



# Architetture e protocolli di comunicazione

Luca Veltri

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

Corso di Reti di Telecomunicazione, a.a. 2012/2013

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

## Indice

- Esempio di una comunicazione tra due terminali
- Funzioni in una comunicazione dati
- Architetture protocollari
  - **stratificazione e raggruppamento**
  - **entità e protocolli**
  - **unità informative (PDU)**
  - **interfacce tra strati (SAP)**
- Nodi di rilegamento/commutazione/gateway
- Interlavoro tra reti
- Tunneling
- Modello OSI
- Architettura Internet

2

## Introduzione

- Le prime piattaforme di rete di TLC nascono realizzate completamente in hardware
- All'aumentare della loro complessità tecnologica e delle funzioni implementate (principalmente via software), le reti divengono fortemente strutturate
  - **comunicazione come serie di funzioni organizzate in strati (layer) o livelli**
  - **il numero degli strati e le loro funzioni varia da rete a rete**
  - **si parla di architetture protocollari**
- Motivazioni per le architetture protocollari
  - **riduzione della complessità di progettazione e gestione**
  - **facilità di riutilizzo di specifici protocolli o di intere (sotto)reti**

3

## Funzioni e protocolli di comunicazione

- La comunicazione tra due o più parti richiede lo svolgimento una sequenza di funzioni, quali ad esempio:
  - **indirizzamento dei terminali e/o degli applicativi**
    - e.g. tramite URL: <http://www.tlc.unipr.it>, o indirizzo numerico
  - **scambio di messaggi applicativi quali ad esempio le richieste di trasferimento, le risposte, i dati, etc.**
    - e.g. GET /veltri/reti/index.html
  - **controllo e recupero di errore**
    - necessario per far fronte ad eventuali errori nel trasferimento del messaggio attraverso la rete
  - **controllo di congestione della rete**
    - gestione di eventuali situazioni di sovraccarico della rete
  - **controllo di flusso**
    - gestione di eventuali situazioni di sovraccarico del nodo di destinazione

4

## Funzioni e protocolli di comunicazione (cont.)

elenco funzioni (cont.)

- **controllo della sequenza dei messaggi e eventuale riordino**
- **instradamento dei dati attraversamento eventuali nodi intermedi**
  - nel caso di rete strutturata (e.g. rete Internet)
- **inoltrò dei dati attraverso ogni ramo (link)**
- Se sono presenti nodi intermedi, su ogni collegamento:
  - **controllo e recupero di errore sul singolo link**
  - **controllo di flusso**
  - **delimitazione delle unità informative**
  - **gestione dell'accesso e della condivisione del mezzo**
  - **co(deco)difica, mo(demo)dulazione**
  - **trasmissione attraverso il mezzo fisico (fibra, rame, radio)**
  - **etc.**

5

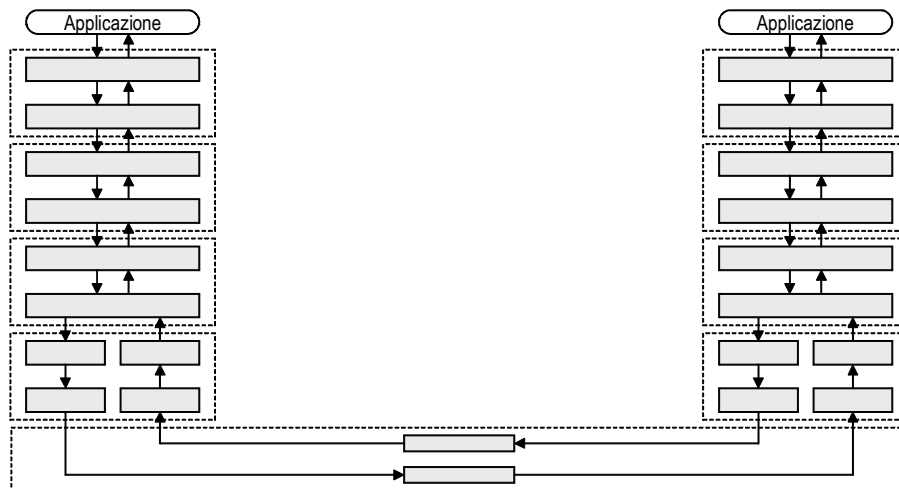
## Funzioni e protocolli di comunicazione (cont.)

- Altre funzioni:
  - **gestione della mobilità (nel caso di terminali mobili)**
  - **autenticazione delle parti**
  - **autenticazione e/o criptaggio dei dati**
  - **gestione della mobilità (nel caso di terminali mobili)**
- Tali funzioni vengono in genere svolte in maniera collaborativa (interazione costante tra due o più parti) rispettando opportune regole procedurali → protocolli di comunicazione

6

## Funzioni, protocolli, architetture a strati

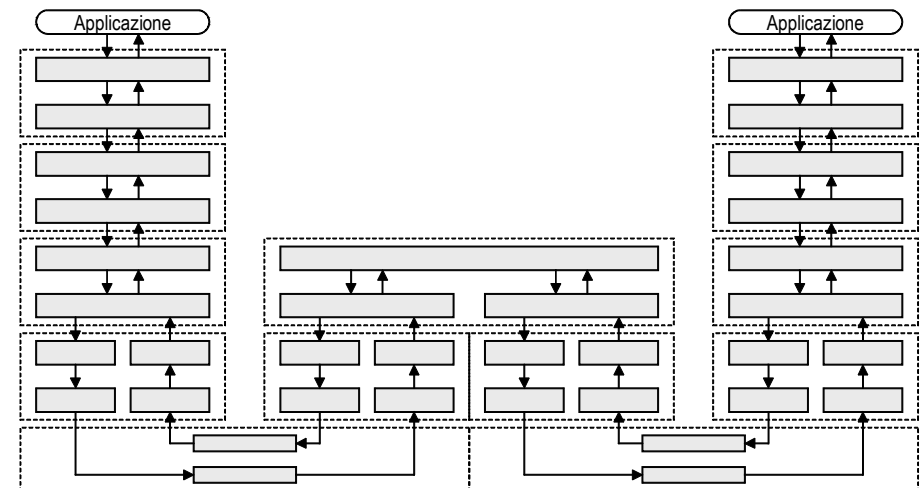
- Comunicazione diretta tra 2 terminali



7

## Funzioni, protocolli, architetture a strati

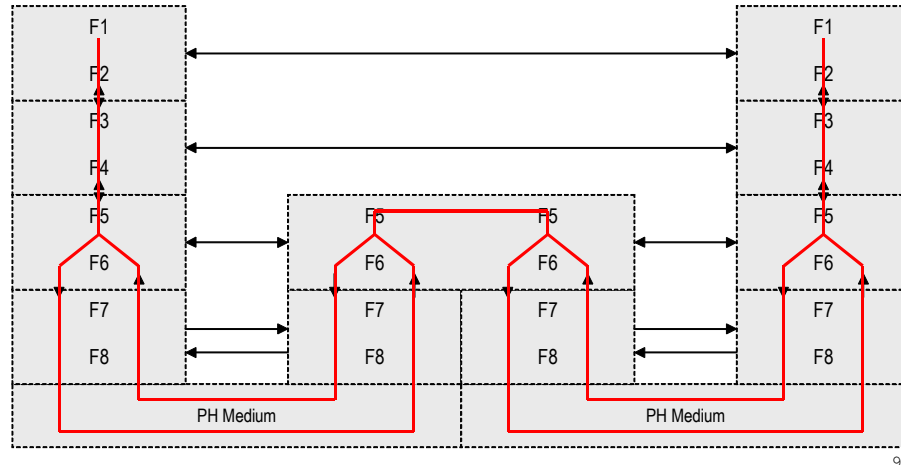
- Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio



8

## Funzioni, protocolli, architetture a strati

- Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio



9

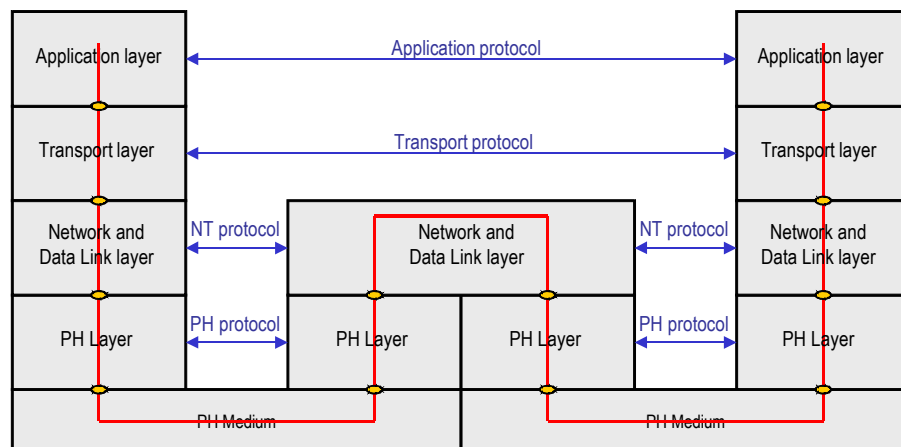
## Architetture a strati

- Funzioni simili per logica e per tecnologia realizzativa sono raggruppate in sottoinsiemi funzionali omogenei
- Ogni sistema è visto come logicamente composto da una successione ordinata di questi sottosistemi (organizzati in "livelli")
- I sottoinsiemi operano in ordine gerarchico in modo che:
  - ciascuno di essi interagisca solo con i sottoinsiemi che gli sono gerarchicamente "adiacenti" (di ordine superiore o inferiore)
- Tutti i sottosistemi di uguale livello appartenenti a qualunque sistema tra quelli interconnessi (sottosistemi omologhi) formano uno strato
- L'insieme di funzioni di uno strato (di livello  $n$ ) viene comunemente indicato con il termine "protocollo" (di strato  $n$ )

10

## Funzioni, protocolli, architetture a strati

- Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio



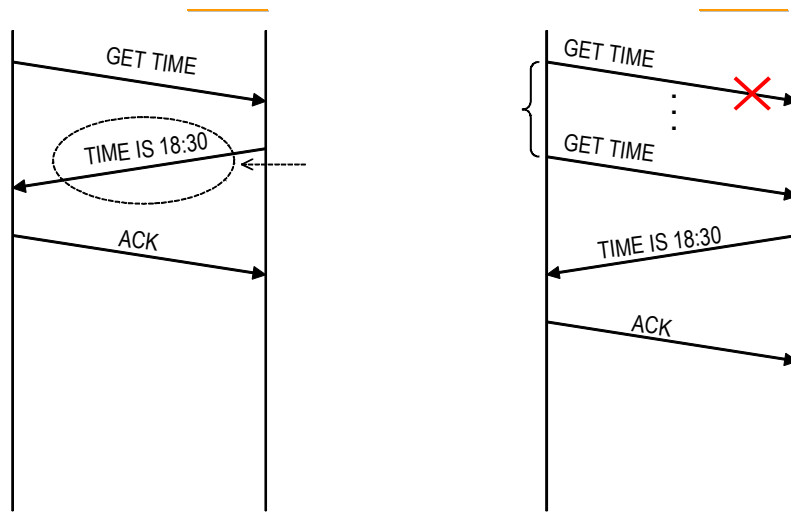
11

## Protocolli di comunicazione

- In generale un protocollo di comunicazione è un accordo tra le parti interessate su come la comunicazione può o deve procedere
  - regole della comunicazione
- Un protocollo include un insieme di funzioni e le rispettive regole procedurali
  - evoluzione della comunicazione
  - semantica dei messaggi
  - sintassi dei messaggi
  - algoritmi usati
  - parametri
  - timeout
  - etc

12

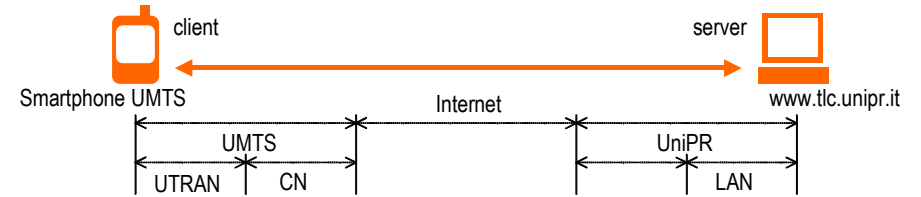
## Evoluzione temporale di un protocollo di comunicazione



13

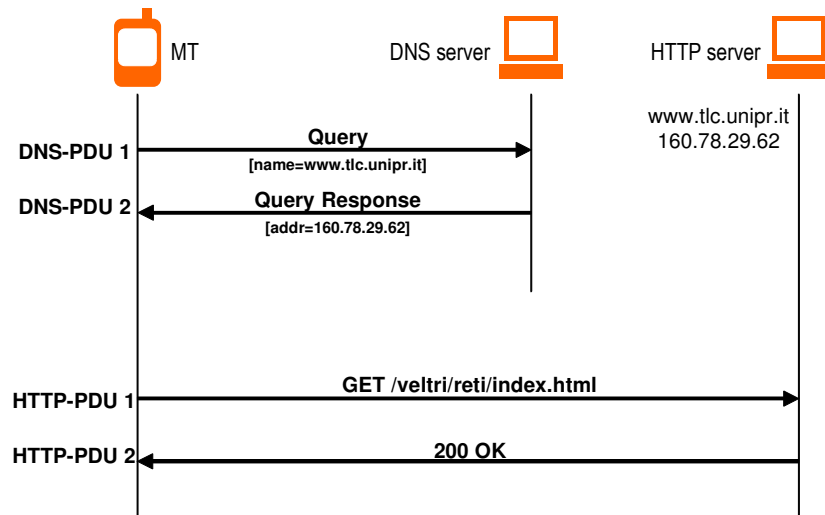
## Esempio di comunicazione tra 2 terminali

- Esempio
  - Servizio: trasferimento (e visualizzazione) da parte di un "client" di una pagina web da "server" remoto (e.g. <http://www.tlc.unipr.it/veltri/reti/index.html>)
  - Applicazioni: Browser (lato client) e Server Web (lato server)
  - Terminali: Smartphone UMTS (lato client), Workstation (lato server)



14

## Esempio di comunicaz. - livello "applicativo"



15

## Esempio di comunicaz. - livello "applicativo" (HTTP)



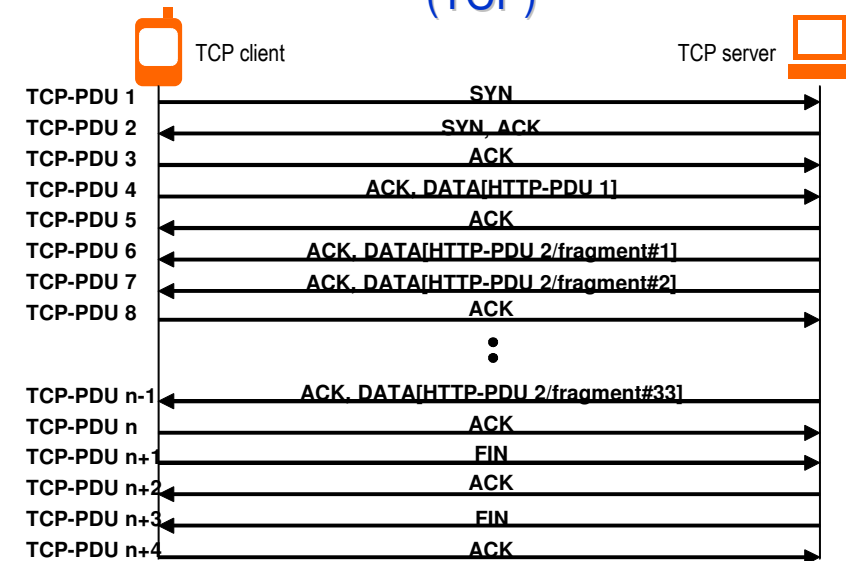
16

## HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

- Principali funzioni svolte:
  - **trasferimento di dati (file) tramite transazioni di tipo richiesta/risposta**
  - **delimitazione delle unità informative**
- Requisiti:
  - **collegamento bidirezionale affidabile byte-oriented**
- Caratteristiche:
  - **protocollo di tipo testuale (messaggi in formato ascii)**
- Nodi intermedi:
  - **HTTP Proxy**

17

## Esempio di comunicaz. - livello di "trasporto" (TCP)



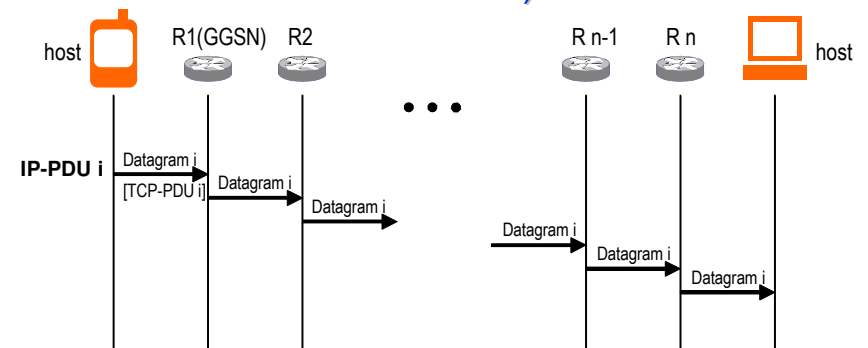
18

## TCP (Transmission Control Protocol)

- Principali funzioni svolte:
  - **trasferimento (affidabile) di dati bidirezionale orientato al flusso (due flussi di bytes)**
  - **controllo e recupero di errore**
  - **controllo di flusso**
  - **controllo di congestione**
  - **indirizzamento**
- Requisiti:
  - **trasferimento inaffidabile unidirezionale di dati end-to-end (tra due terminali TCP)**
  - **sistema di indirizzamento end-to-end**
- Caratteristiche:
  - **protocollo di tipo binario**
- Nodi intermedi:
  - **nessuno**

19

## Esempio di comunicaz. - livello IP (per ogni TCP-PDU)



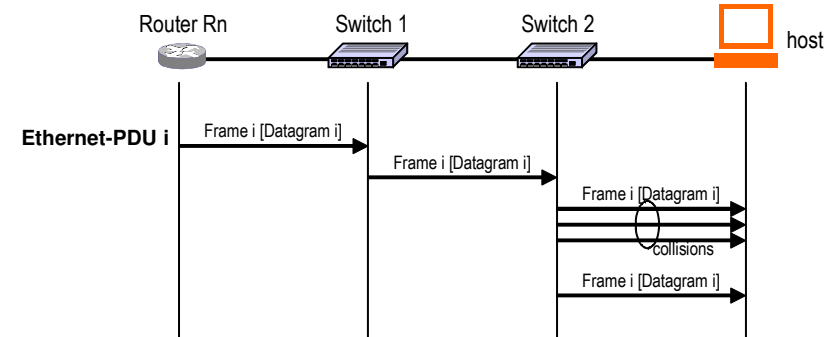
20

## IP (Internet Protocol)

- Principali funzioni svolte:
  - **trasferimento inaffidabile di dati unidirezionale orientato al messaggio**
  - **controllo di errore**
  - **indirizzamento**
  - **routing**
  - **frammentazione**
- Requisiti:
  - **trasferimento inaffidabile di pacchetti tra due nodi IP collegati alla stessa sottorete**
- Nodi intermedi:
  - **router**

21

## Esempio di comunicaz. - livello di Data link (solo ultimo ramo IP)



22

## Ethernet (IEEE 802.3)

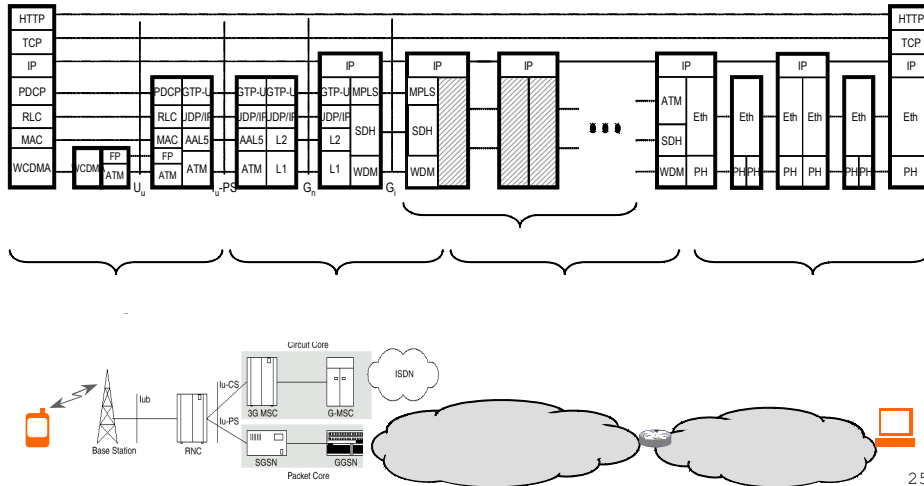
- Principali funzioni svolte:
  - **trasferimento inaffidabile di dati unidirezionale orientato al messaggio**
  - **controllo di errore (no recupero di errore)**
  - **indirizzamento**
  - **routing**
  - **controllo di accesso al mezzo**
  - **delimitazione delle unità informative**
- Requisiti:
  - **connessione fisica**
- Nodi intermedi:
  - **Switch, Bridge, Hub, Repeater**

23

## Esempio di comunicazione - Protocol Analyzer (Wireshark)

24

## Esempio di comunicazione - Architettura protocollare (semplificata)



25

## Protocolli incontrati nell'esempio

- Alcuni protocolli incontrati nell'esempio:
  - DNS (Domain Name System)
  - HTTP (Hypertext Transfer Protocol)
  - TCP (Transmission Control Protocol)
  - UDP (User Datagram Protocol)
  - IP (Internet Protocol)
  - PDCP (Packet Data Convergence Protocol)
  - RLC (Radio Link Control), MAC (Medium Access Control)
  - GTP-U (GPRS Tunneling protocol - User)
  - WCDMA (Widband Code-Division Multiple Access)
  - ALL5 (ATM Adaptation Layer 5)
  - ATM (Asynchronous Transfer Mode)
  - MPLS (Multi-Protocol Label Switching)
  - SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
  - Ethernet (IEEE 802.3)

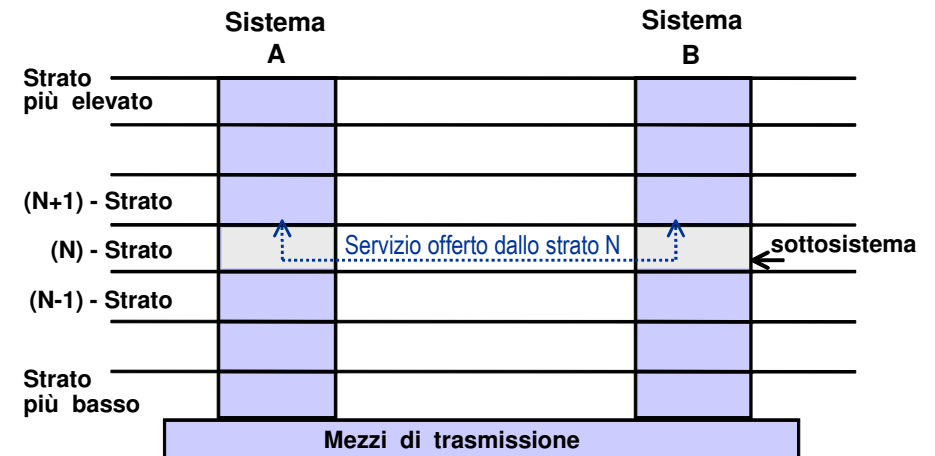
26

## Architetture a strati

- Ogni strato o protocollo riceve un "servizio" dallo strato che gli è immediatamente inferiore nell'ordine gerarchico
- arricchisce questo "servizio" con il valore derivante dallo svolgimento delle proprie funzioni
- offre il nuovo "servizio" a valore aggiunto allo strato/protocollo che gli è immediatamente superiore nell'ordine gerarchico

27

## Architetture a strati



28

## Indipendenza funzionale degli strati

- Il "servizio" fornito da un generico strato può essere definito in modo del tutto indipendente dalle procedure con cui è effettivamente realizzato
- Per ognuno dei sistemi interconnessi, l'architettura considera solo gli aspetti che riguardano il comportamento verso l'esterno e cioè quelli volti alla cooperazione con altri sistemi

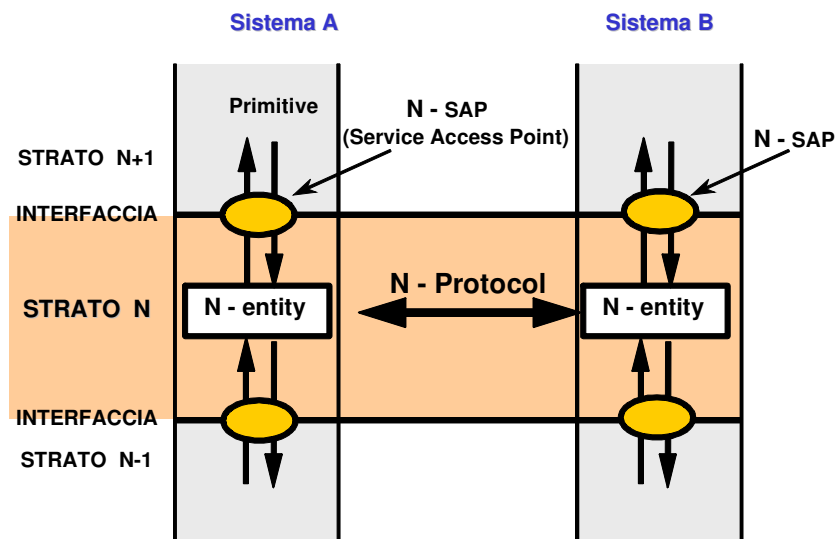
29

## Vantaggi delle architetture a strati

- L'applicazione del principio della stratificazione consente
  - di **sezionare il complesso problema della comunicazione in un insieme di problemi più semplici, ognuno dei quali si riferisce ad un particolare sottoinsieme funzionale**
  - di **riutilizzare i singoli sottosistemi funzionali in sistemi (e architetture) differenti**

30

## Modello funzionale del generico strato N



31

## Elementi dell' (N)-strato (1/3)

- (N)-entità:
  - è la parte dell' (N)-sottosistema che provvede a svolgere una o più tra le funzioni dell'(N)-strato
  - se appartenenti a sistemi diversi (entità alla pari), interagiscono tra loro per l'espletamento delle funzioni loro pertinenti
  - le entità possono essere sia SW che HW
- (N)-servizio:
  - è il particolare sottoinsieme delle funzioni che sono svolte dall'(N)-strato e che sono visibili dall'(N)-interfaccia
- (N)-utenti:
  - sono le (N+1)-entità alla pari che usufruiscono dell'(N)-servizio per i loro scopi di cooperazione
- (N)-fornitore:
  - è l'insieme delle (N)-entità alla pari che cooperano per la fornitura dell'(N)-servizio
  - Nell'ambito di ogni sistema, l'(N)-utente e l'(N)-fornitore interagiscono attraverso l'(N)-SAP

32

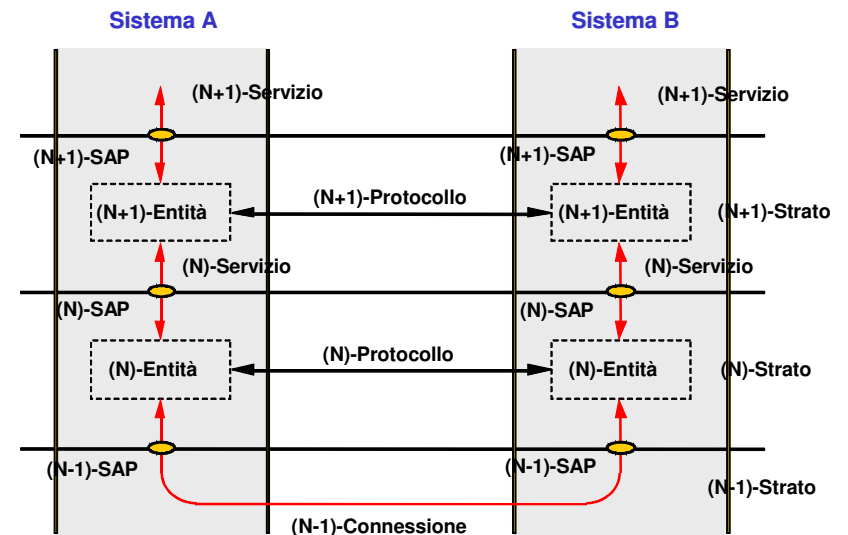


## Elementi dell' (N)-strato (2/3)

- (N)-SAP (Service Access Point):
  - è l'interfaccia logica tra una (N)-entità e una (N+1)-entità; appartiene quindi alla (N)-interfaccia
    - Può essere servito da una sola (N)-entità ed essere utilizzato da una sola (N+1)-entità
    - Tuttavia una (N)-entità può servire vari (N)-SAP ed una (N+1)-entità può utilizzare vari (N)-SAP
- (N)-indirizzo:
  - è associato ad ogni (N)-SAP e localizza l'(N+1)-entità allacciata a questo
- (N)-funzioni:
  - possono comporre l' (N)-servizio ovvero possono essere svolte senza richiedere specifiche dello strato superiore
- (N)-protocollo:
  - insieme di regole che governano la cooperazione tra (N)-entità alla pari (stesso strato)
    - spesso con il termine protocollo viene indicato l'intero strato, ovvero le entità funzionali visibili dagli strati adiacenti

33

## Elementi dell' (N)-strato (3/3)



34

## SAP (Service Access Point)

- Sono il punto di accesso di un servizio di strato
  - **N-SAP è il punto dove lo strato N+1 può accedere al servizio offerto dallo strato N**
  - **Semplificano le interazioni tra funzioni di strati adiacenti**
- Ogni SAP ha uno indirizzo che lo identifica in modo univoco
- Lo stesso indirizzo viene usato per indirizzare l'entità di strato N+1 associata al N-SAP
- Esempi di SAP:
  - presa di rete telefonica e relativo numero di telefono
  - cassetta delle poste e relativo indirizzo (nazione, città, via, numero civico, interno)
  - nella programmazione di rete, il SAP è l'oggetto (spesso indicato con il termine "socket") e le relative funzioni, che permettono ad una applicazione di accedere al servizio di strato TCP (o UDP), e identificato dalla terna composta da indirizzo IP, protocollo di trasporto, e numero di porta

35

## Flussi informativi

- Una entità è impegnata nella gestione di due flussi informativi
  - 1) con entità appartenenti agli strati adiacenti
  - 2) con entità alla pari
- Nel primo caso il trasferimento è diretto (effettivo)
  - **le UI vengono fisicamente passate da uno strato ad un altro all'interno dello stesso sistema, attraverso i SAP**
- Nel secondo caso il trasferimento è indiretto usando il servizio offerto dallo strato inferiore
  - **le UI vengono scambiate tra sistemi diversi tra entità alla pari nel rispetto del protocollo di strato**

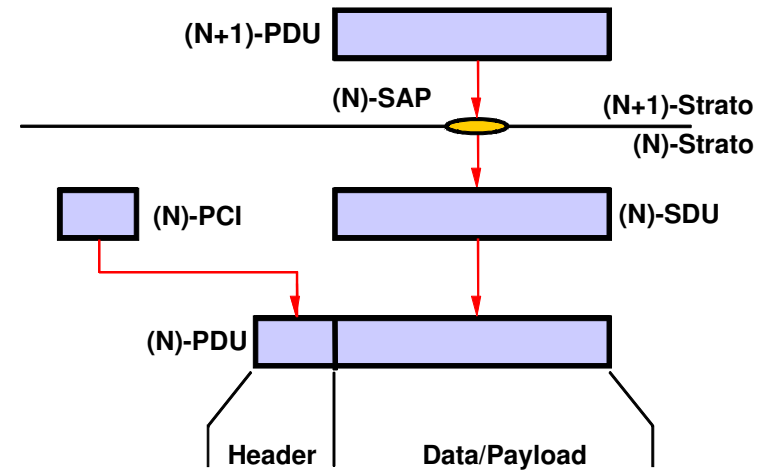
36

## Unità Informative

- Informazioni di dati:
  - sono l'oggetto primario dello scambio per le finalità del processo di comunicazione
- Informazioni di controllo:
  - hanno scopo di coordinamento delle azioni da svolgere a cura delle entità secondo gli obiettivi architetturali
- Le informazioni di dati o di controllo scambiate in un processo di comunicazione sono strutturate in unità
- Tali UI sono specifiche per ogni strato/protocollo

37

## Unità Informative



38

## Unità Informative

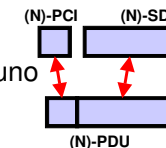
Con riferimento all'(N)-strato si hanno

- (N)-PCI, Protocol Control Information (Informazioni di protocollo )
  - sono le informazioni di controllo scambiate tra entità alla pari e corrispondenti alle regole di interazione previste nel pertinente protocollo di strato
- (N)-PDU, (N)-Protocol Data Unit (genericamente "pacchetto"):
  - consentono all'(N)-entità, nello svolgimento dell'(N)-servizio, di trasferire una (N)-PCI e, possibilmente, dati di (N)-utente
- (N)-SDU, (N)-Service Data Unit (L'unità di dati di servizio):
  - è una porzione di dati che l'entità di uno strato (N+1) trasferisce a una entità dello strato inferiore (N) nello stesso sistema affinché questa provveda a inoltrarla a destinazione nell'ambito del servizio di strato
- (N)-IDU, (N)-Interface Data Unit:
  - riguardano le informazioni trasmesse attraverso un (N)-SAP
  - è la somma di una SDU e di informazione di controllo di interfaccia (ICI)
  - ICI è informazione di controllo passata nel SAP, ma che non è inviata con le PDU; e.g. il numero di byte passati, o il tipo di servizio richiesto

39

## Relazioni tra UI in strati adiacenti

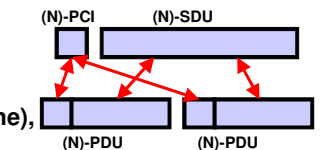
- Ogni (N+1)-strato (tranne quello più basso) invia le proprie UI (PDU) come (N)-SDU del (N)-strato inferiore
  - Ci possono essere differenti relazioni di corrispondenza tra le (N)-SDU e (N)-PDU



- Corrispondenza uno a uno

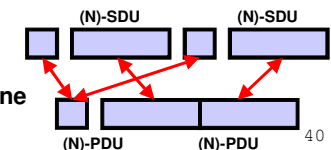
- Corrispondenza da uno a più

- Funzioni di frammentazione (segmentazione), e poi riassetto



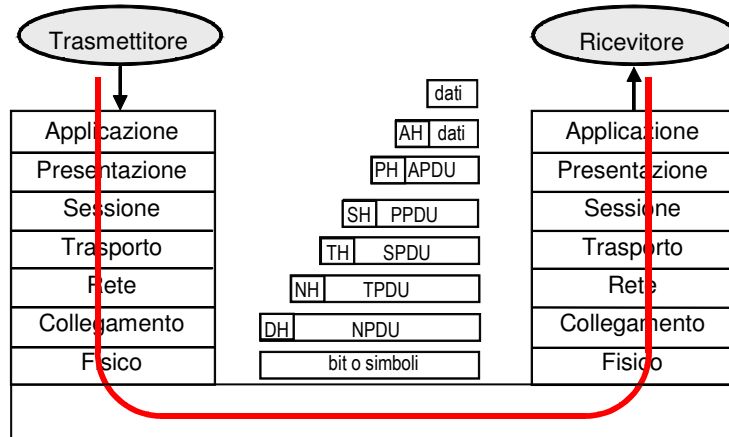
- Corrispondenza da più ad uno

- Funzioni di aggregazione, e poi separazione



40

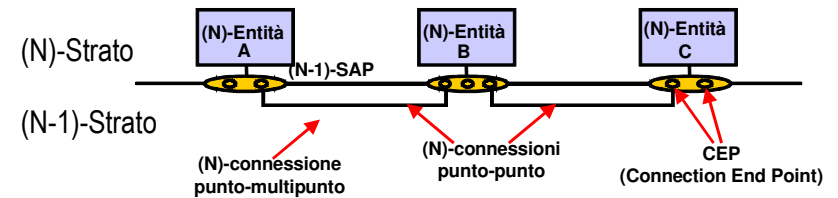
## Esempio di relazioni tra UI in strati adiacenti



41

## Connessioni di strato (solo per servizi connessi)

- Il trasferimento delle UI può avvenire
  - in maniera indipendente l'una dall'altra, solo sulla base dell'indirizzo del SAP di sorgente e di destinazione
  - creando una relazione tra le UI e gli estremi della comunicazione
- Nel secondo caso si parla di servizio di comunicazione connesso (o con connessione)
  - la relazione tra gli estremi della comunicazione e le UI si chiama "connessione"
  - CEP (Connection End Point) sono i punti terminali della connessione



42

## Tipi di PDU

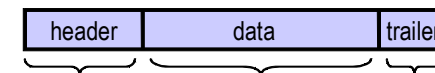
- All'interno del N-strato di un qualsiasi nodo (intermedio o terminale) le UI del N-protocollo sono gestite in accordo alla specifica implementazione SW o HW di tale protocollo
- Durante lo scambio di tali UI tra i sottosistemi di strato N del nodo sorgente e del nodo di destinazione, queste devono assumere un preciso formato (N-PDU) specificato dal N-protocollo
  - tale formato sarà utilizzato da tutti i sottosistemi di strato N dei nodi intermedi e del nodo di destinazione per interpretare le N-PDU ricevute (N-protocollo)
- Le N-PDU sono schematizzate in modo astratto come N-PCI + N-SDU e possono in genere essere viste come successione/vettore di byte (o bit)



43

## Tipi di PDU

- Le PDU sono divise in campi, ognuno dei quali con uno specifico significato nell'ambito del protocollo considerato
- Il formato di tali PDU varia da protocollo a protocollo sia per la sintassi che per la semantica dei campi di cui si compone
- La stessa separazione fisica tra PCI e SDU non trova sempre riscontro nel formato effettivo della PDU
  - per esempio, alcuni protocolli come Ethernet, PPP, IPSec-ESP, etc. posizionano parte del PCI in testa (header) e parte in coda (trailer) della UI



- I vari campi della PDU possono essere rappresentati (codificati) all'interno della successione di byte/bit in vario modo

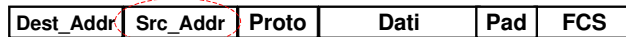
44

## Tipi di PDU

- Esistono differenti tipologie di protocolli a seconda di come questi codificano i propri campi

### ➤ protocolli binari

- i vari campi sono codificati direttamente come successione di bit e spesso hanno una posizione, dimensione e valore specificato dal protocollo stesso



field value

### ➤ protocolli testuali

- i vari campi sono codificati come stringhe di caratteri riportanti il valore letterale o numerico del campo stesso
- in molti casi viene riportato anche, come stringa di testo, il nome stesso del campo

```
GET /veltri/reti/index.html HTTP/1.1 \r\n
Host: www.tlc.unipr.it \r\n
User-Agent: Mozilla/5.0 Firefox/1.0.1 \r\n
...
```

field name

field value

45

## Tipi di PDU

- In entrambi i casi la PDU risultante è una successione di bit/byte

### ● Esempi

#### ➤ protocolli binari

- Ethernet, IP, TCP, UDP, DHCP, DNS, SNMP, H.323, STUN, etc.

#### ➤ protocolli testuali

- HTTP, POP3, FTP, SIP, SOAP, etc.

- Non esiste uno standard unico né per i protocolli binari né per quelli testuali

#### ➤ protocolli binari

- ASN.1
- Type-Length-Value (TLV)
- utilizzo di campi ad-hoc, stabiliti dal protocollo

#### ➤ protocolli testuali

- HTTP-like
- XML
- utilizzo di campi ad-hoc (testuali), stabiliti dal protocollo

46

## Type-length-value (TLV)

- I campi di un protocollo (sia quelli obbligatori che opzionali) possono essere codificati in binario all'interno del pacchetto in modalità type-length-value (TLV)
  - ogni campo TLV corrisponde ad un campo del del protocollo
- Vengono codificate di seguito le seguenti tre informazioni:
  - **Type** - codice che indica il tipo/nome del campo (in genere di dimensione fissata, e.g. 1 o 2 byte)
  - **Length** - la dimensione del valore riportato nel campo (in genere di dimensione fissata, e.g. 1 o 2 byte)
  - **Value** - il valore del campo (di dimensione variabile)
- Alcuni vantaggi nell'usare una codifica TLV sono:
  - le sequenze di campi TLV sono facili da elaborare
  - è semplice introdurre nuovi campi, che possono essere facilmente saltati se non riconosciuti

47

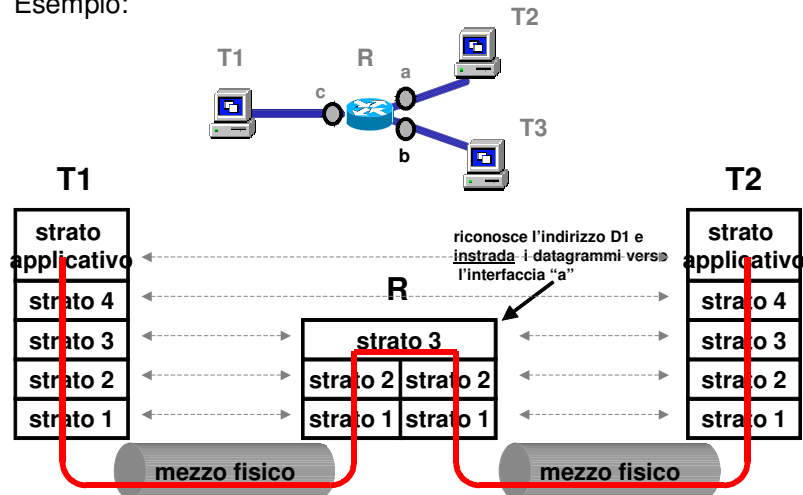
## Sistemi interconnessi

- Sistema terminale (End System): è origine o destinazione finale delle informazioni
- Sistema di rilegamento (Relay System): sistema intermedio che provvede al rilancio dell'informazione relativa alla comunicazione tra 2 o più End System
- In un Architettura protocollare potenzialmente si può effettuare "relay" a differenti livelli (strati)
- In un Relay System, lo strato di relay è lo strato più elevato che elabora le UI e che effettua il rilancio delle stesse (nel caso generale implementa funzionalità di commutazione)

48

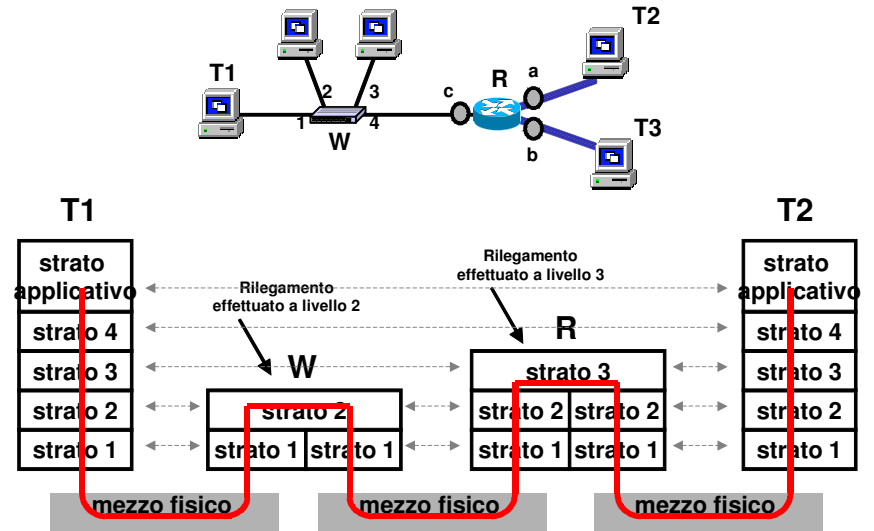
## Esempio 1: architettura con 1 Relay System

● Esempio:



49

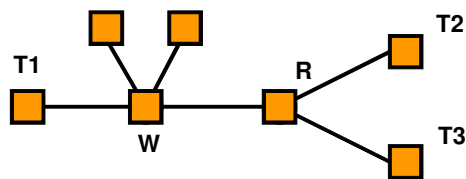
## Esempio 2: architettura con 2 Relay Systems



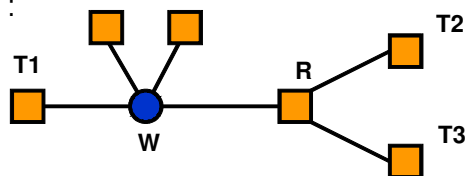
50

## Esempio 2: Topologie livello 1 e 2

Topologia di strato 1 :



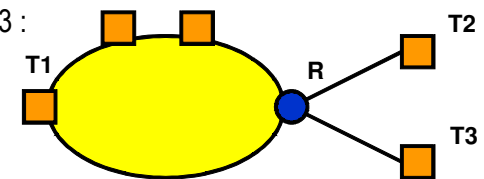
Topologia logica di strato 2 :



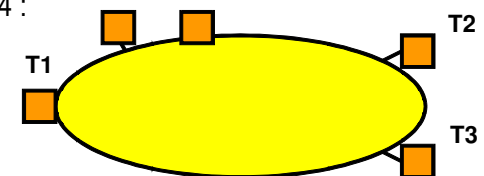
51

## Esempio 2: Topologie livello 3 e 4

Topologia logica di strato 3 :



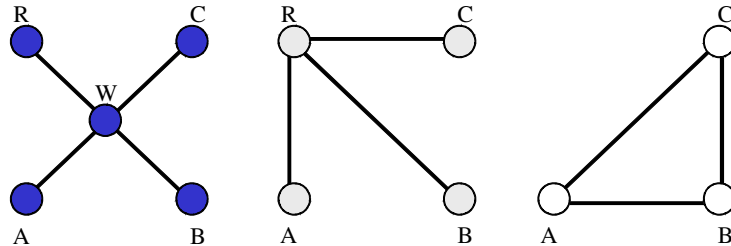
Topologia logica di strato 4 :



52

## Topologie fisiche e logiche

- Differenti livelli di astrazione
- Esempio di differenti topologie fisiche/logiche come modelli della stessa rete:

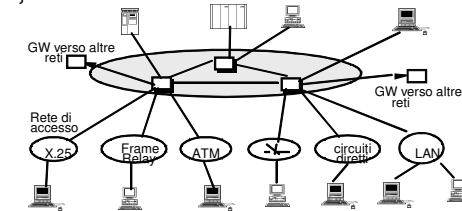


- **Nodo fisico**
- **Nodo logico livello i**
- **Nodo logico livello j**

53

## Interlavoro tra reti eterogenee: internetworking

- In una architettura di rete "omogenea" è presente una sola successione ordinata di strati/protocolli nei vari nodi (stack protocollare)
- Le reti reali di solito sono una composizione di sottoreti con architetture protocollari differenti
  - LAN, MAN, WAN
  - e tanti protocolli per i differenti strati: IEEE 802.3, LLC, X.25, Frame Relay, SDH, ATM, IP...



- Questo comporta delle architetture di rete molto eterogenee

54

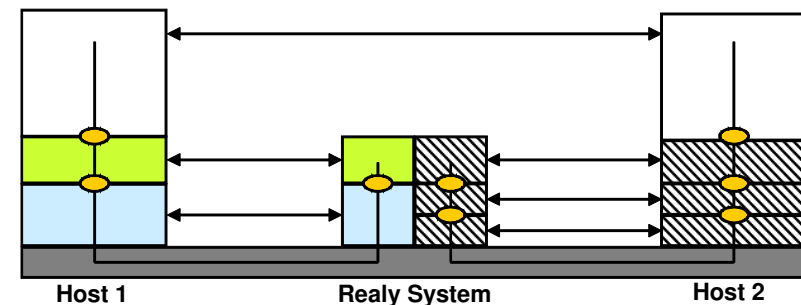
## Interlavoro tra reti eterogenee (cont.)

- Se si vuole realizzare una comunicazione tra due sistemi terminali connessi a due sottoreti differenti è necessario:
  - i due terminali implementano la stessa pila di protocolli al di sopra di quelli specifici per le due sottoreti
  - è presente un nodo intermedio che implementa i protocolli di entrambe le sottoreti
- Due possibili approcci
  - **strato di interworking**
    - il nodo intermedio implementa come strato di relay un protocollo comune ai due terminali
  - **traduzione di protocollo**
    - il nodo intermedio nello strato di relay traduce tra di loro i due differenti protocolli presenti come livello più alto nelle due sottoreti

55

## Interlavoro tra 2 reti: strato di internetworking

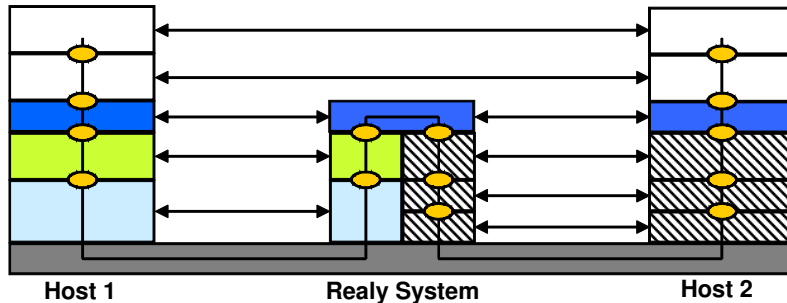
- Utilizza un protocollo comune ai terminali e al nodo intermedio (nodo di rilegamento, che realizza l'interconnessione)



56

## Interlavoro tra 2 reti: strato di internetworking

- Utilizza un protocollo comune ai terminali e al nodo intermedio (nodo di rilegamento, che realizza l'interconnessione)
  - tale protocollo coincide con lo strato più alto del nodo intermedio e realizza la funzione di relay
  - nelle due reti questo protocollo viene posizionato incapsulato in differenti protocolli sottostanti
  - architettura protocollare omogenea a partire da questo strato



57

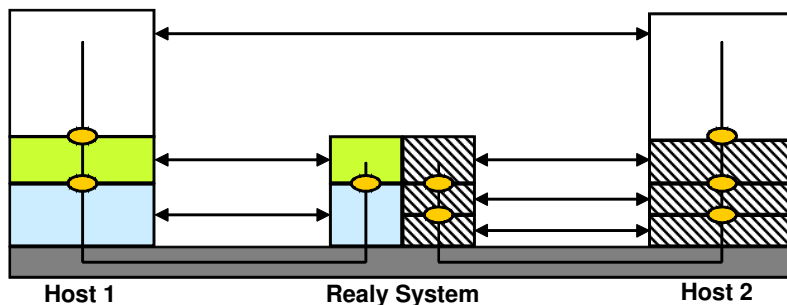
## Interlavoro tra 2 reti: strato di internetworking

- Approccio coerente con il concetto di architettura a strati
  - **non viene violato il principio di stratificazione**
- Funziona se è possibile incapsulare correttamente il protocollo scelto per la funzione di rilegamento nei protocolli utilizzati delle due differenti sottoreti
  - **possibilmente, senza perdita di funzionalità**
- Nel caso di Internet lo strato usato per questo scopo è lo strato IP (Internet Protocol)
- Alcune possibili complicazioni (tra strati adiacenti verticalmente):
  - **differenti dimensioni massime di PDU (Maximum Transfer Unit)**
  - **differenti schemi di indirizzamento**
  - **differenti modelli di comunicazione, esempio protocolli CO e CL, stream/message oriented, multicast, etc.**
  - **presenza di eventuali meccanismi di controllo di flusso, controllo di congestione**

58

## Interlavoro tra 2 reti: traduzione di protocolli

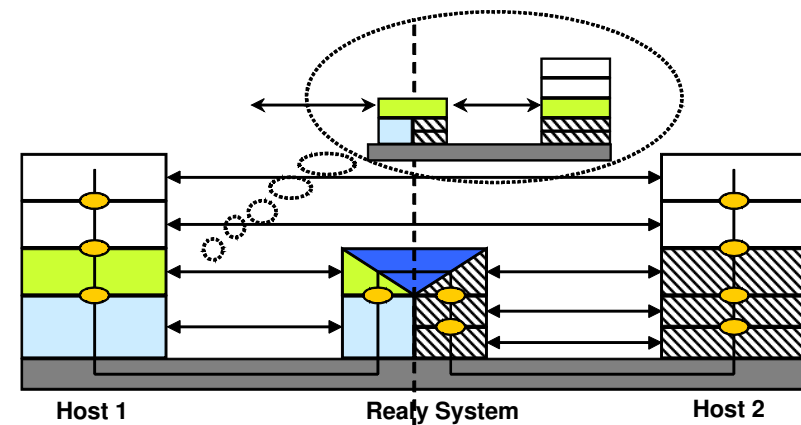
- il nodo che effettua rilegamento traduce tra loro (e in entrambi i versi) i due protocolli più alti presenti nelle due sottoreti



59

## Interlavoro tra 2 reti: traduzione di protocolli

- il nodo che effettua rilegamento traduce tra loro (e in entrambi i versi) i due protocolli più alti presenti nelle due sottoreti
  - **Relay System = protocol traslator**



60

## Interlavoro tra 2 reti: traduzione di protocolli

- Questo approccio viola il principio di stratificazione
- Questo approccio può funzionare correttamente solo quando le due reti sono "simili"
  - **stesse caratteristiche negli strati/protocolli che interlavorano**
- Ad esempio, se entrambi i protocolli:
  - sono **Connection Oriented** (o **Connection Less**)
  - **offrono un servizio affidabile** (oppure no)
  - **se implementano in modo compatibile varie funzioni come per esempio controllo di flusso, di congestione, multicast, etc.**
  - **se hanno unità dati di dimensione compatibile**
  - **se hanno schemi di indirizzamento in qualche modo compatibili**
- Al contrario, è facile trovare problemi nella traduzione di protocollo (tra protocolli adiacenti orizzontalmente):
  - **formato e dimensione delle UI**
  - **indirizzamento**
  - **routing**

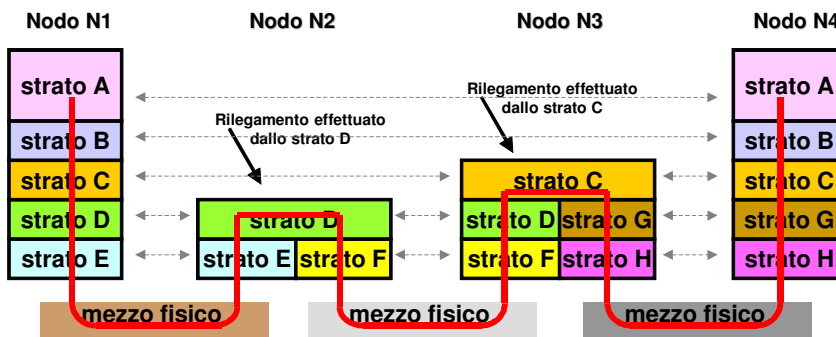
61

## Interlavoro tra 2 reti: traduzione di protocolli

- (problemi cont.)
  - **setup connessioni**
  - **sicurezza**
  - **QoS**
  - **multicast**
  - **etc.**
- Per quanto possibile è meglio evitare la traduzione di protocolli e cercare di realizzare un'interconnessione basata su incapsulamento e rilancio tramite protocollo comune (strato di internetworking/protocollo di rilegamento)
  - **traduzione di protocolli è in genere utilizzata per compatibilità con sistemi "legacy", già esistenti, nei quali non è possibile aggiungere uno strato di interworking**

62

## Interlavoro tra reti eterogenee (cont.)

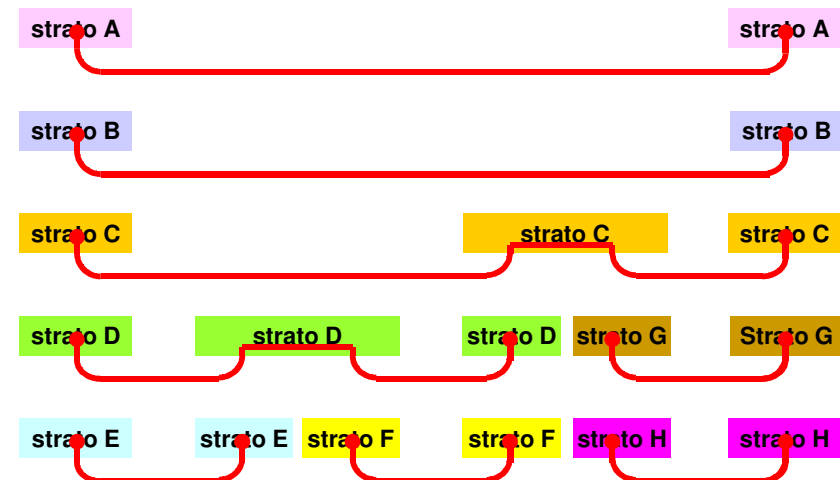


- i nodi N1 e N4 sono nodi terminali della comunicazione di strato A
- i nodi N1 e N3 sono nodi terminali della comunicazione di strato D
- i nodi N1 e N2 sono nodi terminali della comunicazione di strato E
- etc..

• Nota: tutto ciò vale anche nel caso in cui il protocollo E=F, D=G, F=H, etc

63

## Topologie della comunicazione a differenti livelli



64



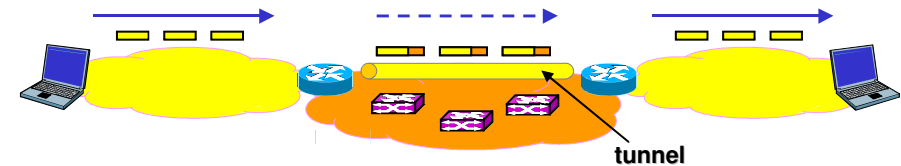
## Nodi di relay

- In generale i nodi che possono effettuare rilegamento tra due reti differenti vengono chiamati "Gateway"
- A seconda dello strato in cui effettuano rilegamento vengono chiamati rispettivamente:
  - **Repeater, Hub, etc.**
    - se effettuano rilegamento allo strato PH (fisico)
      - si limitano a rigenerare le unità di base (bits o bytes)
  - **Bridge, Switch**
    - se effettuano rilegamento a livello di DL (strato di collegamento)
  - **Router**
    - se effettuano rilegamento a livello di strato NT (rete), in genere IP
  - **Gateway o Proxy**
    - di strato di Trasporto
    - di strato Applicativo

65

## Tunneling (1/2)

- Il termine "tunneling" indica genericamente l'istadamento attraverso una rete/protocollo X di pacchetti di un protocollo Y tramite imbustamento degli Y-pacchetti dentro gli X-pacchetti, tra due nodi N1 e N2 estremi della rete X
- Il traffico di Y viene veicolato in X emulando una connessione punto-punto tra i due nodi estremi N1 e N2 ("tunnel")



66

## Tunneling (2/2)

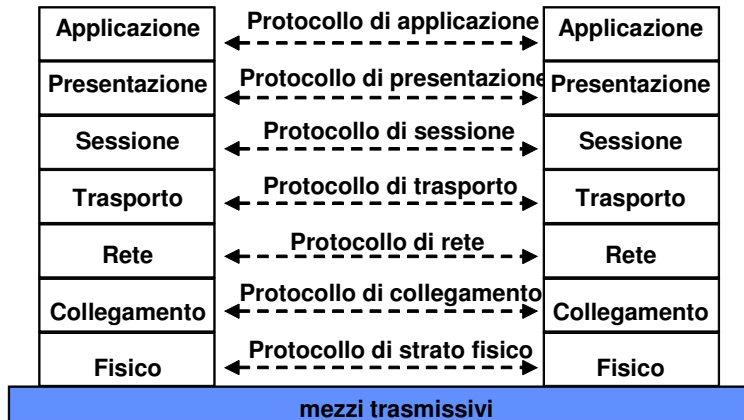
- Sebbene rappresenti semplicemente l'incapsulamento di un protocollo dentro un altro, il termine "tunneling" si usa più propriamente in quelle situazioni in cui
  - attraverso il protocollo utilizzato per l'incapsulamento viene fissata (configurata) una relazione tra due nodi (i nodi estremi del tunnel) in modo che tutti i pacchetti consegnati al nodo di ingresso vengano inviati (incapsulati) al nodo di uscita
    - nel caso di protocolli CO, questo viene realizzato tramite un "circuito virtuale"
  - la sovrapposizione dei due protocolli non è "consueta"
    - per esempio quando si incapsula un protocollo dentro se stesso, o un protocollo di livello normalmente inferiore dentro un protocollo di livello superiore
      - e.g. IP over IP, PPP over TCP, etc.
- Tra i vantaggi del tunneling:
  - Possibilità di impiego di protocolli di rete del tutto incompatibili con l'infrastruttura portante
  - Creazione di VPN
  - Possibilità di attuare politiche di "differentiated services"

67

## Modello OSI e modello Internet

## Architettura del modello OSI

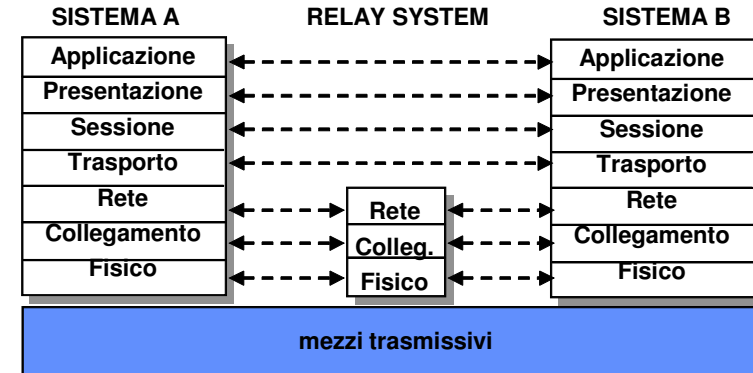
### I sette livelli dell'OSI



69

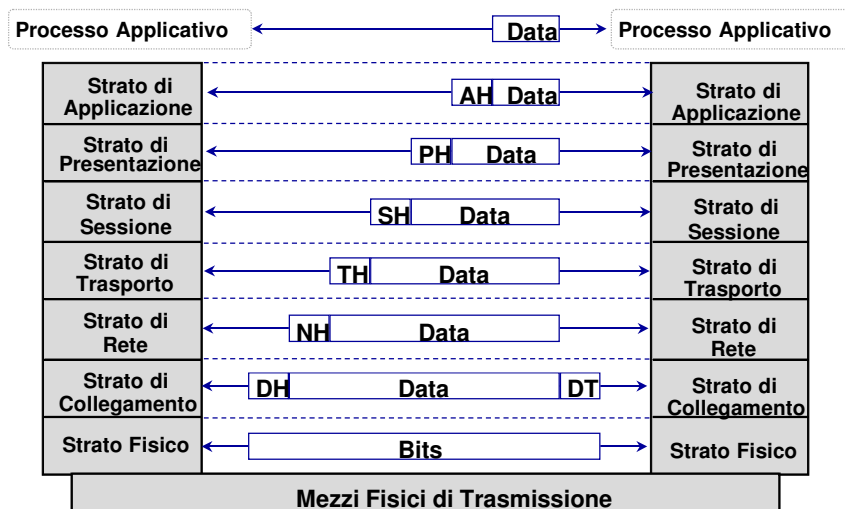
## Architettura del modello OSI

- sistemi terminali
- sistemi di rilegamento (relay)



70

## Relazioni tra unità di dati in strati adiacenti



71

## Livello 1 - Fisico (PH)

- fornisce i mezzi meccanici, fisici, funzionali e procedurali per attivare, mantenere e disattivare le connessioni fisiche
- ha il compito di effettuare il trasferimento delle UI (in genere cifre binarie o byte) scambiate dalle entità di livello di collegamento
- le unità dati sono bit o simboli
- principali funzioni:
  - specifica dei mezzi trasmissivi
  - adattamento meccanico e connettori
  - adattamento dei segnali elettrici (o ottici)
  - trasmissione/ricezione
  - conversioni D/A e A/D
  - codifica e decodifica

72

## Livello 2 - Collegamento (Data Link, DL)

- fornisce i mezzi funzionali e procedurali per il trasferimento delle unità dati tra entità di livello rete e per fronteggiare malfunzionamenti del livello fisico
- principali funzioni:
  - **delimitazione delle UI**
  - **rivelazione e recupero degli errori di trasmissione**
  - **controllo di flusso**

73

## Livello 3 - Rete (Network)

- fornisce i mezzi per instaurare, mantenere e abbattere le connessioni di rete tra entità di livello trasporto
- fornisce i mezzi funzionali e procedurali per lo scambio di informazioni tra entità di livello trasporto
- principali funzioni:
  - **indirizzamento dei terminali e instradamento**
  - **controllo di flusso**

74

## Livello 4 - Trasporto (T)

- fornisce alle entità di livello sessione le connessioni di livello trasporto
- colma le deficienze della qualità di servizio delle connessioni di livello rete
- ottimizza il servizio di livello rete
- è il livello più basso con significato da estremo a estremo
  - **coinvolge solo i sistemi terminali della comunicazione**
- principali funzioni:
  - **multiplazione e suddivisione di connessioni**
  - **frammentazione di messaggi in pacchetti**
  - **controllo di flusso e di congestione**

75

## Livello 5 - Sessione

- assicura alle entità di presentazione una connessione di sessione organizza il colloquio tra le entità di presentazione
- struttura e sincronizza lo scambio di dati in modo da poterlo sospendere, riprendere e terminare ordinatamente
- maschera le interruzioni del servizio trasporto
- principali funzioni:
  - **gestione del dialogo e sincronizzazione**

76

## Livello 6 - Presentazione

- risolve i problemi di compatibilità per quanto riguarda la rappresentazione dei dati da trasferire
- risolve i problemi relativi alla trasformazione della sintassi dei dati
- può fornire servizi di cifratura delle informazioni
- principali funzioni:
  - **codec**
  - **crittografia**
  - **compressione**

77

## Livello 7 - Applicazione

- fornisce ai processi applicativi i mezzi per accedere all'ambiente OSI
- aggiunge tutte quelle funzioni necessarie per la comunicazione a livello applicativo che non sono fornite dai protocolli sottostanti
- esempi di servizio offerto a livello applicativo
  - **trasferimento di file**
  - **posta elettronica**
  - **terminale virtuale**
  - **audio/video streaming**
  - ...

78

## Strati del modello Internet

- Il modello Internet storicamente prevede quattro strati funzionali, in un ordine gerarchico decrescente
  - **lo strato Applicativo (Application Layer)**
  - **lo strato di Trasporto da Estremo a Estremo (Host-to-Host Layer)**
  - **lo strato Internet (Internet Layer)**
  - **lo strato di Accesso in Rete (Network Access Layer)**

79

## Funzionalità degli strati Internet (1/2)

- Strato di Accesso in Rete (Strato di sottorete)
  - **include le funzioni che, nel modello OSI, sono comprese negli strati fisico, di collegamento e di rete, quest'ultimo almeno per ciò che riguarda gli aspetti connessi al funzionamento di ogni singola sottorete componente (sottostrato di rete basso)**
  - **il servizio offerto allo strato superiore (strato IP) può essere con o senza connessione**
- Strato Internet (IP, Internet Protocol)
  - **consente l'interconnessione delle varie sottoreti componenti con funzionalità che nel modello OSI sono collocate nello strato di rete**
  - **fornisce un servizio di strato senza connessione**

80

## Funzionalità degli strati Internet (2/2)

- Strato di trasporto
  - **corrisponde allo strato di trasporto OSI e a parte dello strato di sessione**
  - **offre due tipi di servizio:**
    - un servizio di trasporto affidabile con connessione (TCP, Transmission Control Protocol)
    - un servizio più semplice, senza connessione (UDP, User Datagram Protocol)
- Strato applicativo
  - **corrisponde a parte dello strato di sessione e agli strati di presentazione e di applicazione del modello OSI**
- Sebbene non venga spesso considerato come tale, può essere presente anche uno strato di sessione/presentazione
  - **supporto applicativi real-time (RTP/RTCP)**
  - **sicurezza (TLS/SSL)**

## Architetture OSI e Internet

Modello OSI	Modello INTERNET
Applicazione	Applicativo RTP, TLS, etc
Presentazione	
Sessione	TCP, UDP, SCTP
Trasporto	
Rete	IP
Collegamento	Sottorete
Fisico	