Std 802.3-2022). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2022.9844436>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2025). *IEEE standard for information technology—Telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications* (IEEE Std 802.11-2024). <https://standards.ieee.org/ieee/802.11/10548/>
- International Electrotechnical Commission. (2023). *Optical fibre cables—Part 1-1: Generic specification—General* (IEC 60794-1-1:2023). <https://webstore.iec.ch/en/publication/68873>
- International Organization for Standardization. (1994). *Information technology—Open Systems Interconnection—Basic Reference Model: The Basic Model* (ISO/IEC 7498-1:1994). <https://www.iso.org/standard/20269.html>
- International Telecommunication Union. (1993). *Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms* (Recommendation ITU-T G.701). <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.701/en>
- International Telecommunication Union. (2024a). *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable* (Recommendation ITU-T G.652). <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-202408-I/en>
- International Telecommunication Union. (2024b). *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable* (Recommendation ITU-T G.650.1). <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.1-202401-I/en>
- Ling, S. J., Sanny, J., & Moebis, W. (2016). *University physics: Volume 3*. OpenStax. <https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/1-4-total-internal-reflection>

Approfondimenti

- James F. Kurose e Keith W. Ross, Reti di calcolatori e Internet. Un approccio top-down, 8ª ed., Pearson, 2022 — Introduce i mezzi trasmissivi e le tecnologie di accesso alla rete, permettendo di approfondire il rapporto tra livello fisico, segnali e infrastrutture utilizzate per trasportare i dati.
- Andrew S. Tanenbaum, Nick Feamster e David J. Wetherall, Reti di calcolatori, 6ª ed., Pearson, 2023 — Approfondisce il livello fisico, la trasmissione dei segnali, i mezzi trasmissivi guidati e wireless e i principi alla base delle comunicazioni su rame, fibra ottica e onde radio.
- Achille Pattavina, Internet e reti. Fondamenti, 3ª ed., Pearson, 2022 — Analizza i fondamenti delle comunicazioni nelle reti, comprendendo livello fisico, trasmissione dell'informazione, mezzi di comunicazione e tecniche utilizzate per rappresentare e trasferire i dati sui collegamenti.
- Alessandro Falaschi, Sistemi di telecomunicazione. Nuova ediz., Youcanprint, 2023 — Approfondisce segnali analogici e digitali, codifica e modulazione, trasmissione su cavo, fibra ottica e onde radio, fornendo una trattazione più specifica dei principi fisici alla base delle telecomunicazioni.

Nota editoriale

Per la realizzazione di questi materiali ho utilizzato strumenti di intelligenza artificiale generativa come supporto alla scrittura, in particolare per migliorare la forma del testo, riorganizzare i contenuti, correggere la formulazione e velocizzare alcune attività redazionali.

Lavorando autonomamente alla produzione di questi materiali, cerco infatti di automatizzare tutte le attività che possono esserlo, così da poter dedicare più tempo alla ricerca, alla progettazione e allo sviluppo dei contenuti.

L'intelligenza artificiale non determina però i contenuti dell'opera: la scelta degli argomenti, la struttura, le idee, le interpretazioni, gli esempi e l'impostazione didattica sono elaborati da me. L'IA viene quindi utilizzata principalmente come strumento di supporto alla produzione e alla revisione formale, mentre la responsabilità autoriale e progettuale dei contenuti rimane mia.

Salvo diversa indicazione, questo materiale è distribuito con licenza Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale (CC BY-NC-SA 4.0).

È quindi possibile condividere, ridistribuire, modificare e creare opere derivate a partire dal materiale, a condizione di attribuirne correttamente la paternità, di non utilizzarlo per scopi commerciali e di distribuire eventuali versioni modificate o derivate con la stessa licenza.

