

– 1 – Introduzione alle reti di calcolatori.

– 1.1 – Reti e funzionamento.

Internet può essere descritto come una rete di calcolatori interconnessi e composta da:

- Host, sistemi terminali, ovvero dispositivi della rete;
- Communication Link, ovvero una rete di collegamento (costituita da fili di rame, fibre ottiche ecc) dotata di velocità di trasmissione e lunghezza di banda;
- Commutatori di pacchetti, ovvero ulteriori dispositivi che inoltrano i pacchetti;
- ISP, Internet Service Provider, attraverso i quali si accede ad Internet;
- Protocolli di comunicazione, che controllano invio e ricezione dei messaggi.

– 1.1.1 – Accesso alle informazioni.

Esistono diversi modelli con funzioni diverse per lo scambio di informazioni.

– 1.1.1.1 – Modello Client-Server.

Il modello Client-Server, che è alla base delle applicazioni network, è utilizzato per l'accesso alle risorse dell'Internet. Vi sono:

- Client: colui che richiede le informazioni o qualsiasi servizio di rete;
- Server: colui che fornisce le informazioni o qualsiasi servizio di rete.

In esso sono coinvolti almeno due processi:

- il processo client che manda un messaggio, attraverso la rete, al processo server e resta in attesa di una risposta;
- il processo server che, una volta ricevuta una richiesta, esegue il lavoro/recupera dati e restituisce la risposta al processo client.

– 1.1.1.2 – Peer to Peer.

Nel modello P2P ogni elaboratore può assumere il ruolo sia di client che di server. Data la multifunzionalità degli elaboratori, essi hanno un proprio database delle informazioni quindi non sono necessari server dedicati. Utile al file sharing o telefonia internet.

– 1.1.1.3 – Comunicazioni da persona a persona.

Grazie al programma talk di UNIX si sono potute sviluppare applicazioni per la comunicazione tra persone come: instant message, email, wiki, ecc.

– 1.1.2 – Tipologie delle reti.

Le reti si possono distinguere per l'accesso a dei tipi di dati. Vi sono:

- Rete di accesso a banda larga e mobile;
- Reti di distribuzioni per contenuti o data center: esse muovono grandi quantità di dati tra i server tramite banda trasversale ed inoltre sfruttano le CDN(Content Delivery Network) per connettere l'utente richiedente con il server più vicino;

- Reti di transito per l'accesso ai data center, può capitare che il servizio richiesto non risieda nella propria rete quindi esso deve attraversare internet dal data center alla rete di accesso per poi finire nel dispositivo richiedente;
- Reti aziendali, che permette il file sharing tra dispositivi della rete.

Nota: i contenuti sono replicati in un singolo CDN e per decidere quale copia servire si tiene conto della distanza tra client e replica, carico su ciascun server della CDN e traffico e congestione della rete.

– 1.1.3 – Tecnologia di rete.

Come già accennato, le reti possono differire per ampiezza del raggio d'azione. Abbiamo:

– 1.1.3.1 – Personal Area Network (PAN).

Le reti PAN connettono i dispositivi entro un raggio molto piccolo. Un esempio sono le reti che consentono la connessione di periferiche al computer. Solitamente viene adottato il paradigma master-slave, dove il computer funge da master e comunica con le periferiche con informazioni come indirizzi da usare, frequenza ecc.

– 1.1.3.2 – Local Area Network (LAN).

Le reti LAN sono reti private in grado di operare all'interno o nelle vicinanze di un edificio. Consentono connettere tra loro gli elaboratori tramite due tipi di connessione:

- LAN wireless: ogni PC è dotato di ricevitore radio e antenna e si connette agli altri tramite Access Point, router o direttamente tramite configurazione mesh (reti simili a quelle wi fi di casa con punti di accesso simili);
- LAN cablata: usato diverse tecnologie di trasmissione. Sono estremamente veloce con una latenza molto bassa e quasi assenza di errori di trasmissione.

– 1.1.3.3 – Metropolitan Area Network (MAN).

Le MAN sono reti che ricoprono un'intera città. In esse i segnali vengono inseriti nella stazione di testa centralizzata per la successiva distribuzione.

– 1.1.3.4 – Wide Area Network (WAN).

Le WAN ricoprono un'area geografica molto estesa, spesso una nazione o un continente. La rete è costituita da:

- Host e PC delle varie sedi;
- Subnet formata da linee di trasmissione e elementi di commutazione, generalmente router e/o switch. Quest'ultimi, all'arrivo dei dati, devono scegliere la linea di uscita tramite forwarding e inoltrare i dati su di essa.

La maggior parte delle volte, le WAN sono formate da reti connesse da coppie di router. Per la comunicazione tra due si applicano degli algoritmi di routing per trovare i percorsi e scegliere quello migliore.

– 1.1.3.5 – Internetwork.

Date le differenze hardware/software tra le reti, si deve trovare un adattamento per poter effettuare la loro connessione, questo è detto gateway. Quindi possiamo definire una internetwork come una rete di reti connesse tra di loro distinte e indipendenti.

– 1.1.4 – Architettura di Internet.

Per collegarsi ad Internet, bisogna effettuare una connessione ad un ISP che fornisce diversi tipi di accesso (TV, fibre ottiche, DSL). Una volta connessi all'ISP i nostri dati attraversano diversi ISP, tramite store & forward, fino a quello del ricevente.

Gli ISP sono dotati di un POP, Point of Presence, che permette appunto la connessione ad essi. Tale connessione può avvenire con:

- Peering Point: i router degli ISP sono connessi a coppie, utile per ISP molto estese;
- NAP: Neutral Access Point: i router hanno possono avere più di una connessione.

Gli ISP adottano una gerarchia a 3 livelli:

- ISP Tier 1: essi formano la dorsale di Internet, quindi tutti devono connettersi a loro per raggiungere il resto dell'Internet, non pagano quindi il transito;
- ISP Tier 2: detti ISP regionali data la loro copertura, si connettono a Tier 1, pagando il transito, e altri Tier 2;
- ISP Tier 3: detti anche di accesso o last hop network. Sono i primi ISP a cui si effettua normalmente l'accesso.

– 1.2 – Modelli protocollari.

Un protocollo definisce il formato e l'ordine dei messaggi scambiati tra più entità in comunicazione, così come le azioni in fase di trasmissione e/o ricezione.

– 1.2.1 – Progettazione.

Nella progettazione di un protocollo si devono garantire affidabilità e evolvibilità.

– 1.2.1.1 – Affidabilità.

L'affidabilità di un protocollo è definita da:

- Capacità di ripristino dagli errori o guasti tramite error detection e error correction;
- Assegnazione delle risorse in maniera dinamica in base alle necessità tramite statistical multiplexing;
- Controllo del flusso affinché non vi sia un'inondazione di informazioni;
- Congestione, dovuta al traffico eccessivo di dati che la rete non riesce a gestire, non garantendo la consegna dei pacchetti.

– 1.2.1.2 – Evolvibilità.

L'evolvibilità consiste in:

- Implementazioni sia incrementali che scalari tramite protocol layering;
- identificazione di chi trasmette e riceve un messaggio. Questa procedura è detta Addressing nei livelli bassi e Naming nei livelli alti.

– 1.2.2 – Stratificazione.

Una volta definito il sistema, si ricorre ad un modello di servizio per definire le operazioni possibili. Si individuano dei livelli, ognuno dei quali implementa uno specifico servizio tramite operazioni che utilizzano servizi dello stesso livello o di un livello inferiore. Ciò rende possibile identificare e relazionare elementi del sistema in modo da introdurre un modello di riferimento. Questa procedura modulare facilita: progettazione, gestione e aggiornamento del sistema, implementazione di ulteriori servizi in maniera trasparente a quelli già presenti.

– 1.2.3 – Architettura di rete.

La maggior parte delle reti sono organizzate a livelli, ognuno dei quali offre servizi diversi ai livelli superiori. Ovviamente i dati non sono trasferiti da un livello di una macchina allo stesso di un'altra in maniera diretta bensì passano attraverso i livelli sottostanti fino al primo livello, il supporto fisico, che mette in atto la vera comunicazione e trasferimento. Tra ciascun livello vi è un'interfaccia che definisce le operazioni e servizi offerti dal livello inferiore a quello superiore.

Nota: l'insieme dei protocolli usati da un sistema è detto protocol stack, che insieme ai livelli definisce la network architecture.

– 1.2.3.1 – Impacchettamento dati.

Come già detto i dati per essere trasmessi devono attraversare i livelli sottostanti. Durante questi passaggi vengono aggiunte delle informazioni. Tra esse vi è l'header, aggiunto durante il primo attraversamento, che contiene un identificativo e informazioni per la consegna.

Possono essere imposti limiti dai protocolli come per la dimensione che porta a dover suddividere il messaggio in pacchetti dotati di header e trailer. Una volta arrivati al destinatario il messaggio risale i vari livelli rimuovendo le informazioni aggiuntive e consegnando il messaggio.

– 1.2.4 – Connessione e affidabilità.

Ogni livello offre a quello superiore due tipi di servizi e vari livelli di affidabilità. I servizi di connessione vengono distinti tra orientati alla connessione e senza connessione.

- Orientato alla connessione: viene stabilita prima una connessione, durante la quale le due parti concordano i parametri da usare (dimensione, qualità ecc), e una volta usata la si rilascia. I pacchetti arrivano a destinazione nell'ordine in cui sono stati trasmessi;
- Senza connessione: anche detto datagram, ogni pacchetto ha l'indirizzo di destinazione ed è instradato in maniera indipendente dagli altri pacchetti. Nel caso in cui il messaggio deve passare per altri nodi prima di arrivare a destinazione, ogni nodo applicherà un approccio store & forward.

Per quanto riguarda l'affidabilità di un servizio si intende la capacità di non perdere dati e consegnarli nell'ordine giusto. Generalmente quindi si opta per un servizio orientato alla connessione con conferme di ricezione, che però possono appesantire il sistema e causare ritardi. Alcune tecniche sono:

- message sequence: vengono rispettati i confini dei messaggi;
- byte stream: la connessione è un flusso di byte senza alcuna divisione.

– 1.2.4.1 – Comunicazione.

- Comunicazione fisica: i dati seguendo un percorso fisico scendono la pila protocollare e dal mezzo fisico vengono instradati al destinatario e risalgono fino al rispettivo livello di partenza;

- Comunicazione logica: ogni livello è distribuito in entità, ognuna delle quali implementano delle funzionalità, che scambiano messaggi solo con i loro pari.

– 1.2.5 – Primitive di servizio.

Un servizio è formalmente descritto da un insieme di primitive, operazioni, che permettono di accedere al servizio. Questi set di primitive differiscono in base al tipo di servizio, con o senza connessione. Tra quelle conosciute vi sono:

- LISTEN: attesa bloccante di una connessione in arrivo, indica che un server è pronto ad accettare una connessione;
- CONNECT: stabilisce una connessione con un peer in attesa, va specificato a chi connettersi, il client manda un pacchetto e resta sospeso finché non riceve risposta;
- ACCEPT: accetta una richiesta di connessione da un peer, restituendo una risposta al client sbloccandolo;
- RECEIVE: attesa bloccante per un messaggio in arrivo, blocca il server in attesa di richieste;
- SEND: manda un messaggio dal peer al server e viceversa, sblocca il server per eseguire la richiesta o sblocca il client per esaminare la risposta;
- DISCONNECT: termine della connessione, è una chiamata bloccante che sospende il client e spedisce un pacchetto al server per rilasciare la connessione, il server eseguirà una DISCONNECT per confermare l'operazione.

– 1.2.6 – Protocolli non proprietari.

L'impossibilità a comunicare tra reti diverse fece sviluppare due pile protocollari per creare uno standard di comunicazione. Nacquero il TCP/IP e ISO/OSI.

– 1.2.6.1 – ISO/OSI.

L'ISO/OSI è una pila protocollare strutturata in 7 livelli, dall'alto 3 orientati al contenuto dell'informazione e 4 orientati alla rete. Si ha:

- Livello applicazione: si occupa della gestione della comunicazione delle applicazioni;
 - Livello presentazione: si occupa della gestione della sintassi e codifica dei dati anche con codifiche diverse;
 - Livello Sessione: si occupa di gestire le sessioni di utenti su macchine diverse, ovvero:
 - organizza il dialogo tra due terminali;
 - effettua il controllo del dialogo, uni o bidirezionale;
 - gestisce la sincronizzazione.
 - Livello trasporto: si occupa di:
 - trasferimento dati da sorgente a destinatario;
 - gestione connessioni multiple;
 - gestione canale punto-punto o senza garanzia di dati;
 - invio del messaggio a più destinazioni;
 - frammentazione flusso in frame;
-

- correzione errori e prevenzione congestione.
- Livello rete: si occupa di:
 - instradare pacchetti in maniera dinamica o statica;
 - congestione e qualità servizio.
- Livello collegameto: datalink, si occupa di creare dei frame per la trasmissione tra elementi della rete locale e controllo degli errori e del flusso;
- Livello fisico: interfacce meccaniche ed elettriche per la trasmissione dei bit tramite canale di comunicazione.

Quindi questo modello è utilizzabile per la progettazione di un applicativo di rete.

– 1.2.6.2 – TCP/IP.

Lo standard TCP/IP è diviso in 5 livelli:

- Applicazione: supporta applicazioni di rete;
- Trasporto: per il trasferimento dati host-host e può essere TCP (connection oriented) o UDP (connectionless);
- Rete o Internet: per l'instradamento dei datagram e protocolli di routing;
- Data Link o Collegamento: per il trasferimento dei frame lungo i mezzi di comunicazione;
- Fisico: trasferimento dei bit per mezzi fisici.

Nota: I livelli di presentazione e sessione del modello OSI vengono compensati dal sistema operativo del modello TCP.

– 1.2.6.3 – Incapsulamento.

L'incapsulamento è un processo attuato nel trasferimento dei dati. Dato il sistema di riferimento, ogni livello prende i dati dal livello superiore, aggiunge un header per creare una nuova unità dati (PDU, Protocol Data Unit) e la passa al livello sottostante.

– 1.2.6.4 – Dati.

I dati assumono nomi diversi in base al livello:

- Applicazione: messaggio o stream;
- Trasporto: segmenti o pacchetti;
- Rete: datagram;
- Collegamento: frame o trame.

– 2 – Livello fisico.

Per telecomunicazione si intende la comunicazione, quindi il trasferimento di dati, da un trasmettitore ad un ricevitore e posti ad una certa distanza. Si hanno quindi:

- Sorgente: elaboratore che invia il messaggio tramite una sorgente (voce, testo, video ecc);
- Trasmettitore: codifica il messaggio trasformandolo in un segnale e lo invia;
- Canale di trasmissione: il mezzo con il quale viaggia il messaggio;
- Ricevitore: riceve il segnale e lo decodifica facendolo tornare nel formato originale;
- Destinatario: elaboratore che riceve il messaggio.

Segnali.

Un segnale è una variazione temporale dello stato fisico di un sistema o una grandezza scalare come il potenziale nei segnali elettrici o l'ampiezza d'onda o la frequenza di un campo elettromagnetico.

La natura di un segnale quindi può essere:

- Elettrica: inviato tramite un conduttore;
- Luce: inviato tramite fibre ottiche;
- Onde radio: inviato tramite l'etere.

In tutti i casi si propaga sotto forma di onda elettromagnetica.

Basi teoriche dei segnali.

I segnali sono periodi caratterizzati quindi da:

- ampiezza: valore assoluto della cresta positiva o negativa;
- periodo: tempo che intercorre tra due valori di massimo (o minimo);
- frequenza: quante volte si ripete il valore massimo in un secondo.

La funzione caratteristica di un'onda è: $y = A \sin((2\pi f t + f(0))) = A \sin((2\pi/T) + f(0))$ con:

- A: ampiezza;
- $f(0)$: posizione segnale all'istante 0;
- T: periodo;
- f : $1/T$, frequenza, reciproco del periodo.

Se il canale trasmissivo è lineare allora vale il principio di sovrapposizione:

$x_1(t) \geq y_1(t) \wedge x_2(t) \geq y_2(t) \wedge x_3(t) \geq y_3(t) \implies x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) \geq y_1(t) + y_2(t) + y_3(t)$ Quindi la somma di onde sinusoidali con frequenze multiple tra loro è ancora un segnale sinusoidale periodico.

Nota: Le frequenze sono dette armoniche e la frequenza più bassa è detta fondamentale.

Tramite Fourier si scoprì che una funzione periodica di periodo T può essere rappresentata come combinazione di un certo numero di funzioni sinusoidali e ciò è detta serie/trasformata di Fourier.

Ciò aiuta a scomporre una qualsiasi onda in componenti più semplici. Si ha che:

$$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(\omega n t) + b_n \cos(\omega n t)$$

con $\omega = 2\pi f$ dove a_n e b_n sono le ampiezze dell' n -esima armonica e si ottengono integrando tra 0 e T :

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g(t) \sin(\omega n t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g(t) \cos(\omega n t) dt$$

I canali che utilizzano segnale elettrici si comportano in modo lineare quindi è possibile applicare l'analisi di Fourier. Questo è utile a capire dopo quanto tempo un segnale di degrada a tal punto da influenzare la corretta codifica.

Larghezza di banda(bandwidth).

Per una data frequenza di taglio f_c , la larghezza di banda è il limite di velocità con cui si può trasmettere in un canale senza incorrere in perdite di segnale.

La bandwidth si misura in:

- Hertz: larghezza di banda in circuiti analogici, numero di oscillazioni di un segnale periodico in un secondo;
- Baud: velocità di segnalazione, numero di cambiamenti del segnale in un secondo;
- Bps (bit per second): larghezza di banda in circuiti digitali, numero di bit trasmessi al secondo.

– 2.1 – Mezzi trasmissivi.

I mezzi trasmissivi sono quelli che permettono il trasferimento e la propagazione dei bit da trasmettitore a ricevitore.

Essi si dividono in:

- Vincolati: le onde vengono contenute in un mezzo solido come cavi di rame, fibra ottica ecc;
- Non vincolati: le onde si propagano nell'atmosfera e nello spazio esterno.

– 2.1.1 – Mezzi trasmissivi vincolati.

Essi trasportano segnali elettrici o luce e sono: doppini di rame, cavi coassiali e fibra ottica.

– 2.1.1.1 – Doppino di rame intrecciato(Twisted Pair).

Il doppino di rame è un cavo unidirezionale composto da due fili di rame e avvolti tra loro a spirale, questo perché intrecciandoli i campi elettromagnetici si annullano a vicenda, e ogni coppia costituisce un collegamento di comunicazione.

Vengono divisi in categorie: fino alla categoria 6 vengono identificati come doppini non schermati(UTP) in quanto consistono solo in coppie e un unico isolante che costituisce l'intero cavo, mentre i cavi di categoria 7 hanno un isolamento in più per ogni coppia in modo da evitare eventuali interferenze dalle altre coppie.

Sono spesso utilizzati per le reti LAN e possono raggiungere prestazioni elevate.

– 2.1.1.2 – Cavo coassiale.

Il cavo coassiale è un cavo bidirezionale costituito da due conduttori di rame concentrici dove la parte superiore determina la schermatura del cavo, in questa maniera si raggiungono alte frequenze di trasmissione. Sono utilizzati per reti ethernet o tv via cavo e può essere utilizzato in condivisione tra sistemi periferici dove tutti ricevono quanto inviato da altri sistemi.

– 2.1.1.3 – Fibra ottica.

La fibra ottica, anche detta Optical Carrier (OC), è composta da un tubo di vetro unidirezionale. Vi è un fotodiodo che converte il segnale elettrico in luminoso, esso attraversa il tubo di vetro e una volta arrivato all'altra estremità viene riconvertito tramite un fotorecettore.

– 2.1.2 – Mezzi trasmissivi non vincolati.

I mezzi trasmissivi non vincolati trasportano segnali nello spettro elettromagnetico, quindi non vi è un cavo, sono bidirezionali, sono soggetti a ciò che riguarda l'ambiente di propagazione. Essi sono le onde radio nella banda terrestre e satellitare.

– 2.1.2.1 – Canali radio terrestri.

I canali radio trasportano segnali tramite onde elettromagnetiche, inoltre dipendono dall'ambiente e quindi ostacoli presenti, dalla distanza e sono soggetti a interferenze. Sono utilizzati per una LAN o un'area geografica.

– 2.1.2.2 – Canali radio satellitari.

Si ha un satellite che per le comunicazioni collega delle ground station, ovvero trasmettitori a microonde terrestri. Si usano due tipi di satelliti:

- Geostazionari: posizionati permanentemente ad una certa orbita dal suolo terrestre e sono sincronizzati alla rotazione terrestre. La grande distanza provoca un ritardo nelle trasmissioni. Inoltre sono usati per le dorsali Internet;
- A bassa quota: posizionati più vicina orbitano intorno al pianeta. Possono comunicare anche tra loro oltre che con le stazioni di terra. Inoltre per una buona copertura bisogna mandare molti in orbita.

– 2.2 – Trasmissioni digitali.

Per inviare segnali digitali si devono comunque utilizzare segnali analogici che vanno modulati digitalmente. Le tecniche utilizzate sono due:

Trasmissione in banda base.

Consiste nell'uso di codifiche di linea come:

- NRZ (Non Return to Zero): poiché il segnale durante il trasferimento può attenuarsi, il ricevente assegna i campioni ai simboli più vicini: tensione positiva sarà 1, tensione negativa sarà 0. Si sfruttando tecniche di line code, come il clock, per la migliore conversione dei bit appesantendo tuttavia la comunicazione;
- codifica Manchester: miscela il segnale di clock e i dati usando uno XOR, inviando un singolo segnale;
- NRZI (Non Return to Zero Inverted): si considera 1 come una transizione e lo 0 come situazione stazionaria;
- codifica bipolare o AMI: si usano quelli che vengono detti segnali bilanciati, ovvero dove si presentano tante tensioni positive quanto negative su brevi periodi e quindi privi di componenti in corrente continua. Si usano due livelli di tensione (opposti) per l'1, alternandoli in modo tale che in media si annullano, e 0 Volt per rappresentare lo 0.

Trasmissione in banda passante.

Una trasmissione che colloca un segnale confinato in una certa banda di frequenza arbitraria in modo da far coesistere diversi segnali sullo stesso canale prende il nome di trasmissione in banda passante. In base a come si effettua la modulazione (ampiezze, frequenze, fase) sulla banda passante si ottiene una modulazione digitale.

– 2.2.1 – Trasferimento dati.

Esistono due approcci per il trasferimento dati:

- Commutazione di circuito (Circuit Switching): si necessita la creazione di una sessione end-to-end per il quale si crea un circuito/canale costante. La banda viene suddivisa in più circuiti tramite Multiplexing che può avvenire per frequenza(FDM), per frequenza dedicata, o tempo (TDM), per frame e slot;
- Commutazione di pacchetto (Packet Switching): ogni messaggio viene suddiviso in pacchetti che viaggiano nelle stesse risorse di rete. Ciò può causare saturazione delle risorse, congestione del canale per le code dei pacchetti, ritardi dovuti anche allo store & forward, accodamento e disordine nella ricezione dei pacchetti.

Quindi si ha che la commutazione di pacchetto consente l'uso della rete a più utenti, mentre per la commutazione di circuito si deve tenere conto del numero massimo di utenti per canale e le probabilità di utenti attivi contemporaneamente.

– 2.3 – Sistemi di telecomunicazioni.

Possiamo suddividere l'accesso alla rete in due tipologie: residenziale o aziendale, e chiaramente varia anche il tipo di tecnologia utilizzata.

Nota: Vi è un terzo tipo di accesso ovvero wireless su scala geografica con tecnologie e protocolli discussi successivamente.

– 2.3.1 – Accesso residenziale.

Per l'accesso residenziale a banda larga si hanno Digital Subscriber Line (DSL), via cavo e Fiber To The X (FTTX) .

– 2.3.1.1 – Accesso tramite DSL.

La compagnia telefonica funge anche da ISP. Si usa come canale la linea telefonica (che risulterà poi come canale asimmetrico) per scambiare i messaggi con un Digital Subscriber Line Access Multiplex (DSLAM) che si trova nella centrale locale. Il modem DSL residenziale converte i dati digitali in toni ad alta frequenza per poterli trasmettere sul cavo telefonico ed una arrivata al DSLAM essi vengono riconvertiti in segnali digitali. Si effettua multiplexing sulla banda di frequenza usata in modo da permettere l'uso della linea telefonica e l'accesso ad Internet in contemporanea. Gli accessi residenziali DSL più comuni sono: ADSL e VDSL.

– 2.3.1.2 – Accesso via cavo.

Nell'accesso ad Internet via cavo si utilizzano le infrastrutture esistenti della televisione. Tra i più comuni vi è la rete di accesso ibrida con fibra ottica e cavo coassiale (HFC). Anche in questo caso vi è uno modem speciale detto cable modem che funziona verosimilmente come il DSLAM. Inoltre si fa uso dello standard DOCSIS per la suddivisione della banda.

– 2.3.1.3 – FTTH.

Nell'accesso FTTX la fibra arriva fino ad un determinato punto X della rete, in particolare per l'accesso residenziale si usa FTTH, dove il collegamento in fibra ottica raggiunge una singola abitazione. La FTTH prevede che ogni abitazione abbia un Optical Network Terminator (ONT) connesso ad uno splitter ottico per più abitazioni e ad un Optical Line Terminator (OLT) situato nella centralina. L'OLT, tramite conversione da segnale ottico ad elettrico, si connette ad Internet tramite un router della compagnia, quindi collegandosi ad esso si può accedere ad Internet.

– 2.3.2 – Accesso aziendale.

Si utilizza una rete LAN per connettere i router di bordo. La tecnologia più usata è Ethernet. Tuttavia vi è anche una tipologia di accesso a LAN wireless diffusa per i dispositivi mobili dove gli utenti possono inviare e ricevere pacchetti da e verso un access point wireless entro un raggio di pochi metri.

Nota: Le reti mobili sono di varie generazioni, dalla gestione di segnali analogici a digitali a cambi di frequenze e velocità di trasmissione.

– 3 – Livello di collegamento.

A livello di collegamento gli host e i router sono definiti come nodi mentre i canali di comunicazione che connettono i nodi sono detti link e possono essere cablati (wired) o senza cavi (wireless). Il compito del data-link è quello di trasferire i datagram, provenienti dal livello di rete, incapsulandoli in frame da un nodo ad un altro attraverso un link fisico.

Il data-link è implementato su tutti i nodi tramite una Network Interface Card (NIC), costituita da un controllore a una o più porte. Dal lato mittente, la NIC si occupa di incapsulare il datagram e segue il protocollo per accesso al canale e trasmissione. Dal lato ricevitore, estrae il datagram e lo trasmette al livello di rete. Può essere dotato di sistema di rilevazione degli errori.

Oltre al trasporto dei datagram, i dettagli dei servizi possono variare in base al protocollo. I possibili servizi sono:

- Framing: incapsula i datagram in frame aggiungendo header e trailer;
- Accesso al collegamento: protocollo Medium Access Control (MAC) che regola l'accesso al collegamento e la trasmissione dei frame tramite un indirizzo fisico contenuto nell'header;
- Consegna affidabile: i protocolli garantiscono il trasporto senza errori dei datagram. Viene realizzato tramite acknowledgment, che conferma la ricezione dei frame, e la ritrasmissione, nel caso la consegna non avvenga come previsto;
- Controllo del flusso: protocolli che regolano la velocità di trasmissione tra i nodi;
- Rilevazione e correzione degli errori: gli errori possono essere generati da attenuazione e disturbi dei segnali. Si possono individuare gli errori tramite tecniche su bit di controllo.

– 3.1 – Rilevazione e correzione degli errori.

Per la rilevazione degli errori si utilizza uno schema Error Detection & Correction (EDC), ovvero dei bit aggiunti di controllo. Tuttavia potrebbero esservi degli errori non rilevati dal ricevente e per ridurre questa probabilità è necessaria un'elevata ridondanza, ovvero calcoli più complessi e trasmissione di molti bit aggiuntivi. Vi sono tre tecniche per rilevare gli errori: controllo di parità, checksum e controllo a ridondanza ciclica (CRC).

– 3.1.1 – Controllo di parità.

Vi sono due schemi che aggiungono un bit che assume un valore in modo tale da rendere pari, o dispari a secondo dello schema, i bit a 1. Una volta trasmesso il frame si controlla il numero di bit a 1 per verificare se lo schema è stato rispettato o meno, ovvero si verifica che non vi siano errori senza però sapere la sua posizione. Tuttavia se un errore cambia bit in numero pari, indipendentemente dallo schema, al ricevente non appariranno errori trattando erroneamente il frame come corretto.

Si può optare per uno schema di parità bidimensionale, dove i bit dei dati vengono divisi in righe e colonne, ognuno con un proprio bit di parità. In questo modo si può anche risalire al bit di errore.

– 3.1.2 – Checksum.

Nella tecnica di Checksum si prende la sequenza a n bit del dato e la si divide in parti da 16 bit. Di queste sottosequenze effettua la somma e ne effettua il complemento a 1 inviando il risultato. Il destinatario effettuerà lo stesso calcolo e sommerà il risultato al complemento a 1, se il risultato è una sequenza di 1 allora non sono presenti errori, altrimenti viene scartato.

– 3.1.3 – Controllo a ridondanza ciclica.

Questa tecnica prevede l'uso di codici di controllo a ridondanza ciclica detti anche codici polinomiali. Si prende il dato D e lo si divide in insiemi da d bit, ognuno dei quali ha associato un polinomio $b(x)$ di grado $d-1$. Mittente e destinatario si accordano su un certo r che sarà il grado del polinomio generatore G , quindi il trasmittente divide $b(x)$ per G e accoda il resto ottenuto al messaggio inviandolo. Il destinatario conoscendo G si occuperà di dividere ciò che ha ricevuto per G , se il resto è 0 allora il messaggio è integro, altrimenti presenta errori. Si noti che il CRC è in grado di individuare errori inferiori a $r + 1$ bit.

– 3.2 – Protocolli d'accesso.