



UNIVERSITÀ DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Introduzione alle Reti di telecomunicazione

Luca Veltri

(mail.to: luca.veltri@unipr.it)

Corso di Reti di Telecomunicazione, a.a. 2016/2017

<http://www.tlc.unipr.it/veltri>



UNIVERSITÀ DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Introduzione alle reti di telecomunicazione

Indice

- Introduzione
- Rami, nodi, topologie di rete
- Sezione di accesso e sezione interna
- Tipi di informazione
- Qualità del servizio e sicurezza
- Alcuni organismi di standardizzazione

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

2



UNIVERSITÀ DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Introduzione alle reti di telecomunicazione

Reti di Telecomunicazione

- Rete di TLC
 - **piattaforma tecnologica per effettuare comunicazione a distanza tra due o più utenti**
 - **consente di trasferire informazione (servizio di TLC)**
 - **consente di gestire le sue parti componenti e i servizi supportati**
- Servizio di TLC
 - **trasferimento di informazione di varia natura**
 - **caratterizzato da parametri quali durata, qualità, etc**
- Ci sono diverse modalità per realizzare tale trasferimento, e quindi diverse tipologie di reti di TLC
 - **ciascuna con i propri vantaggi e svantaggi**
 - **ciascuna più o meno adatta ai vari tipi di servizio (applicativi)**

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

3



UNIVERSITÀ DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Introduzione alle reti di telecomunicazione

Esempi di reti e servizi di TLC

- Esempi di reti di TLC:
 - **Rete telefonica fissa - PSTN (Public Switched Telephone Network)**
 - **Reti mobili di seconda generazione (2G) - GSM (Global System for Mobile Communications), e reti mobili 2,5G - GPRS (General Packet Radio Service)**
 - **Reti mobili 3G - UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)**
 - **Reti di distribuzione radio e TV digitale**
 - **Reti dati in area locale - LAN (Local Area Network), e.g. Ethernet, WiFi, etc.**
 - **Reti dati in area metropolitana o geografica, e.g. WiMAX, SDH (Synchronous Digital Hierarchy)**
 - **Internet**
- Esempi di servizi:
 - **Comunicazione audio bidirezionale, e.g. POTS (Plain Old Telephone Service)**
 - **Comunicazione audio/video bidirezionale**
 - **Comunicazione audio/video da uno a più, audio conferenza, video conferenza**
 - **Audio/video diffusione, e.g. servizio radio, TV, streaming, web TV**
 - **Messagistica, e.g. Instant Messaging, posta elettronica**
 - **Condivisione dati peer-to-peer**
 - **Web browsing**
 - **etc.**

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

4

Distinzione delle reti in base alla gamma di servizi supportati

- Rete dedicata a un servizio:
 - sono concepite e realizzate per la fornitura di un singolo servizio
 - possono essere utilizzate anche per un insieme ristretto di altri servizi, seppure con alcune limitazioni
 - esempio: la rete telefonica (fissa / mobile 2G)
- Rete integrata nei servizi:
 - il loro obiettivo è rendere possibile la fornitura di una vasta gamma di servizi di telecomunicazione con prestazioni complessive di qualità e di costo decisamente migliori rispetto a quelle ottenibili con le reti dedicate
 - sono reti integrate la maggior parte delle attuali reti
 - e.g.: la rete Internet, la reti mobili 3G e oltre

Distinzione delle reti in base al grado di mobilità del terminale

- Rete fissa: se i servizi supportati dalla rete sono accessibili solo da parte di utenti che
 - accedono alla rete da postazioni/terminali fissi, oppure che
 - pur in movimento, rimangono in un intorno relativamente ristretto di un sito di riferimento (abitazione, ufficio, etc.)
 - anche se il terminale utilizzato è di tipo wireless, il "punto di accesso" alla rete rimane fisso
 - e.g. terminali cordless, terminali con interfaccia WiFi che accedono alla rete Internet
- Rete mobile: se l'accesso è consentito ad utenti che
 - possono muoversi senza forti limitazioni ai loro spostamenti (anche tramite veicoli)
 - muovendosi, gli utenti cambiano "punto di accesso" alla rete
 - la rete gestisce questi spostamenti rendendo l'utente sempre raggiungibile
 - e.g. reti 2G/3G

Distinzione delle reti in base alla loro estensione

- Rete in area personale (Personal Area Network, PAN)
 - l'area interessata ha un raggio dell'ordine del metro
 - e.g. Bluetooth
- Rete in area locale (Local Area Network, LAN)
 - l'area interessata è ristretta ad un singolo edificio o a un complesso di insediamenti entro il raggio di qualche chilometro
 - e.g. Ethernet, WiFi
- Rete in area metropolitana (Metropolitan Area Network, MAN)
 - gli utenti sono distribuiti su un'area relativamente estesa (una città, una piccola regione)
 - e.g. Anello SDH, WiMAX
- Rete in area geografica (Wide Area Network, WAN)
 - gli utenti sono distribuiti su un'area molto estesa (una nazione, un continente, l'intero globo terrestre)
 - e.g. PSTN, PLMN, Internet

Distinzione delle reti in base alla loro estensione

Interprocessor distance	Processors located in same	Example
1 m	Square meter	Personal Area Network (PAN)
10 m	Room	
100 m	Building	Local Area Network (LAN)
1 km	Campus	
10 km	City	Metropolitan Area Network (MAN)
100 km	Country	
1000 km	Continent	Wide Area Network (WAN)
10,000 km	Planet	

Interconnessione di reti

- Più reti possono essere interconnesse tra loro in modo da formare una rete più estesa
- Questo è in generale possibile se
 - **le reti componenti sono di tipo omogeneo, oppure**
 - **si aggiungono opportuni meccanismi e protocolli comuni operanti sopra le varie reti componenti**

Distinzione delle reti in base al loro posizionamento

- Una singola (sotto)rete porzione di una rete più grossa può essere classificata come:
 - **Rete di accesso**
 - normalmente utilizzata per interconnettere tra loro i terminali di utente presenti in una area limitata e per interconnettere questi con una rete di trasporto
 - **Rete di trasporto**
 - interconnette tra di loro le reti di accesso permettendo la comunicazioni tra terminali di utente remoti collegati a differenti reti di accesso
 - In riferimento alla rete più grossa di cui fa parte, viene anche chiamata "Core Network"
- Si differenziano generalmente per caratteristiche trasmissive, qualità del servizio, affidabilità, capacità di gestione, etc.

Soggetti nella fornitura del servizio di telecomunicazione

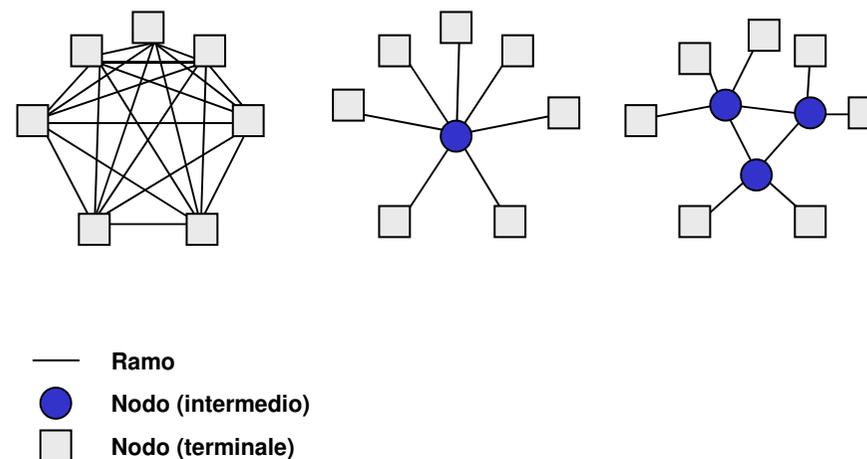
- Gestore di rete (network operator)
 - **Ha il compito di attivare e mantenere operativi la piattaforma di rete in modo da assicurare la fruizione del servizio di telecomunicazione**
- Fornitore del servizio (service provider)
 - **Ha il compito di rendere fruibile il servizio di telecomunicazione al cliente secondo modalità (e.g. costo, durata) predefinite (Service Agreement)**
 - **Per rendere possibile il trasferimento dell'informazione deve poter utilizzare la infrastruttura di rete resa disponibili dal gestore**
- Cliente/utente del servizio (service customer)
 - **fruitore del servizio, i.e. soggetto della comunicazione (sorgente e/o destinazione)**
 - **per fruire di un servizio deve interagire con il fornitore**

Rami, nodi, topologie di rete

Rami e nodi

- Una rete è genericamente composta da nodi interconnessi tramite rami
 - **Un nodo** è l'estremità comune di uno, due o più rami convergenti nello stesso punto
 - mezzo di scambio tra due o più rami, o terminazione degli stessi
 - **Un ramo**, costituisce elemento di connessione di due nodi
 - rappresenta il percorso diretto che l'informazione segue per essere trasferita tra due nodi
- Il significato di queste entità geometriche è diverso a seconda del livello funzionale considerato; esempi:
 - **nodi**: terminazioni fisiche di rete, apparati di commutazione (switching), elaboratori, etc.
 - **rami**: mezzo trasmissivo, giunzione fisica/logica tra due apparati di rete, percorso logico dell'informazione tra due elaboratori, etc

Rami e nodi



Nodi intermedi e terminali

- Nodo intermedio (nodo di commutazione)
 - **nodo di scambio, moltiplicazione/demoltiplicazione**
 - **genericamente riferito come Relay System**
 - **a seconda dei casi viene chiamato:**
 - gateway, router, switch, digital cross connector, hub, repeater, etc.
- Nodi terminali (o sistemi/apparecchi terminali)
 - **sorgente/destinazione della comunicazione**
 - **costituenti il mezzo attraverso cui un utente usufruisce di uno o più servizi di telecomunicazione**
 - **genericamente riferito come End System, Terminal Equipment**
 - **possono essere di varia forma e possono dipendere dalla tipologia di rete e/o dal servizio, esempio:**
 - TV, telefono fisso/mobile, PC (laptop, palmtop, etc), elettrodomestici
- A seconda del livello di astrazione, un nodo può assumere funzione di nodo terminale o nodo intermedio

Grafo di rete

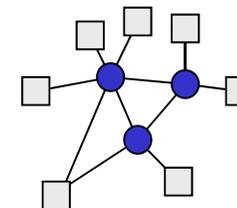
- Una topologia di rete è definita da un grafo

$$G=(V,A)$$

V = insieme dei vertici (nodi), $N = |V|$

A = insieme degli archi (rami), $R = |A|$

- Esempio
 $N=10, R=11$

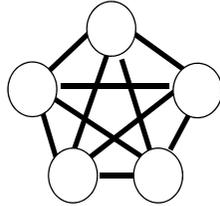


- Se necessario si fa distinzione sul verso di percorrenza dei rami
 - **grafo orientato**

Topologia a maglia completa

- Ogni nodo è connesso direttamente con tutti gli altri nodi, i.e. è presente un ramo per ogni coppia di nodi

$$R = N(N-1)/2$$

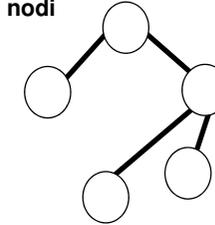


- Vantaggio: tolleranza ai guasti
 - se tutti i nodi intermedi, allora molteplicità di percorsi tra coppie di nodi
 - altrimenti i guasti di un ramo interessano comunque solo i nodi estremi
- Svantaggio: elevato numero di rami
- E' usata solo quando i nodi sono pochi (e/o "vicini")
 - quando il costo di interconnessione è basso

Topologia ad albero

- Grafo connesso con un solo percorso (cammino) tra ogni coppia di nodi
 - Def: grafo connesso: se c'è sempre un cammino per ogni coppia di nodi

$$R = N - 1$$

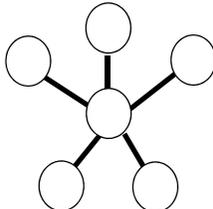


- Vantaggio: basso numero di rami
- Svantaggio: vulnerabilità ai guasti (solo un percorso tra due nodi)
- E' usata per ridurre i costi e semplificare la stesura dei rami

Topologia a stella

- Caso particolare di albero: tutti i nodi sono connessi tramite un ramo ad un nodo (centrale)
 - distanza max tra due nodi = 2

$$R = N - 1$$

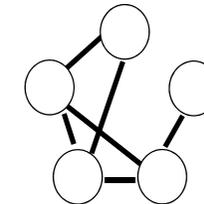


- Vantaggio: basso numero di rami, semplicità di istradamento, semplicità dei nodi diversi dal centrale
- Svantaggio: vulnerabilità ai guasti del nodo centrale
- E' usata per ridurre i costi e semplificare la stesura dei rami

Topologia a maglia non completa

- Caso più generale dei precedenti, compromesso tra albero e rete a maglia completa

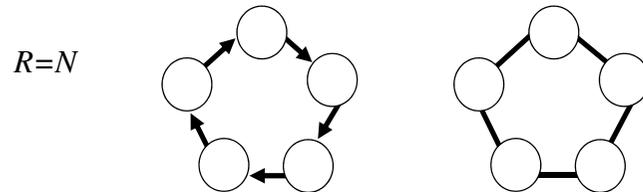
$$N - 1 < R < N(N-1)/2$$



- Svantaggio: topologia non regolare
- Vantaggio: tolleranza ai guasti e numero di rami selezionabile a piacere
- E' la più usata

Topologia ad anello

- I nodi sono interconnessi ad “anello”
- Può essere unidirezionale o bidirezionale
 - Se bidirezionale, distanza max tra due nodi = $\lfloor N/2 \rfloor$



- Usata principalmente in reti locali e metropolitane

Topologia a bus punto-punto (unicast)

- I nodi sono connessi in modo “lineare”
- Si base su collegamenti attivi tra i nodi (bus attivo)
 - ogni nodo partecipa alla comunicazione tra le altre coppie di nodi



- Usata (soprattutto in passato) principalmente in LAN e MAN con cavo (wired)

Topologia a bus punto-multipunto (broadcast)

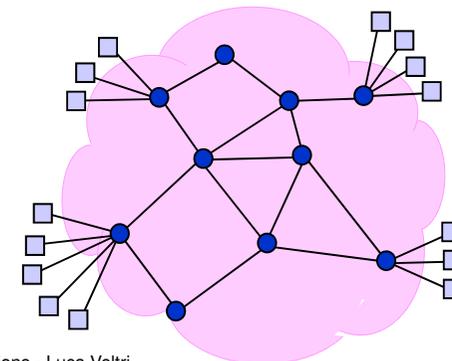
- Il collegamento tra i nodi avviene tramite un unico mezzo diffusivo (broadcast)
 - tutti i nodi sono connessi ad un unico mezzo (fisico o virtuale) di tipo broadcast
 - bus passivo
 - la comunicazione avviene contemporaneamente da uno a tutti
 - rappresentabile con un ramo da uno a tutti o da tutti a tutti (nella teoria dei grafi viene chiamato “iper-ramo”, e il grafo che contiene “ipergrafo”)



- Usata principalmente in LAN e MAN (wired o wireless)

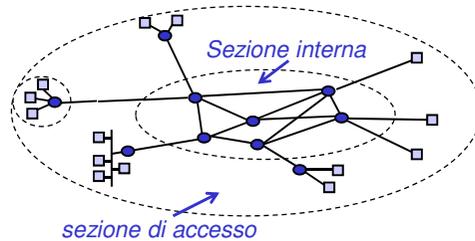
Topologia generale di una rete di TLC

- In generale la topologia di una rete di TLC può essere una combinazione delle topologie precedenti (topologia mista):
 - maglia completa, stella, albero, etc.
 - in alcuni casi una rete può essere anche rappresentata con una nuvola che interconnette i vari nodi terminali



Sezione di accesso e sezione interna

- Reti di TLC complesse vengono spesso viste come composte da due parti (dette anche zone o sezioni)
 - **sezione di accesso (rete di accesso)**
 - **sezione interna (rete di trasporto/transito, core, dorsale, backbone)**



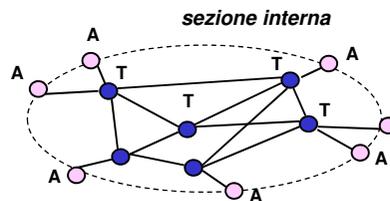
- Sezione di accesso e interna si possono differenziare per velocità di trasferimento, topologia, tecnologie, mezzi trasmissivi, funzionalità di gestione, affidabilità, ridondanza, etc.

Sezione di accesso

- Ha il ruolo di consentire l'accesso alla rete ai suoi utenti
- Viene realizzata attraverso differenti mezzi e tecnologie
 - **wireless**
 - **wired (rame, fibra)**
 - **punto-punto, broadcast**
 - ..
- E' la sede di risorse che in alcuni casi sono indivise e dedicate ai singoli utenti/terminali
- Comprende l'interfaccia utente-rete

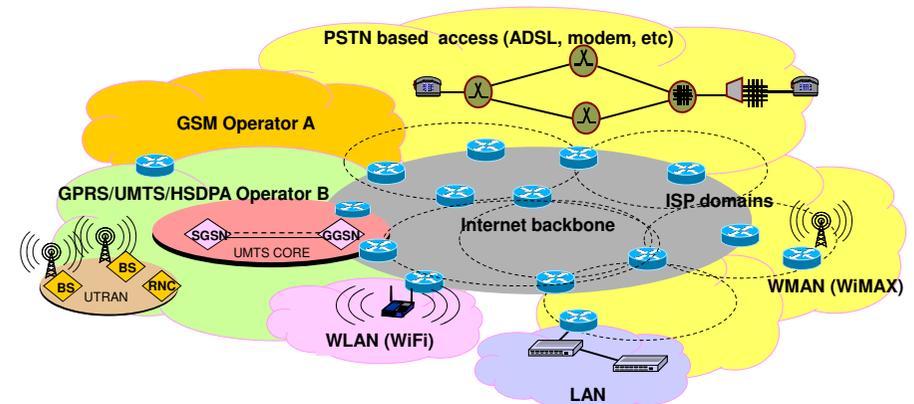
Sezione interna

- Ha il ruolo di trasferire l'informazione tra nodi di accesso, utilizzando, se necessario, anche nodi di transito
- E' sede di risorse condivise (di trasferimento e di elaborazione) con elevate prestazioni, in termini di velocità (trasmissiva, elaborativa), affidabilità, etc



A : Nodi di accesso
T : Nodi di transito

Sezione di accesso e sezione interna in Internet



Sezione di accesso e sezione interna in Internet

- Access Network (pto-pto and multi-pto)
 - (IP over) PSTN/ISDN
 - (IP over) xDSL
 - (IP over) Ethernet10M/100M/1G
 - (IP over) GPRS/UMTS
 - (IP over) WLAN/802.11 (WiFi)
 - (IP over) WMAN/802.16 (WiMAX)
- Core Network
 - (IP over) ATM/SDH
 - (IP over) MPLS/SDH
 - (IP over) Gigabit Ethernet
 - (IP over) IPv6 over..

Tipi di informazione

Unità Informative

- Obiettivo della comunicazione è il trasferimento dell'informazione tra due o più terminali/utenti
- L'informazione può essere: analogica o digitale
- Verrà considerata solo informazione digitate (eventualmente come uscita di convertitore A/D e codec)
 - **voce, video, dati..**
- L'informazione viene trasferita mediante Unità Informative (UI)
 - **singoli bit**
 - **singolo byte**
 - **blocchi/sequenze di bit o byte (di dimensione fissa o variabile)**
 - a seconda dei casi, vengono chiamati: unità dati, pacchetti, messaggi, segmenti, trame, etc.

Informazione utente, di controllo, e di gestione

- In una rete di TLC si possono distinguere 3 differenti tipi di informazione/traffico:
 - **Informazione di utente**
 - è l'obiettivo della comunicazione
 - differenti media (voce, dati, video, etc.)
 - viene trasmessa in accordo ad opportuni formati (protocolli, codec)
 - può essere inviata insieme a dell'extra-informazione aggiunta per scopi di controllo del trasferimento (overhead), e.g. indirizzi, campi di controllo di errore, etc..
 - coinvolge le funzionalità di trasporto della rete
 - **Informazione di segnalazione/controllo**
 - è di supporto affinché possa avvenire la comunicazione
 - permette di inizializzare una comunicazione e negoziarne le caratteristiche
 - e/o controllare il trasferimento dei dati di utente
 - coinvolge le funzionalità di controllo

Informazione utente, controllo, gestione (cont.)

➤ **Informazione di gestione (OAM - Operation Administration Management)**

- in genere scambiata tra nodi di rete
- ha lo scopo di consentire operazioni di gestione delle risorse/apparati di rete
- in particolare:
 - informazione per operazioni di esercizio (operation)
 - informazione per operazioni di amministrazione (administration)
 - informazione per operazioni di manutenzione (management)

- In alcuni casi i tre tipi di informazione (utente, controllo, gestione) possono essere trattati da e viaggiare su (sotto)reti differenti; in tal caso si parla di:

- **rete dati (o di trasporto)**
- **rete di segnalazione**
- **rete di gestione**

- In altri casi possono condividere la stessa infrastruttura di rete

Qualità del servizio e sicurezza nelle reti

Ritardo (1/2)

- Le UI possono subire del ritardo nell'attraversamento dei nodi e rami della rete
- Componenti del ritardo sono:
 - **ritardo di elaborazione**
 - il tempo richiesto dal nodo di rete per esaminare la UI (normalmente l'instestazione del pacchetto) e per determinare dove instradarla
 - questo può includere eventualmente il tempo per elaborare la UI stessa, ad esempio controllare se sono presenti errori, modificare le informazioni di instradamento, etc.
 - può essere dell'ordine dei microsecondi o inferiore
 - **ritardo di coda e attraversamento del nodo**
 - il tempo che la UI trascorre in un nodo di rete prima di iniziare ad essere trasmesso sul link di uscita
 - dipende dal tipo di attraversamento realizzato all'interno nel nodo
 - può dipendere dal grado di congestione del nodo (traffico totale in ingresso e/o uscita)

Ritardo (2/2)

- Componenti del ritardo: (cont.)
 - **ritardo di trasmissione**
 - tempo necessario per trasmettere completamente la UI
 - questo influenza sia il tempo di trasferimento della UI corrente, e sia il ritardo di coda subito dalle UI seguenti
 - viene introdotto da ogni nodo che opera in modalità store&forward
 - se R è il bitrate [bit/s] in uscita, e L_{UI} la lunghezza [bit] della UI, $t_{Tx} = L_{UI}/R$
 - **ritardo di propagazione**
 - tempo di propagazione nel mezzo fisico
 - dipende dal mezzo ed è proporzionale alla lunghezza dello stesso
 - se v_m è la velocità [m/s] di propagazione nel mezzo e L_m la sua lunghezza [m], il tempo di propagazione è $t_p = L_m/c_m$
- Il ritardo complessivo end-to-end è la somma dei ritardi introdotti dai singoli nodi e rami

Perdita

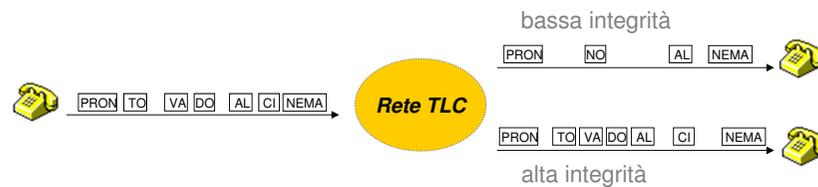
- In generale durante il trasferimento di una UI questa può “perdersi” o arrivare errata
- Ciò può essere causato da:
 - **errori trasmissivi**
 - **possibile congestione della rete ovvero dei nodi attraversati (e.g. per buffer overflow)**
 - **errori procedurali (e.g. errori nei protocolli di routing, banchi nei programmi)**
- Eventuali errori/perdite possono essere recuperati tramite correzione e/o ritrasmissione

Prestazioni di un servizio di TLC

- Le prestazioni più significative di un servizio di comunicazione riguardano:
 - **l'integrità informativa**
 - corrispondenza tra informazione emessa e ricevuta (sequenze binarie)
 - può essere valutato attraverso un tasso di errore residuo sul bit (BER/Bit Error Rate) o sulle UI (Packet Loss o FER/Frame Error Rate)
 - **la trasparenza temporale**
 - riguarda i ritardi di transito
 - può essere valutato attraverso le statistiche dei ritardi
 - è importante considerare sia il valore di ritardo medio che la sua variazione (jitter)
- Dipendono da vari parametri quali:
 - **congestione della rete, velocità nei rami, probabilità di errori trasmissivi, procedure e protocolli usati, etc.**

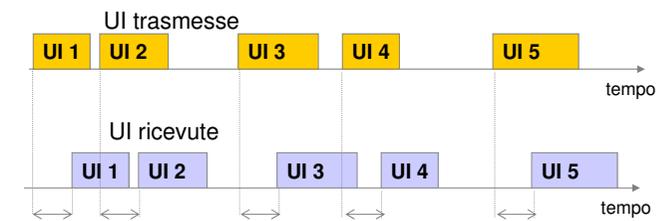
Integrità informativa

- l'insieme delle UI ricevute è simile all'insieme delle UI trasmesse

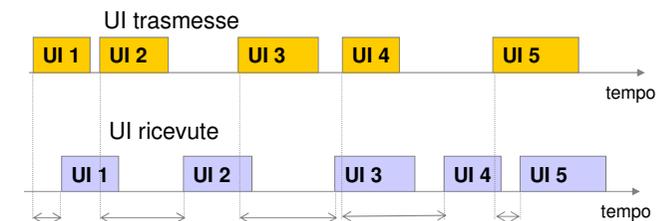


Trasparenza temporale

Temporalmente trasparente



NON Temporalmente trasparente



Sicurezza

- In molti casi un aspetto importante nella comunicazione a distanza è la sicurezza che si riesce a garantire alle parti e ai dati scambiati
- Vari servizi di sicurezza:
 - **Autenticazione delle parti**
 - garanzia/verifica che le parti interessate alla comunicazione siano esattamente chi sostengono di essere
 - **Riservatezza/Confidenzialità**
 - garanzia che i dati siano accessibili solo ai soggetti autorizzati
 - **Autenticazione e Integrità dei dati**
 - garanzia che i dati siano stati emessi da una specifica sorgente e che non siano stati indebitamente alterati o manipolati
 - **Disponibilità**
 - garanzia che i dati siano elaborati o trasmessi in tempo ragionevole, o che non siano stati resi inaccessibili
 - **Non ripudio**
 - possibilità di dimostrare di aver ricevuto o inviato dei dati in modo autentico, ovvero l'impossibilità dell'altra parte di confutare dati precedentemente emessi o ricevuti

- Vari meccanismi utilizzati:

- **crittografia, firma digitale, protocolli di autenticazione, fitraggio, monitoring, etc.**

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

41

Organismi di standardizzazione

Principali organismi internazionali

- International Telecommunication Union (ITU)
 - è un'agenzia specializzata delle Nazioni Unite, con sede in Ginevra e con il compito di armonizzare tutte le iniziative mondiali e regionali nel settore delle Telecomunicazioni
 - include le precedenti attività svolte dal CCITT
 - produce Raccomandazioni: queste hanno carattere volontario, ma costituiscono di fatto un linea-guida fondamentale per le attività dei diversi attori nel mondo delle Telecomunicazioni
- International Standard Organization (ISO)
 - Ente delle Nazioni Unite, creato con l'obiettivo di promuovere lo sviluppo della normativa internazionale per facilitare il commercio di beni e servizi nel mondo
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
 - particolarmente attivo nella standardizzazione delle tecnologie per reti in area locale (LAN) e metropolitana (MAN)

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

43

Principali organismi internazionali (cont.)

- IETF (Internet Engineering Task Force)
 - è il gruppo preposto alla definizione degli standard nel mondo Internet
 - chiunque può partecipare sottomettendo degli internet-draft
 - produce degli standard denominati Request For Comments (RFC)
 - <http://www.ietf.org>
- 3GPP (Third Generation Partnership Project)
 - 3GPP riunisce differenti organizzazioni e associazioni con l'obiettivo di produrre specifiche tecniche per la reti mobili di terza generazione (3G) come evoluzione della rete GSM
 - mantiene anche le specifiche del GSM e EDGE
 - <http://www.3gpp.org>
- European Telecommunication Standards Institute (ETSI)
 - La preparazione degli standard è effettuata da comitati tecnici, che trattano argomenti specifici e che riferiscono ad una assemblea tecnica

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

44