



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

# Architetture e protocolli di comunicazione

Luca Veltri

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

Corso di Reti di Telecomunicazioni A, a.a. 2004/2005

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



Università degli Studi di Parma  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Architetture protocollari

## Indice

- Funzioni in una comunicazione dati
- Architetture protocollari
  - stratificazione e raggruppamento
  - entità protocolli e unità informative (PDU)
  - interfacce tra strati (SAP) e primitive di servizio
- Nodi di rilegamento/commutazione/gateway
- Internetworking tra reti differenti
- Tunneling
- Modello OSI
- Architettura Internet

2



Università degli Studi di Parma  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Architetture protocollari

## Introduzione

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

3



Università degli Studi di Parma  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Architetture protocollari

## Funzioni di un processo di comunicazione

- La comunicazione tra due o più parti richiede lo svolgimento una sequenza di funzioni quali ad esempio
  - Trasmissione/ricezione
  - Modulazione
  - Codifica
  - Delimitazione dei dati
  - Sequenzializzazione
  - Multiplexing
  - Indirizzamento e commutazione
  - Rivelazione e recupero di errore
  - Controllo di flusso
  - Controllo di congestione
  - Autenticazione e criptaggio dei dati
  - etc
- Tali funzioni vengono in genere svolte in maniera collaborativa (interazione costante tra due o più parti) rispettando opportune regole procedurali → **protocolli di comunicazione**

4

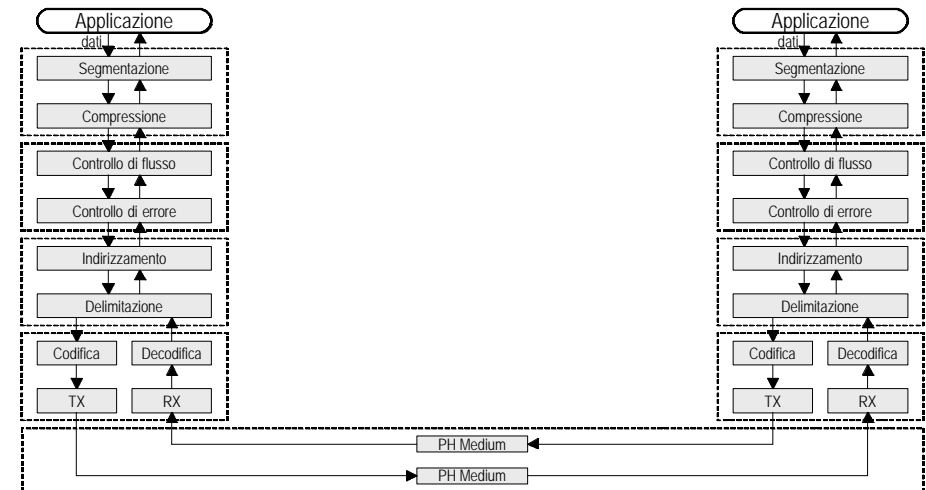
## Architetture a strati

- 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 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  $n$ )

5

## Funzioni di un processo di comunicazione

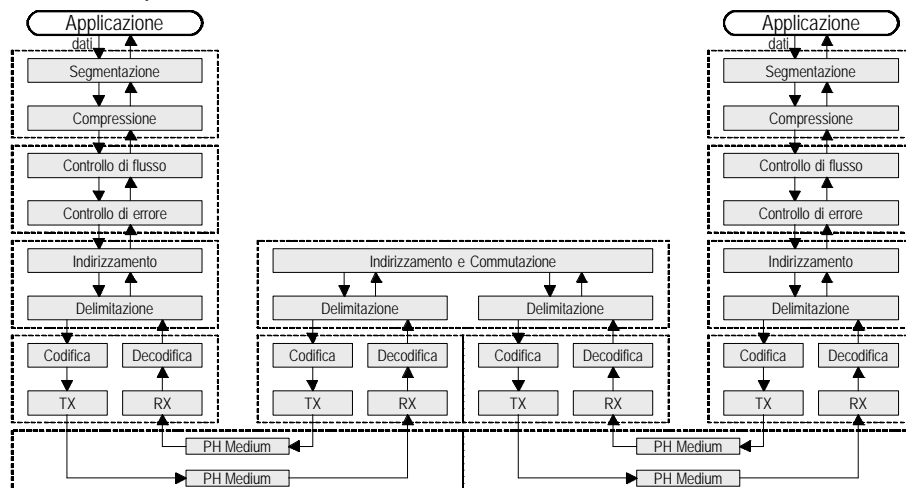
- Esempio di comunicazione diretta tra 2 terminali



6

## Funzioni di un processo di comunicazione

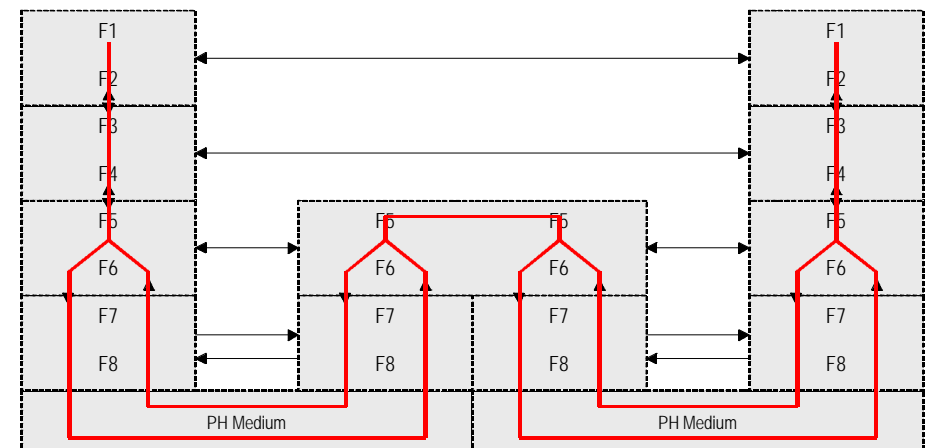
- Esempio di comunicazione tra 2 terminali con 1 nodo intermedio



7

## Funzioni di un processo di comunicazione

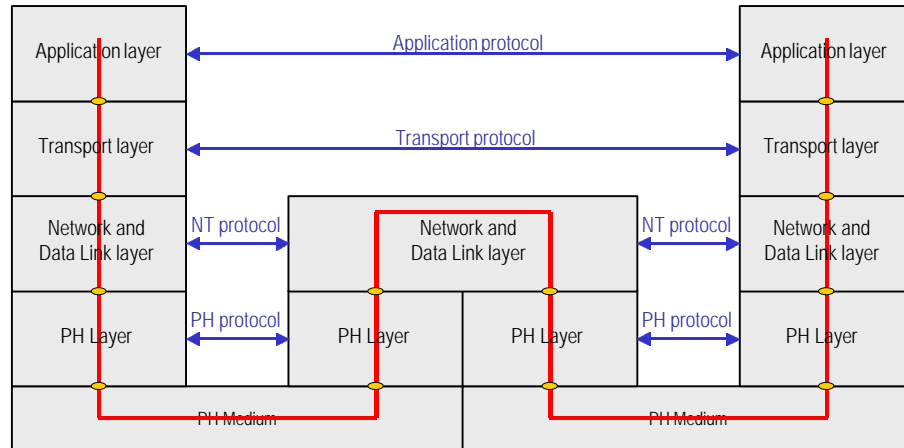
- Esempio di comunicazione tra 2 terminali con 1 nodo intermedio



8

## Funzioni di un processo di comunicazione

- Esempio di comunicazione tra 2 terminali con 1 nodo intermedio



9

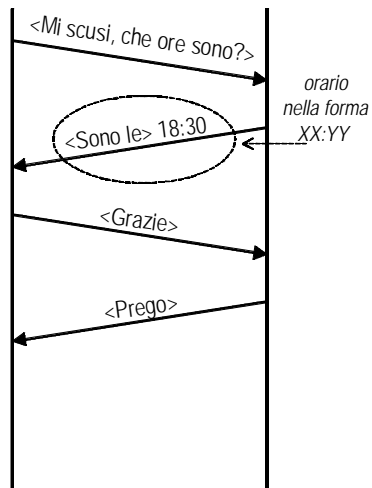
## Protocolli di comunicazione

- 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**

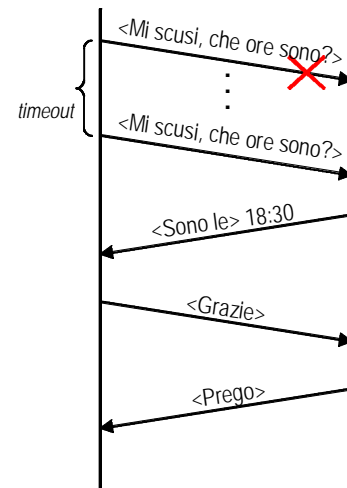
10

## Esempio di protocollo di comunicazione

### Evoluzione temporale in assenza di errori



### Evoluzione temporale in presenza di errori



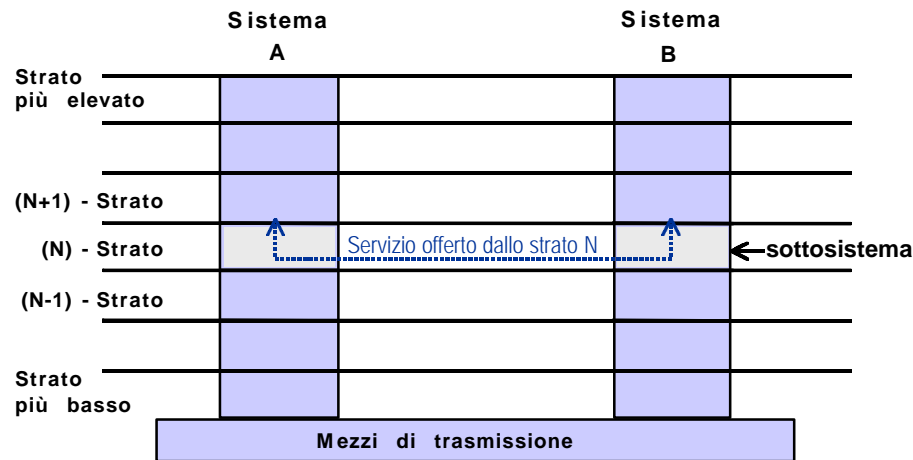
11

## 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

12

## Architetture a strati



13

## 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

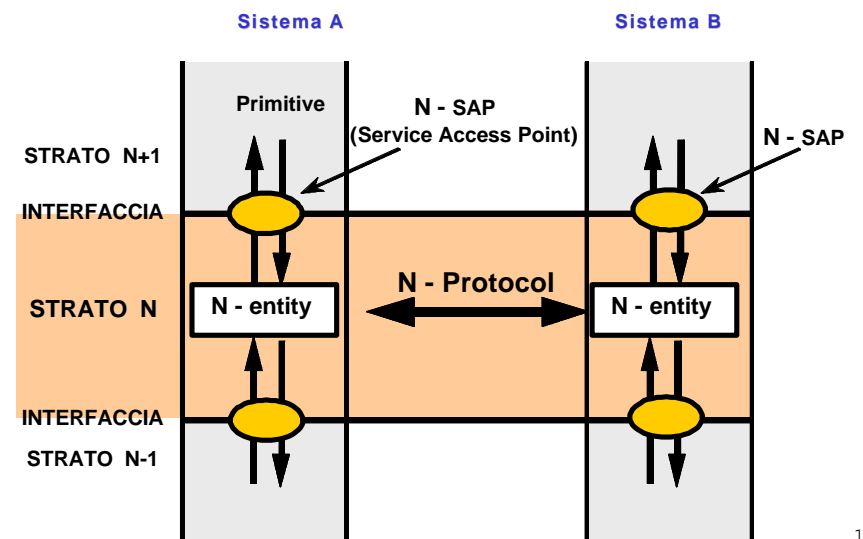
14

## 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

15

## Modello funzionale del generico strato N



16

## 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)-utenti:
  - sono le (N+1)-entità alla pari che usufruiscono dell'(N)-servizio per i loro scopi di cooperazione
- (N)-servizio:
  - è il particolare sottoinsieme delle funzioni che sono svolte dall'(N)-strato e che sono visibili dall'(N)-interfaccia
- (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

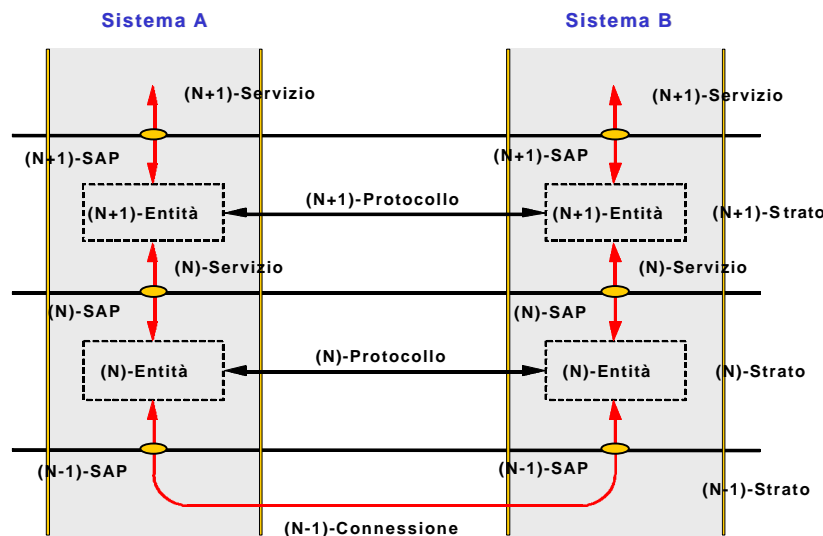
17

## 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)-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
- (N)-indirizzo:
  - è associato ad ogni (N)-SAP e localizza l'(N+1)-entità allacciata a questo

18

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



19

## 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
- Esempio di SAP:
  - presa di rete telefonica e relativo numero di telefono
  - cassetta delle poste e relativo indirizzo (nazione, città, via, numero civico, interno)
  - indirizzo IP + protocollo di trasporto + numero di porta (socket), per una specifica applicazione

20

## Flussi informativi

- Una entità è impegnata nella gestione di due flussi informativi
  - con entità appartenenti agli strati adiacenti
  - con entità alla pari
- Nel primo caso il trasferimento è diretto (effettivo)
  - le UI vengono fisicamente passate da uno strato ad un altro attraverso i SAP
- Nel secondo caso il trasferimento è indiretto usando il servizio offerto dallo strato inferiore (con o senza connessione)
  - le UI vengono scambiate nel rispetto del protocollo di strato

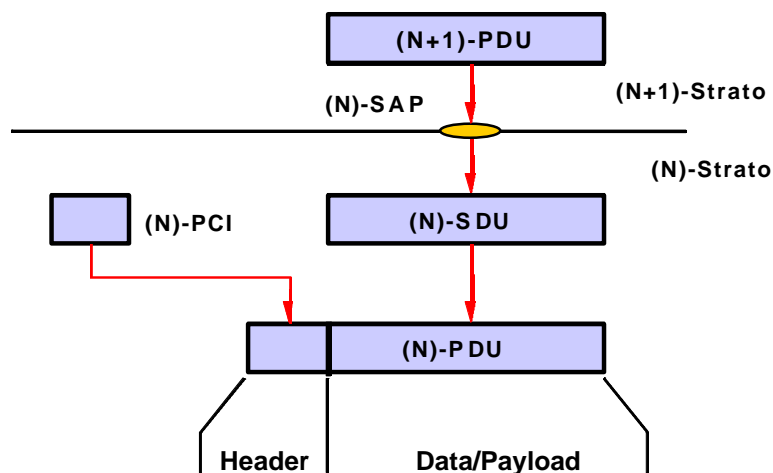
21

## 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

22

## Unità Informative



23

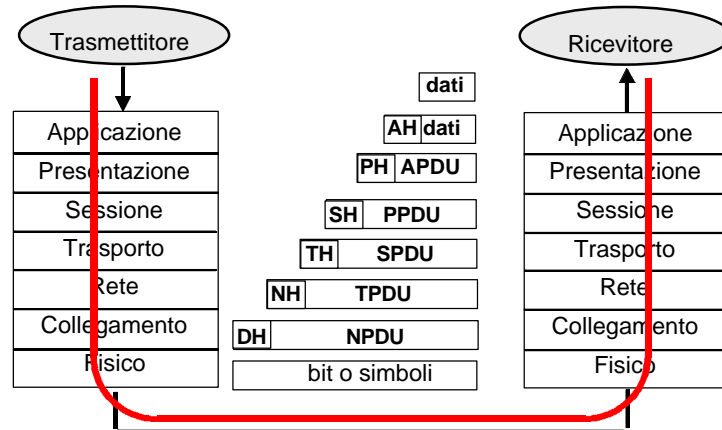
## Unità Informative

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
- L'unità di dati di servizio (SDU, Service Data Unit):
  - è una porzione dei dati di interfaccia che l'entità di uno strato trasferisce a una entità dello strato inferiore 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

24

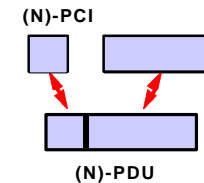
## Esempio di relazioni tra UI in strati adiacenti



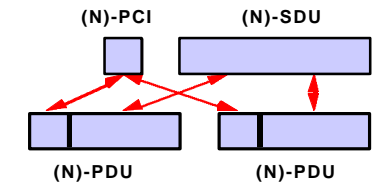
25

## Segmentazione e aggregazione di UI

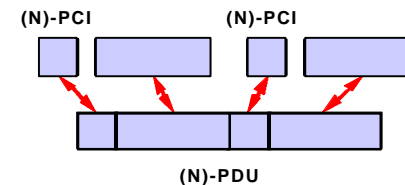
Corrispondenza uno a uno tra (N)-SDU e (N)-PDU



Funzioni di segmentazione e ricostruzione

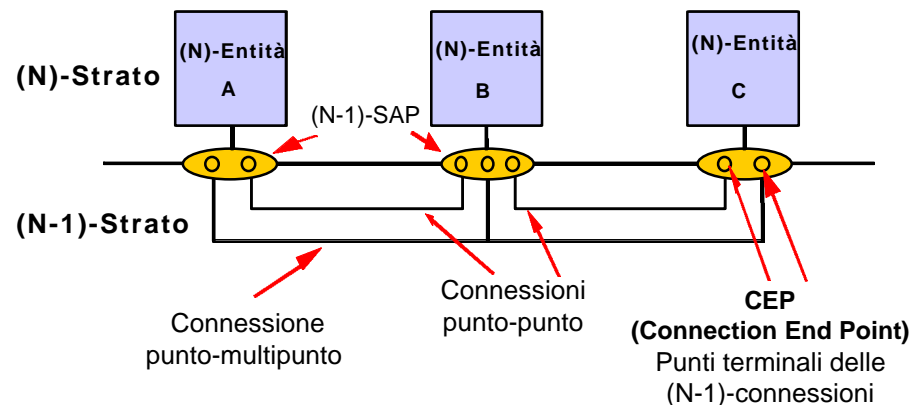


Funzioni di aggregazione e di disaggregazione



26

## Connessioni di strato



27

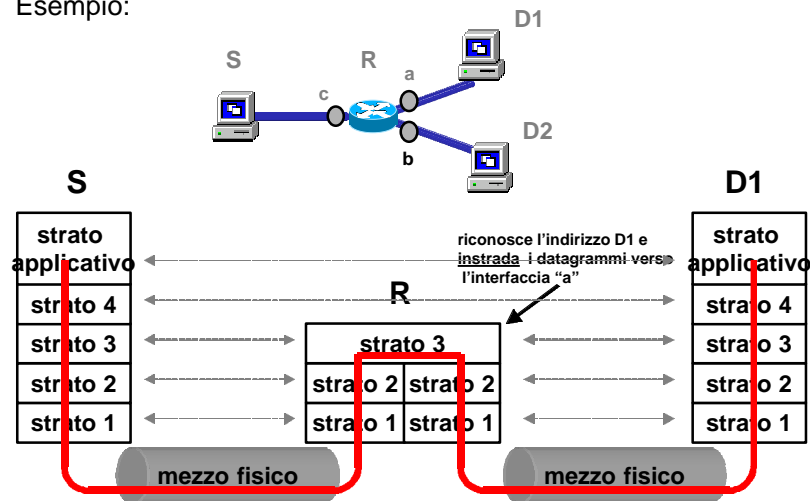
## Sistemi interconnessi

- 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 Systems
- 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)

28

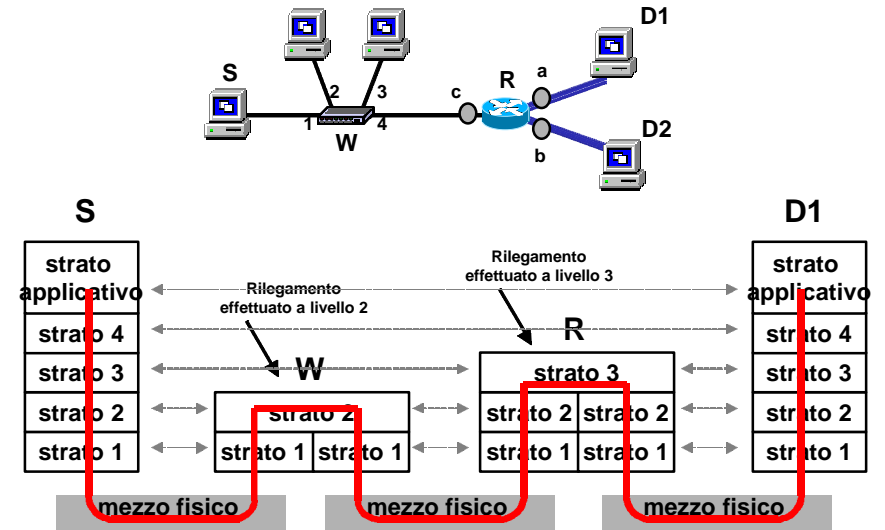
## Esempio 1: Architettura con 1 Relay System

- Esempio:



29

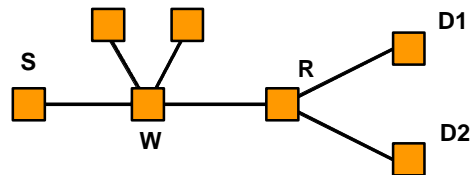
## Esempio 2: Architettura con 2 Relay Systems



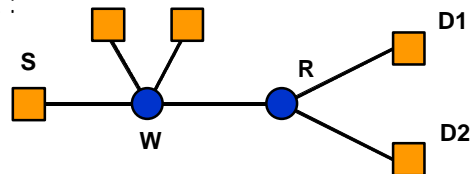
30

## Esempio 2: Topologie livello 1 e 2

Topologia di strato 1 :



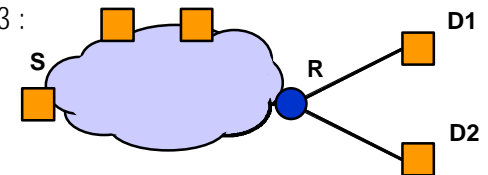
Topologia logica di strato 2 :



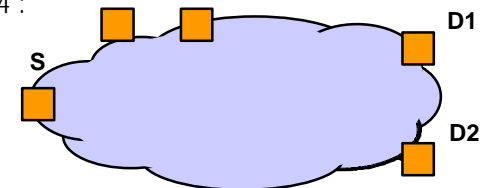
31

## Esempio 2: Topologie livello 1 e 2

Topologia logica di strato 3 :



Topologia logica di strato 4 :

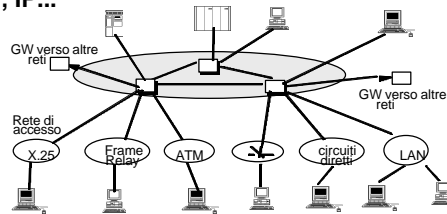


32



## Internetworking (1/3)

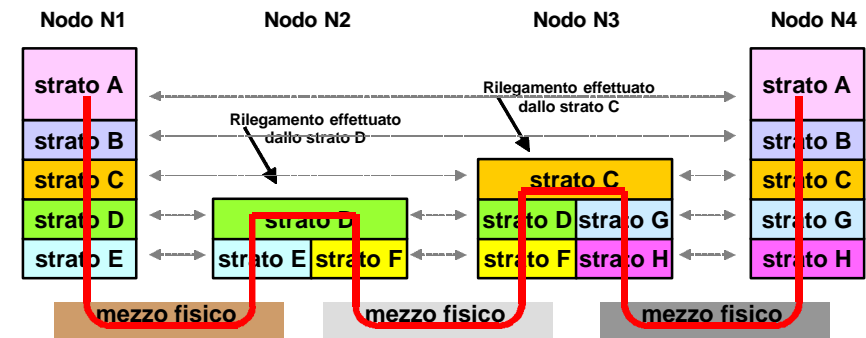
- In una architettura di rete “omogenea” è presente una sola successione ordinata di strati/protocolli (stack protocollare)
- Le reti reali di solito sono una composizione di sottoreti con architetture protocollari differenti
  - LAN, MAN, WAN
  - e tanti protocolli per i differenti strati: IEEE 802.3,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



- Questo comporta delle architetture di rete molto eterogenee

33

## Internetworking (2/3)



- ➔ 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

34

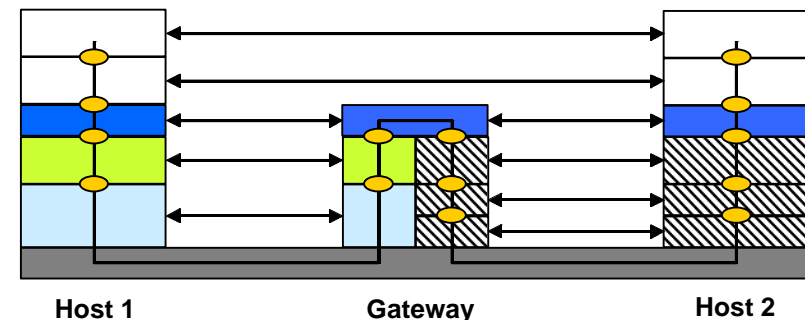
## Internetworking (3/3)

- In generale i nodi che effettuano rilegamento tra due reti (anche differenti) vengono chiamati “Gateway”
- A seconda dello strato in cui effettuano rilegamento vengono chiamati rispettivamente:
  - **Repeater, Hub**
    - 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)
  - **Gateway**
    - di strato di Trasporto
    - di strato Applicativo

35

## Interlavoro tra 2 reti: Internetworking

- Incapsulamento - Strato di internetworking
  - sorgente e destinazione usano lo stesso protocollo utilizzato come livello più alto da i sistemi intermedi (nodi) che fanno rilegamento
  - in questo modo lo strato che fa internetworking crea una rete “omogenea” (nel caso di Internet questo è lo strato IP)



36

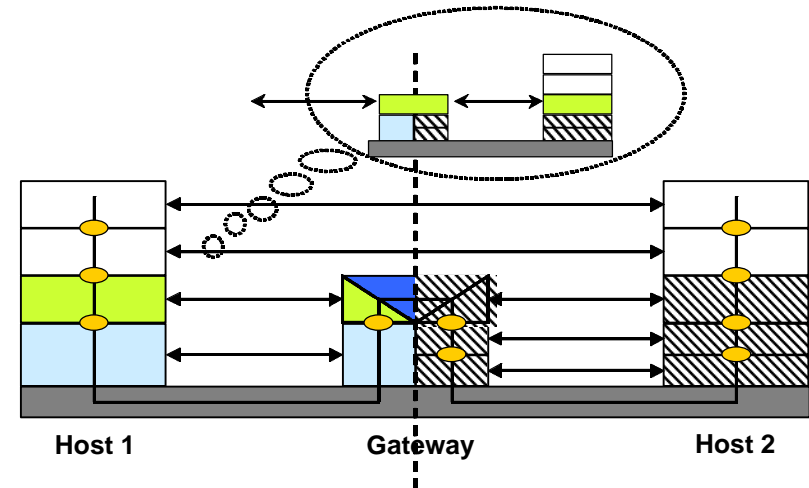
## Strato di internetworking: vantaggi e svantaggi

- Sebbene siano semplificati, si devono risolvere i seguenti problemi:
  - MTU, frammentazione, aggregazione
  - indirizzamento
  - protocolli/reti CO e CL
  - gestione del flow control e congestion control end-to-end
  - multicast
- IP è un buon esempio di protocollo adatto all'internetworking

37

## Interlavoro tra 2 reti: Traduzione di protocolli

- Traduzione di protocolli (Protocol traslator) - Gateway based interworking



38

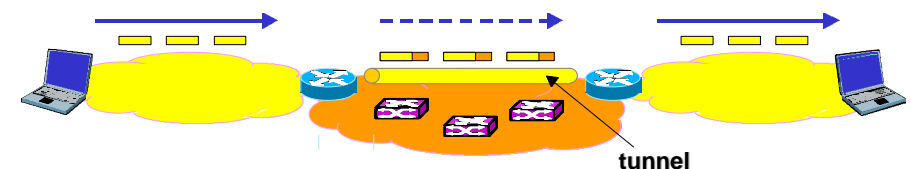
## Traduzione di protocolli: vantaggi e svantaggi

- Questo approccio può funzionare “bene” solo quando le due reti sono “simili” (stesse caratteristiche negli strati/protocollo che interlavorano), ad esempio, se entrambi:
  - sono Connection Oriented (o Connection Less)
  - se offrono un servizio affidabile (oppure no)
  - se implementano controllo di flusso, di congestione... (oppure no)
  - se hanno unità dati di dimensione compatibile (esempio, variabile con stessa MTU)
- Maggiori problemi per:
  - traslazione dei formati dei pacchetti
  - dimensione dei pacchetti, frammentazione, aggregazione
  - indirizzamento
  - protocolli di routing (in due momenti diversi a seconda se CO o CL)
  - piano di controllo, Setup/CAC
  - QoS
  - multicast

39

## 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”)

40

## Tunneling (2/2)

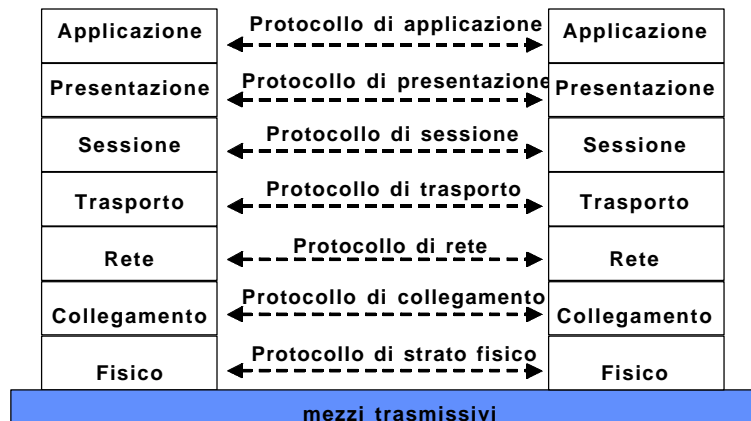
- Sebbene rappresenti semplicemente l'incapsulamento di un protocollo dentro un altro, il termine "tunneling" si usa per indicare quelle situazioni in cui
  - attraverso il protocollo utilizzato per l'incapsulamento viene fissata (configurata) una relazione tra due nodi (i nodi estremi del tunnel) in 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 "circuit virtuale"
  - e nei casi in cui 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"

41

## Modello OSI e modello Internet

## Architettura del modello OSI

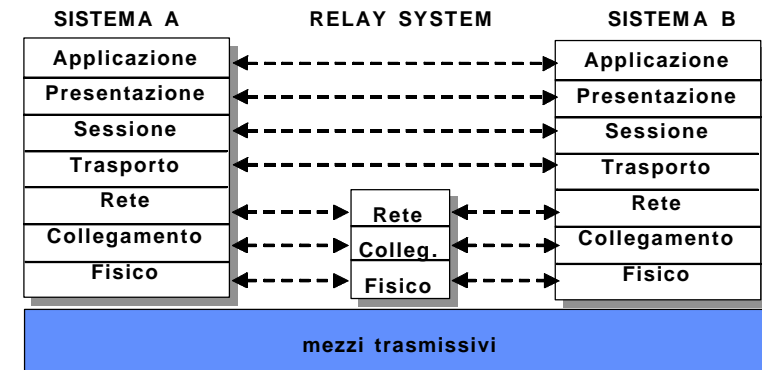
### I sette livelli dell'OSI



43

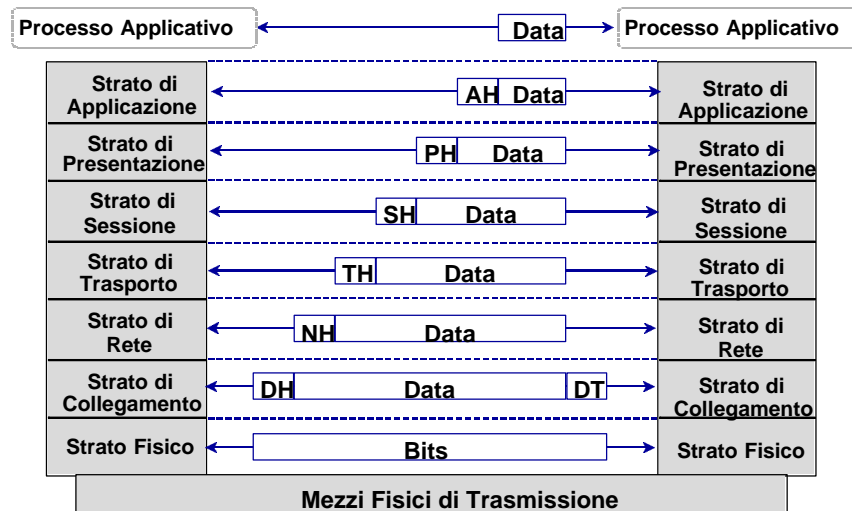
## Architettura del modello OSI

- sistemi terminali
- sistemi di rilegamento (relay)



44

## Relazioni tra unità di dati in strati adiacenti



45

## 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 cifre binarie scambiate dalle entità di livello di collegamento
- le unità dati sono bit o simboli
- funzioni principali:
  - conversioni D/A e A/D
  - adattamento dei segnali elettrici (o ottici)
  - trasmissione/ricezione
  - adattamento meccanico e connettori
  - specifica dei mezzi trasmissivi

46

## 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
- funzioni principali:
  - delimitazione delle UI
  - rivelazione e recupero degli errori di trasmissione
  - controllo di flusso

47

## 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
- funzioni principali:
  - indirizzamento dei terminali e instradamento
  - controllo di flusso

48

## 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
- funzioni principali:
  - **multiplazione e suddivisione di connessioni**
  - **frammentazione di messaggi in pacchetti**
  - **controllo di flusso e di congestione**

49

## 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
- funzioni principali:
  - **gestione del dialogo e sincronizzazione**

50

## 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
- funzioni principali:
  - **codec**
  - **crittografia**
  - **compressione**

51

## Livello 7 - Applicazione

- fornisce ai processi applicativi i mezzi per
- accedere all'ambiente OSI
- esempi di servizio
  - **trasferimento di file**
  - **terminale virtuale (VT)**
  - **posta elettronica (X.400)**
  - ...

52

## Architetture OSI e Internet

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

53

## 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)

54

## 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 in un sottostrato di rete alto
  - fornisce un servizio di strato senza connessione

55

## 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 di sessione (\*)
  - supporto applicativi real-time (RTP/RTCP)
  - sicurezza (TLS/SSL)
- Strato applicativo
  - corrisponde a parte dello strato di sessione e agli strati di presentazione e di applicazione del modello OSI

56