



**POLITECNICO
DI TORINO**

Riepilogo Reti di Calcolatori

Jacopo Nasi
Ingegneria Informatica
Politecnico di Torino

I Periodo - 2016

Contents

1	Concetti Generali	4
1.1	Definizioni	4
1.2	Topologia	5
1.3	Servizi di Telecomunicazione	6
1.4	Tipi di trasmissione	7
1.5	Condivisione di Canale	8
1.6	Commutazione di circuito	8
1.7	Commutazione di pacchetto	9
1.8	Segnalazione	12
1.9	Tecniche di gestione	12
1.10	QoS: Quality of Service	12
2	Architetture e Protocolli	13
2.1	Protocolli	13
2.2	Modello OSI	13
2.3	Livelli OSI	14
3	Protocolli a Finestra	15
3.1	Errori di trasmissione	16
3.2	ARQ: Auto Retransmission	16
3.2.1	STOP & WAIT	17
3.2.2	Go back N	18
3.2.3	Selective Repeat	19

“The most compelling reason for most people to buy a computer for the home will be to link it to a nationwide communications network. We’re just in the beginning stages of what will be a truly remarkable breakthrough for most people— as remarkable as the telephone.”

— **Steve Jobs**, Feb. 1th 1985

1 Concetti Generali

Introduzione alle Reti di Calcolatori dal punto di vista strutturale.

1.1 Definizioni

La maggior parte delle definizioni derivano dal "Blue Book" del CCITT o IUT-T oggi.

- **Comunicazione:** Trasferimento di informazioni secondo convenzioni prestabilite.
- **Telecomunicazione:** Qualsiasi trasmissione e ricezione di segnali che rappresentano informazioni di qualsiasi natura, attraverso cavi, radio o altri sistemi ottici e elettromagnetici.
- **Servizio di Telecomunicazione:** Ciò che viene offerto da un gestore pubblico o privato ai propri clienti al fine di soddisfare una specifica esigenza di telecomunicazione.
- **Funzioni in una rete di telecomunicazioni:** Operazioni svolte all'interno della rete al fine di offrire i servizi. (es: tutte le fasi di una chiamata: segnalazione, commutazione, trasmissione, ecc...)
- **Segnalazione:** Scambio di informazioni che riguardano l'apertura, il controllo e la chiusura di connessioni e la gestione di una rete di telecomunicazione.
- **Commutazione:** Il processo di interconnessione tra Unità Funzionali, Canali di Trasmissione e Circuiti di Telecomunicazione per il tempo necessario al trasferimento dei segnali.
- **Trasmissione:** Il trasferimento di segnali da un punto a uno o più altri punti.
- **Mezzo Trasmissivo:** Mezzo fisico in grado di trasportare segnali tra due o più punti.

- **Canale:** Concatenazione di porzioni di mezzi trasmissivi.
In riferimento allo studio di reti telematiche:
- **Banda:** Quantità di dati [bit] per unità di tempo [secondi].
- **Capacità:** Massima velocità trasmissiva [bit/s] del canale.
- **Traffico Offerto:** Quantità di dati per unità di tempo che una sorgente cerca di inviare in rete.
- **Traffico Smaltito (Throughput):** Porzione di traffico offerto che riesce ad essere consegnata correttamente alla destinazione.
Sicuramente questi vincoli vengono rispettati:
 - $\text{Throughput} \leq \text{Capacità Canale}$
 - $\text{Throughput} \leq \text{Traffico Offerto}$

1.2 Topologia

La topologia rappresenta un insieme di nodi e canali che fornisce un collegamento tra due o più punti per permettere la telecomunicazione tra essi. Prende il nome di **Nodo** un punto in cui avviene la commutazione, mentre si chiama **Canale** un mezzo di trasmissione, sia nel caso uni che bi-direzionale.

Tipi di Canale I canali posso essere di due tipi:

- **Punto-Punto:** Due nodi collegati agli estremi del canale in modo paritetico.
- **Multi-Punto:** Più nodi collegati ad un unico canale: un nodo master e numerosi slave.
- **Broadcast:** Singolo canale di comunicazione dove l'informazione inviata viene ricevuta da tutti gli altri. Nel caso in cui i dati contengano l'indirizzo di destinazione realizzo di fatto un P-P.

La disposizione di nodi e canali definisce la topologia della rete. Viene definita da un grafo $G=(V,A)$ con V (= insieme di vertici [nodi]) ed A (= insieme degli archi [canali]).

Gli archi possono essere Diretti (Unidirezionali) o Non Diretti (Bidirezionali). Considerando $N=|V|$ e $C=|A|$ le principali topologie sono:

- **Maglia Completa:** $C=N(N-1)/2$, + molto resistente ai guasti, - troppi canali. Esistono molti percorsi, usata solo con pochi nodi.

- **Albero:** $C=N-1$, - vulnerabile, + pochi canali. Usata per ridurre i costi e semplificare la stesura dei canali.
- **Stella Attiva:** $C=N$ (centro NON nodo), - vulnerabile, + pochi canali. Complessità demandata al centro stella. Molto usata nelle reti locali.
- **Stella Passiva:** $C=1$ (anche se N fili), - potenzialmente vulnerabile, + pochi canali. Esiste solo un canale broadcast.
- **Maglia:** $N-1 < C < N(N-1)/2$, - non regolare, - instradamento complesso, + flessibile in n.can e restistenza. Topologia maggiormente usata.
- **Anello:** Uni ($C=N/2$) e Bi ($C=N$) direzionale, usate in reti locali e per topologie magliate, sopravvivenza garantita in bi-dir.
- **Bus:** $C=1$, semplicità instradamento.

Si possono distinguere due tipi di topologia, quella fisica e quella logica. La prima tiene conto dei mezzi trasmissivi mentre la seconda definisce le interconnessioni tra nodi mediante canali. Chiaramente la scelta di una topologia influisce direttamente sulle prestazioni della rete. Il traffico smaltibile da una rete dipende dalla media della distanza tra ogni coppia di nodi della rete, pesata dalla quantità di traffico scambiata tra i due nodi. Nel caso di traffico uniforme e topologie regolari il throughput è inversamente proporzionale alla distanza media.

1.3 Servizi di Telecomunicazione

Un servizio di telecomunicazione è ciò che viene offerto da un gestore pubblico o privato ai propri clienti al fine di soddisfare una specifica esigenza di telecomunicazione.

Diretta conseguenza di questa definizione sono i tipi di reti, esse possono essere DEDICATE (singolo servizio: radio, TV) o INTEGRATE (multi servizio: internet).

I servizi possono essere classificati in questo modo:

- **Portanti:** Forniscono la possibilità di trasmissione di segnali tra interfacce utente-rete, esempio l'ADSL.
- **Teleservizi:** Forniscono la completa possibilità di comunicazione tra utenti, includendo le funzioni e gli apparati di utente secondo protocolli definiti. Esempio: Telefonia, Telefax, Web Browsing.

I teleservizi inoltre possono essere di base (posta elettronica), ovvero che garantiscono le minime funzionalità, oppure supplementari con funzionalità aggiuntive a quelle base, spesso vendute separatamente (video-on-demand, mailing list, segreteria telefonica, ecc...).

I principali servizi vengono offerti in due modalità, client-server o peer-to-peer e possono essere classificati in diversi modi, vi sono quelli interattivi (conversazionali, messaggistica, consultazione) o diffusivi (con o senza controllo di presentazione dall'utente). Entrambi possono trasferire informazioni tramite molteplici "canali" audio, video o dati.

Client-Server Questo tipo di modello prevede due ruoli ben distinti. Il cliente è colui che inizia l'interazione con il server richiedendo un servizio. Il server ha invece il compito di fornire il servizio richiesto al client. Questa è il modello usato dalla maggior parte degli applicativi.

I client sono attivati solo nel momento in cui viene richiesto un servizio a differenza dei server che sono sempre disponibili ed in attesa di richieste.

Peer-to-Peer Questo modello è stato introdotto nel mondo di internet più recentemente ed è principalmente pensato per le interazioni tra gruppi di utenti dopo tutti gli applicativi sono paritetici ovvero mettono a disposizione informazioni condivise.

1.4 Tipi di trasmissione

L'informazione può essere condivisa principalmente in due modi, in modo ANALOGICO o in modo NUMERICO (DIGITAL).

Analogico La trasmissione viene trasferita per mezzo di un segnale elettrico, di conseguenza sarà continuo, limitato e di infiniti valori. La rappresentazione deriverà dalle variazioni del segnale, ad esempio la trasmissione del segnale audio sul cavo connettore delle cuffie.

Numerica Anche in questo caso l'informazione viene trasferita attraverso un segnale elettrico ma esso sarà discontinuo, limitato e con un numero finito di valori. Ad ogni informazione discreta verrà associato un segnale ricostruibile dal ricevitore che ne farà uso.

Nelle reti telematiche l'informazione viene trasferita in forma digitale usando segnali analogici e digitali. Nel caso in cui la sorgente si presenti in maniera analogica essa viene preventivamente campionata in modo da portarla trasformare in una controparte digitale. Questo processo potrebbe presentare delle perdite se non vengono rispettate determinate condizioni.

Il livello successivo alla caratterizzazione del segnale riguardo la sua trasmissione vera e propria che può essere gestita in due modi, SERIALE o PARALLELA. Il principale problema di tutte e due è legato alla sincronizzazione. Questo problema può essere gestito in due modalità, SINCRONA ed ASINCRONA. Ma questo corso non si occupa nello specifico di questi argomenti.

1.5 Condivisione di Canale

La convisione di canale può essere di due tipologie, si parla di:

- **Multiplicazione:** Se tutti i flussi sono disponibili in un unico punto.
- **Accesso Multiplo:** Se i flussi accedono al canale da punti differenti.

Per eseguire queste funzioni possono essere usate frequenza, tempo, codice o spazio.

Multiplicazione di frequenza FDM-FDMA In questa soluzione la separazione viene ottenuta usando bande di frequenza diverse, chiaramente per evitare problemi avremo bisogno di alcune bande di guardia.

Multiplicazione di tempo TDM-TDMA La separazione in questo caso viene effettuata tramite intervalli di tempo diversi con trame temporali ripetitive. Ovviamente anche in questo caso necessiteremo di tempi di guardia tra un'intervallo e l'altro. Questa soluzione è probabilmente la migliore se le condizioni sono identiche tra tutti gli utenti.

Multiplicazione di codice CDM-CDMA Questo tipo di divisone si ottiene usando codici differenti che devono essere riconoscibili. Viene ottenuta tramite una sovrapposizione sia in tempo che in frequenza, notare bene come essa non sia un misto delle due, ma una vera e propria sovrapposizione attraverso segnali ortogonali. La trasmissione consiste nel prodotto tra bit di informazione e codice, mentre l'operazione di ricezione equivale ad un prodotto scalare tra vettori. La struttura si presenta discretamente resistente a disturbi.

Multiplicazione di spazio Le reti permettono di sfruttare la diversità spaziale del sistema per far coesistere più flussi di informazione in punti diversi. Questa possibilità può essere sfruttata per aumentare la capacità di una rete. Tutte queste soluzioni possono essere applicate in modo predeterminato o in maniera statistica in modo da permettere una flessibilità relativa alla situazione.

1.6 Commutazione di circuito

Usata sin dagli albori della telefonia, usa le risorse disponibili per allocare un circuito (collegamento fisico) a ogni richiesta di servizio. Il circuito stabilito rimarrà ad uso esclusivo degli utenti per tutta la durata della loro connessione, le risorse verranno infatti rilasciate solo al termine della comunicazione. L'esempio principe è la rete telefonica.

I vantaggi principali sono:

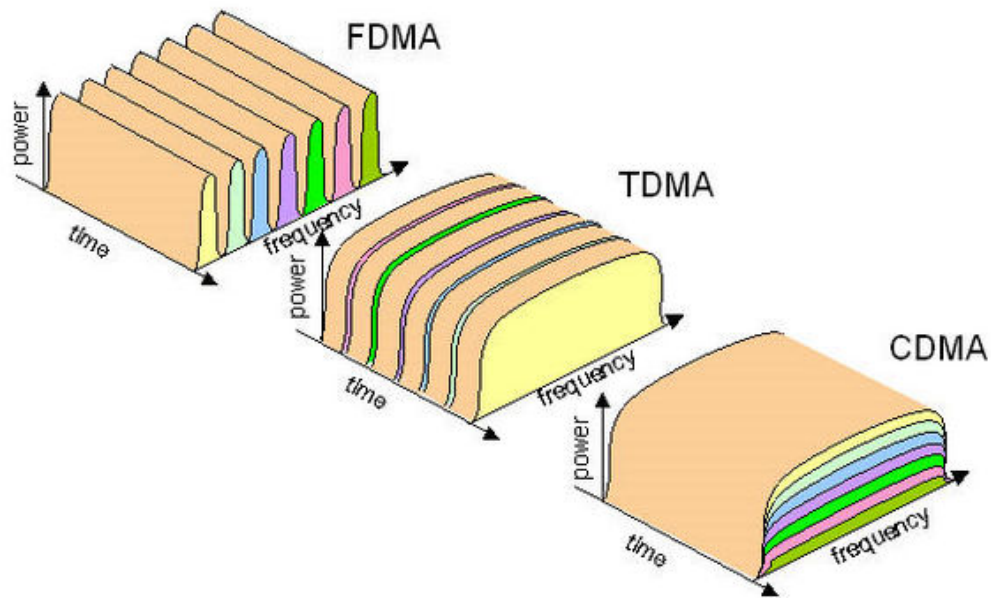


Figure 1: Channel Multiplation

- Banda costante garantita.
- Ritardi costanti e ridotti.
- Trasparenza circuito (formati, velocità e protocolli).

Gli svantaggi invece:

- Risorse dedicate.
- Buona efficienza solo per sorgenti continue.
- Tempo di apertura circuito.
- Tariffazione in base al tempo di allocazione.

Generalmente questa pratica risulta utile solo nel caso in cui il canale allocato risulti completamente sfruttato, altrimenti sarà sicuramente più vantaggioso lo smistamento.

1.7 Commutazione di pacchetto

L'idea principale di questo tipo di tecnologia è quella di non predeterminare l'allocazione, soprattutto per l'uso esclusivo da parte di due o più utenti. Questa tecnica può essere paragonata al sistema postale.

L'informazione da trasferire viene organizzata in unità dati (PDU) che comprendono informazioni di utente e protocollo.

- **PDU:** Protocol Data Unit

- **PCI:** Protocol Control Information
- **SDU:** Service Data Unit

La PDU viene spesso chiamata pacchetto (packet) o datagram.

Ogni unità dati viene consegnata alla rete. Ogni nodo si occuperà di memorizzare il pacchetto, analizzare e determinare la destinazione del canale ed accoderlo per l'uscita. Questa tecnica prende il nome di **STORE & FORWARD**.

Pacchetti Per poter funzionare questa tecnica ha bisogno di frazionare le informazioni in molti pacchetti ed essi potranno essere di dimensione fissa o variabile. In merito a questa soluzione vanno valutate alcune questioni riguardanti i vari ritardi nella trasmissione. Infatti in ogni canale in cui è trasmesso il nostro pacchetto subirà un ritardo di TX (e di RX) in funzione della dimensione e della velocità della trasmissione ed un ritardo di propagazione in relazione alla lunghezza del canale.

Per ogni nodo invece avremo un ritardo di elaborazione ed un ritardo di accodamento (spesso trascurabili). Fortunatamente nella nostra comunicazione potremo sfruttare la parallelizzazione (pipeline) in modo da migliorare l'efficienza del nostro canale.

La dimensione dei pacchetti gioca un ruolo fondamentale nella trasmissione, pacchetti più brevi infatti favoriscono la parallelizzazione della trasmissione e diminuiscono la % di errori, dovrò comunque tenere di conto che per ogni pacchetto avrò la necessità di un header.

I vantaggi principali di CAP:

- Efficiente utilizzo anche con traffico intermittente.
- Possibilità di verifica del percorso.
- Conversioni possibili.
- Tariffazioni in funzione del traffico emesso.

Gli svantaggi sono invece:

- Difficoltà ad ottenere garanzie di banda.
- Ogni nodo deve elaborare il pacchetto.
- Ritardi variabili.

Sostanzialmente la prima soluzione privilegia la qualità del servizio al singolo utente, la seconda invece l'efficienza complessiva della rete.

Modi di trasferimento In commutazione a pacchetto vi sono due principali modi per il trasferimento di informazioni. Quella datagram, descritta precedentemente, e quella a circuito virtuale.

La seconda soluzione si differenzia per la suddivisione in tre fasi:

1. Apertura Connessione (segnalazione)
2. Trasferimento Dati
3. Chiusura Connessione (segnalazione)

Dopo aver stabilito un'accordo tra i due interlocutori ed il fornitore i pacchetti seguiranno tutti lo stesso percorso a differenza del datagram dove i pacchetti potrebbero tranquillamente seguire percorsi differenti. La soluzione a CV rimane comunque differente da quella a commutazione di circuito perchè non vengono allocate staticamente ed esclusivamente delle risorse.

Nel caso di datagram occorre identificare in ogni pacchetto SRC/DEST utilizzando identificatori globali. Nel caso di VC sarà sufficiente individuare il percorso (sfruttando gli indicatori locali), le informazioni SRC/DEST verranno utilizzate solo per stabilire il circuito. Questo tipo di circuito può essere PVC (permanente) o SVC (commutato) ovvero creato su richiesta dell'utente tramite segnalazione della rete.

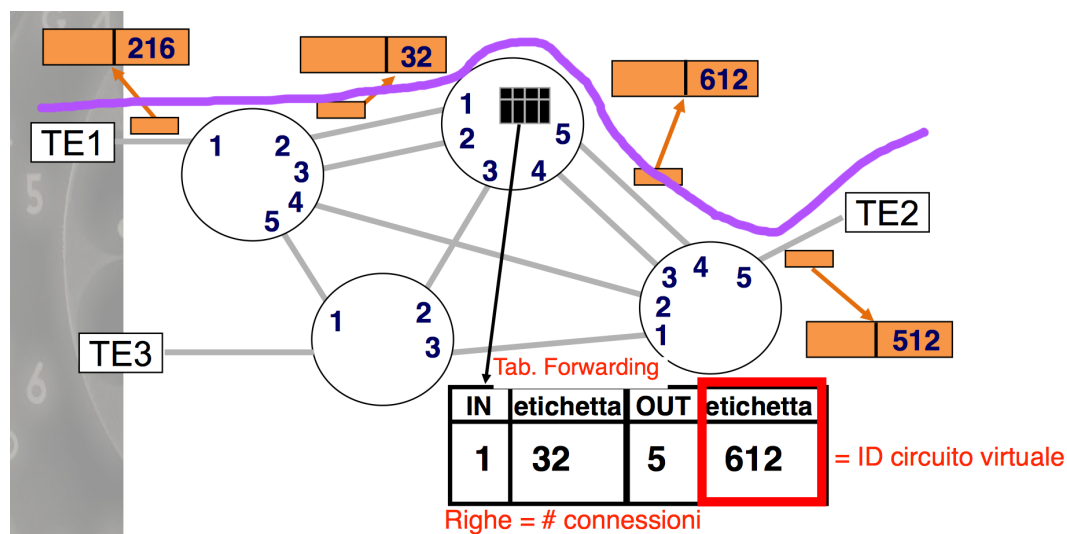


Figure 2: Virtual Circuits

Identificatori Un connessione su un canale è logicamente identificata tramite una etichetta, spesso una coppia di identificatori, questa soluzione permette di aggregare i flussi.

1.8 Segnalazione

Le segnalazioni possono essere di più tipologie, ci sono quelle di utente (scambio di informazioni tra utente e nodo), quelle internodali (con scambio di informazioni tra nodi), quelle associate al canale o quelle a canale comune.

Associata al canale Spesso usato nelle reti telefoniche stabilisce una corrispondenza biunivoca tra canale controllante (info segnalazione) e canale controllato (info utente). Nella versione fuori banda questa corrispondenza non c'è.

Canale comune Un canale di segnalazione controllo più canali di informazioni di utente mentre lavora a pacchetto.

1.9 Tecniche di gestione

Il network management consiste di diverse funzioni:

- Configuration
- Performance
- Fault
- Security
- Accounting (tariffazione)

1.10 QoS: Quality of Service

La qualità di un servizio offerto dipende dalla disponibilità di risorse nella rete e dalle tecniche di allocazione. L'analisi e il progetto di reti TLC si basa su modelli quantitativi in grado di stimare la qualità partendo da ipotesi relative alle risorse.

Supponendo un certa richiesta da soddisfare con un determinato numero di risorse si potrà determinare la qualità del servizio. Le sorgenti di informazione da trattare possono essere, come al solito, di tipo analogico o numeri, a velocità variabile o costante.

I principali indici di qualità sono:

- Ritardi
- Velocità
- Probabilità errore
- Probabilità perdita

- Probabilità blocco

Un'esempio può essere la rete telefonica classica con una bassa latenza (qualche decimo di secondo), una velocità di canale fino a 64 kb/s, una probabilità di errore non superiore a quale % ed una scarsa probabilità di blocco.

2 Architetture e Protocolli

La comunicazione ha come unica pretesa la **COOPERAZIONE**. Le regole stabilite (convenzioni) che definiscono l'interazione tra elementi di una rete si chiamano protocolli.

2.1 Protocolli

“Sono la descrizione formale delle procedure adottate per assicurare la comunicazione tra due o più oggetti dello stesso livello gerarchico.”

— CCITT

La definizione di protocolli prevede tre parti:

- **Semantica:** Insieme di comandi e risposte.
- **Sintassi:** Struttura di comandi e risposte.
- **Temporizzazione:** Sequenze temporali di comandi e risposte.

Un'architettura di rete definisce il processo di comunicazione, le relazioni tra le parti coinvolte, le funzioni necessarie e le modalità organizzative.

Architetture stratificate Esse sono molto utili perché ci garantiscono una semplicità di progetto, facilità di gestione, standardizzazione e separazione delle funzioni.

2.2 Modello OSI

Il modello OSI (Figure 3) (Open System Interconnection) è storicamente il primo modello a strati definito (1983) da ISO ed accettato da CCITT/ITU-T. Questo modello è la base di moltissime architetture ma non per questo devono rispettarlo nella sua interezza, internet ne usa solo alcuni strati per esempio.

Implementazione A livello astratto possiamo immaginare una rete come composta da sistemi (terminali, nodi...) collegati tra loro da mezzi trasmissivi. Ogni sistema è composto da sottosistemi ed ognuno di essi realizza le funzioni del proprio strato tramite delle entità. Ogni strato fornisce servizi allo strato superiore usando servizi dello strato inferiore. Le entità sono gli elementi attivi di un sottosistema e svolgono le funzioni ed interagiscono all'interno di uno strato.

I servizi possono essere:

OSI Model			
	Data unit	Layer	Function
Host layers	Data	7. Application	Network process to application
		6. Presentation	Data representation, encryption and decryption, convert machine dependent data to machine independent data
		5. Session	Interhost communication, managing sessions between applications
	Segments	4. Transport	End-to-end connections, reliability and flow control
Media layers	Packet/Datagram	3. Network	Path determination and logical addressing
	Frame	2. Data link	Physical addressing
	Bit	1. Physical	Media, signal and binary transmission

Figure 3: OSI Model

- **connection-oriented:** si stabilisce un'accordo preliminare tra rete e interlocutori, poi si trasferiscono i dati ed infine si rilascia la connessione.
- **connectionless:** i dati vengono immessi in rete senza accordi e sono trattati in modo indipendente.

SAP: Service Access Point La comunicazione tra due entità passa attraverso un punto di accesso al servizio (SAP).

Creazione PDU In un sistema a strati i dati utenti presenti ad un N-esimo livello prendono il nome di N-SDU allora stesso modo anche la N-PCI che insieme andranno a formare la N-PDU. Ogni strato inferiore tratta la PDU di quello superiore come una busta chiusa a cui aggiungere solo la propria intestazione. Il sistema è paragonabile ad un palazzo dove al piano più alto scrivono la lettera e scendendo via via la imbusteranno, ci metteranno l'etichetta e verrà spedita. Il processo viene chiaramente svolto anche nel sistema ricevente ma in modo inverso.

2.3 Livelli OSI

Il sistema a strati definito precedentemente si divide in 7 livelli:

1. Physical Layer:

- Fornisce i mezzi meccanici, fisici, funzionali e procedurali per attivare, mantenere e disattivare le connessioni fisiche.
- Trasferisce le cifre binarie scambiate tra le entità di strato collegamento.
- Definizione di codifiche di linea, connettori e livelli di tensione.

2. Data link Layer:

- Fornisce i mezzi funzionali per il trasferimento di informazioni tra le entità di strato rete e per fronteggiare malfunzionamenti di S1.
- Ha il compito di rilevare e recuperare gli errori, controllare il flusso e delimitare le unità dati.

3. **Network Layer:**

- Fornisce i mezzi per instaurare, mantenere ed abbattere le connessioni di rete tra entità dello strato trasporto.
- Gestisce instradamento, controllo di flusso/congestione e tariffazione.

4. **Transport Layer:**

- Colma le carenze di QoS dello strato rete.
- Controllo errore, sequenza e flusso.
- Multipla e demultipla le connessioni.
- Segmenta e ricompone i pacchetti.

5. **Session Layer:**

- Assicura alle entità di presentazione una connessione di sessione.
- Organizza la comunicazione tra entità presentazione.
- Struttura lo scambio dati in modo da poterne avere una completa gestione
- Maschera le interruzioni del servizio di trasporto
- Spesso integrato nei livelli superiori.

6. **Presentation Layer:**

- Risolve i problemi di compatibilità nella rappresentazione dei dati.
- Risolve i problemi relativi alla trasformazione della sintassi dei dati.
- Può eventualmente fornire servizi di cifratura.
- Spesso integrato nei livelli superiori.

7. **Application Layer:**

- Fornisce ai processi applicativi i mezzi per accedere ad OSI.
- es: Mail, terminale virtuale, FTP, ecc...

3 **Protocolli a Finestra**

Sono i protocolli più frequenti nelle reti telematiche anche contemporanee. Usate in L2 ed L4. Si occupano principalmente di recupero degli errori di trasmissione, controllo del flusso e di sequenza.

3.1 Errori di trasmissione

La trasmissione su qualsiasi canale non può mai essere esente da errori, la probabilità varia tra 10^{-12} (Optical Fiber) e 10^{-3} (Canale radio disturbato). Essendo però trasmessa una mole di dati dobbiamo comunque tenere in considerazione questi numeri e sviluppare tecniche per rilevare e correggere gli errori.

Codifica di canale Per quanto una tecnica possa essere efficace comunque non ci potrà garantire una completa risoluzione dagli errori. Tra le più semplici (usate in molti ambiti diversi) ci sono:

- **Parity BIT:** Aggiungo un numero che rappresenta se il numero di 1 (o 0) in una sequenza è pari (o dispari).
- **Codice a ripetizione:** Viene trasmessa più volte la stessa sequenza e si deciderà, la sequenza corretta, confrontandole.
- **Parity Righe/Colonne:** Analoga al parity bit ma la verifica viene fatta per ogni riga e per ogni colonna.

I bit di parità vengono sempre inseriti tra le informazioni di controllo (PCI) della PDU.

Correzione e Recupero Vi sono più soluzioni da adottare per l'utilizzo dei parity in base alla quantità.

- **FEC** (Forward Error Correction): I tanti bit di parità vengono usati per cercare di correggere gli errori in ricezione senza la ritrasmissione del pacchetto.
- **ARQ** (Automatic Retransmission reQuest): I pochi bit di parità sono usati per rilevare gli errori e permettere al ricevitore di chiedere la ritrasmissione della PDU.

La tecnica migliore dipende dal contesto in cui andiamo ad operare.

3.2 ARQ: Auto Retransmission

Questa tecnica sfrutta un controllo congiunto su errore, flusso e sequenza. Dovremo andare ad aggiungere un campo di numerazione (sequenza) all'interno delle PDU.

Vi sono 3 tecniche di implementazione:

1. Stop & Wait (Alternating Bit)
2. Go back N

3. Selective repeat

Un'altro parametro da aggiungere prima di illustrare le tecniche è il **RTT** (Round Trip Time) una funzione del tempo che rappresenta il tempo necessario ad un pacchetto per essere inviato ed aver ricevuto la conferma, esso terrà conto dei ritardi introdotti da ogni elemento.

Semantica ACK Ogni protocollo ha la sua semantica per gli ACK, ovviamente TX ed RX devono preventivamente accordarsi su essa.

I più conosciuti sono:

- **Cumulativo:** Si notifica la corretta ricezione di tutti i pacchetti con no. sequenza inferiore a quello specificato.
ACK(n): *“Ho ricevuto tutto in sequenza fino ad n escluso”*
- **Selettivo:** Si notifica la corretta ricezione di un particolare pacchetto.
ACK(n): *“Ho ricevuto il pacchetto n, ma non ti dono informazioni sui pacchetti precedenti o successivi”*
- **Negativo (NAK):** Si notifica la richiesta di ritrasmissione di un singolo pacchetto.
NAK(n): *“Ritrasmetti il pacchetto n”*
- **Piggybacking:** Per risparmiare ACK, nel caso di comunicazioni bidirezionali, si permette di scrivere un riscontro ACK nella PDU di un'altro pacchetto.

3.2.1 STOP & WAIT

Questo algoritmo prevede semplicemente che il trasmettitore dopo aver inviato la PDU resti in attesa (WAIT) dell'ACK di conferma da parte del ricevitore, nel caso qualcosa non vada secondo i piani si procederà alla ritrasmissione. Più precisamente prevede i seguenti step al **TRASMETTITORE**:

- Invio PDU (e salvo copia)
- Avvio tempo di timeout
- Attendo ACK (acknowledgment)
- Se il T_{out} scade ritrasmetto la PDU

Trasmettitore dopo aver ricevuto l'ACK:

- Check correttezza ACK
- Check sequenza

- Se corretto, abilito l'invio della nuova PDU

Il **RICEVITORE** invece:

- Check PDU
- Check sequenza
- Se corretta, invio ACK e consegno PDU a LV superiori

Durante l'utilizzo di questo algoritmo dobbiamo tenere in considerazione la numerazione delle PDU per due motivi. Primo sono indispensabili per il controllo di sequenza e secondo perchè la numerazione prevede un finito numero di bit. Può anche essere risolto con 1 solo bit ma la questione diventerebbe molto delicata, in generale avremo 2^n numeri prima di dover riprendere.

Altro fattore molto critico riguarda il tempo di timeout, la necessità è quella di scegliere un valore non troppo alto in modo da evitare inutili ritardi, ma allo stesso tempo non può essere troppo breve altrimenti la consegna dell'ACK potrebbe non avvenire in tempo.

Ulteriore improvement per S&W potrebbe essere quello di utilizzare un time-to-live per ogni pacchetto.

3.2.2 Go back N

La differenza principale rispetto al precedente è che non attenderemo ACK dopo ogni invio, la invieremo N PDU prima di rimanere in attesa delle conferme.

Dato il multiplo invio dobbiamo introdurre il concetto di finestra.

Finestra TX W_T , rappresenta: “*La quantità massima di PDU che il trasmettitore è autorizzato ad inviare in rete senza aver ricevuto riscontro.*”, W_T rappresenterà di conseguenza anche il massimo numero di PDU contemporaneamente presenti sul canale.

La sua dimensione sarà $1 < W_T \leq 2^k$, il primo estremo non è compreso altrimenti sarebbe uguale a Stop & Wait.

Finestra RX W_R è: “*La sequenza di PDU che il ricevitore è disposto ad accettare e memorizzare.*” ed è direttamente dipendente dalla memoria allocata alla ricezione.

Il TRASMETTITORE con finestra N:

- Invia un numero di PDU corrispondenti alla W_T facendo di ognuno la copia
- Avvia SOLO 1 contatore, per tutta le $N \cdot PDU$, per il T_{out}
- Attende ACK

- Se scade T_{out} ripeto la trasmissione di TUTTE le PDU

Il RICEVITORE invece:

- Check PDU
- Check sequenza
- Se corretta, invio ACK e consegno PDU a LV superiori

Come per S&W la $W_R=1$. Chiaramente la logica a TX sarà più complessa per via della finestra ampia.

3.2.3 Selective Repeat

Possiamo definire questi algoritmi come uno sviluppo del precedente. In Go back N, il limite era dato dalla possibilità per il ricevitore di accettare solo PDU in sequenza. SR va proprio a compensare questo limite con $W_R > 1$ solitamente di dimensioni pari. In generale $W_T + W_R \leq 2^k$. Può essere implementata in diversi modi con ACK Cumulativi o selettivi, timer su singole PDU o alla finestra e con vari comportamenti di TX ed RX. Si descrive il caso con ACK cumulativi e timer a finestra. I compiti del TRASMETTITORE saranno:

- Invia un numero di PDU corrispondenti alla W_T facendo di ognuno la copia
- Avvia SOLO 1 contatore, per tutta le $N \cdot PDU$, per il T_{out}
- Attende ACK
- Se scade T_{out} ripeto la trasmissione di TUTTE le PDU

Il RICEVITORE invece:

- Check PDU
- Check sequenza
- Se corretto
 - **in sequenza** → consegna PDU a LV superiori
 - **non in sequenza:**
 - * **in** W_R → Memorizzo
 - * **out** W_R → Scarto
- Invio ACK relativo all'ultima PDU in sequenza

Nel caso di singola perdita l'algoritmo si comporta come Go back N a livello di throughput ed occupazione del canale. Abbiamo vantaggi invece quando $RTT < T_{x_{w_r}}$ perchè il nuovo ACK permetterà lo shift della finestra o in caso di perdite ripetute in quanto sarà necessaria una sola copia del pacchetto al RX. Se TX ritrasmettesse solo il primo pacchetto perso nella finestra ci sarebbero un'ulteriore improvement come con gli ACK selettivi.