

Reti di Elaboratori

Corso di Laurea in Informatica
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Canale A-L
Prof.ssa Chiara Petrioli

Parte di queste slide sono state prese dal materiale associato al libro *Computer Networking: A Top Down Approach*, 5th edition.

All material copyright 1996-2009

J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

Thanks also to Antonio Capone, Politecnico di Milano, Giuseppe Bianchi and Francesco LoPresti, Un. di Roma Tor Vergata

Servizi di telecomunicazione

- La rete Internet offre un servizio di comunicazione
 - supporta la necessità di comunicazione tra due o più peer remoti, secondo modalità operative e prestazioni di qualità definito da un quadro contrattuale (service level agreement)
 - l'erogazione di un servizio comporta l'esecuzione in un ordine prestabilito di componenti funzionali,
 - i servizi di rete forniscono la possibilità di trasferire informazioni tra due o più peer di rete
 - i servizi applicativi insieme agli aspetti di trasferimento delle informazioni trattano gli aspetti legati all'utilizzazione dell'informazione

Queste slide sono tratte dalle dispense di retematica, Prof. Aldo Roveri, Capitolo II

Architetture di comunicazione (1/2)

- La comunicazione tra due o più entità remote richiede cooperazione al fine di raggiungere uno scopo comune
 - Regole procedurali per il trasferimento dell'informazione e l'utilizzazione dell'informazione devono essere rispettate
 - provvedimenti protettivi devono poter essere messi in atto per reagire in presenza di eventi aleatori (quali ad esempio la possibilità di errori in trasmissione, guasti, etc.) che potrebbero compromettere lo scambio di informazioni

- Processo di comunicazione → *consiste nello svolgere in forma cooperativa tra le entità remote coinvolte una sequenza di funzioni che permettano ad una entità di essere connessa e comunicare con una o più entità remote, anche in presenza di impedimenti di varia natura quali errori di origine fisica o logica etc.*

Architetture di comunicazione (2/2)

- Descrizione degli oggetti utilizzati per descrivere il processo di comunicazione, le relazioni generali tra tali oggetti, ed i vincoli tra tali tipi di oggetti e di relazioni → ovvero si definiscono le funzioni da svolgere e le modalità organizzative per permettere uno svolgimento coordinato
- Modalità di esecuzione delle funzioni precedentemente identificate; specifiche delle procedure operative che debbono essere seguite per ognuna delle interazioni tra le parti in gioco nella architettura di comunicazione (ovvero i protocolli di comunicazione). Elementi costituenti dei protocolli sono aspetti legati alla:
 - semantica (insieme dei comandi, delle azioni conseguenti e delle risposte attribuibili alle parti)
 - sintassi (formato dei comandi e delle risposte)
 - temporizzazione (sequenze temporali di emissione dei comandi e delle risposte)

Architetture a strati

- ❑ Sia I l'insieme delle funzioni da svolgere per consentire l'evoluzione di un processo di comunicazione (tali funzioni vanno partizionate in sottoinsiemi funzionali, e vanno organizzate le modalita' di interazione tra tali sottoinsiemi)
- ❑ Criterio del raggruppamento
 - considera appartenenti allo stesso sottoinsieme funzioni simili per logica e tecnologia realizzativa;
 - indentifica i sottoinsiemi in modo da minimizzare la complessita' e la numerosita' delle interazioni tra funzioni appartenenti a sottoinsiemi diversi.

Architetture a strati

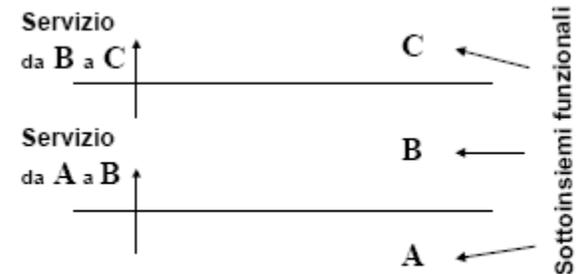
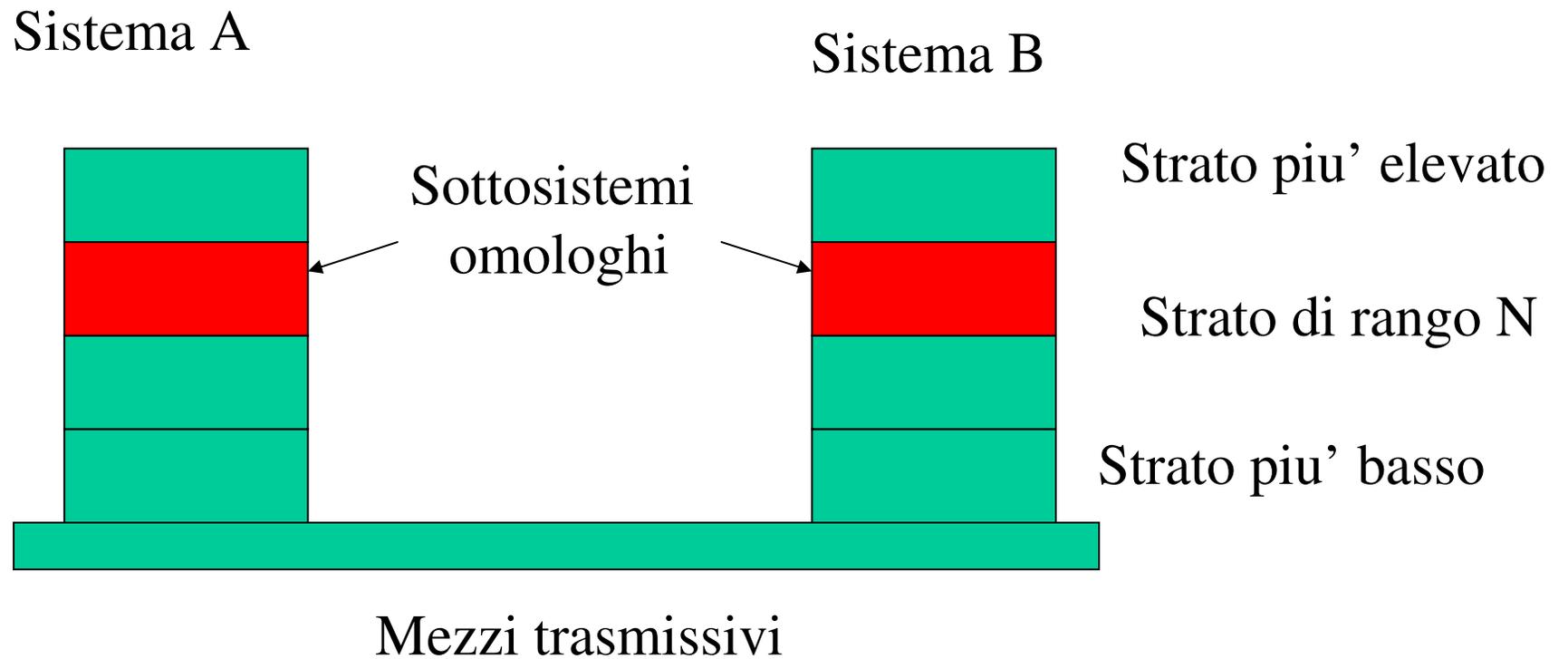


Figura II.1.1 - Il principio del valore aggiunto

- Criterio della gerarchizzazione. Tre strati A, B, C appartenenti ad I si dicono in ordine gerarchico crescente se:
 - Lo svolgimento di B presuppone l'esecuzione di A
 - Lo svolgimento A e B costituisce il presupposto per lo svolgimento di Cin questo caso si dice che B offre un servizio a C, che aggiunge valore ad un servizio offertogli a sua volta da A (principio del valore aggiunto)
- Se I è partizionato in sottoinsiemi funzionali secondo il principio del raggruppamento, tali sottoinsiemi operano in ordine gerarchico e ciascun sottoinsieme funzionale interagisce solo con i sottoinsiemi gerarchicamente adiacenti, seguendo il principio del valore aggiunto, si ha una architettura di comunicazione che segue il principio di stratificazione.

Layering

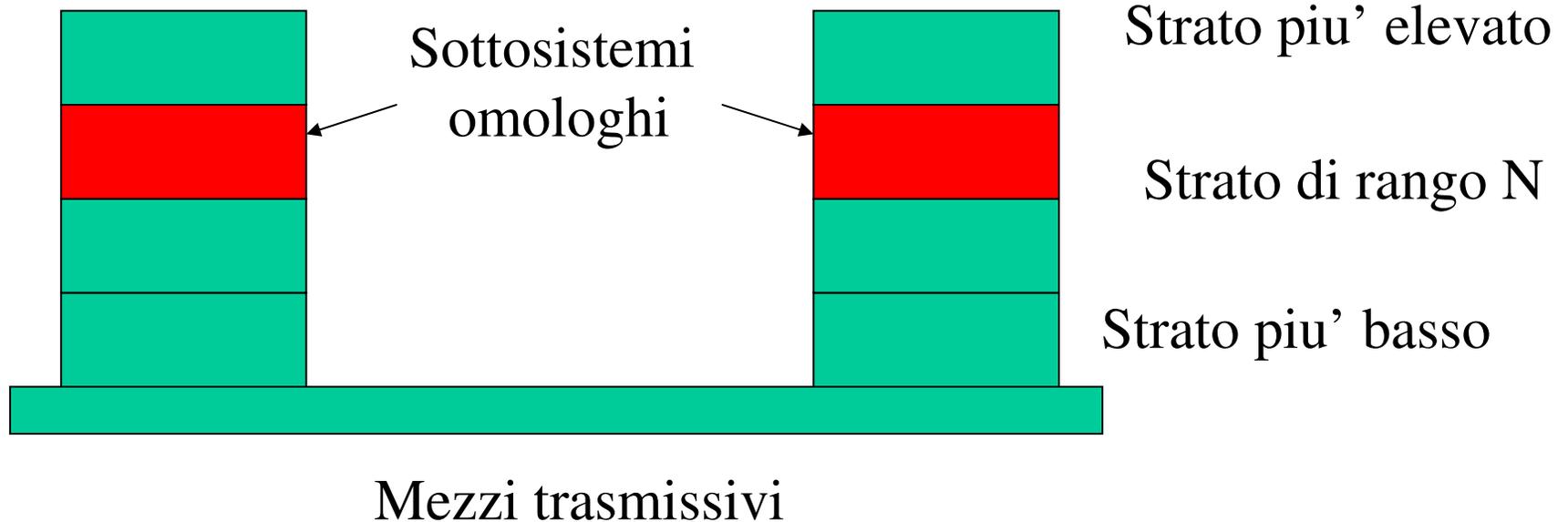


Layering

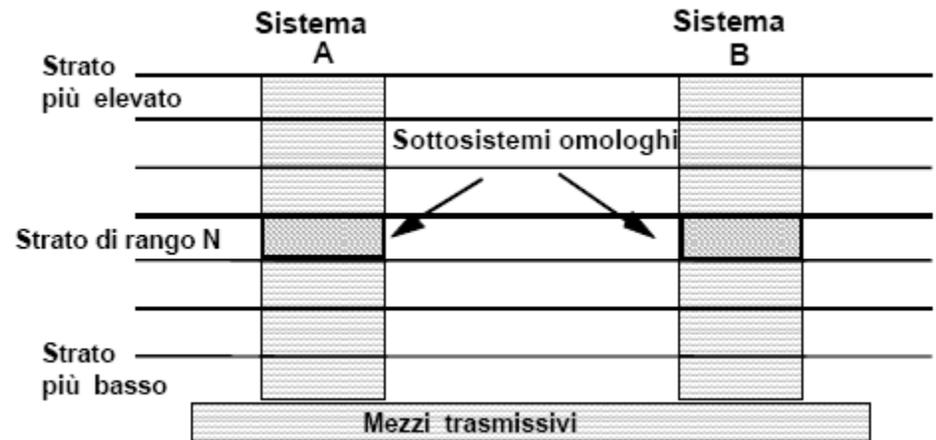
- Ogni sottoinsieme funzionale
- Riceve servizio dal sottoinsieme immediatamente Inferiore nell'ordine gerarchico
 - Arricchisce questo servizio con le proprie funzioni
 - offre un nuovo servizio a valore aggiunto al livello immediatamente superiore nell'ordine gerarchico

Sistema A

Sistema B



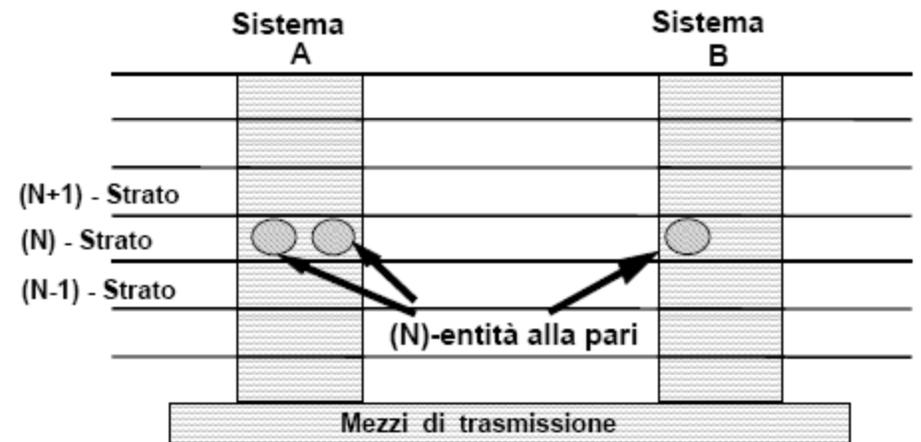
Strato o Livello



□ Architettura di comunicazioni interconnessi

- ognuno capace di effettuare trattamento e/o trasferimento di informazione
- ogni sistema è logicamente composto da una successione ordinata di sottosistemi ad ognuno dei quali è associato un sottoinsieme funzionale
- l'ordine definisce il rango del sottosistema
- tutti i sottosistemi caratterizzati da uguale rango definiscono uno strato o livello
 - all'interno di un sottosistema possono identificarsi una o più entità che sono gli elementi attivi dello strato e che provvedono all'esecuzione di una o più funzioni dello strato

Strato o Livello



- Architettura di comunicazione interconnessi
 - ognuno capace di effettuare trattamento e/o trasferimento di informazione
 - ogni sistema è logicamente composto da una successione ordinata di sottosistemi ad ognuno dei quali è associato un sottoinsieme funzionale
 - l'ordine definisce il rango del sottosistema
 - tutti i sottosistemi caratterizzati da uguale rango definiscono uno strato o livello
 - all'interno di un sottosistema possono identificarsi una o più entità che sono gli elementi attivi dello strato e che provvedono all'esecuzione di una o più funzioni dello strato

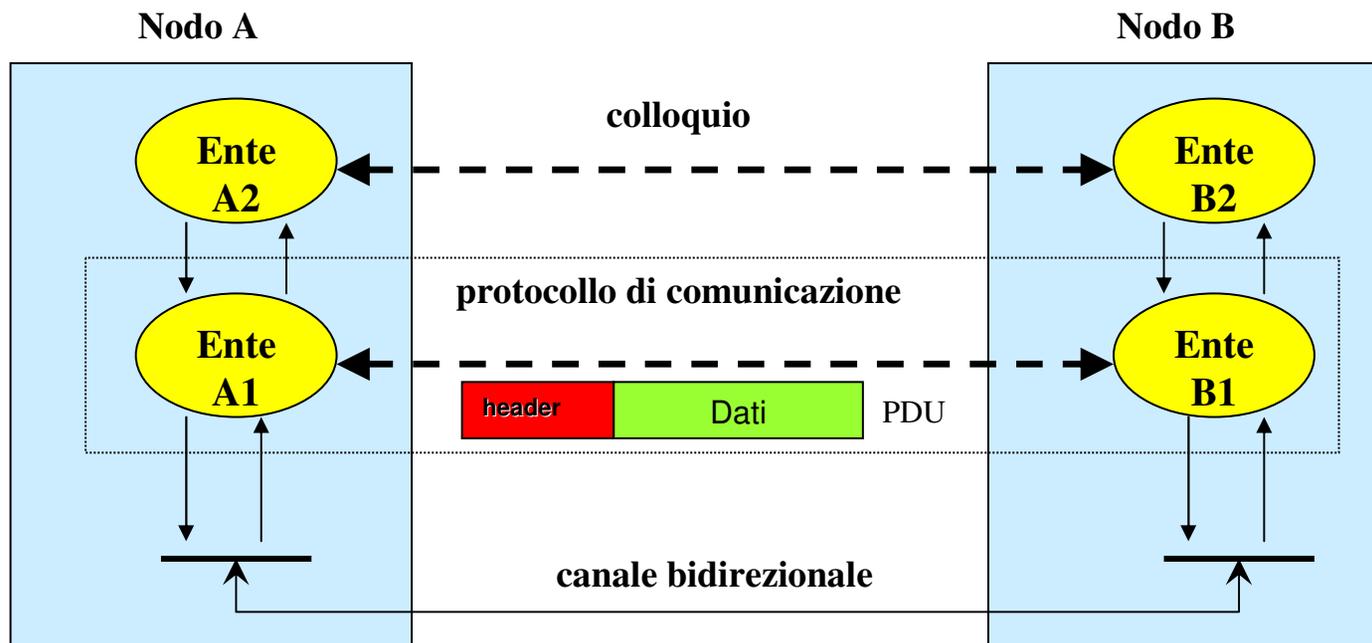
Ogni (N)-entità è identificata da una denominazione unica e globale

Servizi di strato

- Ogni (N)-strato fornisce un (N) servizio all'(N+1)-esimo strato
- Per far ciò usa l'(N-1)-esimo servizio arricchendolo tramite un sottoinsieme di (N)-funzioni
- Una (N)-funzione è parte dell'attività di una (N)-entità ed è svolta tramite la cooperazione di due o più (N)-entità paritetiche
 - alcune (N)-funzioni caratterizzano l'(N)-servizio e sono visibili all'(N)-interfaccia tra l'(N+1)-esimo strato e l(N)-esimo strato
 - altre servono solo per scopi interni all'(N)-esimo strato e non sono visibili al suo esterno

Srato o Livello

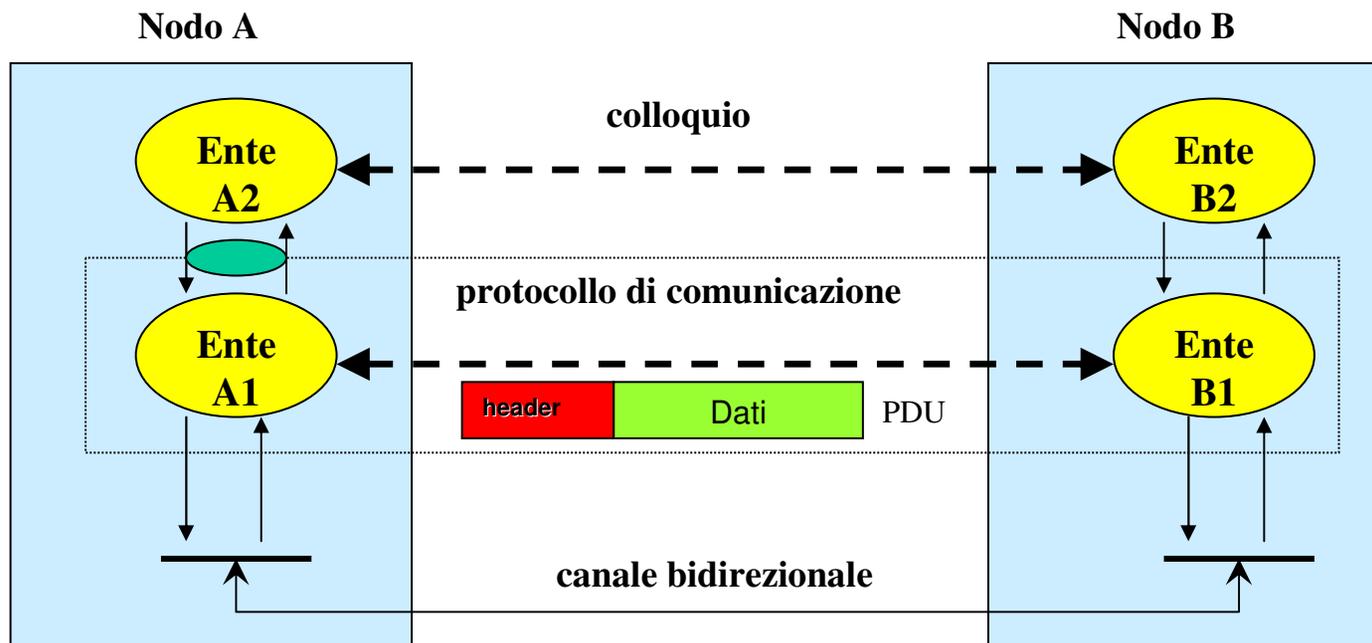
- le entità che colloquiano in un servizio di telecomunicazione possono offrire un servizio di comunicazione a entità terze, dette di livello superiore



Livelli

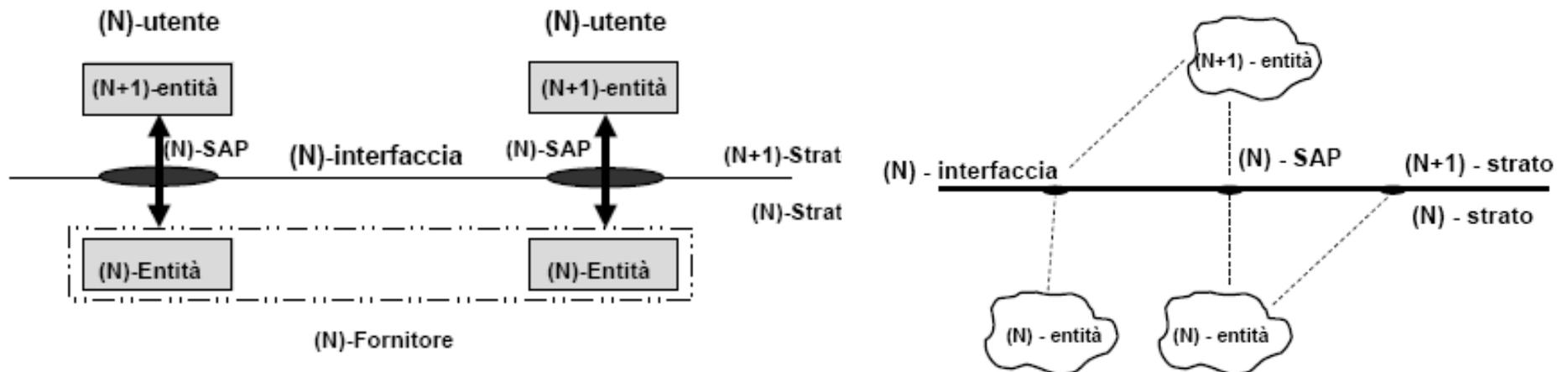
□ A che serve?

- il servizio offerto alle entità di livello superiore può essere diverso da quello base



Interfaccia tra strati

- La corrispondenza tra gli (N)-utenti e le (N)-entità che costituiscono l'(N) fornitore è attuata tramite specifici punti di accesso all'(N) strato chiamati (N)-punti di accesso al servizio o (N)-SAP (SAP=Service Access Point)



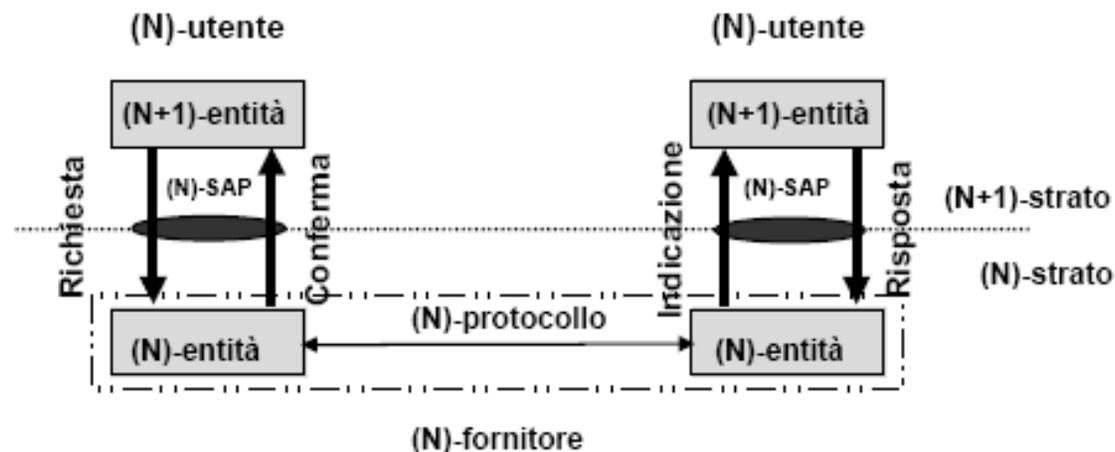
Ogni (N)-SAP è identificato da un (N)-indirizzo che lo identifica in modo univoco

Il servizio di comunicazione

- ❑ il servizio di comunicazione può essere descritto mediante delle *chiamate di servizio* dette primitive di servizio
- ❑ le primitive di servizio servono a descrivere il servizio, a richiederlo e a ricevere informazioni sul servizio dal fornitore
- ❑ le primitive di servizio sono caratterizzate da parametri tra cui:
 - informazione da trasferire
 - indicazione del destinatario
 - caratteristiche del servizio richiesto
 - ecc.

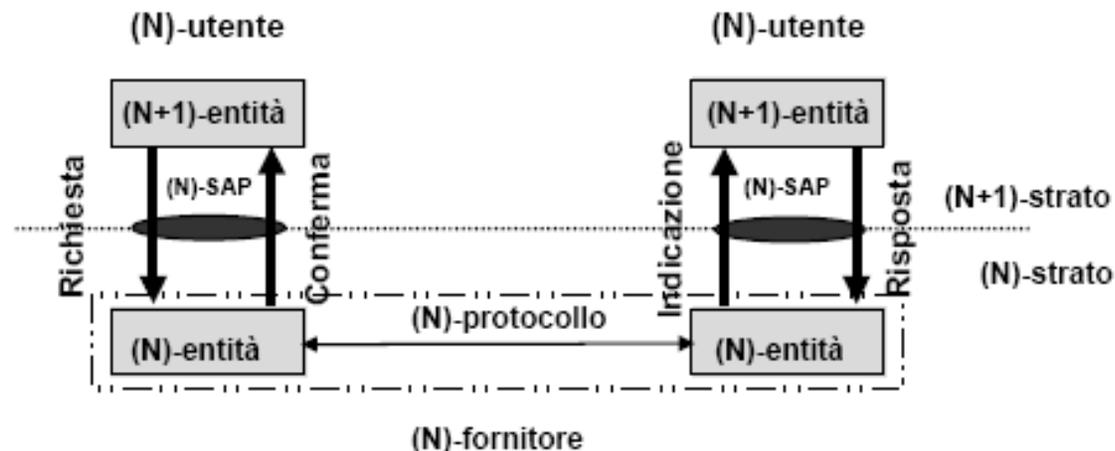
Primitive di servizio

- ❑ 1) Richiesta → è emessa da un (N)-utente per richiedere l'attivazione di un elemento del servizio;
- ❑ 2) Indicazione → è emessa dall'(N)-fornitore per indicare che l'(N) utente remoto ha presentato una richiesta di attivazione di un elemento del servizio (possibilmente segnalando l'attivazione di una particolare procedura interna al servizio stesso).



Primitive di servizio

- ❑ 3) Risposta → è emessa dall'(N) utente per completare la procedura relativa ad un elemento di servizio precedentemente attivato (da una indicazione);
- ❑ 2) Conferma → è emessa dall'(N)-fornitore per completare la procedura di un elemento di servizio precedentemente attivato (da una richiesta).



Uso delle primitive di servizio

□ Servizio confermato

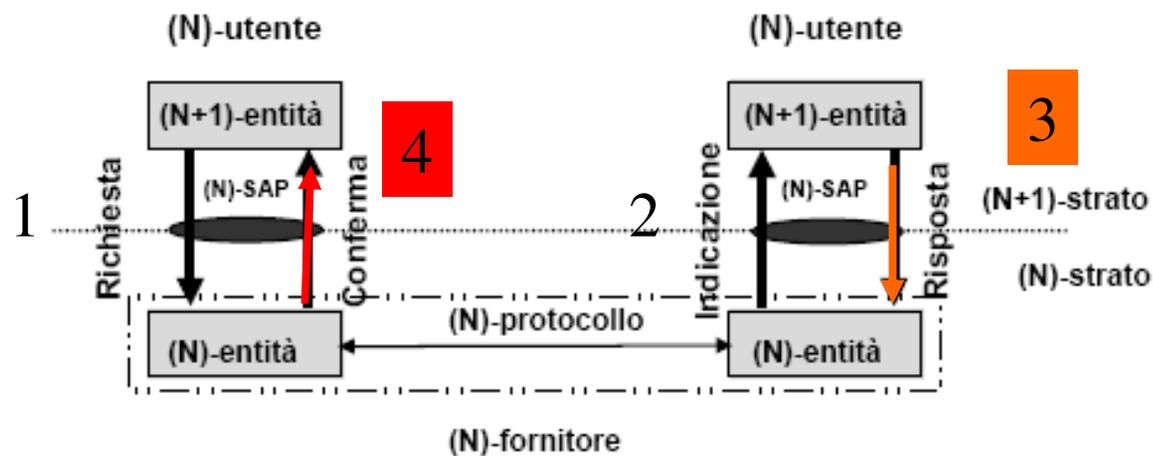
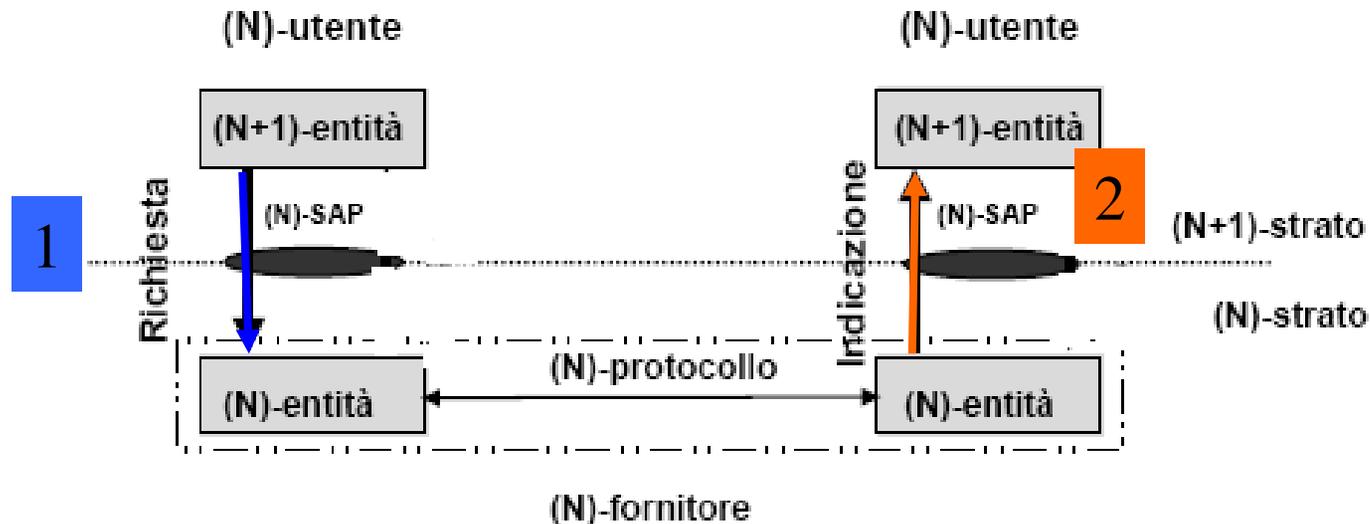


Figura II.2.6 - Modello e primitive dell'(N)-servizio

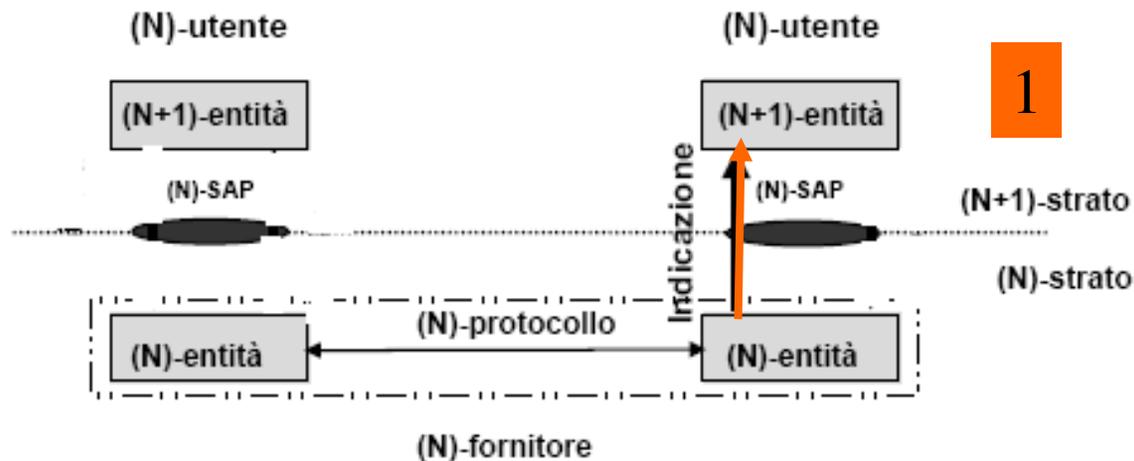
Uso delle primitive di servizio

□ Servizio non confermato



Uso delle primitive di servizio

- Servizio iniziato dal fornitore → direttamente Attivato dall'(N)-fornitore



Protocollo

□ La cooperazione tra (N)-entità residenti in sistemi diversi è regolata da un insieme di regole che prendono il nome di (N)-protocollo

- Semantica
- Sintassi
- Temporizzazione

Dei meccanismi per il trasferimento e l'elaborazione dell'informazione

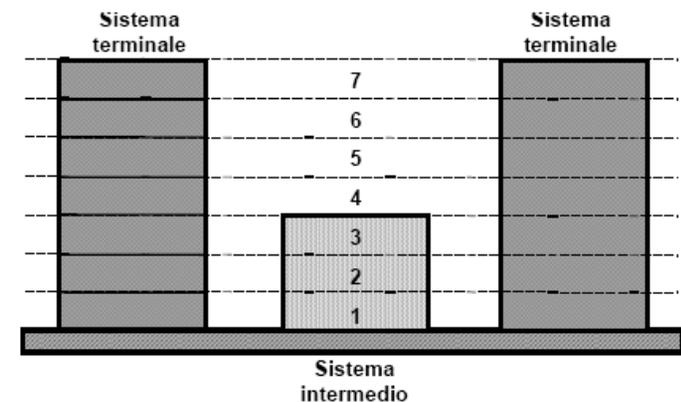
Primitive

□ Riassumendo:

- servono a chiedere il servizio e essere informati dell'esito della richiesta
- hanno significato locale tra fornitore e cliente del servizio
- non sono legate direttamente al modo con il quale il fornitore effettua il servizio
- devono contenere tutte le informazioni necessarie al fornitore

Servizi terminali e intermedi

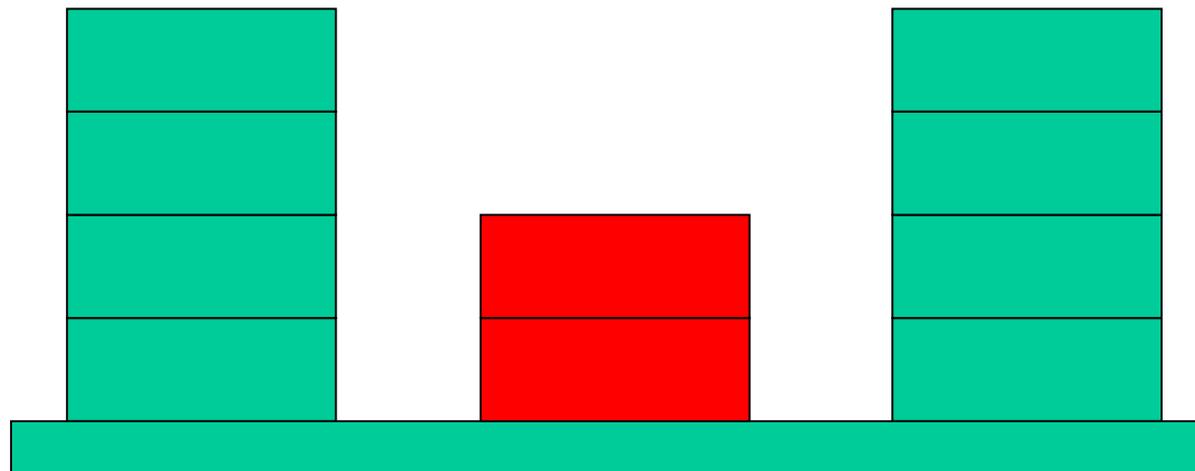
- Un sistema coinvolto in un processo di comunicazione può essere terminale o intermedio
 - Un sistema terminale è origine o destinazione finale delle informazioni
 - comprende di norma tutti i livelli della pila protocollare
 - trasferisce e tratta (processa) l'informazione
 - a seconda che sia origine o destinazione dell'informazione svolge il ruolo di sistema emittente o ricevente
 - Un sistema intermedio (o Relay) consente l'istradamento dell'informazione
 - può comprendere solo un sottoinsieme dei livelli (dal più basso fino ad un certo livello)
 - può occuparsi anche solo del trasferimento dell'informazione
 - svolge sempre il ruolo di ricevente rispetto al flusso entrante e di emittente rispetto al flusso uscente



Sottosistemi di comunicazione

Sistema terminale

Sistema Terminale



Sistema Intermedio

- sistema terminale=origine o destinazione finale di info
- sistema in termedio = provvede ad assicurare il rilegamento (relay) fisico o logico tra due o piu' sistemi terminali

Packet Data Units (PDU)

- un protocollo utilizza per il colloquio tra entità dello stesso livello delle unità di trasferimento dati dette PDU o anche trame del protocollo
- Le PDU possono contenere:

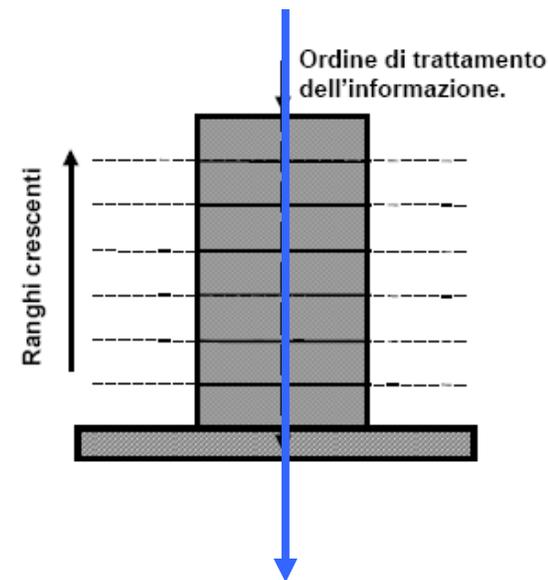
- **informazione di servizio necessaria al coordinamento tra le entità**

- **informazione vera e propria ricevuta dai livelli superiori**



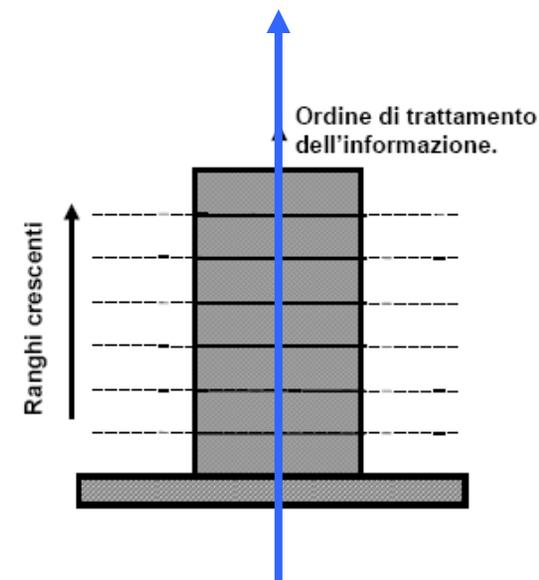
Ordine logico del trattamento dell'informazione

- Quando un sistema terminale o intermedio riveste il ruolo di emittente dell'informazione il suo trattamento dell'informazione (consistente nello svolgere in apertura le funzioni attribuite ai suoi sottosistemi componenti) segue un ordine logico dei ranghi decrescenti
 - si inizia dal sottosistema di rango più elevato presente nel sistema;
 - si scende via via attraverso sottosistemi di rango minore fino al sottosistema di rango più basso del sistema;
 - si consegna l'informazione al mezzo trasmissivo

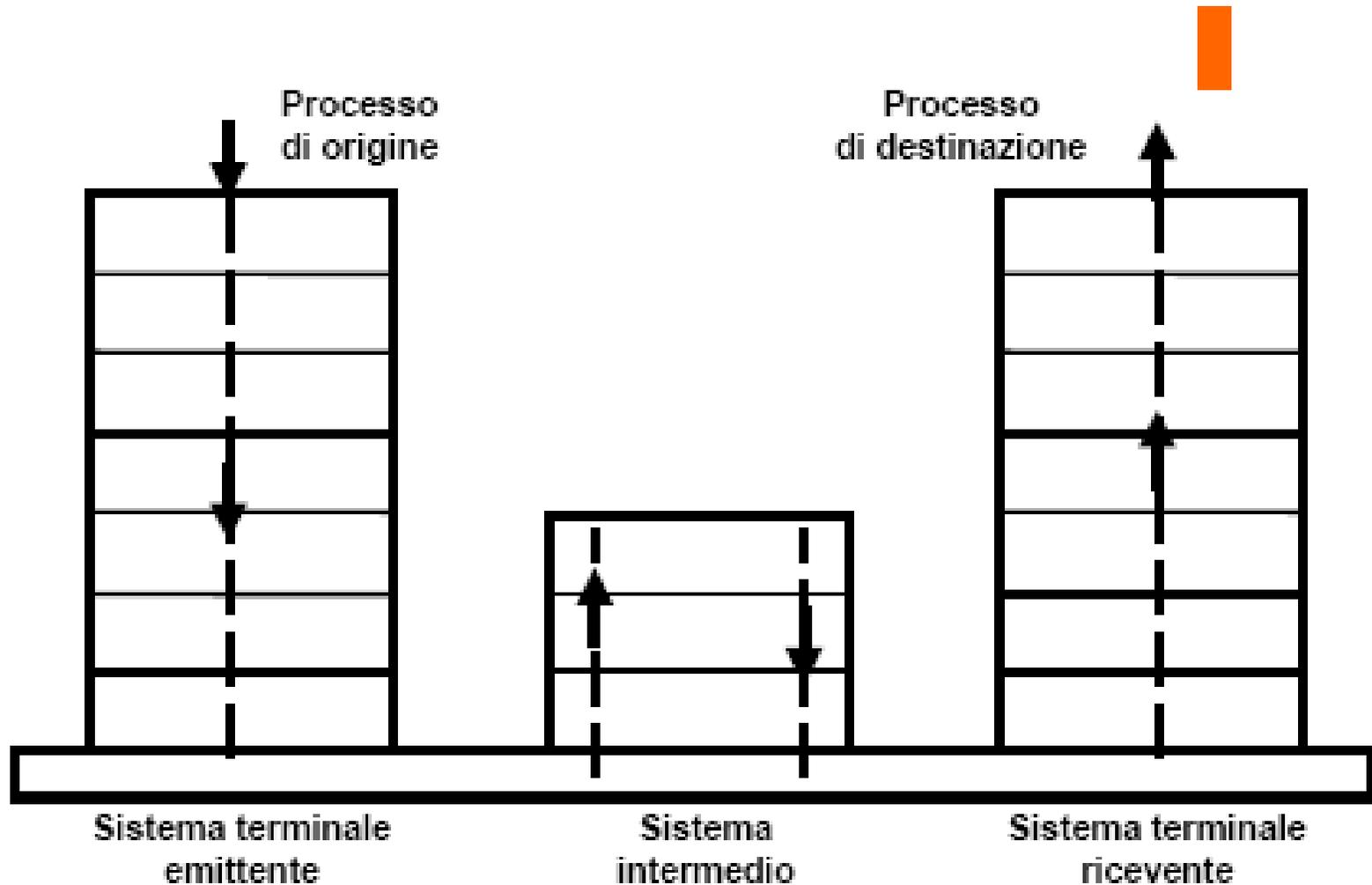


Ordine logico del trattamento dell'informazione

- Quando un sistema terminale o intermedio riveste il ruolo di ricevente il suo trattamento dell'informazione segue un ordine logico dei ranghi crescenti
 - si estrae l'informazione dal mezzo trasmissivo
 - si inizia dal sottosistema di rango più basso presente nel sistema;
 - si sale via via attraverso sottosistemi di rango maggiore fino al sottosistema di rango più alto del sistema;

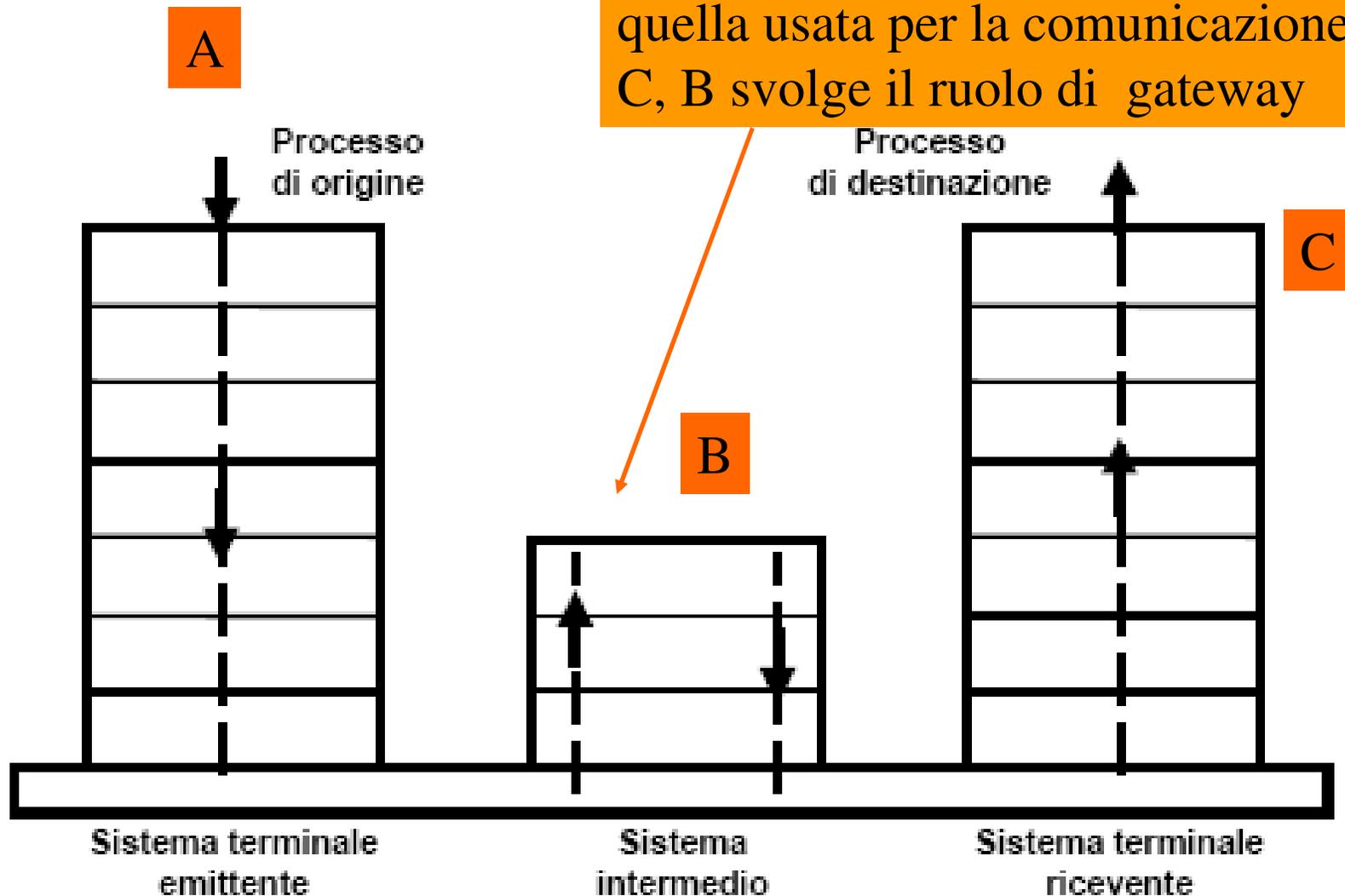


Ordine logico del trattamento dell'informazione



Ordine logico del trattamento dell'informazione

Se la pila protocollare per la comunicazione A-B è diversa da quella usata per la comunicazione B-C, B svolge il ruolo di gateway



Architettura a strati

- I servizi di comunicazione complessi possono essere articolati a strati
 - da un livello che garantisce solo il trasporto dei bit
 - a un livello dove sono definite complessi servizi caratterizzati da molti parametri e funzionalità



Relazioni tra i livelli

- Il servizio offerto da uno strato è acceduto tramite un Service Access Point (SAP)

Info di

coordinamento

(N)-ICI

Dati di utenza

(N+1)-PDU

N - IDU

Livello N+1

N-SAP

N-ICI

Livello N

N-PDU

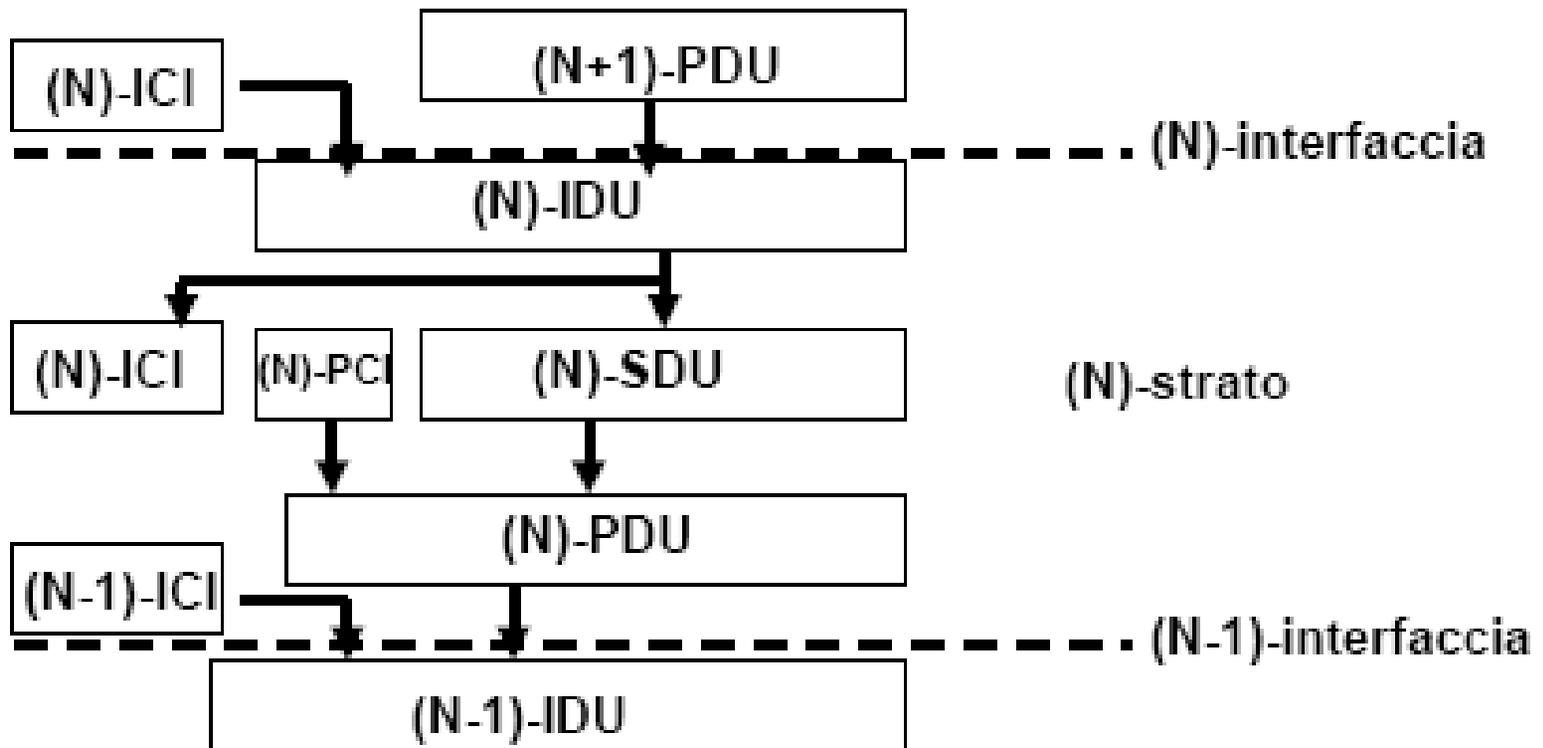
N - PCI

N - SDU

IDU : Interface Data Unit
ICI : Interace Control Information
SDU: Service Data Unit
PCI: Protocol Control Information
PDU: Protocol Data Unit

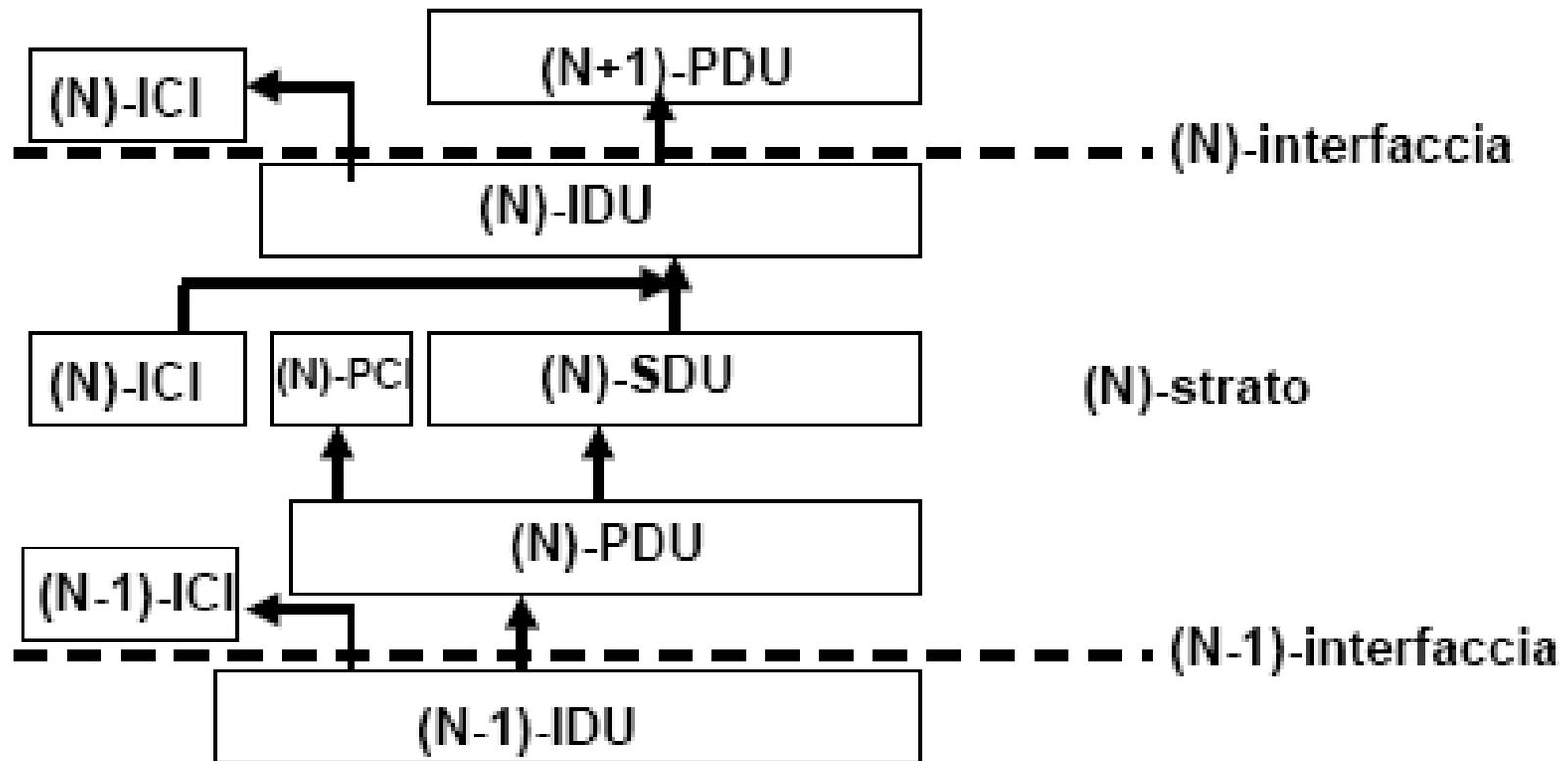
Si aggiunge la (N-1) ICI e si passa al livello sottostante una N-1 IDU

Relazioni tra i livelli



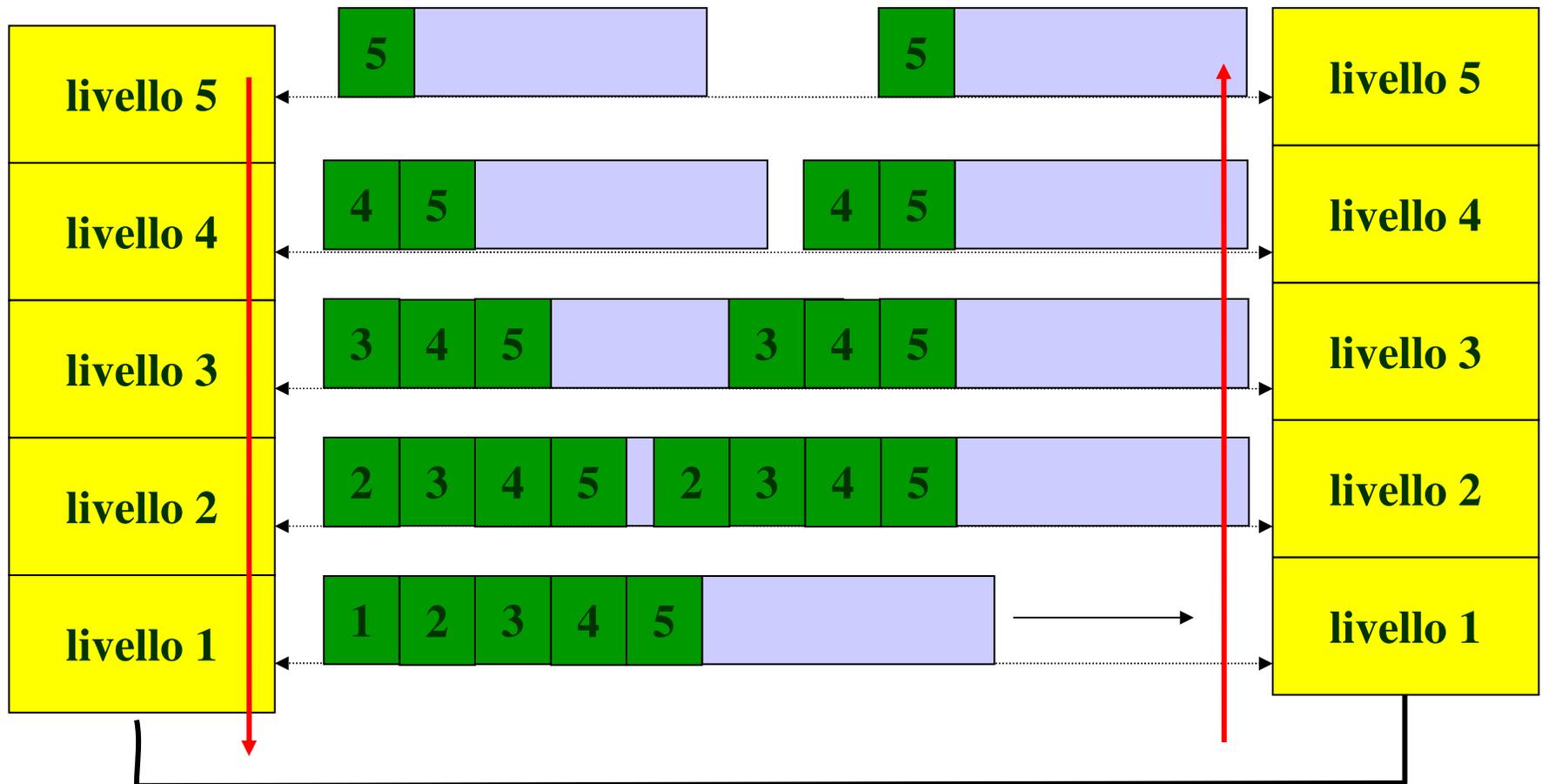
Ordine discendente

Relazioni tra i livelli



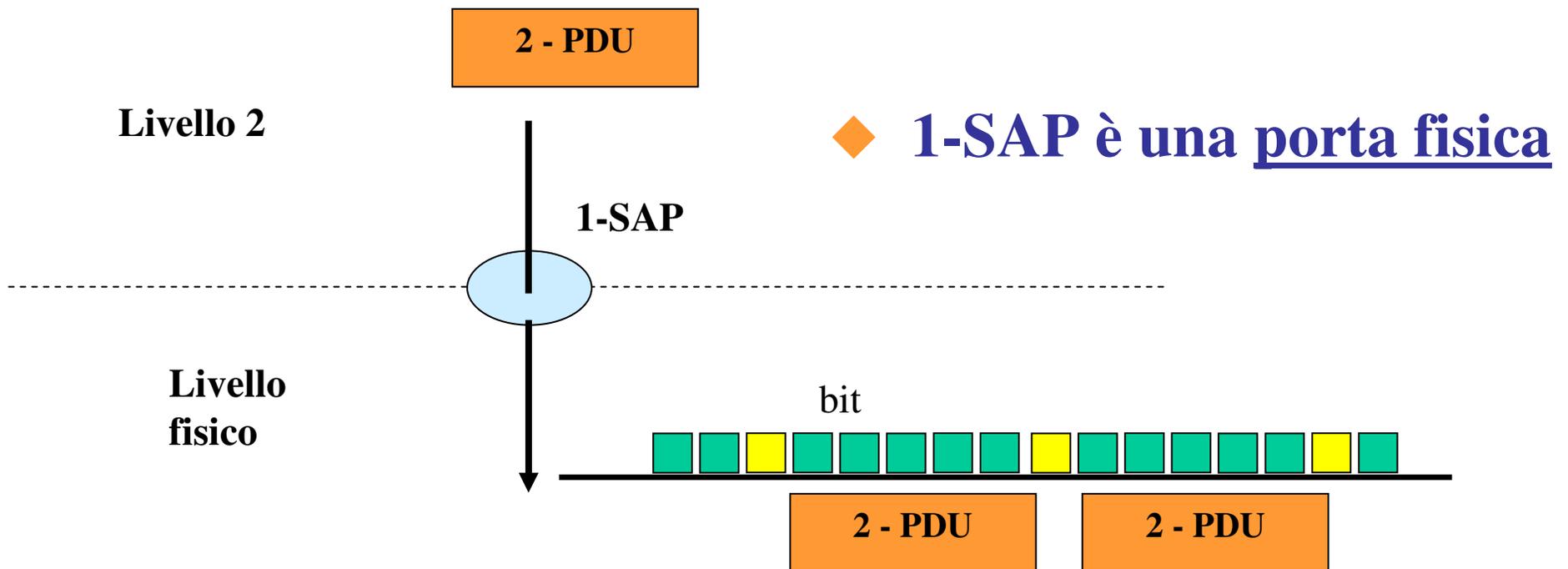
Ordine ascendente

Architettura completa



Livello fisico

- ◆ Al livello più basso che è il livello fisico, le PDU sono i flussi di bit

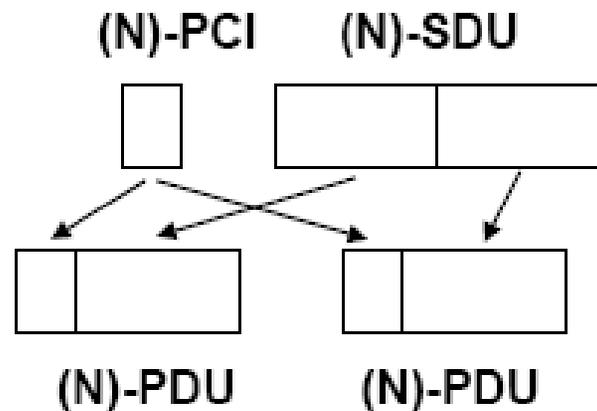


- ◆ I livelli superiori arricchiscono questo servizio di comunicazione base con funzionalità anche complesse

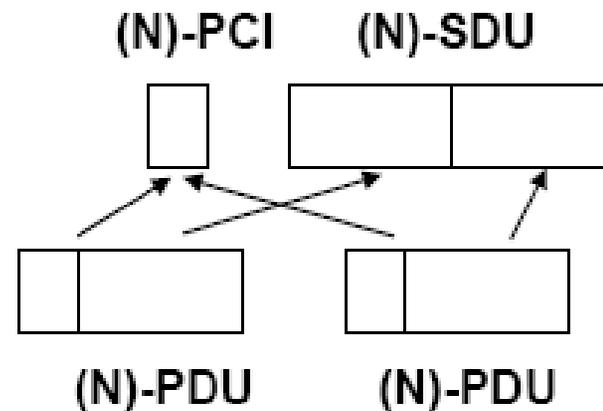
Frammentazione e assemblaggio

- A volte un'unica (N) SDU deve essere divisa in diverse (N)-PDU - frammentazione o segmentazione

- In ricezione deve essere effettuata l'operazione in'



Segmentazione



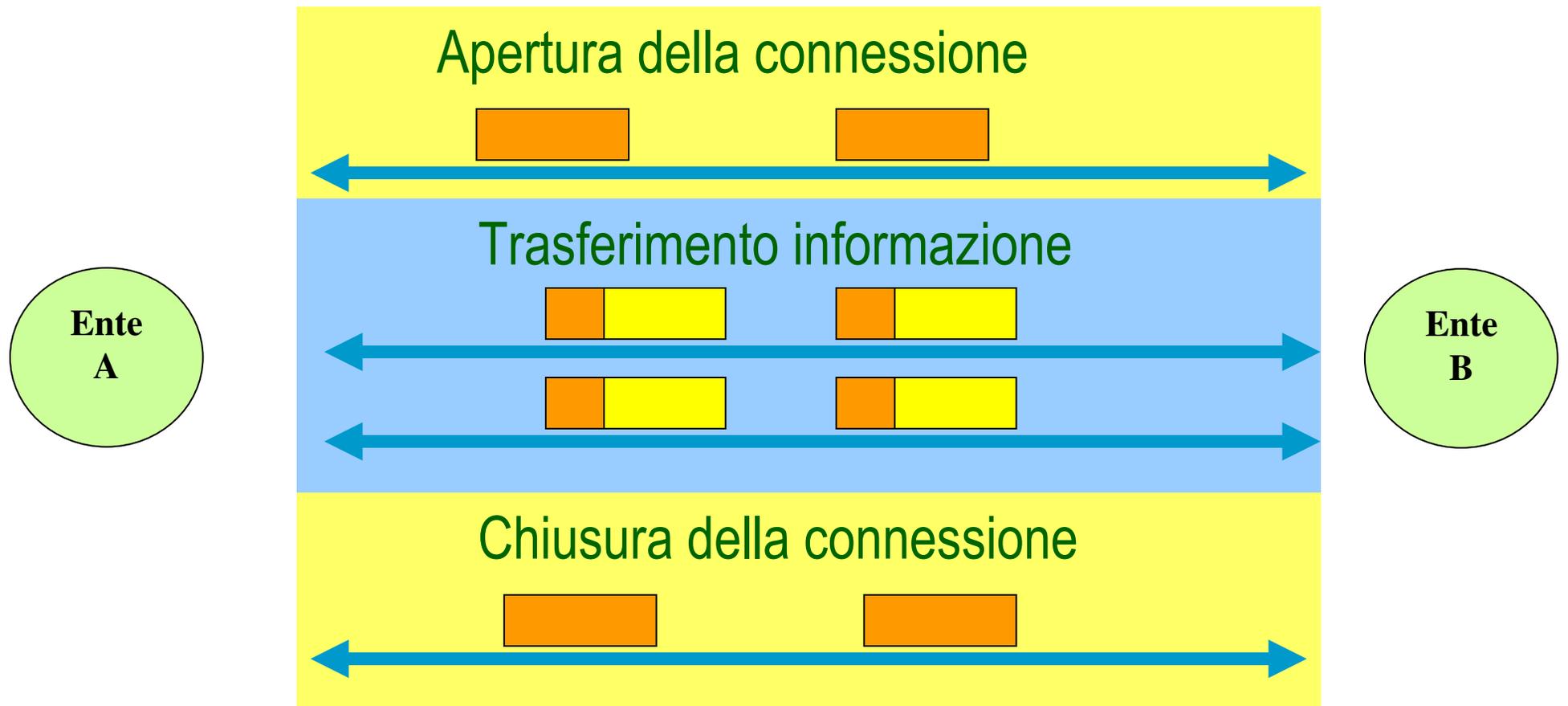
Assemblaggio

Modalità di comunicazione

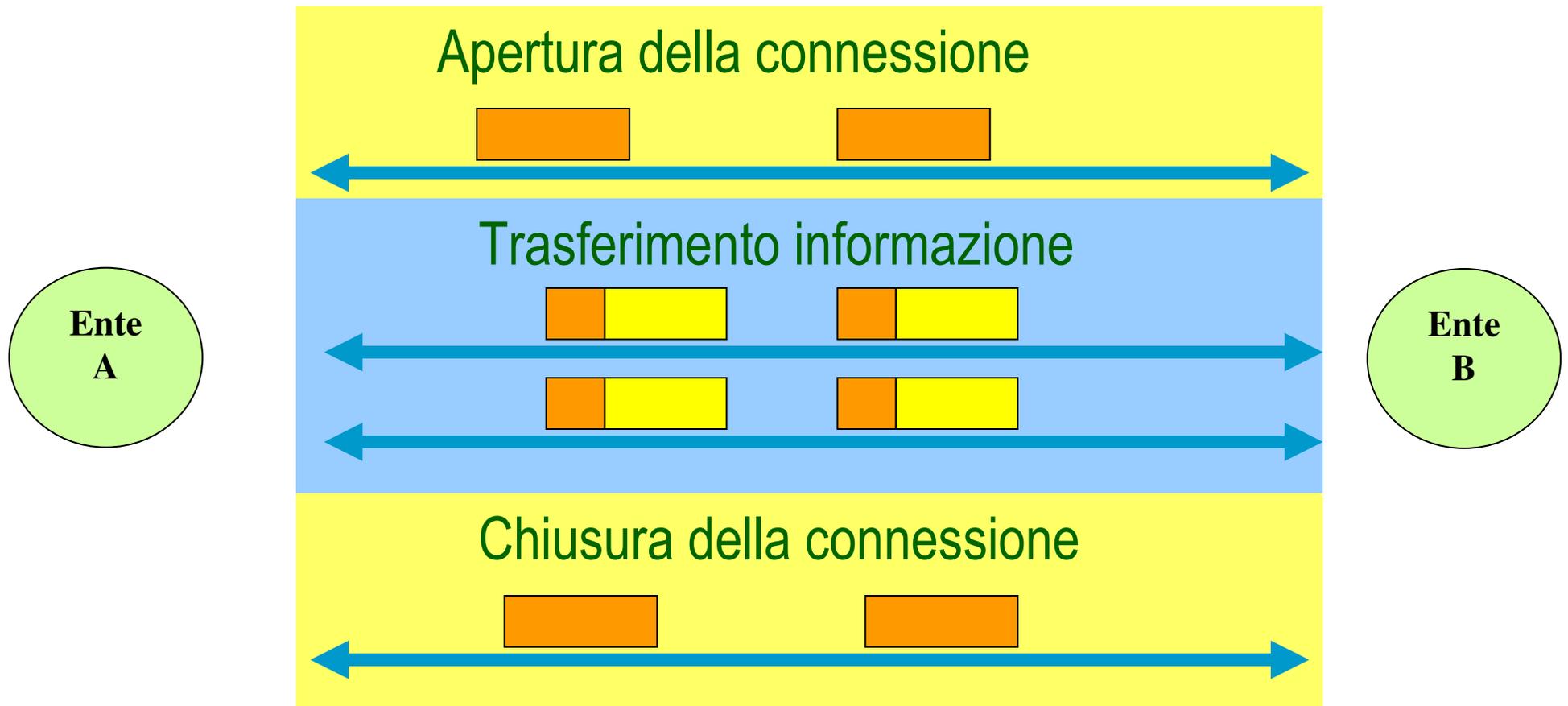
□ modalità a connessione

- Tre fasi temporali
 - instaurazione della connessione
 - trasferimento dell'informazione
 - rilascio delle connessione
- Accordo preventivo tra almeno tre parti
 - Due o più (N) utenti e (N) fornitore
- Negoziazione di parametri di trasferimento
 - L'instaurazione della connessione può essere rifiutata perché i parametri e le opzioni scelte dalla controparte sono inaccettabili
 - es. Quality of Service, livello di sicurezza
 - Possibile rinegoziazione
- Indirizzamento con identificatori di connessione
- Legame logico tra le entità per tutta la durata della connessione

Servizio a connessione



Servizio a connessione

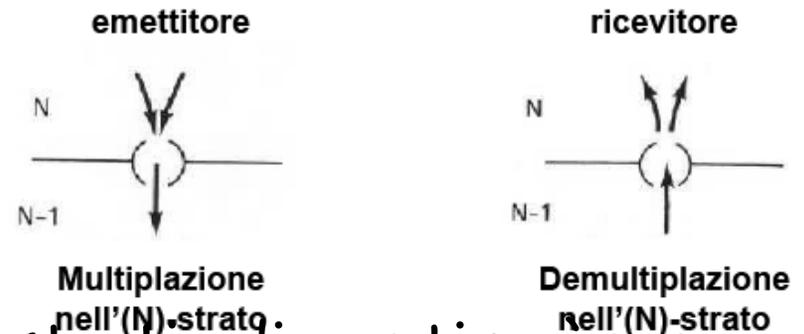


Nella fase di instaurazione della connessione ogni parte memorizza informazioni di stato riguardante le altre parti (es. indirizzi, parametri di QoS) → nella seconda fase le info di utenza possono essere accompagnate da PCI di dimensione più contenuta (tipicamente)

Servizio a connessione

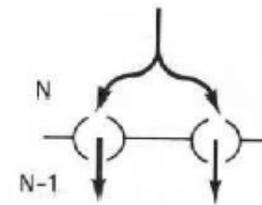
- Una (N) connessione può essere instaurata tra due o più (N)-SAP
 - connessione punto-punto
 - connessione punto-multipunto
- Una (N+1) entità può gestire simultaneamente una molteplicità di connessioni con altre (N+1) entità
 - su un (N)-SAP si attestano più (N) connessioni
 - ciascuna è identificata dagli identificatori degli (N)-CEP (Connection End Point)

Multipolazione

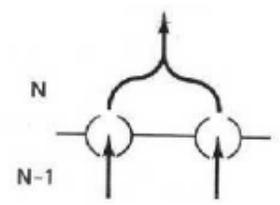


- ❑ La corrispondenza tra connessioni tra strati adiacenti può non essere uno ad uno
- ❑ Quando ad una molteplicità di (N) connessioni corrisponde una sola (N-1) connessione si parla di multiploazione
 - la funzione di multiploazione ha l'obiettivo di rendere più economica ed efficiente l'utilizzazione di un (N-1) esimo servizio
- ❑ **PROBLEMATICHE**
 - identificare l'(N) connessione per ogni (N)-PDU che viene trasferita sulla (N-1) esima connessione (in modo da non far perdere l'identità all'informazione multiploata e in modo da poterle consegnare alla corretta destinazione)
 - controllare il flusso di ogni (N) connessione
 - scadenzare la prossima (N) connessione da servire quando più di una (N) connessione multiploata sulla (N-1) connessione è pronta ad inviare dati

Suddivisione



Suddivisione
nell'(N)-strato

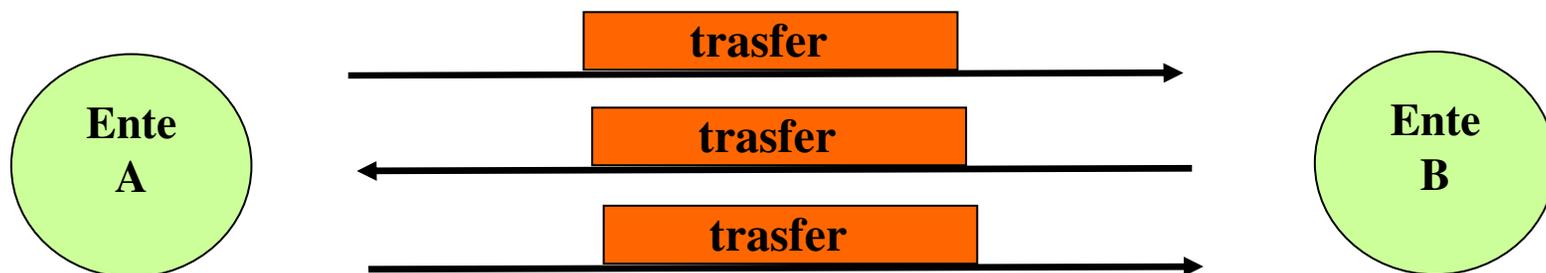


Riunificazione
nell'(N)-strato

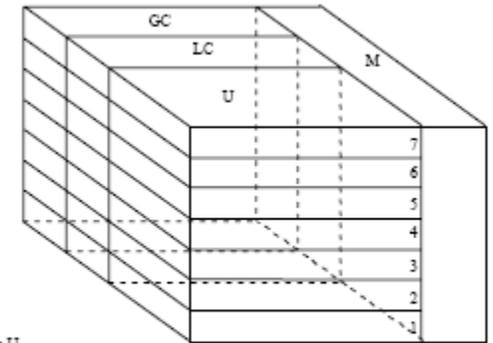
- La corrispondenza tra connessioni tra strati adiacenti può non essere uno ad uno
- Quando ad una (N) connessione corrisponde una molteplicità di (N-1) connessioni si parla di suddivisione
 - la funzione di suddivisione è usata per aumentare l'affidabilità e le prestazioni di una (N)-connessione
- **PROBLEMATICHE**
 - occorre scadenzare l'ordine di utilizzazione delle (N-1) connessioni multiple in modo da usarle per suddividere la singola (N) connessione
 - occorre effettuare in ricezione un eventuale risequenziamento delle (N)-PDU associate ad una stessa (N)-connessione dato che il trasporto su (N-1) connessioni diverse può farle arrivare a destinazione in un ordine diverso da quello di emissione

Servizio senza connessione

- ❑ Il trasferimento dati avviene in modo autonomo, senza preventivo accordo
- ❑ non lega fra loro i diversi trasferimenti effettuati fra gli stessi utenti
- ❑ non consente i servizi tipici del trasferimento a connessione



Tipologie di informazione



- ❑ **Informazione di utente**
 - trasferita tra due o più utenti e possibilmente elaborata durante il trasporto
- ❑ **Informazione di controllo o di segnalazione**
 - è necessaria affinché possa avvenire il trasferimento dell'informazione utente
 - ad esempio in una rete a circuito
 - lo scambio di informazioni per controllare una connessione di rete, instaurarla o abbatterla
 - per controllare una connessione di rete già instaurata rinegoziando parametri e caratteristiche
 - ad esempio in una rete mobile per
 - controllare l'allocazione delle risorse radio, controllare la sessione, gestire la mobilità
- ❑ **Informazione di gestione**
 - esercizio e manutenzione della rete
 - accounting (tariffazione)

Chapter 1: roadmap

1.1 What *is* the Internet?

1.2 Network edge

1.3 Network core

1.4 Network access and physical media

1.5 ISPs and Internet backbones

1.6 Delay & loss in packet-switched networks

1.7 Internet structure and ISPs

1.8 History

Internet History

1961-1972: Early packet-switching principles

- ❑ 1961: Kleinrock - queueing theory shows effectiveness of packet-switching (MIT)
- ❑ 1964: Baran - packet-switching in military nets
- ❑ Davies at the National Physical Laboratory, UK was also developing ideas on packet switching
- ❑ 1967: ARPAnet conceived by Advanced Research Projects Agency
- ❑ 1969: first ARPAnet node operational

Packet switches dubbed
Interface Message
Processors (IMP)

- ❑ 1972:
 - ARPAnet demonstrated publicly by Robert Kahn
 - NCP (Network Control Protocol) first host-host protocol
 - first e-mail program
 - ARPAnet has 15 nodes



- Leonard Kleinrock with first IMP

Kleinrock's students:
Vinton Cerf
John Postel...

Network measurement center UCLA

Internet History

1972-1980: Internetworking, new and proprietary nets

- ❑ 1970: ALOHAnet satellite network in Hawaii (Abramson)
- ❑ 1973: Metcalfe's PhD thesis proposes Ethernet
- ❑ 1974: Cerf and Kahn - architecture for interconnecting networks
- ❑ late70's: proprietary architectures, e.g. IBM SNA (Schwartz)
- ❑ late 70's: switching fixed length packets (ATM precursor)
- ❑ 1979: ARPAnet has 200 nodes

Cerf and Kahn's internetworking principles:

- minimalism, autonomy - no internal changes required to interconnect networks
- best effort service model
- stateless routers
- decentralized control

define today's Internet architecture

Internet History

1980-1990: new protocols, a proliferation of networks

- 1983: deployment of TCP/IP
- 1982: SMTP e-mail protocol defined
- 1983: DNS defined for name-to-IP-address translation
- 1985: FTP protocol defined
- 1988: TCP congestion control
- new national networks: Csnnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100,000 hosts connected to confederation of networks

Internet History

1990, 2000's: commercialization, the Web, new apps

- ❑ Early 1990's: ARPAnet decommissioned
- ❑ 1991: NSF lifts restrictions on commercial use of NSFnet (decommissioned, 1995)
- ❑ early 1990s: Web
 - hypertext [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, later Netscape
 - late 1990's: commercialization of the Web

Late 1990's - 2000's:

- ❑ more killer apps: instant messaging, peer2peer file sharing (e.g., Napster)
- ❑ network security to forefront
- ❑ est. 50 million host, 100 million+ users
- ❑ backbone links running at Gbps

Significant late developments: P2P, broadband access, wireless Internet

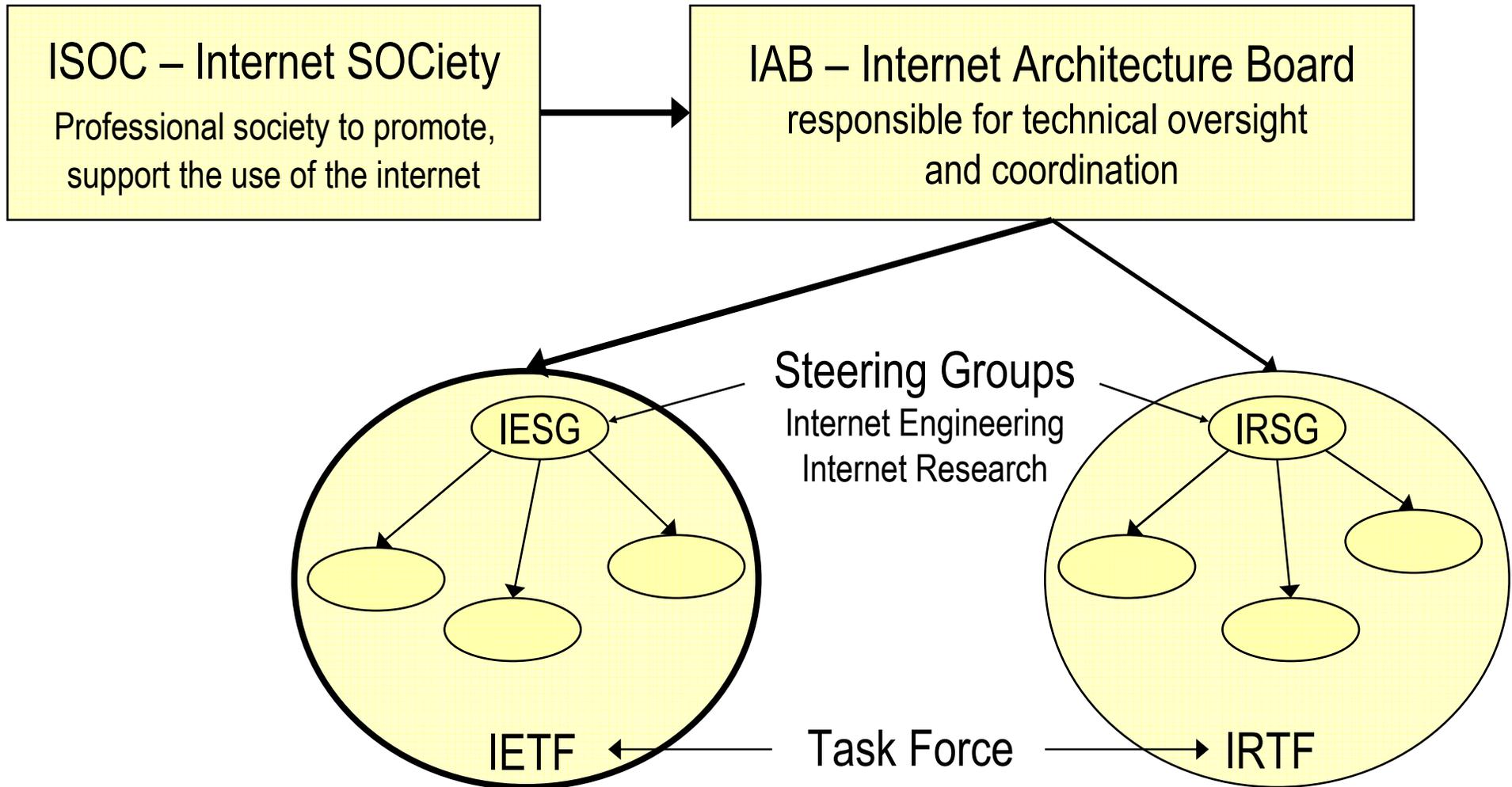
A short digression:

where is Internet standardized?

Who controls the Internet?

- ❑ No single administrative organization
- ❑ IETF - Internet Engineering Task Force (since 86)
 - Development of current protocols and specifications for standardization.
 - International community, open to everyone
 - Most of the work via mailing lists
 - Meets three times/year
 - organized in areas and working groups
 - Dynamically activated & deactivated on need
 - group coordination: IESG (Internet Engineering Steering Group). Area directors are members of the IESG. Responsible for the actions associated with entry into and movement along the Internet "standards track," including final approval of specifications as Internet Standards.
- ❑ Industry also preemptively determine standards

Technical Bodies Structure

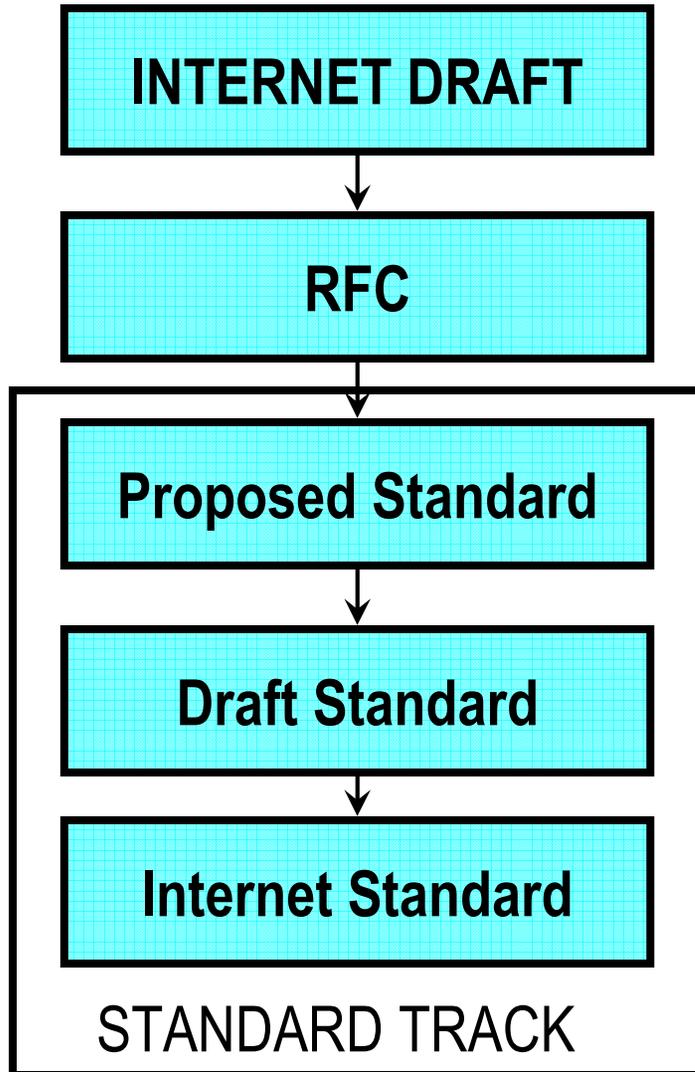


IETF credo

***We reject kings, presidents and voting.
We believe in rough consensus
and running code***

David Clark (MIT), 1992

Internet Standard Process



Draft version for information review and comments. 6 months lifetime

Official Internet publication: never expires

Entry level - protocol specification should be stable technically

At least 2 independent & interoperable implementations testing all spec. fcts

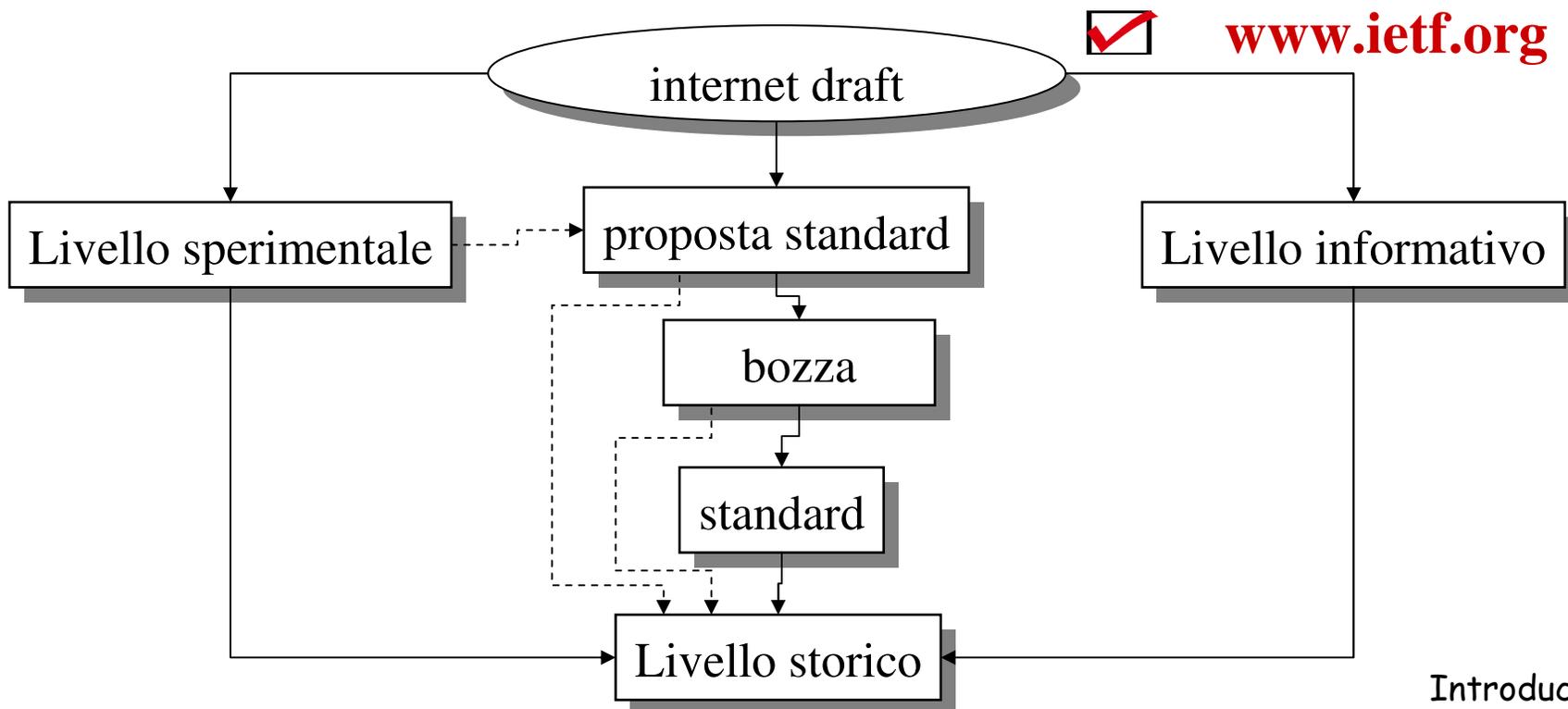
Have had significant field use and clear community interest in production use

Non-Standard Track (the most common track!!)

- ❑ Specifications may not be intended to be an Internet standard
- ❑ Three labels
 - Informational
 - Experimental
 - Historic

Gli standard di Internet

- Gli standard di Internet sono documenti pubblici denominati **RFC** (Request For Comments)
- L'organismo che coordina la stesura degli RFC è l'**IETF** (Internet Engineering Task Force)



Internet Documents

- ❑ RFC - Request For Comments
 - RFC3000 in Nov 2000
 - Updated RFCs published with new numbers
 - Not all describe protocols
 - Not all used!
- ❑ BCP - Best Current Practice
- ❑ FYI - For Your Information
 - RFC subseries: FYI = no protocol specs (es. RFC1718: the Tao of the Internet)
- ❑ STD - STanDard
 - official Internet Standard

Important Documents

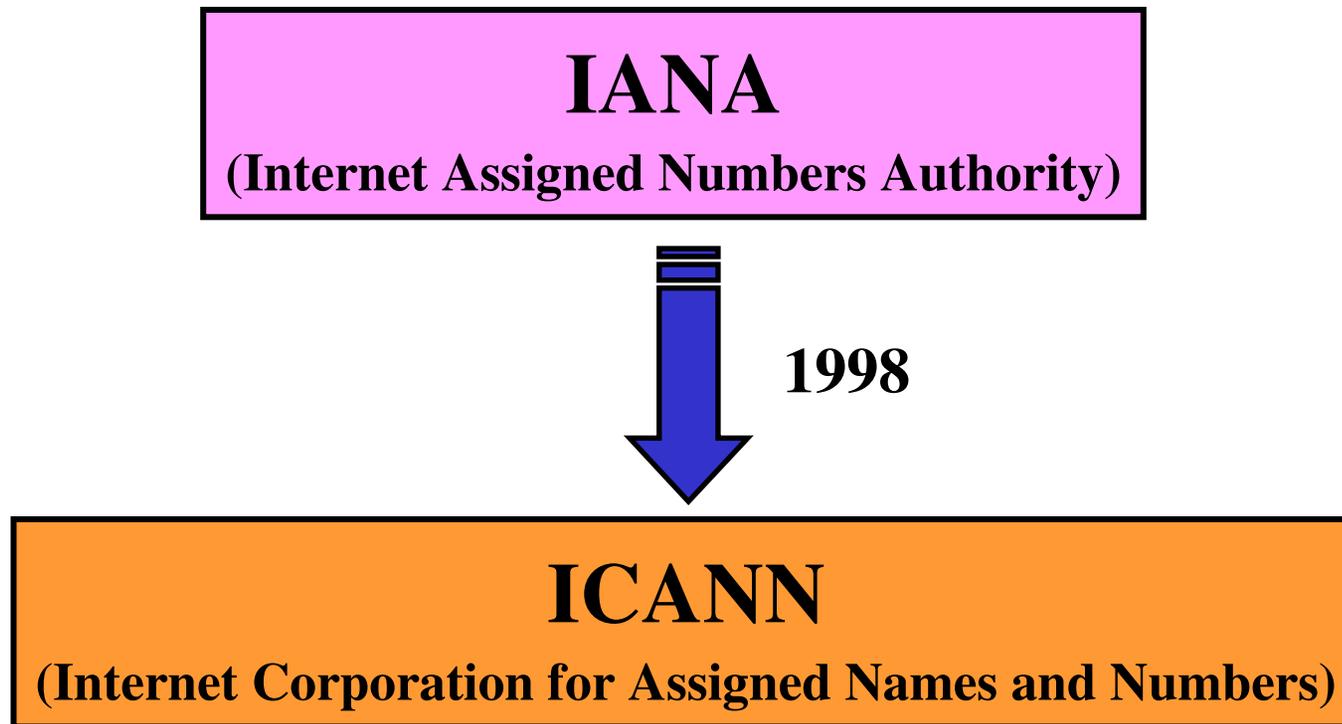
all RFCs from <ftp://ds.internic.net/rfc>

RFCs + IDs + WG: <http://www.ietf.org>

- RFC2300 (STD0001): Internet Official Protocol Standards (standardization process description)
- RFC1340 (STD0002): Assigned Numbers
- RFC1122 + RFC1123 (STD0003) Requirement for Internet hosts - communication layer (1122), Application and support (1123) (description of the TCP/IP architecture)

Indirizzi e nomi

- ❑ Gli indirizzi IP sono assegnati su base globale
- ❑ Internet fa uso anche di nomi simbolici che sono anch'essi assegnati su base globale



Internet and Intranets

- Internet is an interconnection of public networks based on the TCP/IP technology
 - everyone establishing a connection with an Internet Service Provider can access it
- The TCP/IP technology is used more and more often as the technology to build private networks (Intranets)
 - access controlled and restricted
 - may not have any Internet access
 - since nodes of the Intranets cannot be accessed from the outside world local addresses are used (and the same address can be re-used in different Intranets)

Introduction: Summary

Covered a "ton" of material!

- ❑ Internet overview
- ❑ what's a protocol?
- ❑ network edge, core, access network
 - packet-switching versus circuit-switching
- ❑ Internet/ISP structure
- ❑ performance: loss, delay
- ❑ layering and service models
- ❑ history

You now have:

- ❑ context, overview, "feel" of networking
- ❑ more depth, detail *to follow!*