

2. Introduzione

Modello per le comunicazioni

Compiti delle comunicazioni

Trasmissione numerica

Reti di telecomunicazioni

Protocolli

Architetture protocollari

1



Modello semplificato di comunicazione



- **Sorgente**
Genera i dati che devono essere trasmessi
- **Trasmettitore**
Converte i dati in segnali trasmissibili
- **Sistema di trasmissione**
Trasporta i segnali
- **Ricevitore**
Converte in dati il segnale ricevuto
- **Utilizzatore**
Acquisisce i dati in ingresso

2

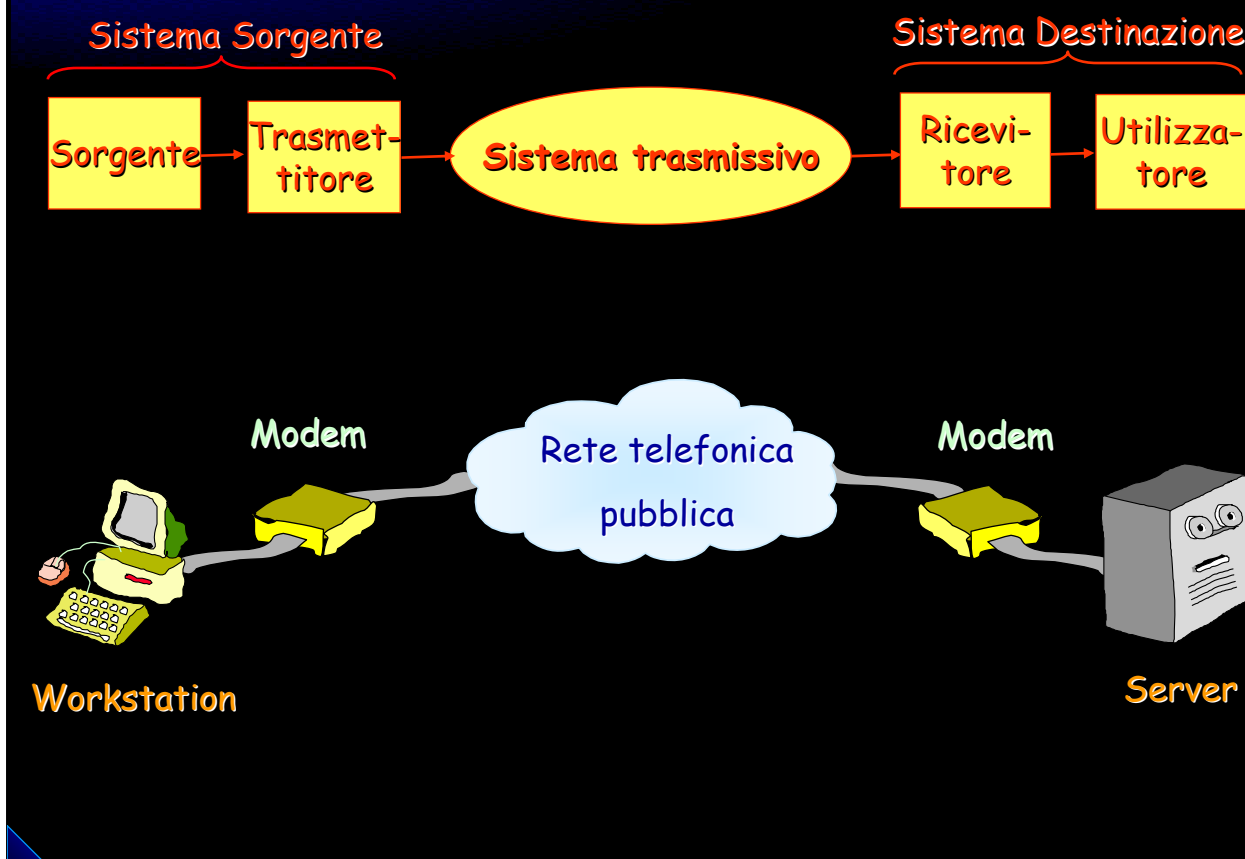


Lo scopo di un sistema di comunicazione consiste nel trasferire informazione da una sorgente ad un utilizzatore. Le deformazioni che il sistema introduce sul segnale non devono essere tali da comprometterne l'intelligibilità. E' necessario pertanto caratterizzare come il sistema interviene sul segnale definendo inizialmente i segnali, ed introducendo poi il sistema come un unico blocco che modifica la forma del segnale.

Un semplice modello di comunicazione è illustrato in figura. Gli elementi chiave del modello sono i seguenti:

- **Sorgente:** Dispositivo che genera i dati che devono essere trasmessi; esempi di sorgente sono i telefoni ed i personal computer.
- **Trasmettitore:** Di solito, i dati generati da una sorgente non vengono trasmessi nella forma in cui sono stati generati, ma piuttosto, le informazioni sono trasformate e codificate da un trasmettitore, in modo tale da produrre dei segnali elettromagnetici che possono essere trasmessi attraverso un tipo specifico di sistema di trasmissione. Per esempio, un modem riceve un flusso numerico di bit da un dispositivo collegato, come un personal computer, e trasforma questo flusso di bit in un segnale analogico che può essere trattato da una rete telefonica.
- **Sistema di trasmissione:** Può essere costituito da una singola linea di trasmissione o da una rete complessa che interconnette la sorgente con la destinazione.
- **Ricevitore:** Il ricevitore riceve il segnale dal sistema di trasmissione e lo converte in un formato che può essere trattato dal dispositivo di destinazione. Per esempio, un modem accetta un segnale analogico proveniente da una rete o da una linea di trasmissione e lo converte in un flusso numerico di bit.
- **Utilizzatore:** Preleva i dati in arrivo dal ricevitore.

Esempio di sistema di comunicazione



3



Lo scopo fondamentale di un sistema di comunicazioni è quello di consentire lo scambio di dati fra due parti. Il modello in figura ne è un esempio particolare, che rappresenta la comunicazione fra una stazione di lavoro (workstation) ed un server attraverso una rete telefonica pubblica. Un altro possibile esempio, che coinvolge lo stesso tipo di rete, è rappresentato dallo scambio di segnali vocali fra due telefoni.

Compiti di un sistema di comunicazione

- ❑ Utilizzo dei sistemi di trasmissione
- ❑ Interfacciamento
- ❑ Generazione di segnali
- ❑ Sincronizzazione
- ❑ Gestione dello scambio
- ❑ . . .

4



Questa semplice descrizione di un sistema di comunicazione nasconde molte difficoltà tecniche e, per avere un'idea di quanto esse siano numerose, riportiamo alcuni dei compiti basilari che devono essere svolti da un sistema di comunicazione dati. La lista è piuttosto arbitraria: alcuni elementi potrebbero essere aggiunti, altri potrebbero essere riuniti in un'unica voce, alcuni rappresentano, invece, funzioni che possono essere svolte a "livelli" differenti del sistema. Tuttavia la lista nel modo in cui si presenta è rappresentativa della gamma di argomenti che verranno trattati nell'ambito del corso.

Il primo punto in tabella, l'**utilizzo dei sistemi di trasmissione**, si riferisce alla necessità di usare efficientemente i sistemi trasmissivi che, tipicamente, sono condivisi da un certo numero di dispositivi di comunicazione. Per far questo, ci sono numerose tecniche (indicate con il termine di multiplexing) che permettono di suddividere la capacità complessiva di un mezzo trasmissivo fra un certo numero di utenti. Oltre al multiplexing, per assicurarsi che il sistema non sia sommerso da una domanda eccessiva di servizi di trasmissione, potrebbe anche essere necessario utilizzare dei meccanismi di controllo della congestione.

Per poter comunicare, un dispositivo deve **interfacciarsi** con il sistema di trasmissione. Tutte le forme di comunicazione di cui parleremo dipendono dall'uso di segnali elettromagnetici che si propagano in un mezzo trasmissivo. Una volta stabilita un'interfaccia, per effettuare la comunicazione si deve generare un segnale, le cui proprietà, come la forma e l'intensità, devono essere tali da consentirgli di propagarsi attraverso il sistema di trasmissione e di essere interpretato come dato dal ricevitore.

Non solo i segnali devono essere **generati** in conformità alle esigenze del sistema di trasmissione e del ricevitore, ma si deve anche realizzare una qualche forma di **sincronizzazione** tra il trasmettitore ed il ricevitore.

Oltre alla questione fondamentale di decidere sulla natura e sulla temporizzazione dei segnali, la comunicazione tra due parti è soggetta a numerosi requisiti che possono venir raccolti dal termine **gestione dello scambio**. Se i dati devono essere inviati su entrambi le direzioni in un certo intervallo di tempo, le due parti devono cooperare per realizzare tale scambio. Si considerino, ad esempio, due parti che debbano instaurare una conversazione telefonica. In primo luogo una delle due deve comporre il numero dell'altra, causando la generazione di un segnale che si traduce nel suono dell'apparecchio telefonico chiamato; quindi, la parte chiamata deve completare la connessione sollevando il ricevitore. Per i dispositivi di elaborazione dati, serve qualcosa di più della semplice instaurazione di una connessione; pertanto si devono stabilire alcune convenzioni, fra le quali ad esempio la scelta se entrambi i dispositivi possano trasmettere simultaneamente, o se debbano procedere a turno, ed inoltre la quantità dei dati inviati nel tempo, il loro formato e le azioni da intraprendere in corrispondenza del verificarsi di alcune contingenze, come ad esempio un errore.

Compiti di un sistema di comunicazione

- ❑
- ❑ Rilevazione e correzione degli errori
- ❑ Controllo di flusso
- ❑ Indirizzamento
- ❑ Instradamento
- ❑ Ripristino
- ❑ Formattazione dei messaggi
- ❑ Sicurezza
- ❑ Gestione della rete

5



I due aspetti seguenti avrebbero potuto essere inclusi nella gestione dello scambio, ma si rivelano essere sufficientemente importanti da essere elencati separatamente. In tutti i sistemi di comunicazioni c'è una potenziale fonte di errore, che origina dalle forme di distorsione che i segnali trasmessi possono subire prima di giungere a destinazione. Nel caso in cui non siano ammessi errori, come di solito accade in presenza di sistemi di elaborazione dati, bisogna applicare delle tecniche di **rilevazione e correzione degli errori**. Ad esempio, nel trasferimento di un file da un calcolatore ad un altro, non è accettabile che il contenuto del file sia accidentalmente alterato. Il **controllo di flusso**, invece, ha il dovere di assicurare che la sorgente non invii i dati più velocemente di quanto essi possano essere elaborati e smaltiti dal destinatario.

I punti successivi della lista riguardano i concetti collegati ma distinti di **indirizzamento** e di **instradamento**. Quando un sistema di trasmissione è condiviso da più di due dispositivi, la sorgente deve indicare l'identità della destinazione ed il sistema di trasmissione deve assicurarsi che quello di destinazione, e solo quello, riceva i dati. Inoltre, il sistema di trasmissione potrebbe essere esso stesso una rete e disporre di diversi percorsi verso una stessa destinazione; bisogna quindi poter scegliere un percorso specifico fra quelli disponibili sulla rete.

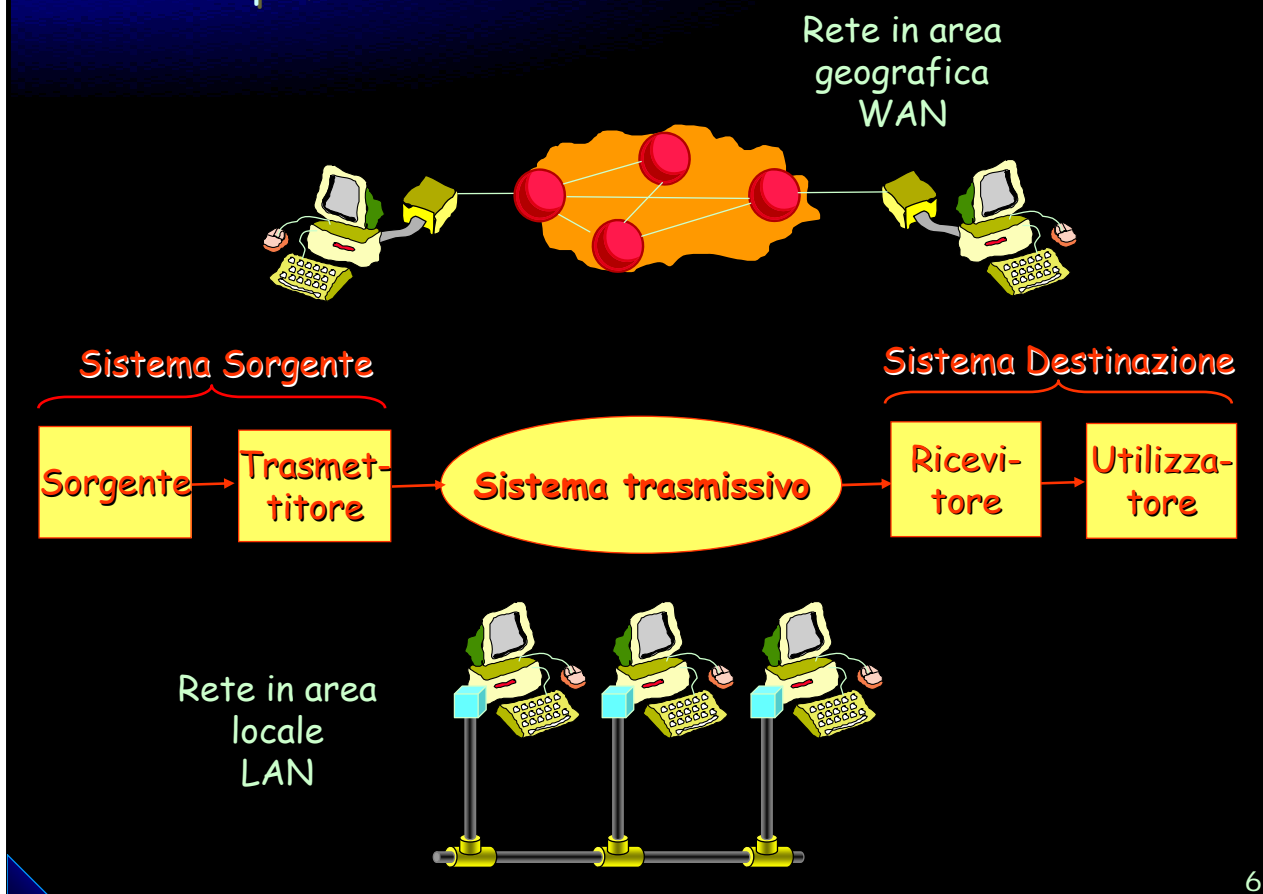
Il **ripristino** è un concetto distinto da quello di correzione di errore. Le tecniche di recupero sono necessarie nei caso in cui uno scambio di informazioni, come una transazione su un data base o un trasferimento di un file, sia interrotto per via di un guasto di qualche componente del sistema. Un obiettivo è quello di avere la capacità di ristabilire l'attività dal punto in cui è stata interrotta o almeno di ripristinare lo stato dei sistemi interessati riportandolo nella configurazione presente prima dell'inizio dello scambio. La **formattazione dei messaggi** riguarda la definizione di un accordo fra le due parti su come debba essere il formato con cui i dati verranno scambiati o trasmessi; un esempio potrebbe essere la scelta del codice binario con cui rappresentare i caratteri di testo.

Spesso, in un sistema di comunicazione dati, è importante disporre di misure di **sicurezza**. Il mittente dei dati potrebbe volere essere certo che solo il ricevitore desiderato riceva quanto trasmesso o anche, allo stesso modo, il ricevitore potrebbe volere essere sicuro che i dati ricevuti non siano stati alterati nel transito e che provengano realmente dal mittente desiderato.

Infine, un sistema di comunicazione dati è un'entità complessa che non può né crearsi né funzionare in modo completamente autonomo. Sono necessarie delle funzionalità di **gestione della rete** che consentano la configurazione del sistema, il monitoraggio del suo stato, l'intervento in caso di guasti e di sovraccarichi e la realizzazione di una pianificazione intelligente della crescita futura.

Tramite questa breve descrizione, si è passati dalla semplice idea di comunicazione dati fra sorgente e destinazione ad una lunga lista di compiti e funzioni ad essa legata. Questo elenco, nell'ambito del corso, verrà elaborato per descrivere e circoscrivere l'intero insieme di attività che definiscono il campo delle comunicazioni dati e delle reti di telecomunicazioni.

Modelli semplificati di rete



6



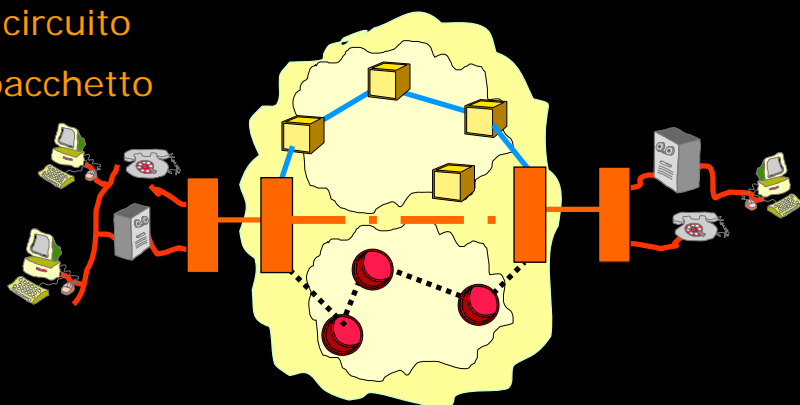
In molti casi non è conveniente collegare due sistemi comunicanti direttamente, in modo punto-punto, specialmente se ci si trova in una delle (o in entrambi le) seguenti situazioni:

- I dispositivi distano molto l'uno dall'altro; sarebbe infatti eccessivamente costoso, ad esempio, realizzare un collegamento dedicato tra due apparati distanti tra loro migliaia di chilometri.
- C'è un insieme di dispositivi, ognuno dei quali potrebbe richiedere un collegamento con molti altri in tempi differenti. Un esempio è offerto da tutti i telefoni del mondo e da tutti i terminali e calcolatori posseduti da una singola organizzazione. Salvo i casi in cui si è in presenza di pochissimi apparati, è poco pratico fornire una linea dedicata fra ogni coppia di dispositivi.

La soluzione a questo problema consiste nell'interconnettere gli apparati tramite una rete di comunicazione. La figura mette in relazione questa osservazione con il modello di comunicazioni proposto ed identifica anche le due categorie principali in cui le reti di comunicazioni sono tradizionalmente classificate: le reti geografiche (WAN) e le reti locali (LAN). La distinzione tra queste due categorie, sia in termini di tecnologia che di applicazione, è diventata un po' sfumata negli ultimi anni, ma rimane comunque un mezzo utile ad organizzare la descrizione.

Reti geografiche: WAN (Wide Area Networks)

- Coprono ampie aree geografiche
- Richiedono l'attraversamento di aree pubbliche
- Si appoggiano a circuiti forniti da un gestore di telecomunicazioni
- Tecnologie alternative:
 - Commutazione di circuito
 - Commutazione di pacchetto
 - Frame Relay
 - ATM

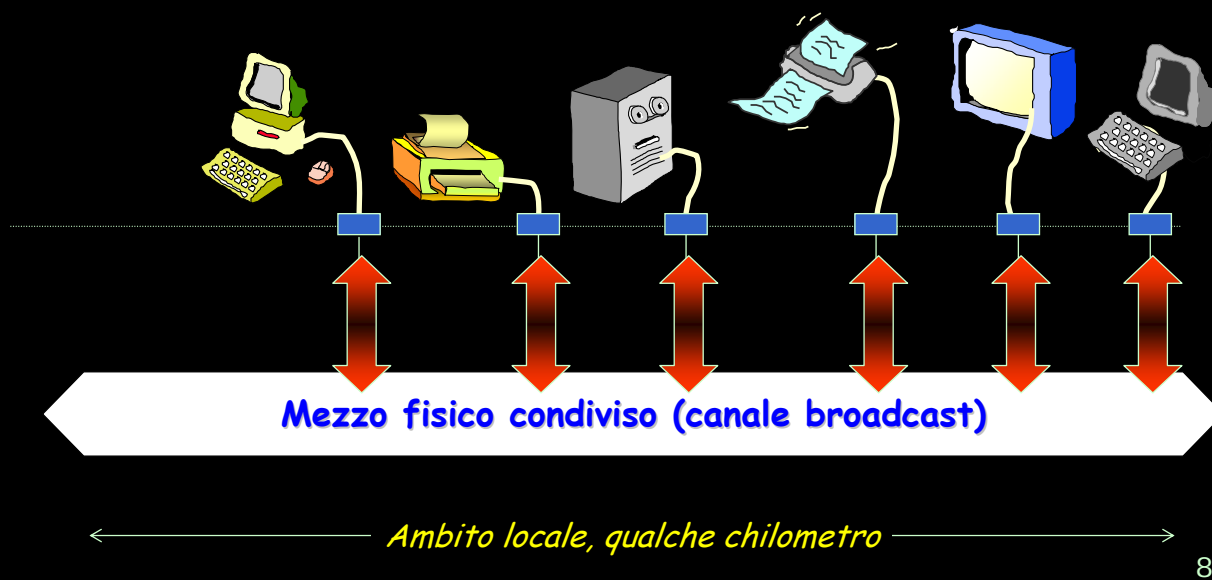


Le reti geografiche, in genere, coprono un'ampia area geografica, richiedendo l'attraversamento di aree pubbliche e si appoggiano, almeno in parte, a circuiti forniti da un gestore nazionale. Tipicamente una WAN è costituita da diversi nodi di commutazione interconnessi che instradano le trasmissioni da parte di qualunque dispositivo fino all'apparato di destinazione specificato. Questi nodi interni (inclusi i nodi di confine, boundary nodes) non hanno a che fare con il contenuto dei dati; piuttosto, il loro scopo è quello di fornire un sistema di commutazione che trasporti i dati da nodo a nodo finché questi non raggiungono la loro destinazione.

Tradizionalmente, le WAN sono state realizzate facendo uso di una delle due seguenti tecnologie: la commutazione di circuito e la commutazione di pacchetto. In tempi più recenti un ruolo guida è stato assunto dalle tecnologie frame relay e ATM.

Reti locali: LAN (Local Area Networks)

- Distanze limitate
- Data rate elevati
- Sistemi diffusivi (broadcast)



8



Come le WAN, una LAN è una rete di comunicazione che interconnette numerosi dispositivi ed offre una modalità per lo scambio di informazioni fra essi. Ci sono diversi elementi distintivi chiave fra le LAN e le WAN:

- L'estensione di una LAN è ridotta, tipicamente confinata ad un singolo edificio o un insieme di questi. Come mostrato più avanti, questa differenza di estensione implica soluzioni tecniche differenti.
- E' frequente il caso in cui la LAN sia interamente di proprietà della stessa organizzazione che possiede i dispositivi collegati. Nel caso delle WAN questo fatto è più insolito e in genere una parte significativa delle risorse della rete non è di proprietà dell'utente. Questo fatto ha due conseguenze: per prima cosa, bisogna prestare attenzione alla scelta della LAN, perché ci potrebbe essere un investimento di capitale sostanziale (in confronto alle spese per la connessione commutata o dedicata delle WAN) sia per l'acquisto che per la manutenzione; secondariamente, in una LAN la responsabilità della gestione ricade esclusivamente sull'utente.
- I tassi di trasmissione dei dati all'interno di una LAN sono tipicamente più alti che all'interno delle WAN.

Tradizionalmente, le LAN usano un approccio di rete diffusiva (broadcast) piuttosto che di commutazione. In una rete di comunicazione diffusiva non ci sono nodi di commutazione intermedi, ma in ogni stazione è presente un trasmettitore/ricevitore che comunica tramite un mezzo trasmissivo condiviso con altre stazioni. Una trasmissione da qualunque stazione è diffusa verso e ricevuta da tutte le altre stazioni; i dati, di solito, sono trasmessi sotto forma di pacchetti e, poiché il mezzo trasmissivo è condiviso, è permessa la trasmissione ad una sola stazione alla volta.

Più di recente sono comparsi esempi di LAN commutate, in particolare LAN Ethernet commutate, ma sono anche due esempi significativi le LAN ATM, che usano semplicemente una rete ATM in un'area locale, e il Fibre Channel. Si esamineranno questi tipi di LAN, come pure le LAN diffusive.

Protocolli

Protocollo: insieme di regole che governano lo scambio di dati tra due entità



9



Quando computer, terminali e/o altri dispositivi di elaborazione si scambiano i dati, lo scenario da considerare è assai ampio. Si consideri, per esempio, il trasferimento di un file fra due calcolatori. Ci deve essere un canale dati fra i due calcolatori, che può essere diretto o realizzato da una rete di comunicazione; ma questo non è sufficiente, è necessario qualcosa di più. I compiti tipici che bisogna svolgere sono:

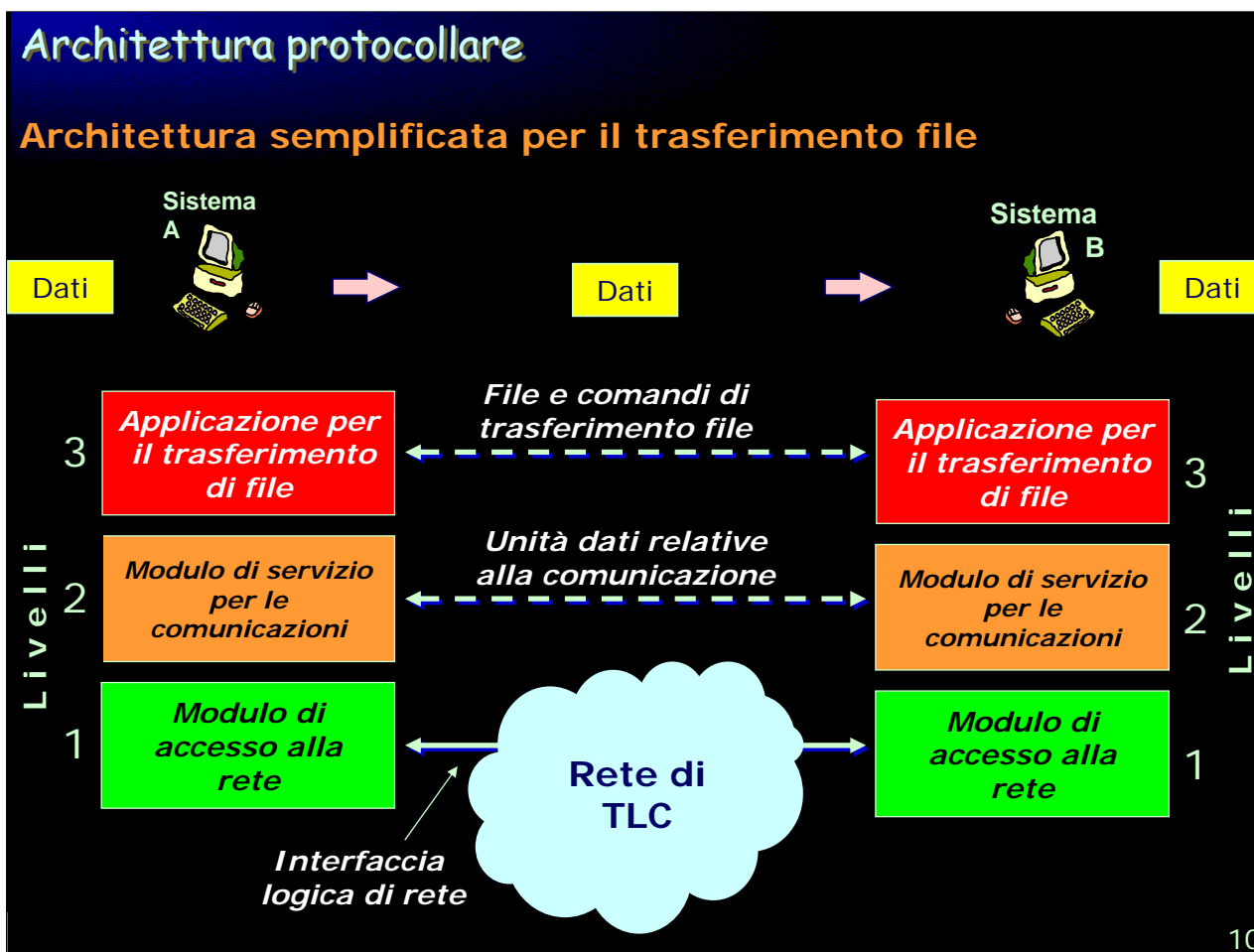
- Il sistema sorgente deve attivare un percorso diretto per la comunicazione, o fornire alla rete di trasmissione delle informazioni che identifichino il sistema di destinazione desiderato.
- Il sistema sorgente deve assicurarsi che il sistema di destinazione sia preparato a ricevere i dati.
- L'applicazione di trasferimento file sul sistema sorgente deve accertarsi che il programma di gestione dei file nel sistema di destinazione sia pronto a ricevere e memorizzare il file per il particolare utilizzatore richiesto.
- Se i formati dei file utilizzati dai due sistemi sono incompatibili, uno dei due sistemi deve eseguire una traduzione di formato.

Lo scambio di informazioni fra calcolatori, finalizzato a svolgere un'attività di cooperazione, va generalmente sotto il nome di comunicazioni tra computer. In modo equivalente, quando due o più calcolatori sono interconnessi tramite una rete di comunicazioni, l'insieme delle stazioni viene definito rete di computer.

Quando si parla di comunicazioni tra computer e di reti di computer, due concetti sono di estrema importanza: 1) i protocolli; 2) l'architettura delle reti di calcolatori, o architettura protocollare.

Un protocollo è usato nelle comunicazioni fra entità residenti in sistemi diversi, dove i termini entità e sistema assumono un significato molto generico. Ad esempio, le entità possono essere dei programmi applicativi utente, dei pacchetti software per il trasferimento di file, dei sistemi di gestione di data-base o di posta elettronica e dei terminali. Esempi di sistemi sono invece i calcolatori, i terminali ed i sensori remoti. Si noti che, in alcuni casi, l'entità ed il sistema in cui essa risiede coincidono (ad es. terminali). In generale, un'entità è qualunque cosa in grado di inviare o ricevere informazioni, mentre un sistema è un oggetto fisicamente distinto che contiene una o più entità. Affinché due entità possano comunicare con successo, devono "parlare la stessa lingua" ossia, ciò che si comunica, con i relativi tempi e modalità, deve essere conforme a delle convenzioni mutuamente accettabili dalle entità interessate. Tali convenzioni prendono il nome di protocollo, che quindi potrebbe essere definito come l'insieme di regole che governano lo scambio di dati fra due entità. Gli elementi chiave di un protocollo sono:

- Sintassi: Comprende aspetti quali il formato dei dati ed i livelli dei segnali
- Semantica: Include le informazioni di controllo per il coordinamento e la gestione degli errori
- TempORIZZAZIONE: Comprende l'adattamento della velocità e la sequenzializzazione



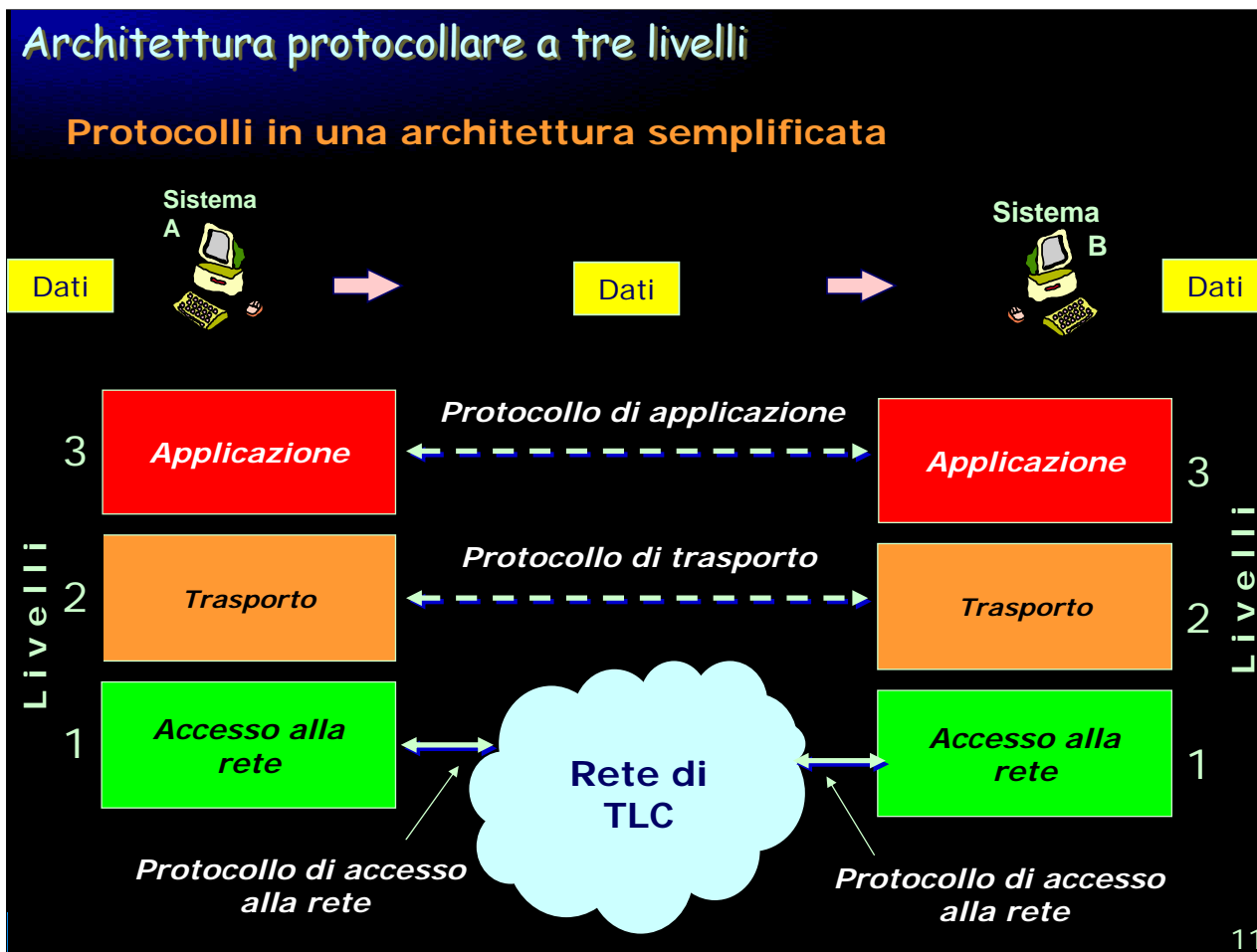
10



Dopo avere introdotto il concetto di protocollo, si può ora parlare di architettura protocollare, è ormai chiaro che deve essere presente un elevato livello di cooperazione fra due calcolatori comunicanti. Invece di realizzare la logica necessaria a questa cooperazione tramite un singolo modulo, la funzione complessiva potrebbe essere suddivisa in sottofunzioni, ognuna delle quali sia realizzata in modo distinto, come, ad esempio, suggerisce la figura proponendo un modo per realizzare un sistema di trasferimento di file, utilizzando tre moduli. I due sistemi devono scambiarsi file e comandi; tuttavia, piuttosto che richiedere al modulo di trasferimento file di avere a che fare con i dettagli del trasferimento vero e proprio dei dati e dei comandi, ogni modulo di trasferimento si affida ad un modulo per i servizi di comunicazione. Quest'ultimo deve assicurarsi che i comandi, usati per il trasferimento file, ed i dati siano scambiati in modo affidabile fra i sistemi. Se si osserva che la natura dello scambio fra i sistemi è indipendente da quella della rete che li connette, appare più sensato, invece che realizzare i dettagli dell'interfaccia verso la rete all'interno del modulo per i servizi di comunicazione, utilizzare per questo compito un terzo modulo, di accesso alla rete, che interagisca con la rete stessa.

Per riassumere, il modulo di trasferimento file contiene tutta la logica che è specifica dell'applicazione per il trasferimento file, come ad esempio quella necessaria a trasmettere le password, comandi e blocchi (record) di file. E' evidente l'esigenza di trasmettere i file ed i relativi comandi in modo affidabile; tuttavia, gli stessi tipi di requisiti di affidabilità sono importanti per molte applicazioni (ad esempio la posta elettronica ed il trasferimento di documenti) e quindi, tali requisiti vengono soddisfatti tramite un modulo distinto per i servizi di comunicazione, che può essere utilizzato da più applicazioni. Questo modulo si preoccupa di verificare che i due calcolatori siano attivi e pronti ad eseguire il trasferimento dei dati ed a tenere traccia dei dati in corso di scambio per poterne assicurare la corretta consegna. In ogni modo, le funzioni fino a qui citate sono indipendenti dal tipo di rete impiegata; pertanto, la logica che ha realmente a che fare con la rete è isolata in un modulo distinto di accesso alla rete. In questo modo, solo quest'ultimo viene interessato da un eventuale cambiamento della rete utilizzata.

In sostanza, invece di un modulo singolo che realizzi la comunicazione, c'è un insieme strutturato di moduli che realizzano le diverse funzioni di comunicazione e che viene chiamato architettura protocollare.



In termini molto generali, si può dire che le comunicazioni coinvolgono tre elementi: le applicazioni, i calcolatori e le reti. Un esempio di applicazione è l'operazione di trasferimento di file. Le applicazioni sono eseguite sui calcolatori, i quali molto spesso ne supportano simultaneamente più di una. I calcolatori, a loro volta, sono collegati a delle reti ed i dati, che devono essere scambiati, vengono trasportati tramite tali reti da un calcolatore all'altro. Così il trasferimento di dati da un'applicazione all'altra comincia con l'inserimento dei dati al calcolatore in cui risiede l'applicazione e quindi con la loro consegna all'applicazione interessata all'interno di tale calcolatore. Tenendo presenti questi concetti, risulta naturale organizzare le funzioni relative ad una comunicazione in tre livelli relativamente indipendenti:

Il livello di accesso alla rete

Il livello di trasporto

Il livello di applicazione.

Il **livello di accesso alla rete** riguarda lo scambio di dati fra un calcolatore e la rete a cui questo è collegato. Il calcolatore che invia i dati deve fornire alla rete l'indirizzo dell'elaboratore destinatario, in modo che questa possa instradare i dati verso la destinazione appropriata. Esso potrebbe voler usufruire di servizi aggiuntivi, come ad esempio una qualche forma di priorità, che dovrebbero essere forniti dalla rete. Il software specifico impiegato a questo livello dipende dal tipo di rete utilizzata: sono stati infatti sviluppati standard diversi per reti a commutazione di circuito, di pacchetto, per le LAN, ecc. E' quindi sensato separare le funzioni che hanno a che fare con l'accesso alla rete inserendole in un livello distinto, in modo che il resto del software relativo alle comunicazioni, al di sopra di questo livello, non debba più dipendere dalle specifiche della rete utilizzata. Inoltre, lo stesso software di alto livello dovrebbe, in questo modo, poter funzionare in modo corretto indipendentemente dalla rete con cui il calcolatore è collegato.

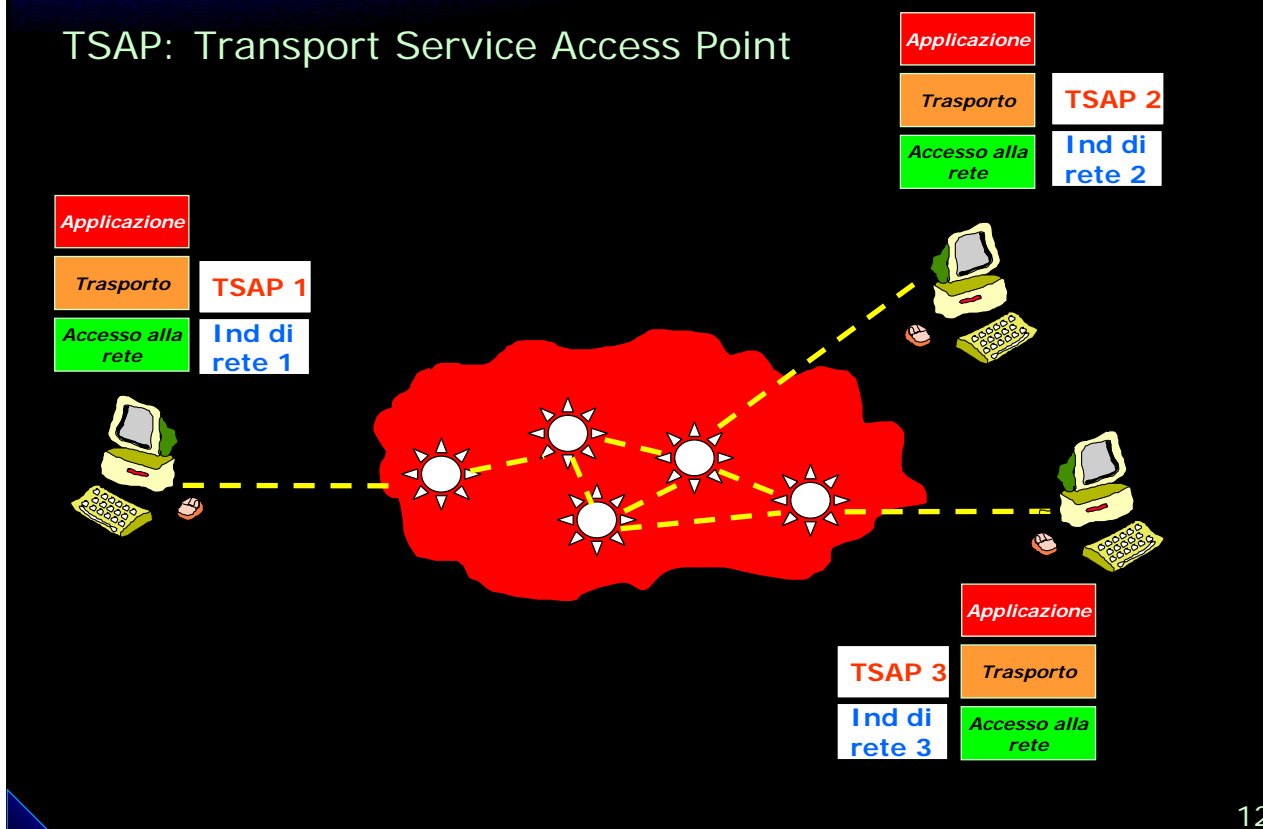
Anche non tenendo conto della natura delle applicazioni coinvolte nello scambio di dati, c'è, di norma, l'esigenza che tale scambio avvenga in modo affidabile, ossia si vorrebbe essere certi che tutti i dati giungano, all'applicazione destinataria, corretti e nello stesso ordine in cui sono stati inviati. Come si vedrà nel seguito, i meccanismi destinati a garantire l'affidabilità sono essenzialmente indipendenti dalla natura delle applicazioni. Quindi ha senso riunirli in un livello comune, condiviso da tutte le applicazioni, che prende il nome di **livello di trasporto**.

Infine, il **livello applicativo** contiene la logica necessaria a supportare le varie applicazioni utente. Ogni tipo di applicazione, quale ad esempio il trasferimento di file, richiede un modulo specifico a livello applicativo.

La figura illustra questa semplice architettura a tre livelli, in cui i moduli allo stesso livello su diversi calcolatori comunicano l'uno con l'altro mediante un protocollo.

Architettura protocollare e reti

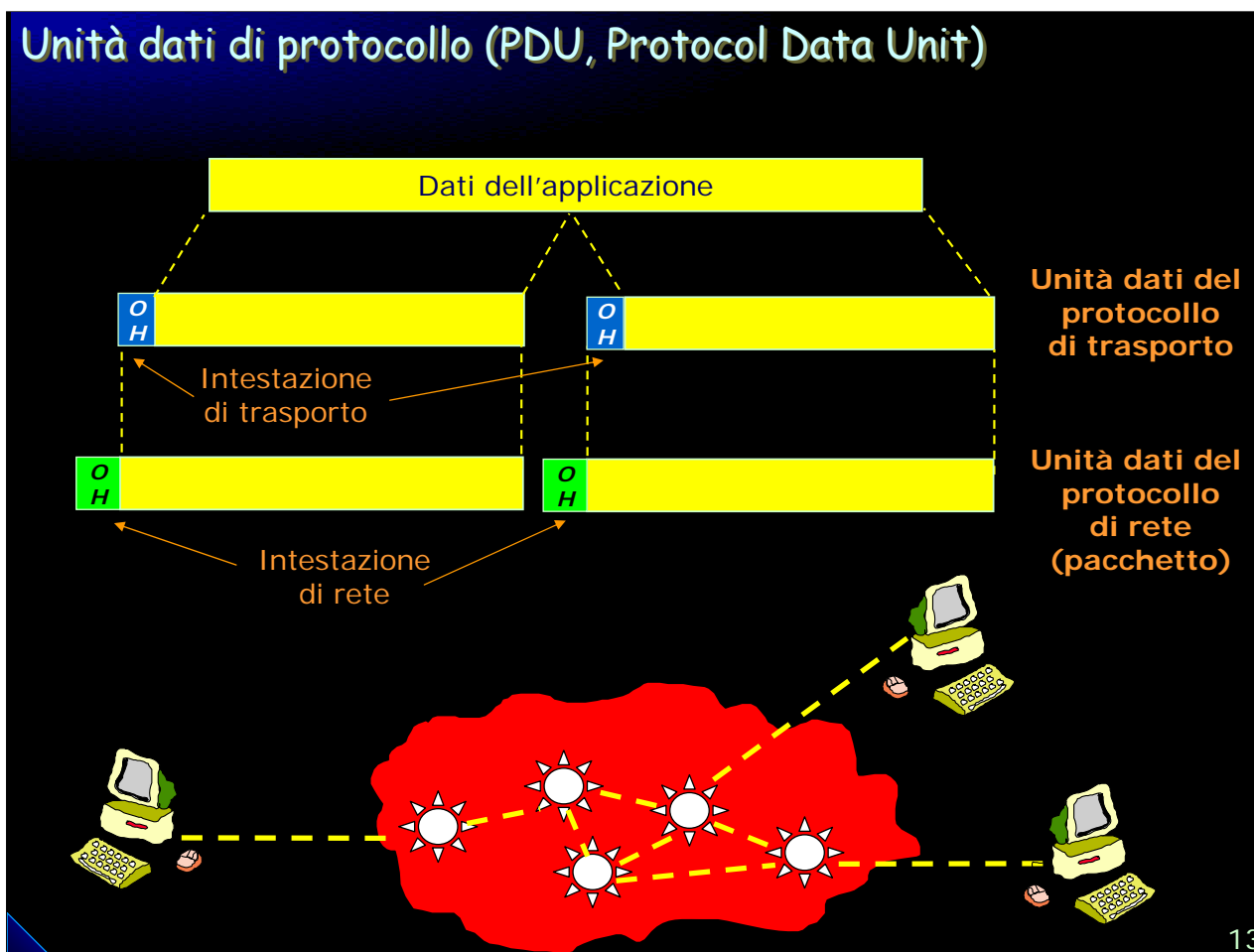
TSAP: Transport Service Access Point



12



Potrebbe essere il caso di calcolatori connessi ad una rete, dove ogni calcolatore contiene del software a livello di accesso e di trasporto e del software a livello applicativo, per una o più applicazioni. Per comunicare, ogni entità del sistema complessivo deve avere un indirizzo univoco. In pratica sono necessari almeno due livelli di indirizzamento; anzitutto, ogni calcolatore sulla rete deve avere un indirizzo di rete univoco, che consenta alla rete di consegnare i dati all'elaboratore di destinazione voluto. Ogni applicazione deve poi avere un indirizzo univoco all'interno del calcolatore su cui risiede, per consentire al livello di trasporto di sopportare più applicazioni su ciascun elaboratore. Tale tipo di indirizzo è noto col nome di punto d'accesso al servizio di trasporto (Transport Service Access Point, TSAP), per evidenziare il fatto che ogni applicazione accede individualmente ai servizi offerti dal livello di trasporto. Supponiamo che un'applicazione, associata al TSAP 1 nel calcolatore X voglia inviare un messaggio ad un'altra applicazione, associata al TSAP 2 nell'elaboratore Y. L'applicazione in X consegna il messaggio al proprio livello di trasporto con le istruzioni per inviarlo al TSAP 2 sul calcolatore Y. Il livello di trasporto consegna il messaggio al livello di accesso che istruisce la rete di inviare il messaggio al calcolatore Y. Si noti che la rete non deve essere informata sull'identità del punto d'accesso al servizio della destinazione, ma tutto ciò che deve sapere è che i dati sono destinati al calcolatore Y.



13

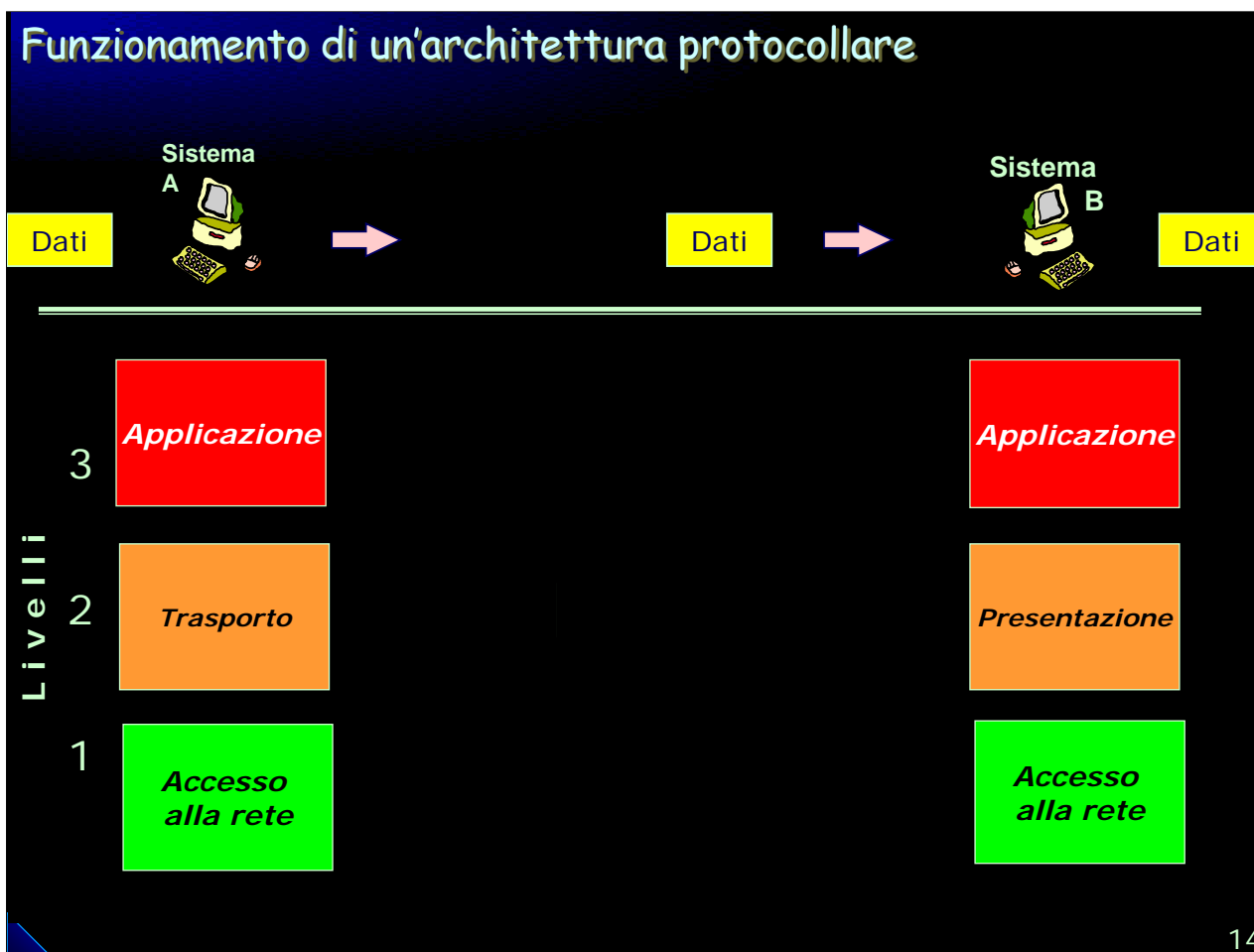


Per controllare quest'operazione, devono essere trasmesse delle informazioni di controllo in modo analogo ai dati dell'utente. Si supponga che l'applicazione mittente generi un blocco di dati e lo passi al livello di trasporto; quest'ultimo potrebbe spezzare il blocco in due parti più piccole per renderlo più maneggevole. Ad ognuna di queste parti il livello di trasporto aggiunge un'intestazione di trasporto, contenente informazioni di controllo del protocollo. La combinazione dei dati proveniente dal livello più alto successivo con l'informazione di controllo è nota come unità dati di protocollo (Protocol Data Unit, PDU). L'intestazione di ogni PDU di trasporto contiene l'informazione di controllo che viene usata dal protocollo di trasporto paritetico nel calcolatore Y. Esempi di elementi che potrebbero essere inclusi in questa intestazione comprendono:

- TSAP di destinazione: Quando il livello di trasporto nel sistema di destinazione riceve la PDU di trasporto, deve sapere a chi saranno inviati i dati.
- Numero di sequenza: Siccome il protocollo di trasporto sta inviando una sequenza di PDU, numera queste in modo crescente così che, se non arrivano in ordine, l'entità di trasporto nel sistema di destinazione sia in grado di riordinarle.
- Codice di rilevazione dell'errore: L'entità di trasporto trasmittente può includere un codice che è funzione del contenuto della parte restante della PDU. Il protocollo di trasporto nel ricevitore esegue gli stessi calcoli e confronta il risultato con il codice ricevuto: se è diverso c'è stato un errore nella trasmissione. In questo caso, il ricevitore può scartare la PDU e svolgere un'azione correttiva.

Il passo successivo per il livello di trasporto consiste nel passare ogni PDU al livello di rete, con le istruzioni per trasmetterle al calcolatore destinatario. Per soddisfare questa richiesta, il protocollo di accesso alla rete deve presentare i dati alla rete con una richiesta di trasmissione. Come prima, questa operazione richiede l'uso di informazione di controllo. In questo caso, il protocollo di accesso alla rete allega una propria intestazione ai dati che riceve dal livello di trasporto, creando una PDU di accesso alla rete. Elementi che possono essere inclusi nell'intestazione sono ad esempio:

- Indirizzo del calcolatore di destinazione: La rete deve sapere a chi (a quale calcolatore della rete) devono essere inviati i dati.
- Richiesta di servizi: Il protocollo di accesso alla rete potrebbe richiedere dei servizi particolari, come ad esempio una qualche forma di priorità.



La figura riunisce tutti i concetti prima introdotti, mostrando l'interazione che ha luogo tra i moduli per il trasferimento di un blocco di dati. Si supponga che il modulo di trasferimento file nel calcolatore X stia trasferendo al calcolatore Y un solo record alla volta. Ognuno di questi record è consegnato al modulo di livello di trasporto; si può raffigurare quest'azione sotto forma di un comando o di una chiamata ad una procedura. Gli argomenti di questa chiamata devono comprendere: l'indirizzo del calcolatore di destinazione, il punto d'accesso del servizio di destinazione ed il record. Il livello di trasporto aggiunge il punto d'accesso del servizio di destinazione e le informazioni di controllo al record, per creare una PDU di trasporto. Questa PDU è quindi consegnata al livello di accesso alla rete mediante un'altra chiamata ad una procedura. In questo caso, gli argomenti passati sono l'indirizzo del calcolatore di destinazione e la PDU di trasporto. Il livello di accesso alla rete usa queste informazioni per costruire una PDU di rete; la PDU di trasporto diventa il campo dati della PDU di rete e l'intestazione della PDU di rete dovrà includere informazioni riguardanti gli indirizzi del calcolatore di provenienza e di destinazione. Si noti che l'intestazione di trasporto non è "visibile" al livello di accesso alla rete e che il livello di accesso alla rete non si occupa dei contenuti della PDU di trasporto.

La rete accetta la PDU di rete da X e la invia a Y. Il modulo di accesso alla rete in Y riceve, quindi, questa PDU, ne preleva l'intestazione e trasferisce la rimanente PDU di trasporto al modulo di trasporto di Y. Il livello di trasporto, a sua volta, esamina l'intestazione della PDU di trasporto e, sulla base del campo TSAP nell'intestazione, trasferisce il record incluso all'applicazione appropriata, in questo caso il modulo di trasferimento del file in Y.