



UNIVERSITÀ DI PARMA  
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

## Architetture e protocolli di comunicazione

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

Architetture protocollari

## Indice

- 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

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

2



UNIVERSITÀ DI PARMA  
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Architetture protocollari

## Funzioni e protocolli di comunicazione

- La comunicazione tra due o più parti richiede in generale lo svolgimento una sequenza di funzioni
- Esempi di funzioni:
  - **indirizzamento dei terminali e/o delle risorse applicative**
    - indirizzi testuali (e.g. <http://www.tlc.unipr.it>) o indirizzi numerici
  - **Caratterizzazione del tipo di informazione trasportata**
    - messaggi di richiesta/risposta (e.g. GET /veltri/reti/index.html), messaggi di controllo (e.g. instaurazione della comunicazione, etc.)
  - **controllo e recupero di errore da estremo a estremo**
    - 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 da estremo a estremo**
    - gestione di eventuali situazioni di sovraccarico del nodo di destinazione

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

3



UNIVERSITÀ DI PARMA  
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Architetture protocollari

## Funzioni e protocolli di comunicazione (cont.)

- Esempi di funzioni (cont.):
  - controllo della sequenza dei messaggi e eventuale riordino
  - instradamento dei dati attraversamento eventuali nodi intermedi
  - 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.
- Tali funzioni vengono in genere svolte in maniera collaborativa (interazione costante tra due o più parti) rispettando opportune regole procedurali → protocolli di comunicazione

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

4

## Protocolli di comunicazione

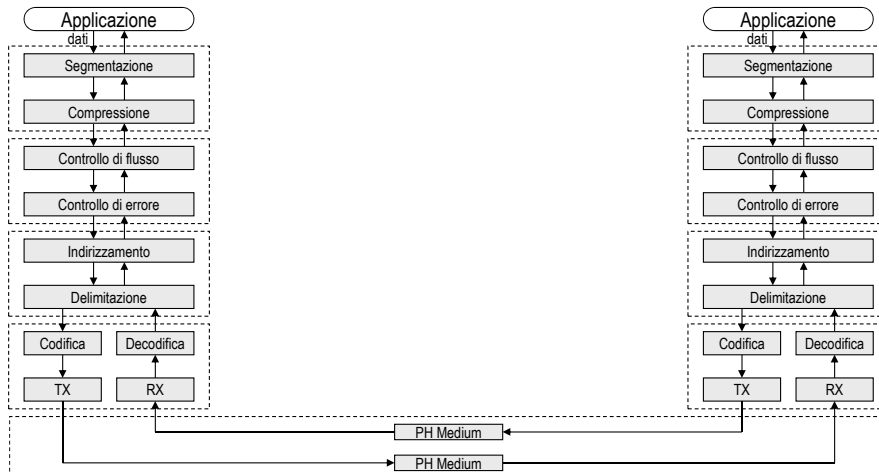
- Un protocollo di comunicazione è un accordo tra le parti interessate su come la comunicazione può o deve procedere
  - **regole della comunicazione**
- Il protocollo include un insieme di funzioni e le rispettive regole procedurali
  - **evoluzione della comunicazione**
  - **semantica dei messaggi**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

## Funzioni, protocolli, architetture a strati

- Le prime piattaforme di rete erano 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**
- Architetture a strati (architetture protocollari)
  - **riduzione della complessità di progettazione e gestione**
  - **facilità di riutilizzo di specifici protocolli o di intere (sotto)reti**

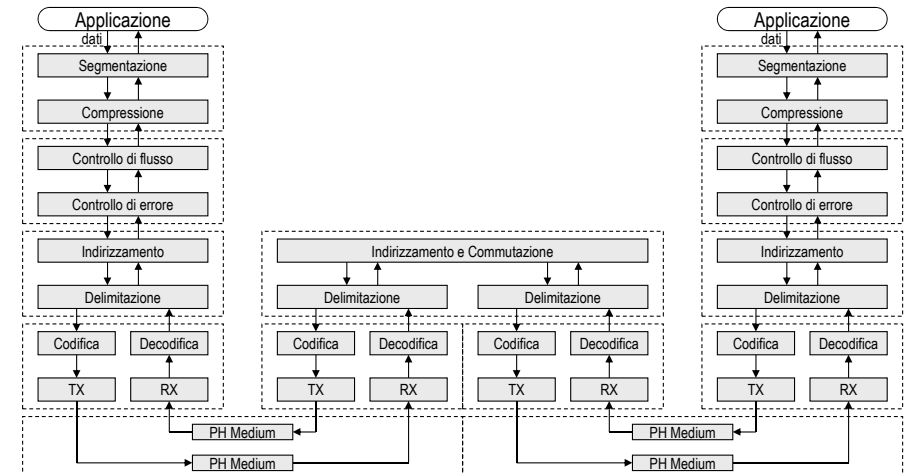
## Funzioni, protocolli, architetture a strati (cont.)

- **Comunicazione diretta tra 2 terminali**



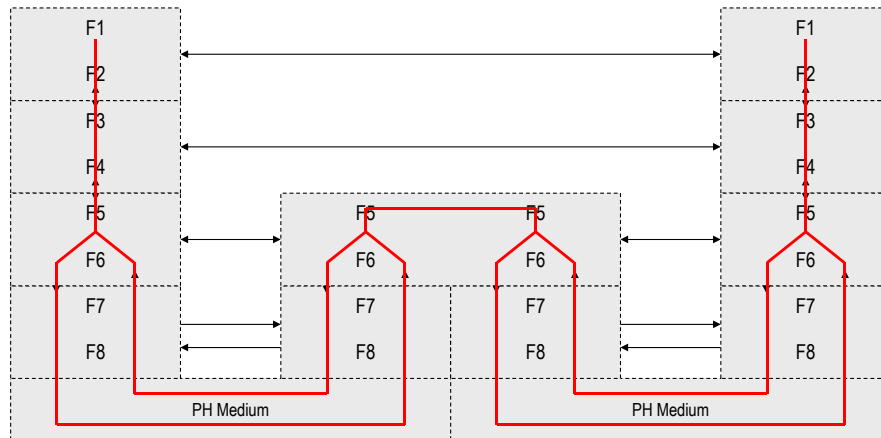
## Funzioni, protocolli, architetture a strati (cont.)

- **Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio**



## Funzioni, protocolli, architetture a strati (cont.)

- Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio

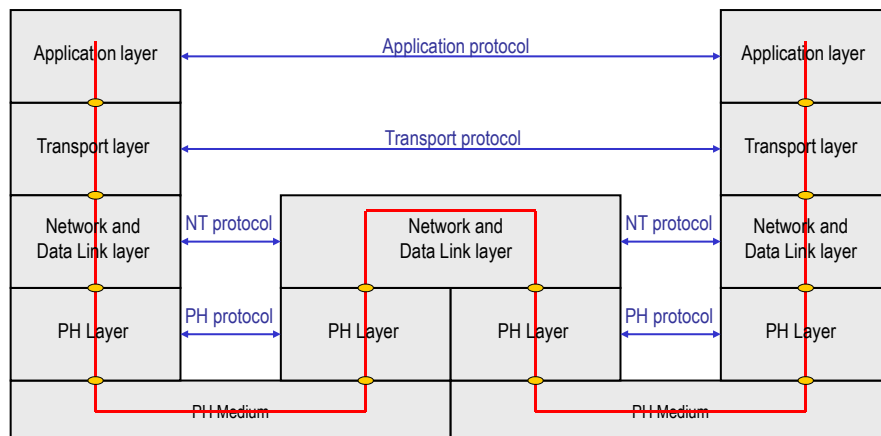


## Architetture a strati

- 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  $n$ )

## Funzioni, protocolli, architetture a strati (cont.)

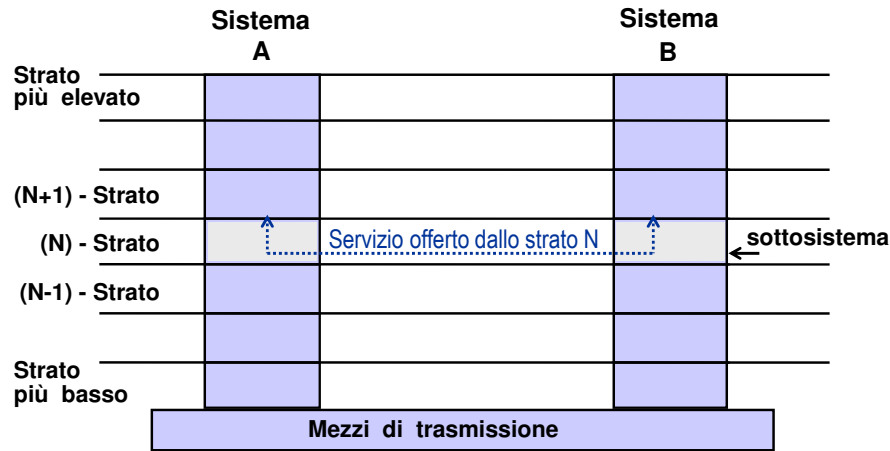
- Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio



## 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

## Architetture a strati



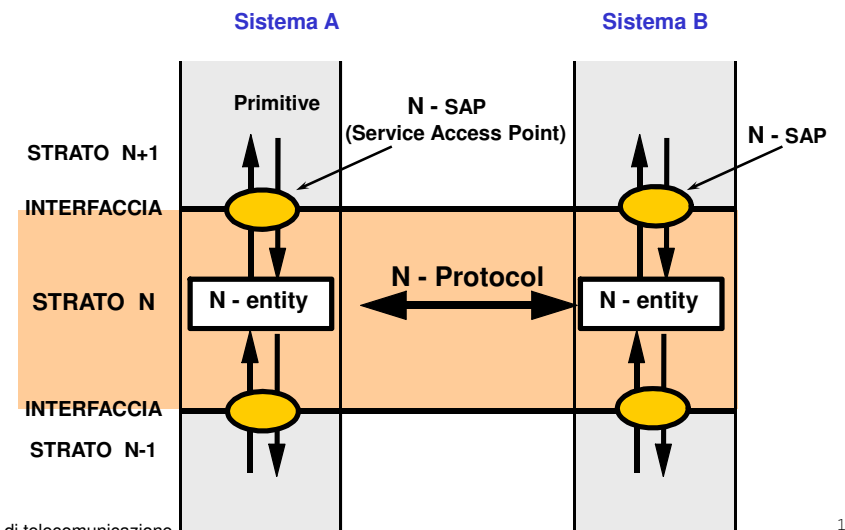
## Indipendenza funzionale degli strati

- 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

## 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

## Modello funzionale del generico strato N



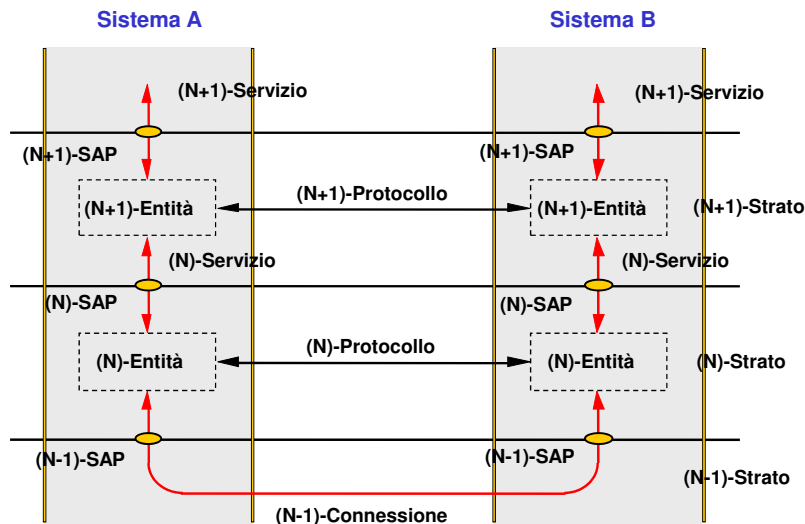
## Elementi dell' (N)-strato (1/3)

- (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

## 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

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



## 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 un 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

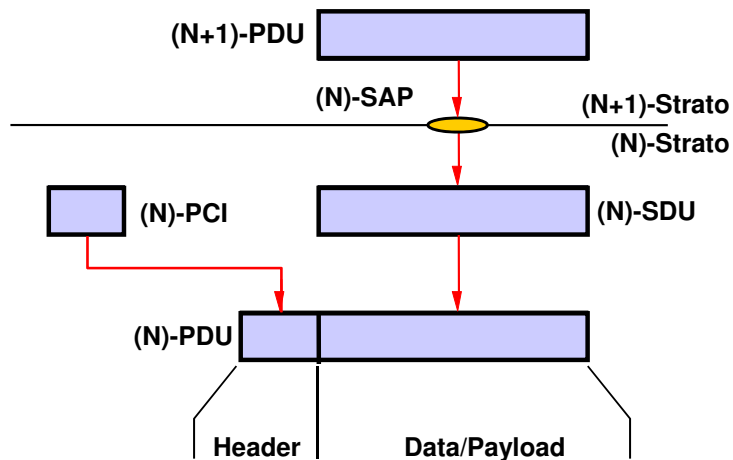
## Flussi informativi

- 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

## Unità Informative

- Informazioni dati (o di utente):
  - 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 architeturali
- Le informazioni dati o di controllo scambiate in un processo di comunicazione sono strutturate in unità
- Tali UI sono specifiche per ogni strato/protocollo

## Unità Informative



## Unità Informative

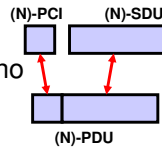
Con riferimento all'(N)-strato si hanno

- (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

## Relazioni tra UI in strati adiacenti

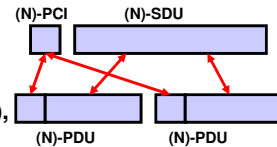
- Ogni (N+1)-strato (tranne quello più basso) invia le proprie UI (PDU) come (N)-SDU del (N)-strato inferiore
  - Ci possono essere differenti relazioni di corrispondenza tra le (N)-SDU e (N)-PDU

- Corrispondenza uno a uno



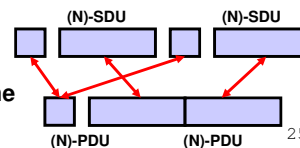
- Corrispondenza da uno a più

- Funzioni di frammentazione (segmentazione), e poi riassetto



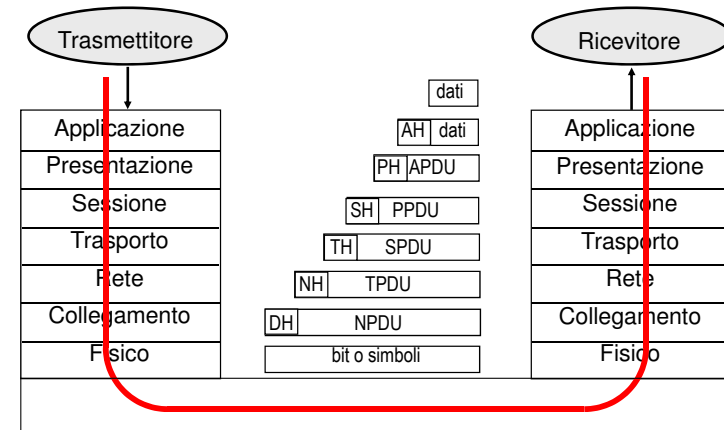
- Corrispondenza da più ad uno

- Funzioni di aggregazione, e poi separazione



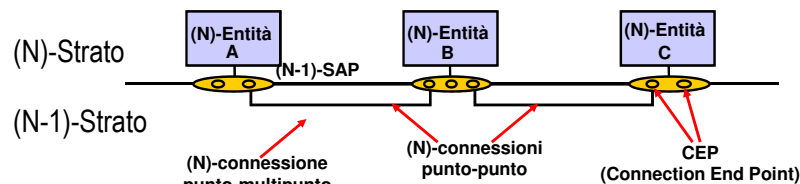
25

## Esempio di relazioni tra UI in strati adiacenti



## 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



27

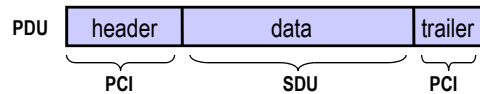
## Tipi di PDU

- Durante lo scambio di UI tra sottosistemi adiacenti appartenenti allo strato N, queste devono assumere un preciso formato (N-PDU) specificato dal N-protocollo
  - tale formato sarà utilizzato da tutti i sottosistemi di strato N nei 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 una successione/vettore di byte (o bit)



## 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 in testa e SDU che lo segue 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

## 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



### ➢ 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
...
```

## 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

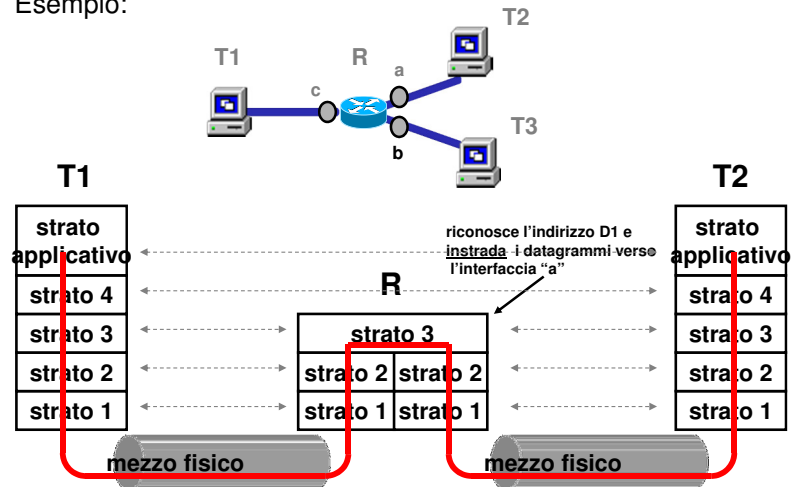
## Sistemi interconnessi

- 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)

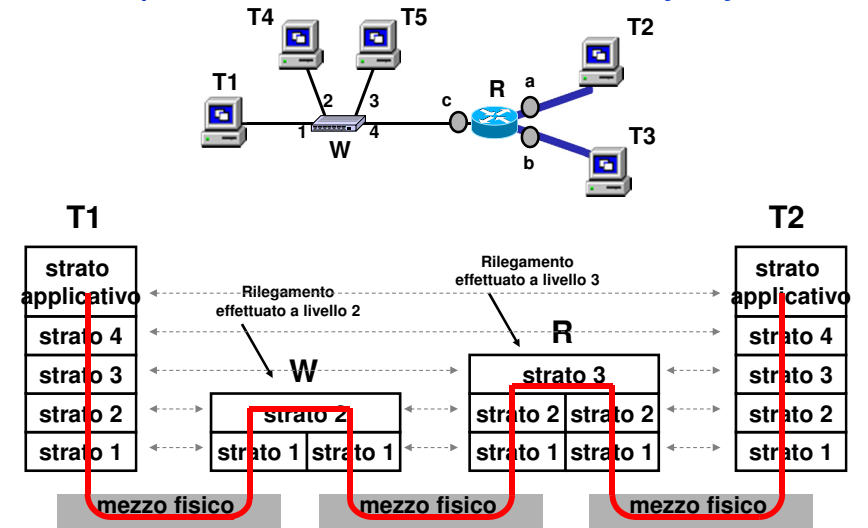


## Esempio 1: architettura con 1 Relay System

- Esempio:

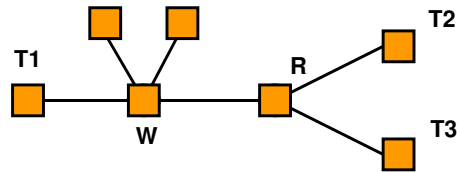


## Esempio 2: architettura con 2 Relay System

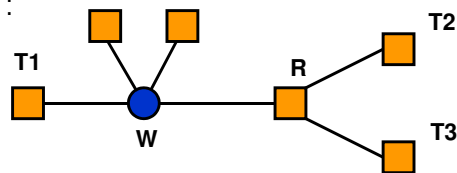


## Esempio 2: Topologie livello 1 e 2

Topologia di strato 1 :

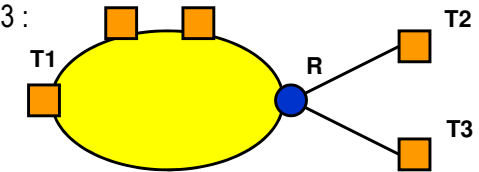


Topologia logica di strato 2 :

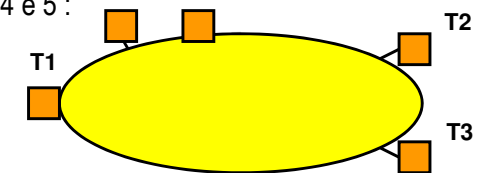


## Esempio 2: Topologie livello 3 e 4

Topologia logica di strato 3 :

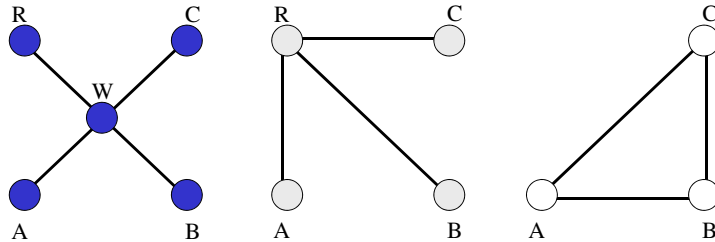


Topologia logica di strato 4 e 5 :



## Topologie fisiche e logiche

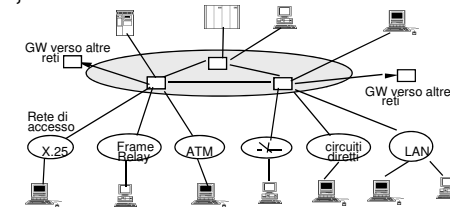
- Differenti livelli di astrazione
- Esempio di differenti topologie fisiche/logiche come modelli della stessa rete:



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

## 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...**



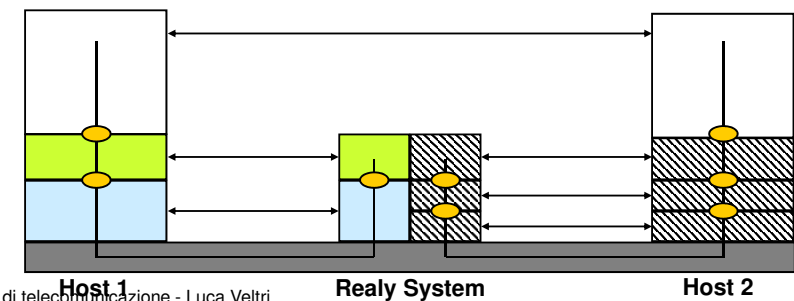
- Questo comporta delle architetture di rete molto eterogenee

## 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

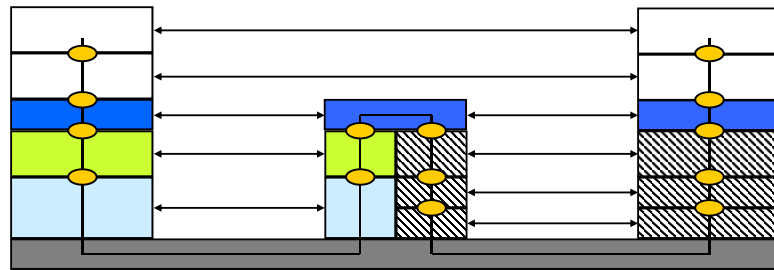
## Interlavoro tra 2 reti: strato di internetworking

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



## 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



Host 1  
Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

Relay System

Host 2

42

## Interlavoro tra 2 reti: strato di internetworking

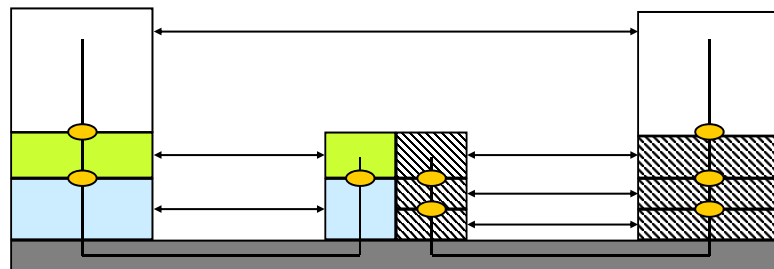
- Approccio coerente con il concetto di architettura a strati
  - non viene violato il principio di stratificazione
- Funziona se è possibile incapsulare correttamente il protocollo scelto per la funzione di rilegamento nei protocolli utilizzati delle due differenti sottoreti
  - possibilmente, senza 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

Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

43

## 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



Host 1  
Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

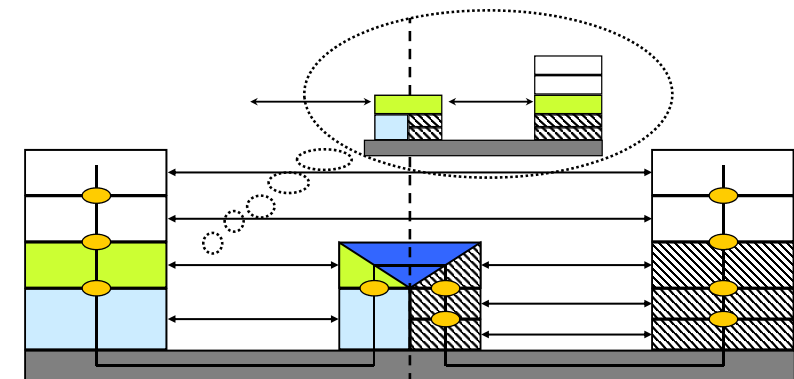
Relay System

Host 2

44

## 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



Host 1  
Reti di telecomunicazione - Luca Veltri

Relay System

Host 2

45

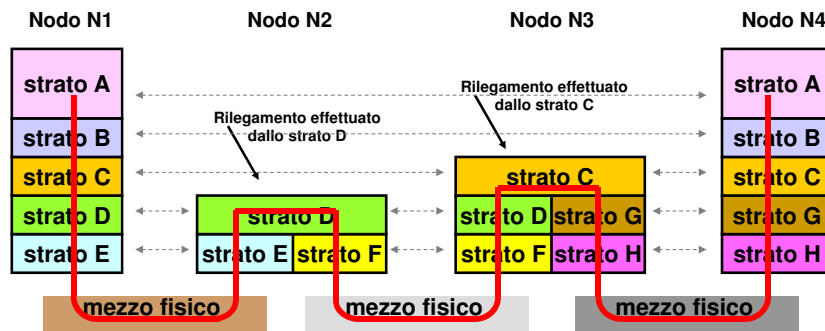
## Interlavoro tra 2 reti: traduzione di protocolli

- 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**

## 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**

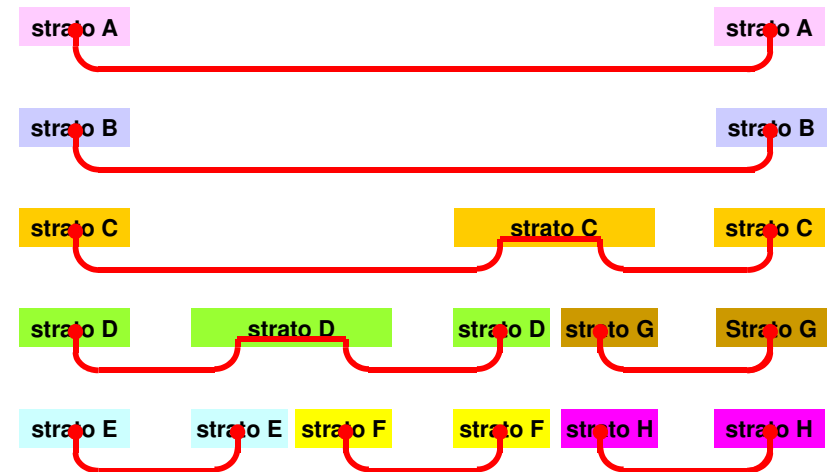
## Interlavoro tra reti eterogenee (cont.)



- 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**

## Topologie della comunicazione a differenti livelli

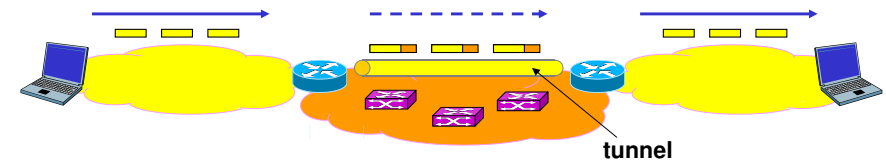


## Nodi di relay

- 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

## Tunneling (1/2)

- Il termine "tunneling" indica genericamente l'istridamento 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")



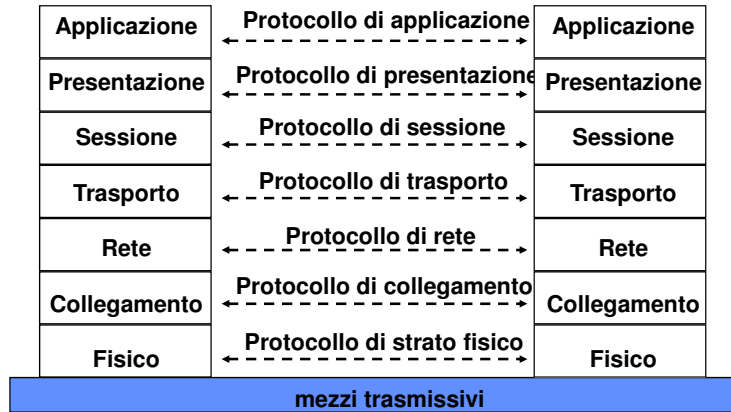
## Tunneling (2/2)

- 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"

## Modello OSI e modello Internet

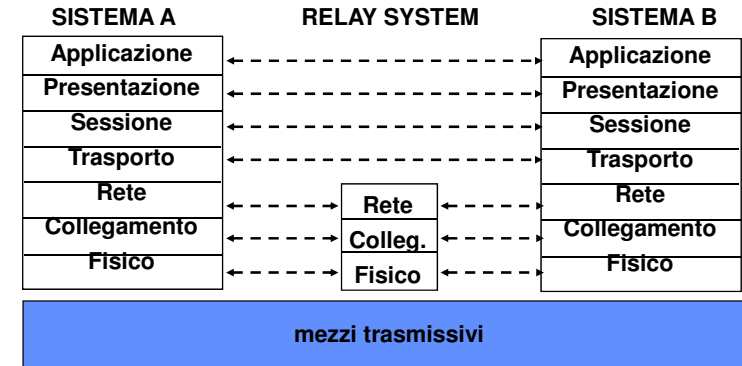
## Architettura del modello OSI

### I sette livelli dell'OSI

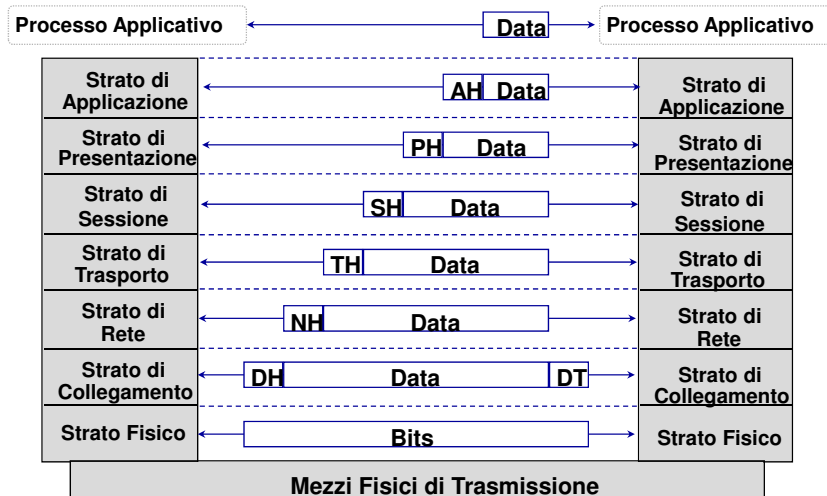


## Architettura del modello OSI

- sistemi terminali
- sistemi di rilegamento (relay)



## Relazioni tra unità di dati in strati adiacenti



## 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**

## 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**

## 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 di trasporto
- principali funzioni:
  - **indirizzamento dei terminali e instradamento attraverso la rete**
  - **controllo di flusso**

## Livello 4 - Trasporto (T)

- Fornisce alle entità di livello sessione le connessioni di livello trasporto
- Colma le eventuali deficienze della qualità di servizio delle connessioni di livello rete
- Ottimizza il servizio di livello rete
- E' 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**

## Livello 5 - Sessione

- Assicura alle entità di presentazione una connessione di sessione e 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 eventuali interruzioni del servizio trasporto
- Principali funzioni:
  - **gestione del dialogo e sincronizzazione**

## 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**

## Livello 7 - Applicazione

- Fornisce ai processi applicativi i mezzi per comunicare tra loro
- Aggiunge eventuali funzioni che non sono fornite dai protocolli sottostanti e che sono necessarie per la comunicazione a livello applicativo
- Esempi di servizi/applicazioni realizzati a livello applicativo
  - **trasferimento di file**
  - **posta elettronica**
  - **terminale virtuale**
  - **audio/video streaming**
  - ...

## Strati del modello Internet

- Il modello Internet storicamente prevede quattro strati funzionali, in un ordine gerarchico decrescente
- 4 - **Strato Applicativo (Application Layer)**
- 3 - **Strato di Trasporto da estremo a estremo (Host-to-Host Transport Layer)**
- 2 - **Strato Internet (Internet Layer)**
- 1 - **Strato di Accesso in rete (Network Access Layer)**

## 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**
  - **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**
  - **utilizza il protocollo IP (Internet Protocol)**



## Funzionalità degli strati Internet (2/2)

- Strato di trasporto
  - **corrisponde allo strato di trasporto OSI e a parte dello strato di sessione**
  - **può offrire normalmente due tipi di servizio:**
    - un servizio di trasporto affidabile con connessione, tramite il protocollo TCP (Transmission Control Protocol)
    - un servizio più semplice, senza connessione, tramite il protocollo UDP (User Datagram Protocol)
- Strato applicativo
  - **corrisponde a parte dello strato di sessione e agli strati di presentazione e di applicazione del modello OSI**
  - **racchiude tutti i protocolli di tipo applicativo quali ad esempio: DNS, HTTP, FTP, SMTP, POP3, SNMP, SIP, etc.**

## Altri strati nella architettura Internet

- Sebbene non venga spesso considerato come tale, può essere presente anche uno strato di sessione/presentazione
  - **eventuale supporto applicativi real-time, tramite protocolli RTP/RTCP**
  - **eventuale supporto di comunicazioni sicure, tramite i protocolli TLS (SSL) e DTLS**

## Architetture OSI e Internet

Modello OSI	Modello INTERNET
Applicazione	Applicativo (DNS, HTTP, SMTP, etc.)
Presentazione	(RTP, TLS, etc.)
Sessione	Trasporto (TCP, UDP, SCTP)
Trasporto	Internet (IP)
Rete	Sottorete
Collegamento	
Fisico	