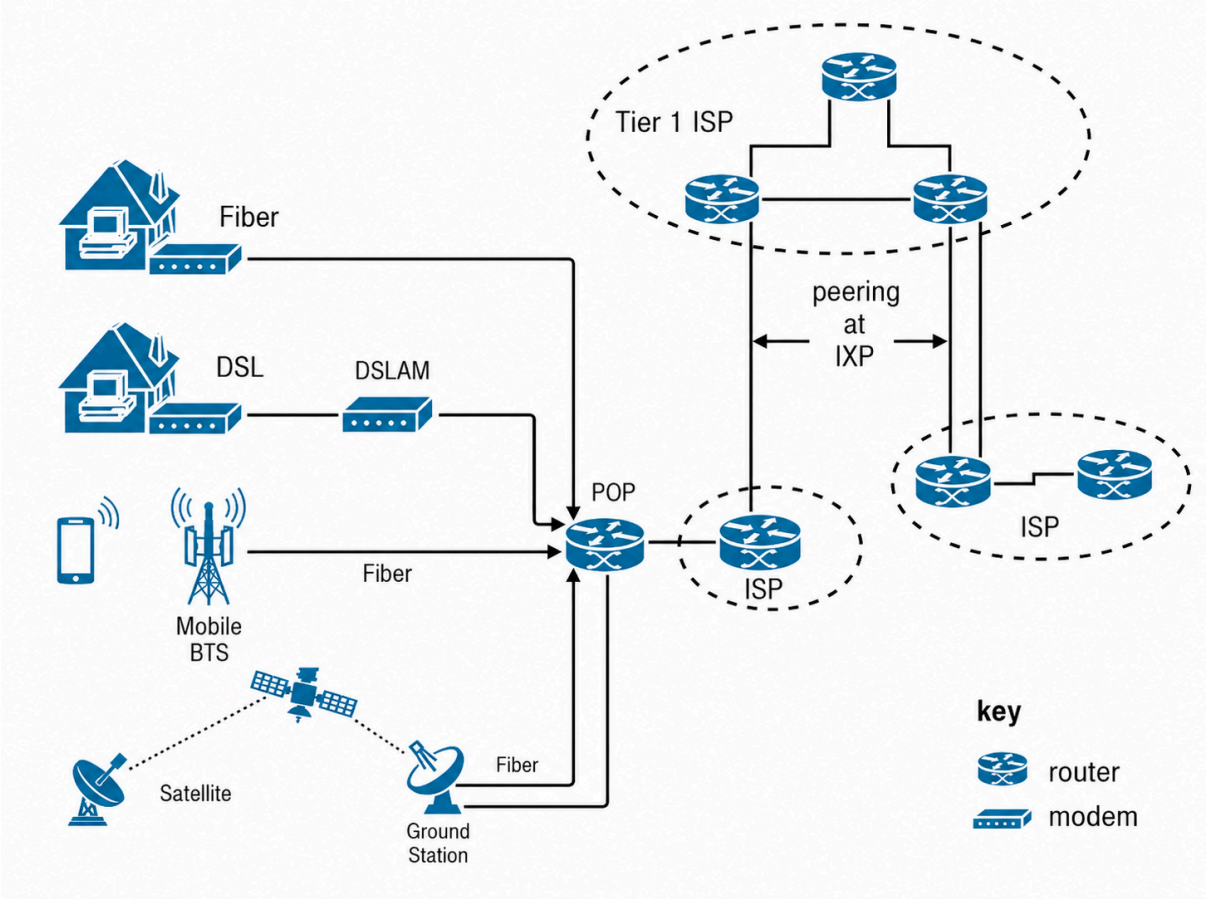
Architettura ISP

Scritto da [Febogamedev]

Dopo aver visto che cos'è una WAN e che ruolo hanno gli ISP, possiamo osservare più da vicino cosa accade quando un utente si collega a Internet.
La connessione non avviene direttamente con "tutto Internet", ma passa prima attraverso la rete del proprio operatore, che a sua volta è collegata ad altre reti.

L'immagine sottostante mostra cosa accade quando un utente si collega a Internet:



Per collegarsi a Internet, un computer si connette a un *ISP*, il quale permette al computer di scambiarsi pacchetti con tutti gli altri host accessibili su Internet (Kurose & Ross, 2026).
Alcuni metodi comuni per connettersi a un *ISP* sono il doppino telefonico in rame, la fibra ottica, la rete mobile e, in alcuni casi, i collegamenti radio o satellitari (Kurose & Ross, 2026).
Di seguito esaminiamo la linea telefonica e la fibra ottica:

Linea telefonica
La ***DSL*** (digital subscriber line) sfrutta la linea telefonica per la trasmissione dei dati digitali.

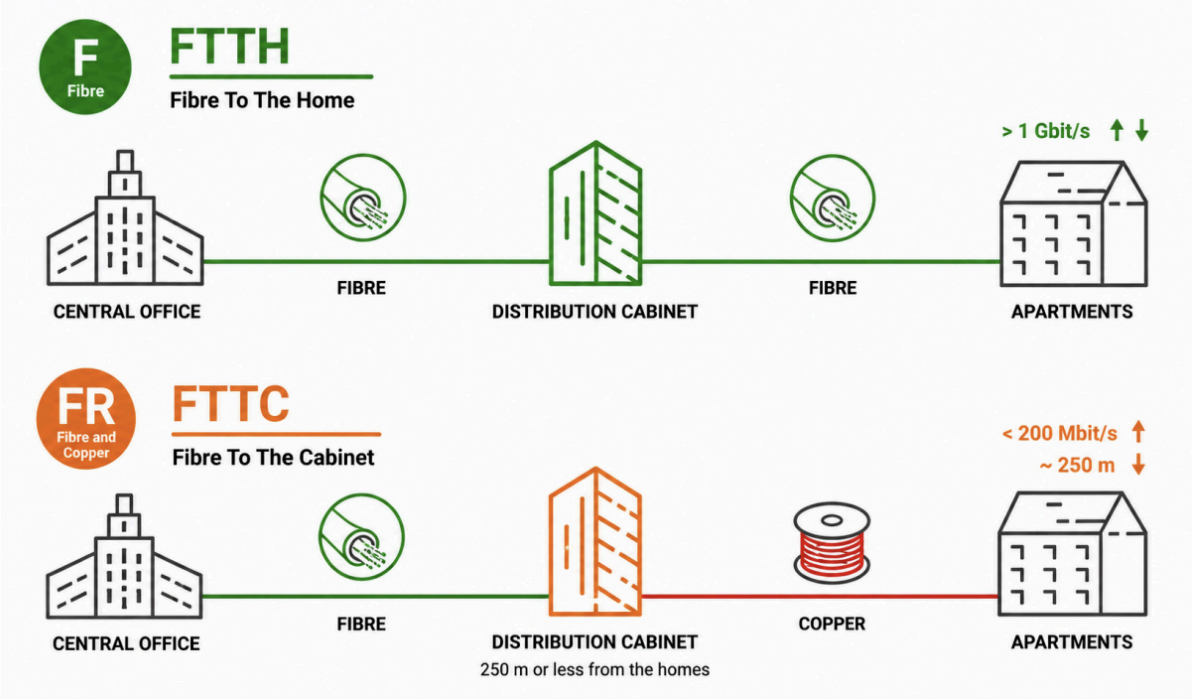
Nella *DSL*, il computer è connesso a un dispositivo chiamato **modem *DSL*** che trasforma i dati digitali in segnali adatti a viaggiare sul doppino telefonico.
Dall'altro capo, un dispositivo chiamato ***DSLAM*** (digital subscriber line access multiplexer) riceve questi segnali e li immette nella rete dell'operatore (International Telecommunication Union [ITU], 1999; Kurose & Ross, 2026).

In pratica, il modem di casa invia i dati attraverso il doppino telefonico in rame. La linea arriva a un *DSLAM*, normalmente collocato nella centrale telefonica o in un armadio stradale. Il *DSLAM* riceve contemporaneamente le linee di molti abbonati, mantiene separato il traffico di ciascuno e lo inoltra verso la rete dell'ISP tramite un collegamento con capacità maggiore, spesso in fibra (Kurose & Ross, 2026).

Le prestazioni di questo metodo possono essere limitate dall'ultimo miglio.
In telecomunicazioni, per «**ultimo miglio**» (in inglese *last mile*) si intende il tratto finale della rete di accesso che collega l'infrastruttura dell'operatore all'utente.
Nelle connessioni DSL, l'ultimo miglio può costituire un collo di bottiglia, perché utilizza il doppino telefonico in rame, generalmente più lento dei collegamenti in fibra presenti nel resto della rete dell'*ISP* (ITU, 1999; Kurose & Ross, 2026).

Fibra ottica
Per ottenere accessi a Internet più veloci, la fibra ottica può essere portata più vicino alle abitazioni o direttamente al loro interno, poiché offre prestazioni superiori rispetto al doppino telefonico (ITU, 2008; Kurose & Ross, 2026).
Ciò avviene mediante configurazioni come ***FTTH*** (fiber to the home) e ***FTTC*** (fiber to the cabinet).

- Nella tecnologia *FTTC*, la fibra ottica viene portata fino a un cabinet (armadio di distribuzione) situato a breve distanza dagli edifici residenziali o commerciali. Dal cabinet, il collegamento raggiunge il cliente finale attraverso il rame preesistente. Il collo di bottiglia dell'ultimo miglio non scompare, ma è ridotto.
- La tecnologia *FTTH*, invece, offre prestazioni superiori e connessioni più stabili rispetto a *FTTC*, poiché la fibra ottica arriva direttamente all'abitazione dell'utente. Nello specifico, l'ultimo tratto non è più realizzato in rame, ma in fibra ottica; si riduce così il collo di bottiglia tipico delle connessioni basate sul doppino telefonico (ITU, 2008; Kurose & Ross, 2026).



A questo punto i pacchetti possono entrare nella rete dell'*ISP* ed essere instradati (Kurose & Ross, 2026).
Il sito della rete attraverso cui gli utenti si collegano all'*ISP* e il traffico entra nella sua infrastruttura viene chiamato **Point of Presence (*POP*).**
Le reti *ISP* possono essere regionali, nazionali o internazionali.
Il backbone (dorsale) dell'*ISP* consiste in linee di trasmissione a lunga distanza che interconnettono i *POP* in diverse città servite dall'I*SP* (Kurose & Ross, 2026).

Esempio
Immagina di abitare a Palermo. Il tuo ISP ha un *PoP* a Palermo, collegato tramite fibra al backbone nazionale.
Quando navighi, il tuo traffico entra nel *PoP* locale, viene smistato e poi instradato nella rete nazionale o internazionale.

Quando un pacchetto deve raggiungere una destinazione su Internet, può seguire percorsi diversi (Kurose & Ross, 2026; Rekhter et al., 2006).

- Se la destinazione si trova all'interno della rete dello stesso ISP, il pacchetto può essere instradato direttamente nella rete dell'operatore.
- Se invece la destinazione si trova in una rete diversa, il pacchetto deve passare da un'interconnessione tra reti. Gli ISP possono scambiarsi traffico tramite accordi di **peering**, cioè accordi con cui due reti si collegano direttamente per scambiarsi dati (Center for Applied Internet Data Analysis [CAIDA], n.d.; Kurose & Ross, 2026).

Molti di questi scambi avvengono presso gli **Internet Exchange Point (*IXP*)**, infrastrutture fisiche in cui *ISP*, reti aziendali e grandi fornitori di contenuti si interconnettono per scambiare traffico in modo più efficiente (Euro-IX, n.d.; Kurose & Ross, 2026).

Esempio
Gli *IXP* non sono ovunque, ma si trovano principalmente nei grandi nodi strategici di connessione: città con molta infrastruttura di rete, dove transitano operatori nazionali e internazionali.
Un *IXP* è, in pratica, un "mercato" dove i vari *ISP*, reti aziendali e content provider (come Google, Meta, Netflix) si scambiano traffico per ridurre costi e latenza (cioè il ritardo con cui i dati arrivano a destinazione).
In Italia esistono diversi Internet Exchange Points, tra cui *MIX* a Milano, *NaMeX* a Roma e *TOP-IX* a Torino (MIX, n.d.; NaMeX, n.d.; TOP-IX, n.d.).

Quando un *ISP* non può raggiungere una destinazione tramite le proprie connessioni o tramite accordi di peering, può acquistare transito *IP* da un altro operatore, chiamato **transit provider**.
Un transit provider è un operatore che vende connettività di transito ad altri *ISP* o clienti: consente di instradare il traffico attraverso la propria rete per raggiungere destinazioni che non sarebbero altrimenti accessibili direttamente dalla rete del cliente (CAIDA, n.d.; Kurose & Ross, 2026).
Questo permette all'organizzazione cliente di avere accesso a Internet senza dover negoziare accordi di peering con molteplici reti.
La connettività che offre il transit provider si chiama **transito *IP***.

Gerarchie ISP

Ora che abbiamo visto come funziona un singolo *ISP*, possiamo osservare il quadro d'insieme.
Gli *ISP* possono differire per estensione della rete e relazioni di interconnessione; per descriverli si usa spesso una classificazione commerciale in livelli.
Questi livelli sono chiamati *Tier*, ma non costituiscono uno standard formale e i confini tra le categorie possono essere sfumati (CAIDA, n.d.; Kurose & Ross, 2026).
Questa classificazione aiuta a comprendere come le reti si interconnettono e come il traffico raggiunge destinazioni in tutto il mondo.
In modo semplificato, si distinguono tre livelli principali:

- Tier 1.
- Tier 2.
- Tier 3.

Tier 3 – Gli ISP locali o retail
Gli *ISP* Tier 3 sono quelli più vicini all'utente finale.

- Non hanno una rete propria estesa.
- Acquistano connettività da *ISP* Tier 2 e, in alcuni casi, direttamente da Tier 1, che svolgono il ruolo di transit provider.

- Offrono servizi di accesso a Internet a utenti domestici, scuole, uffici e piccole imprese.
- Operano su scala locale o regionale.
- In genere non partecipano direttamente al peering su scala globale (CAIDA, n.d.; Kurose & Ross, 2026).

Esempio
I Tier 3 possono essere piccoli operatori locali, provider wireless attivi in zone montane o operatori regionali in aree meno servite.

Tier 2 – I provider regionali
Gli *ISP* Tier 2 sono intermediari: possiedono reti proprie, ma acquistano transito per raggiungere almeno una parte di Internet.

- Possono avere accordi di peering con altre reti, non necessariamente dello stesso livello.
- Pagano uno o più Tier 1 per il transito *IP*, cioè per inviare i dati verso reti che non riescono a raggiungere direttamente. In questo caso, gli *ISP* Tier 1 agiscono da transit provider per gli *ISP* Tier 2.
- Spesso operano su scala nazionale o continentale.
- Forniscono connettività a *ISP* Tier 3 o a grandi aziende (CAIDA, n.d.; Kurose & Ross, 2026).

Esempio
Un utente può collegarsi a un *ISP* classificabile come Tier 2 oppure Tier 3, in base alla struttura e alle relazioni commerciali dell'operatore.
Supponiamo che un *ISP* nazionale possieda una rete propria, accordi di peering e data center, ma acquisti transito per raggiungere alcune destinazioni.
In questa classificazione semplificata, l'operatore può essere considerato Tier 2.
L'utente si collega quindi all'*ISP*, che usa la propria rete, gli accordi di peering e i transit provider per raggiungere il resto di Internet.

Un ISP Tier 2 può agire da transit provider per altri ISP Tier 2 per questi motivi:

- Motivi economici: un Tier 2 può offrire, in certe regioni, prezzi più competitivi rispetto a quelli di un Tier 1.
- Motivi tecnici: può offrire prestazioni migliori su tratte specifiche.
- Ridondanza: avere più transit provider (Tier 1 e Tier 2) aumenta la resilienza e la continuità del servizio (Kurose & Ross, 2026).

Esempio

Un Tier 2 con una buona rete in Europa potrebbe fornire transito a un altro Tier 2 che ha bisogno di accesso efficiente a quella regione, pur essendo già collegato anche a un Tier 1.
Esempio concreto:

- L'*ISP* A è un Tier 2 in Italia con buona rete nazionale e collegamenti con due Tier 1.
- L'*ISP* B è un altro Tier 2 in Spagna.
- L'*ISP* B può comprare transito IP da A, ad esempio per migliorare il routing verso l'Italia o come percorso di backup.

Tier 1 – Gli operatori backbone globali

In cima alla classificazione vi sono grandi operatori internazionali che gestiscono estese dorsali con migliaia di router collegati tramite fibra ottica.
Questi *ISP*, chiamati Tier 1, non acquistano transito IP e gestiscono dorsali internazionali che trasportano una parte del traffico globale tra continenti, anche tramite cavi sottomarini.
Infatti un operatore Tier 1 può raggiungere tutte le reti di Internet senza acquistare transito *IP*, grazie ai propri collegamenti e agli accordi di peering con gli altri Tier 1.
In pratica, i Tier 1 svolgono un ruolo fondamentale nel collegamento tra grandi reti e continenti.
Gli *ISP* Tier 1 raggiungono tutte le destinazioni Internet attraverso le proprie reti e accordi di peering senza regolamento economico (settlement-free) con gli altri Tier 1; non acquistano quindi transito IP (CAIDA, n.d.; Kurose & Ross, 2026).

Materiale di supporto

Esercizi

Dal computer alla rete dell'ISP
Marco utilizza una connessione DSL. Il suo computer invia una richiesta verso un sito Internet.
La connessione domestica utilizza il doppino telefonico e, nella zona di Marco, le linee degli utenti raggiungono un DSLAM installato in un armadio stradale.

Rispondi alle seguenti domande:
- Spiega quale funzione svolge il modem DSL quando Marco invia i dati.
- Descrivi il percorso dei dati dal modem fino al DSLAM.
- Spiega quale funzione svolge il DSLAM.
- Spiega perché il DSLAM può ricevere contemporaneamente le linee provenienti da molti utenti senza confondere il loro traffico.
- Indica come i dati possono essere inoltrati dal DSLAM verso la rete dell'ISP.
- Spiega perché il collegamento in rame tra l'abitazione e l'infrastruttura dell'operatore può rappresentare un collo di bottiglia.
- Individua quale parte del percorso viene definita ultimo miglio.

FTTC o FTTH?
Due famiglie abitano nello stesso quartiere.
- Famiglia A: utilizza una connessione FTTC. La fibra arriva fino all'armadio stradale, mentre l'ultimo tratto fino all'abitazione utilizza il rame.
- Famiglia B: utilizza una connessione FTTH. La fibra arriva direttamente all'abitazione.

Confronta le due soluzioni.
- Ricostruisci il percorso fisico seguito dalla connessione nella soluzione FTTC.
- Ricostruisci il percorso fisico seguito dalla connessione nella soluzione FTTH.
- Individua in quale delle due soluzioni rimane presente un tratto finale in rame.
- Spiega perché nella FTTC il problema dell'ultimo miglio viene ridotto ma non eliminato.
- Spiega perché la FTTH può offrire prestazioni superiori e una connessione più stabile.
- Un operatore vuole ridurre il più possibile il collo di bottiglia dell'ultimo miglio. Indica quale delle due tecnologie dovrebbe privilegiare e motiva la scelta.

Dal POP al backbone
Un utente che abita a Palermo utilizza un ISP nazionale. Il suo traffico entra nella rete dell'operatore attraverso un POP di Palermo.

L'ISP possiede inoltre POP in Roma, Milano e Torino, collegati attraverso la propria dorsale nazionale.

Analizza la situazione.

- Spiega che cosa rappresenta un Point of Presence (POP).
- Descrivi cosa accade quando il traffico dell'utente raggiunge il POP di Palermo.
- Spiega che cosa si intende per backbone dell'ISP.
- Descrivi quale funzione svolge il backbone nel collegamento tra POP situati in città differenti.
- Immagina che la destinazione si trovi all'interno della stessa rete dell'ISP. Spiega perché il traffico potrebbe rimanere interamente nella rete dell'operatore.
- Immagina invece che la destinazione appartenga a un'altra rete. Spiega perché il traffico dovrà prima o poi uscire dalla rete dell'ISP.
- Ricostruisci il percorso concettuale utente → rete di accesso → POP → backbone → destinazione.

Due ISP devono scambiarsi traffico

L'ISP A e l'ISP B hanno molti clienti che comunicano frequentemente tra loro.

Attualmente il traffico tra le due reti segue un percorso indiretto. I due operatori stanno valutando di collegarsi direttamente presso un Internet Exchange Point.

Rispondi alle seguenti domande:

- Spiega che cosa si intende per peering.
- Spiega quale funzione può svolgere un IXP nella situazione descritta.
- Indica quali tipi di organizzazioni, oltre agli ISP, possono collegarsi a un IXP secondo la dispensa.
- Spiega perché collegare direttamente le due reti può rendere lo scambio del traffico più efficiente.
- Spiega perché un percorso più diretto può contribuire a ridurre la latenza.
- Un grande fornitore di contenuti vuole scambiare direttamente traffico con diversi ISP. Spiega perché un IXP può essere un punto strategico per realizzare queste interconnessioni.
- Spiega perché un IXP non deve essere confuso con un ISP che vende semplicemente una normale connessione Internet agli utenti finali.

Quando il peering non basta

Un piccolo ISP riesce a raggiungere direttamente alcune reti attraverso accordi di peering, ma non dispone di collegamenti sufficienti per raggiungere tutte le destinazioni presenti su Internet.

L'operatore decide quindi di acquistare un servizio da un altro ISP più grande.

Analizza la soluzione.

- Spiega che cosa si intende per transito IP.
- Spiega quale funzione svolge il transit provider.
- Descrivi cosa accade quando un cliente del piccolo ISP vuole raggiungere una rete che non è accessibile attraverso i collegamenti diretti o gli accordi di peering disponibili.
- Spiega perché acquistare transito permette al piccolo ISP di evitare di stipulare accordi diretti con ogni rete di Internet.

- Confronta il ruolo del peering con quello del transito IP.
- Immagina che l'ISP utilizzi due transit provider differenti. Spiega quale possibile vantaggio legato alla continuità del servizio viene indicato nella dispensa.
- Un secondo provider offre un percorso particolarmente efficiente verso una determinata regione. Spiega perché un ISP potrebbe scegliere di acquistare transito anche da questo operatore.

Ricostruire la gerarchia degli ISP

Considera tre operatori:

- ISP A: opera solamente in alcune province, vende connessioni a famiglie e piccole aziende e acquista connettività da operatori più grandi.
- ISP B: possiede una rete nazionale, ha accordi di peering con diverse reti, fornisce connettività ad alcuni piccoli ISP, ma deve acquistare transito per raggiungere una parte di Internet.
- ISP C: possiede una grande dorsale internazionale, raggiunge tutte le reti Internet attraverso la propria infrastruttura e accordi di peering con altri grandi operatori e non acquista transito IP.

Analizza i tre casi.

- Classifica ISP A, ISP B e ISP C rispettivamente come Tier 1, Tier 2 o Tier 3, motivando ogni scelta.
- Spiega perché ISP A deve acquistare connettività da altri operatori.
- Spiega perché ISP B può contemporaneamente acquistare transito da un operatore più grande e venderlo a un operatore più piccolo.
- Spiega quale caratteristica distingue principalmente ISP C dagli altri due per quanto riguarda il transito IP.
- Descrivi un possibile percorso seguito da un pacchetto inviato da un cliente di ISP A verso una destinazione molto lontana, indicando quali operatori potrebbe attraversare.
- Spiega perché la classificazione in Tier è utile per comprendere le relazioni tra operatori, ma non costituisce uno standard formale con confini sempre rigidi.
- Ricostruisci infine il percorso completo di un pacchetto collegando i principali concetti della dispensa: utente → rete di accesso → POP → backbone ISP → peering oppure transito IP → altre reti → destinazione.

Bibliografia

Center for Applied Internet Data Analysis. (n.d.). *AS relationships*. Retrieved August 17, 2026, from https://www.caida.org/catalog/datasets/as-relationships/

Euro-IX. (n.d.). *Join Euro-IX*. Retrieved August 17, 2026, from https://www.euro-ix.net/en/forixps/join-euro-ix/

International Telecommunication Union. (1999). *Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers (Recommendation ITU-T G.992.1)*. https://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.1

International Telecommunication Union. (2008). *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics (Recommendation ITU-T G.984.1)*. https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1

Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2026). *Computer networking: A top-down approach* (9th ed.). Pearson. https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/computer-networking-a-top-down-approach/P200000013385/9780135415603

MIX. (n.d.). *Chi siamo*. Retrieved August 17, 2026, from https://www.mix-it.net/chi-siamo/

NaMeX. (n.d.). *What we do*. Retrieved August 17, 2026, from https://www.namex.it/what-we-do/

Rekhter, Y., Li, T., & Hares, S. (2006). *A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4) (RFC 4271)*. RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC4271

TOP-IX. (n.d.). *Cos'è TOP-IX*. Retrieved August 17, 2026, from https://top-ix.org/consorzio/

Approfondimenti

- James F. Kurose e Keith W. Ross, Reti di calcolatori e Internet. Un approccio top-down, 8ª ed., Pearson, 2022 — Approfondisce l'architettura di Internet, le reti di accesso, il funzionamento dei router e l'instradamento tra sistemi autonomi tramite BGP.
- Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, Reti di calcolatori, 5ª ed., Pearson, 2018 — Offre una visione sistematica delle reti, dai mezzi trasmissivi e dalle tecnologie di accesso fino alle dorsali, al routing e all'organizzazione di Internet.
- Achille Pattavina, Reti di telecomunicazione, 2ª ed., McGraw-Hill Education, 2007 — Collega le reti dati ai principi delle telecomunicazioni e aiuta a comprendere accesso, commutazione, trasmissione e architetture delle grandi reti.
- Enrico Cipollone e Francesco Cipollone, Progettazione e conduzione di reti di computer. Routing BGP, vol. 3, EPC Libri, 2012 — È dedicato al routing BGP negli scenari dei grandi utenti e dei service provider, con attenzione a eBGP, iBGP, attributi, filtri e scalabilità.
- Tiziano Tofoni, MPLS. Fondamenti e applicazioni alle reti IP, Hoepli, 2003 — Approfondisce MPLS, l'architettura BGP/MPLS, l'ingegneria del traffico e la qualità del servizio nelle dorsali IP degli operatori.

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.

