

RETI DI CALCOLATORI: INTRODUZIONE

La connessione di elaboratori diversi attraverso le reti di comunicazione è stata probabilmente una delle più importanti evoluzioni dalla nascita dei calcolatori. Collegare in rete i calcolatori significa poter comunicare, condividere informazioni, condividere risorse hardware e software, accedere a servizi non disponibili sul proprio elaboratore. L'avvento delle reti ha portato grandi cambiamenti sia nell'organizzazione del lavoro all'interno delle aziende sia nel nostro modo di vivere e comunicare .

Per comprendere questa trasformazione è necessario introdurre le caratteristiche delle reti dei calcolatori sia a livello di dispositivi hardware sia a livello del software che ne permette la facile utilizzazione.

Organizzazione fisica delle reti

Una rete di elaboratori è un insieme di calcolatori collegati tra di loro; il modo più semplice per collegare due elaboratori è quello di utilizzare un cavo sul quale inviare dei segnali (si va dai cavi di rame, cavi telefonici, ai cavi basati su tecnologie più sofisticate come quelli a fibre ottiche, ai collegamenti satellitari.) Cavi di tipo diverso hanno caratteristiche molto diverse soprattutto per quello che riguarda la capacità di trasmissione delle informazioni. Spesso si usa il termine **banda** della rete per indicare la capacità di trasmissione che viene misurata in termini di bit al secondo.

Affinché un computer possa essere collegato alla rete deve disporre di una particolare scheda (scheda di rete o scheda ethernet) per la gestione della comunicazione. [nel caso di linee telefoniche si adopera un modem].

Oltre ai cavi all'interno delle reti è necessario utilizzare dispositivi in grado di gestire e smaltire la comunicazione: esistono dispositivi elettronici che sono in grado di fare da ponte nelle comunicazioni. Questi dispositivi, detti switch o hub, hanno il compito di smistare i messaggi tra le porte di connessione alla rete di cui sono dotati. Nel caso delle reti geografiche è necessario utilizzare dei router.

Protocolli di comunicazione

L'uso fondamentale di una rete è quello di consentire la comunicazione tra i nodi. [es.: rete costituita da due calcolatori e una stampante. Ogni volta che l'utente vuole stampare i dati devono essere trasferiti dalla memoria dell'elaboratore a quella della stampante. E questa operazione richiede una comunicazione nella rete]

Possiamo pensare ai nodi come delle entità che vogliono scambiarsi messaggi; ogni messaggio deve essere caratterizzato da mittente (M), destinatario (D), corpo del messaggio ossia un insieme di informazioni che comprendono il tipo di servizio che M richiede a D.

Affinché questa comunicazione avvenga in un modo corretto si deve definire un **protocollo** di comunicazione ossia un insieme di regole che determinano le operazioni che devono essere eseguite ad ogni scambio di informazioni e che determinano il significato delle richieste e delle risposte che vengono scambiate tra M e D. Un protocollo di comunicazione deve definire tutti gli aspetti che riguardano la comunicazione; ad esempio deve stabilire come associare un nome logico ed un indirizzo fisico ad un nodo e deve fornire delle regole per reperire i nomi e gli indirizzi al momento in cui avviene la comunicazione; deve scegliere il percorso che le informazioni devono seguire

quando viene trasmesso un messaggio da un nodo all'altro; deve verificare che non avvengano problemi durante la fase di comunicazione, etc...

Tutte le regole che definiscono un protocollo devono essere stabilite a priori.

Esistono diversi modelli per la comunicazione tra gli elaboratori che definiscono dei protocolli di comunicazione diversi.

ISO-OSI

Il modello ISO-OSI ha tentato di definire uno standard ma da un punto di vista pratico non si è mai imposto come tale, tuttavia vale la pena di spendere due parole perché permette di introdurre alcuni concetti fondamentali per la definizione dei protocolli di comunicazione.

Il modello ISO-OSI è un modello gerarchico che prevede sette livelli nella definizione delle caratteristiche di un protocollo. I livelli più bassi sono quelli più vicini all'hardware, ossia alle caratteristiche fisiche della rete. Consentono di azzerare le differenze tra le diverse reti fisiche introducendo un livello virtuale uniforme su cui si basano i livelli successivi che quindi sono definiti indipendentemente dalle caratteristiche delle reti sottostanti.

Per dare un'idea degli aspetti che devono essere definiti da un protocollo vediamo le principali funzionalità di alcuni dei livelli.

Il *livello fisico* si occupa della definizione delle caratteristiche fisiche della comunicazione; considera ad es. come viene trasferito il segnale come si apre una comunicazione come la si mantiene e come si chiude.

Il *livello data link* si occupa dell'accesso e della gestione del canale di comunicazione, della velocità di trasmissione.

Il *livello rete* si occupa dell'indirizzamento dei nodi, ossia della definizione delle regole di identificazione dei nodi e dell'instradamento dei messaggi.

Il *livello trasporto* si occupa della definizione e del controllo delle sessioni di comunicazione tra i nodi.

Il *livello sessione e presentazione* si occupano della gestione della comunicazione a livello semantico e sintattico specificando i linguaggi che sono utilizzati per comunicare.

Infine il *livello applicazione* definisce i protocolli applicativi che possono essere utilizzati in rete e gli scambi d'informazione necessari per realizzarli. In particolare vi sarà un protocollo per ogni applicazione.

Affinché due nodi possano comunicare è necessario che i diversi protocolli siano implementati su entrambi i nodi; nel caso ISO-OSI questo vuol dire che per realizzare la comunicazione tra due nodi secondo questa gerarchia di protocolli si dovranno avere implementazioni dei sette livelli su entrambi i nodi. Questo vuol dire avere dei programmi che realizzano le regole di comunicazione in esecuzione su entrambi i nodi.

Per indicare questi programmi che implementano le funzionalità di un certo protocollo si parla di entità.

Supponiamo che il nodo A voglia inviare un messaggio di posta al nodo B. Questo significa che i software corrispondenti ai livelli applicativi dei due nodi devono essere in grado di capirsi. In realtà la rete fisica si trova ad un livello molto più basso e la comunicazione è possibile solo perché i software corrispondenti ai vari livelli realizzano le diverse regole stabilite dai protocolli.

A livello applicativo A e B non comunicano ma piuttosto il livello applicativo di A comunica col livello sottostante che comunica col livello sottostante fino a raggiungere il livello fisico di A che comunica effettivamente col livello fisico di B che comunica con il livello più sopra fino a raggiungere il livello più alto.

Quindi anche se la comunicazione sembra avvenire a livello orizzontale in realtà si tratta di una comunicazione dall'alto verso il basso fino a raggiungere la rete fisica del nodo A e dal basso verso l'alto fino a raggiungere il livello più alto del nodo B.

La comprensione tra i livelli è possibile in quanto ogni livello oltre ai dati spedisce delle informazioni di controllo secondo le regole definite dal rispettivo protocollo, informazioni che sono comprese dal livello corrispondente nell'altro nodo .

Nota: Sebbene ISO-OSI definisca lo standard a livello normativo non esistono implementazioni concrete di tale standard. Lo stack di protocolli più utilizzato è organizzato in cinque livelli.

TIPI DI RETE

Le classi di rete sono tre e precisamente

- reti locali (Local Area Network - LAN)
- reti metropolitane (Metropolitan Area Network - MAN)
- reti geografiche (Wide Area Network - WAN)

Le *reti locali* permettono la condivisione di elaboratori, risorse e dati all'interno di un edificio o di un centro di elaborazione situato in edifici contigui; le *reti geografiche* servono per la comunicazione tra centri in città nazioni o continenti diversi; le *reti metropolitane* collegano nodi di una stessa città e sono una via di mezzo tra quelle locali e quelle geografiche.

Le reti metropolitane possono essere concettualmente assimilate alle reti geografiche da cui differiscono solo per le tecnologie dei canali trasmissivi.

RETI LOCALI – LAN

Le reti locali si sono diffuse dalla metà degli anni settanta con l'obiettivo di collegare elaboratori diversi all'interno di uno stesso edificio o di edifici adiacenti. Gli utenti di un ufficio avendo a disposizione un certo numero di elaboratori potranno condividere le informazioni senza essere legati ad un particolare elaboratore, dovranno inoltre poter condividere le risorse fisiche come le periferiche di input/output.

Una soluzione è collegare tra di loro un certo numero di elaboratori utilizzando una rete affidabile veloce ed in grado di trasferire grandi quantità di informazioni.

Modello client/server

Non tutti gli elaboratori di una rete locale giocano lo stesso ruolo ed alcuni possono avere compiti specifici. Uno dei vantaggi di una rete è condividere le risorse. Una risorsa ad esempio un disco dovrà essere collegata ad un elaboratore specifico su cui sarà in esecuzione il programma di gestione della risorsa perché le risorse non hanno autonomia. L'elaboratore cui è collegata la risorsa prende il nome di **server** della risorsa mentre gli elaboratori che non la possiedono prendono il nome di **client**.

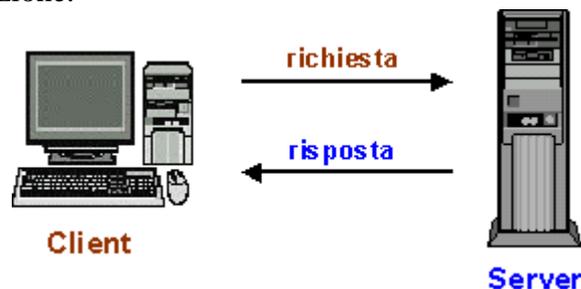
Ogni volta che all'interno di una rete (locale o geografica) si vuole creare un servizio accessibile da ogni calcolatore nella rete questo è realizzato usando il modello client/server. Per servizio si intende

tanto l'accesso ad una risorsa hardware quanto l'accesso ad una risorsa software. Il modello prevede che il servizio venga realizzato attraverso un programma di gestione – *software server* - che si occupa di ricevere e gestire le richieste da parte degli utenti che a loro volta devono usare per effettuare le richieste un *software client* ossia un programma di accesso al servizio .

I concetti di server e client sono legati al software per la gestione e per l'uso del servizio anche se spesso sono estesi agli elaboratori su cui tali software sono eseguiti.

Modello Client-Server:

- un calcolatore (*client*) richiede l'accesso ad informazioni dislocati su un altro calcolatore, e dunque assume il ruolo di "cliente";
- l'altro calcolatore (*server*) risponde alla richiesta ricevuta inoltrando le informazioni in questione, e dunque assume il ruolo di "servente"; in pratica, una volta che il client ha ottenuto l'accesso attraverso la fase di *handshake* (lett. stretta di mano), il server si mette a "totale" disposizione.



Nota: ogni elaboratore ha un suo sistema operativo per la gestione dei processi, della memoria e delle risorse ad esso collegate. Il sistema operativo si occupa solo dell'elaboratore e non ha alcuna visione del fatto che esso sia un nodo di una rete. Dobbiamo quindi aggiungere ai programmi per la gestione dell'elaboratore altri programmi per la gestione dell'elaboratore all'interno della rete. Al fine si introduce il sistema operativo di rete che deve nascondere all'utente il fatto che egli sta lavorando in rete. In altre parole un utente deve poter usufruire di una qualunque risorsa della rete come se fosse locale al suo elaboratore.

Connessioni peer-to-peer

La connessione peer-to-peer prevede che due elaboratori possano connettersi direttamente tra di loro e condividere delle risorse ad esempio dei dischi.

Può essere molto utile per la connessione diretta e lo scambio di informazioni o per collegarsi direttamente ad altri elaboratori. Tale modello è utilizzato anche nelle reti geografiche per condividere ad esempio risorse senza passare attraverso un server centrale. Un elaboratore si collega ad un altro e scarica da questo dei dati ad es. file musicali o video senza bisogno di creare server in rete ed evitando così problemi legati alla legalità del server.

L'idea di una rete peer-to-peer è la connessione diretta tra due calcolatori dotati di scheda wireless o di sistemi di connessione a infrarossi o con tecnologie bluetooth che consente il dialogo a tutta la tecnologia che ci circonda eliminando ogni tipo di cablaggio.

Reti wireless

Una particolare tipologia di LAN si basa sull'impiego della tecnologia wireless (WLAN = Wireless LAN). La diffusione delle reti wireless è dovuta principalmente ai vantaggi che esse offrono; i costi delle schede wireless sono ancora leggermente superiori a quelli delle schede tradizionali ma compensati dai costi elevati per i cablaggi delle reti tradizionali. La tecnologia wireless permette un'integrazione semplice con ambienti parzialmente cablati.

I dispositivi hardware per connettere una sottorete WLAN ad una rete cablata sono due: la scheda wireless installata su computer, palmari, portatili e un access point che lavora come ponte tra la rete cablata e la rete wireless.

RETI GEOGRAFICHE

Le reti geografiche permettono di collegare tra di loro elaboratori e reti locali che si trovano in parti diverse di una nazione o di un continente o in continenti diversi. La prima rete geografica, ARPANET, è stata sviluppata negli Stati Uniti a partire dagli anni Settanta grazie ai finanziamenti del Ministero della Difesa per collegare tra di loro centri di ricerca americani (per scopi militari).

Il progetto fu preso in gestione dal mondo accademico americano il cui obiettivo, una volta capite le potenzialità delle reti di calcolatori, era quello di favorire la comunicazione, la collaborazione e la condivisione di dati, programmi e risorse in genere fra le Università e gli enti di ricerca. Per questa ragione, dunque, uno degli scopi perseguiti è sempre stato quello di integrare via via diversi tipi di reti, cercando di favorire l'interconnessione fra reti anche molto diverse fra loro. È solo dagli inizi degli anni '90 che Internet è stato aperto a tutti, ed in particolare, ad enti non universitari o governativi (associazioni, aziende, venditori di accessi, ...). L'architettura nel suo complesso include una serie di protocolli specificati attraverso i documenti RFC (*Request For Comments*, interamente visibili e scaricabili dal sito <http://www.ietf.org/rfc>). La funzione di questi protocolli è di far viaggiare i pacchetti di informazioni attraverso un insieme interconnesso di reti, passando attraverso sottoreti, fino a raggiungere la destinazione finale.

Oggi ogni nazione ha almeno una rete per collegare i proprio centri. In Italia esiste l'agenzia GARR (Gruppo Armonizzazione Reti) con sede presso il Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica che coordina la rete geografica che collega le università e i maggiori centri di ricerca. Oltre a questa vi sono le varie reti commerciali gestite dalle compagnie telefoniche.

Col termine internet si intende una qualsiasi rete di reti, mentre col termine Internet si identifica una specifica rete di reti. Allo stato attuale Internet è il nome con cui si designa comunemente la più grande rete di calcolatori esistente al mondo, in cui i calcolatori sono collegati (anche indirettamente) attraverso vari tipi di canali di trasmissione. Il linguaggio utilizzato nella comunicazione si chiama *Internet Protocol Suite*, o più comunemente TCP/IP (si parla anche di *architettura TCP/IP*), e possiamo pertanto definire Internet come la rete di tutti i calcolatori sparsi per il mondo che comunicano attraverso il linguaggio TCP/IP.

Struttura di una internet

La struttura fisica di una rete geografica è quella di una rete di reti : le singole reti che devono essere collegate tra di loro hanno caratteristiche differenti, diversi protocolli di comunicazione ma anche diversi tipi di elaboratori. Internet può essere tradotto in interrete e i protocolli sono protocolli di inter-networking.

L'adottare un approccio inter-networking consente di decomporre il problema della comunicazione in una rete geografica in due sottoproblemi: uno relativo alla comunicazione interna alle singole reti e l'altro relativo alla comunicazione tra reti. I protocolli di inter-networking si possono così occupare solo del secondo problema, definendo degli standard a livello di comunicazione tra reti e demandando alle singole reti e quindi a protocolli specifici la comunicazione interna alle singole reti.

L'assunzione di partenza per la definizione di protocolli di inter-networking è quella di avere un insieme di reti che devono essere collegate tra di loro. Ognuna è dotata di un dispositivo detto router per effettuare la connessione verso l'esterno. La comunicazione tra due calcolatori A e B che appartengono a due reti differenti avviene in tre passi: inizia una comunicazione tra A e il router della prima rete cui segue una comunicazione nella rete di router fino a raggiungere quello della seconda rete per arrivare infine ad una comunicazione interna alla seconda rete fino a raggiungere il calcolatore B.

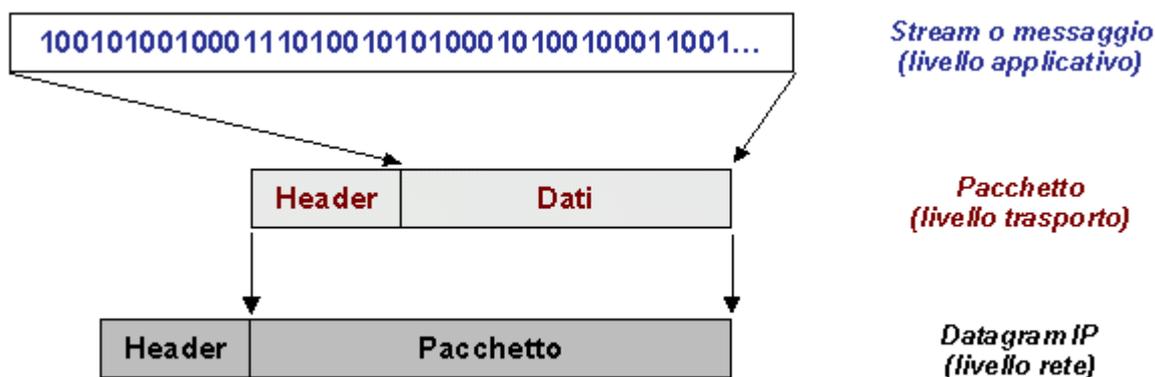
I protocolli di inter-networking si occupano del secondo di questi passi ossia della comunicazione all'interno della rete di router con lo scopo di fornire all'utente una visione astratta della comunicazione diversa da quella fisica: l'utente deve immaginare di essere collegato ad un'unica rete cui tutti i calcolatori sono collegati.

I protocolli di una rete Internet

La definizione dei protocolli passa attraverso delle fasi di standardizzazione necessarie per definire quelle convenzioni che permettono la comunicazione tra elaboratori in sottoreti potenzialmente disomogenee. Il modello a sette livelli ISO-OSI è un modello teorico al quale si sono ispirati altri modelli per la strutturazione a livelli dei protocolli.

Per la comunicazione nella rete Internet si usa un modello formato da cinque livelli noto come TCP-IP. Qualsiasi informazione tecnica dettagliata sui protocolli si trova in rete andando a leggere dei documenti detti RFC (Request for comments), documenti redatti dalla Internet Task Force un organismo che si occupa di definire gli Internet Standard, ossia di approvare quelle che sono le regole che governano la comunicazione nella rete. Chiunque può sottoporre una proposta di documento per Internet e l'organismo deciderà se farlo diventare o meno un RFC che in seguito potrà diventare uno standard.

La struttura dei dati nei vari livelli viene divisa e incapsulata come in figura, tenendo conto che le informazioni dei livelli inferiori vengono strutturate secondo la rete che di fatto effettua il trasporto.



Il protocollo IP (Internet Protocol)

IP è il protocollo di livello rete che si occupa dell'identificazione e dell'indirizzamento dei nodi e dell'instradamento dei "pacchetti".

Internet nasce come una rete militare con l'obiettivo di avere un sistema di comunicazione efficiente ed affidabile. In particolare uno degli obiettivi è stato quello di evitare di avere un sistema di comunicazione centralizzato ma di avere un sistema distribuito in grado di funzionare anche in caso di mal funzionamento di uno dei nodi.: ogni router della rete Internet contribuisce a gestire la comunicazione che può funzionare qualsiasi sia il numero dei router attivi.

IP è definito come un sistema di comunicazione

- a *commutazione di pacchetto*: i messaggi sono suddivisi in pacchetti instradati in modo completamente indipendente. Ogni pacchetto è trattato come entità indipendente, non correlata ad alcun altro pacchetto;
- *non orientato alla connessione*: non è stabilita alcuna connessione diretta tra mittente e destinatario e ogni pacchetto è inoltrato nella rete e passato da un router ad un altro. Inoltre non è mantenuta alcuna storia della comunicazione del percorso che ogni pacchetto ha seguito per arrivare ad un determinato router;
- *non affidabile*: il protocollo non dà garanzia che i pacchetti siano consegnati al destinatario né che i pacchetti arrivino integri. Il protocollo è tuttavia *best effort* ovvero fa il possibile affinché ogni pacchetto giunga a destinazione in modo corretto.

Per portare a termini questi obiettivi IP deve:

1. stabilire delle regole di indirizzamento degli elaboratori in rete;
2. definire il formato dei pacchetti spediti all'interno delle rete;
3. stabilire le regole di instradamento (se ne occupano i router).

1. **Indirizzi IP**. Per rendere possibile la comunicazione in Internet è necessario stabilire una convenzione per definire gli indirizzi degli elaboratori che devono essere univoci. Si è così deciso di identificare un elaboratore mediante due informazioni: 1) la rete di appartenenza e 2) un identificativo univoco dell'elaboratore all'interno della rete cui esso appartiene.

In questo modo non è necessario avere degli indirizzi univoci a livello globale ma basta distinguere tra le varie reti che sono connesse e all'interno di ciascuna rete distinguere tra i diversi elaboratori.

Un indirizzo IP è composto da 32 bit, ovvero 4 byte (per cui gli indirizzi possibili sono 2^{32}), ma generalmente sono espressi attraverso i 4 numeri decimali equivalenti, ciascuno dei quali con valore da 0 a 255, e separati da punti (*dotted decimal notation*).

Notazione binaria a 32 bit	Notazione decimale puntata equivalente
10000001 00110100 00000111 00000000	129 . 52 . 7 . 0
11000010 00001101 00110011 00000011	194 . 13 . 51 . 3
10000010 10000010 11111111 00010000	130 . 130 . 255 . 16

La rete di appartenenza è identificata dai numeri a sinistra mentre i rimanenti identificano l'elaboratore. Un insieme di indirizzi può essere acquistato dai gestori di connessione in rete ad esempio i provider telefonici che a loro volta li acquistano da altre autorità che fanno riferimento alla Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) che si occupa di gestire lo spazio degli indirizzi IP.

L'assegnazione degli indirizzi IP agli elaboratori avviene in modo statico (impostando l'IP all'interno dell'elaboratore) o in modo dinamico tramite un particolare protocollo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) che assegna gli indirizzi IP man mano che gli elaboratori si connettono.

2. **Formato pacchetto**. Ogni pacchetto spedito nella rete è costituito da un header contenente informazioni come l'IP del mittente, quello del destinatario , il protocollo applicativo che ha generato il pacchetto, e dai dati che contengono le informazioni che devono essere trasmesse.

3. **Instradamento.** La terza funzione fornita dal protocollo IP riguarda l'instradamento dei pacchetti che può sostanzialmente avvenire in maniera *diretta*, da una macchina direttamente ad un'altra su una stessa rete fisica, o *indiretta*, se le macchine comunicanti non si trovano sulla stessa rete fisica. In quest'ultimo caso sono i router che si occupano dell'instradamento dei pacchetti: il mittente deve individuare il router cui consegnare il pacchetto in transito, il quale individuerà il prossimo router in direzione della destinazione finale.

Ogni volta che un router X riceve un pacchetto se tale pacchetto è destinato ad un elaboratore della rete a cui X è connesso allora X passa il pacchetto alla rete locale altrimenti lo passa ad un router vicino.

L'instradamento del traffico si basa sulle *tabelle di routing (routing table)* in cui sono memorizzate informazioni per raggiungere qualsiasi destinazione, non relativamente ad ogni indirizzo IP, ma solo le informazioni minime per far proseguire il viaggio. Tipicamente una tabella è costituita da una sequenza di coppie (indirizzo IP destinazione, prossimo router) per cui anche se i pacchetti possono viaggiare su più percorsi, in realtà spesso prendono la stessa strada; naturalmente il traffico nel senso opposto, con il mittente che diviene destinatario, può seguire un percorso completamente diverso.

Ricapitolando, lo schema di funzionamento del protocollo IP può essere così riassunto:

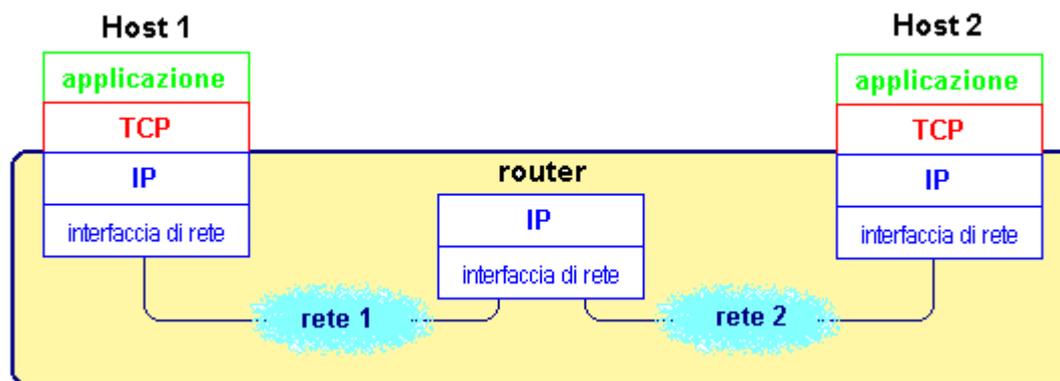
- riceve i dati dal livello di Trasporto (il livello “superiore”) e li incapsula in pacchetti
- instrada i pacchetti lungo la rete, ed eventualmente li frammenta ancora durante il viaggio
- a destinazione riassume i frammenti in pacchetti, estrae i dati per il livello Trasporto e li consegna nell'ordine in cui sono arrivati.

Il protocollo TCP (Transmission Control Protocol)

IP gestisce gli aspetti della comunicazione del livello di rete creando delle premesse affinché i nodi possano scambiarsi delle informazioni. Al di sopra del protocollo IP è stato progettato il protocollo TCP, un protocollo a commutazione di circuito virtuale che dà l'impressione a due nodi A e B di stabilire un circuito di comunicazione che è mantenuto attivo per l'intera comunicazione. In particolare il TCP assicura un trasporto sicuro dell'informazione, la correttezza dei dati spediti/ricevuti e si preoccupa anche di controllare il flusso delle informazioni in rete, nonché di dividere in pacchetti i dati provenienti dalle applicazioni.

TCP è un protocollo orientato alla connessione, affidabile, in cui la connessione è vista come flusso continuo di dati che viaggiano su un canale virtuale. La connessione tra 2 nodi a livello TCP è stabilita secondo un sistema simile a quello della chiamata telefonica: un utente chiama e alla risposta si può iniziare lo scambio di informazioni tra chiamante e chiamato. Se il protocollo TCP sul nodo chiamante A deve trasmettere un flusso di dati al protocollo TCP sul nodo B, il protocollo TCP su A invia una richiesta di connessione al protocollo TCP su B, se il protocollo TCP su B accetta la chiamata invia un segnale di accordo per stabilire la connessione, a questo punto il protocollo TCP su A inizia la comunicazione spedendo un flusso di dati sul canale aperto che viene ricevuto dal protocollo TCP su B. Dal punto di vista virtuale si può immaginare che i dati viaggino sul canale creato dai 2 protocolli al momento della chiamata. In realtà il flusso avviene attraverso i protocolli IP sottostanti e scende fino a livello fisico dove si ha lo scambio effettivo di dati.

L'affidabilità del protocollo è ottenuta inviando messaggi che vogliono una “conferma di ricezione”.



Protocolli applicativi

I protocolli TCP, IP sono la base per la costruzione delle applicazioni Internet che a loro volta sono basate su protocolli di livello più alto. I servizi quali posta elettronica, web, sono infatti resi possibili grazie all'uso di specifici protocolli applicativi.

Il livello di rete e quello di trasporto si occupano di trasferire i bits da un host all'altro, ma chi decide cosa, quando e dove trasferire certe informazioni, nonché il loro significato, è il livello Applicazione. Nonostante il sistema dei protocolli Internet è in grado di stabilire un servizio di comunicazione, essi non possono iniziare il contatto, o accettarlo, con un computer remoto. Alla comunicazione devono comunque partecipare due software applicativi che interagiscono. Ciascun programma applicativo, inoltre, è collegato con uno dei protocolli del livello trasporto per inviare o ricevere dati, a cui passa i dati nella forma richiesta. In altre parole nel livello Applicazione viene svolto unicamente il lavoro più "vicino" all'utente, ovvero si gestisce l'interattività tra l'utente e la macchina.

Tutti i servizi di Internet sono basati sull'approccio Client/Server. Per ogni servizio vi deve essere un nodo server della rete che lo fornisce e un software client usato dagli altri nodi per accedere al servizio. I protocolli applicativi definiscono le regole di comunicazione tra software server e software client e definiscono le caratteristiche e funzionalità di ogni servizio.

Nel livello Applicazione sono presenti diverse tipologie di oggetti software:

- ◆ protocolli di supporto alle applicazioni, come
 - **DNS** (*Domain Name System*), per creare la corrispondenza tra indirizzi IP e nomi letterali facili da ricordare;
 - **DHCP** (*Dynamic Host Configuration Protocol*), per assegnare dinamicamente gli indirizzi IP;
- ◆ protocolli standardizzati di supporto a specifiche applicazioni, come
 - **SNMP** (*Simple Network Management Protocol*), per la gestione della rete;
 - **FTP** (*File Transfer Protocol*), per il trasferimento di files;
 - **SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*) e **POP3** (*Post Office Protocol*, versione 3), per l'invio e la ricezione dei messaggi di posta elettronica;
 - **MIME** (*Multipurpose Internet Mail Extension*), per stabilire il formato dei messaggi con codifiche non ASCII;
 - **HTTP** (*Hypertext Transfer Protocol*), per trasferire ipertesti multimediali dalla rete, alla base del *World Wide Web* (WWW);
 - **Telnet**, per il controllo di computer a distanza;
 - **NNTP** (*Network News Transfer Protocol*), per il trasferimento di articoli dai newsgroups;

- **IRC** (*Internet Relay Chat*), per il trasferimento in tempo reale di messaggi digitati sulla tastiera (le classiche "chat");
- **RTP** (*Real Time Protocol*), per il trasferimento in tempo reale di messaggi multimediali.

Nel seguito approfondiremo il funzionamento di alcuni di questi protocolli, con riferimento alla specifica tipologia di servizio che offrono.

DNS

Il protocollo DNS (Domain Name System) consente la definizione e l'uso di indirizzi logici in sostituzione di quelli fisici a 32 bit previsti da IP. Gli indirizzi IP non sono facili da ricordare e quindi a livello applicativo è introdotto un nuovo sistema di indirizzamento più semplice e intuitivo per l'utente. Il ruolo del DNS permette proprio la creazione di una corrispondenza tra un indirizzo IP e una stringa di caratteri attraverso l'uso di alcuni computer di servizio, detti *name server* o *DNS server*, interpellati per ogni traduzione da un "indirizzo DNS" ad un indirizzo IP.

Gli elaboratori sono raggruppati in domini e ad ognuno di essi può essere assegnato un nome logico che deve essere unico solo all'interno di quel particolare dominio. Anche ai domini sono assegnati nomi logici e a loro volta i domini possono essere raggruppati in domini a livello gerarchico superiore. Ad esempio si può definire un dominio all'interno di un'azienda e per questo dei sotto-domini corrispondenti a reparti diversi dell'azienda.

Per identificare i singoli elaboratori si utilizza la sequenza dei domini cui appartiene separando con un punto i vari nomi. Ad esempio shinji.evangelion identifica l'elaboratore shinji all'interno del dominio evangelion.

Uno spazio di nomi gerarchici di questo tipo deve essere strutturato stabilendo delle regole nella definizione dei domini e decidendo un insieme di domini ai livelli alti della gerarchia. Quindi si tratta di assegnare a dei gestori la definizione di nuovi domini all'interno di quelli predefiniti.

All'interno di Internet sono stati definiti dei domini di primo livello:

- un dominio per ogni nazione; it(Italia), fr (Francia), ...
- una serie di domini legati al tipo di attività svolta dalle organizzazioni, enti, aziende: edu (per enti di tipo educativo), org (per organizzazioni non commerciali), com (per aziende commerciali)

La gestione dei domini di alto livello è assegnata ad una organizzazione internazionale mentre per ogni nazione è stato creato un ente gestore del dominio nazionale scelto. Ogni organizzazione, azienda privato che voglia registrare un nuovo dominio deve rivolgersi alle autorità di gestione dei domini di livello più alto e al gestore della proprio nazione. Gli spazi dei nomi possono essere o meno strutturati in ulteriori sotto-domini.

Ad es. doc.ic.ac.uk è l'indirizzo dell'imperial College di Londra. il dominio uk indica le reti inglesi, il sotto-dominio ac indica i nodi accademici inglesi, ic l'imperial college ed infine il sotto-dominio doc indica il department of computing.

Tale sistema è un sistema logico in quanto non c'è alcun legame con il sistema fisico di indirizzamento, ossia non esiste alcun legame tra i domini e le reti; elaboratori della stessa rete fisica possono appartenere a domini logici differenti.

Devono quindi esistere delle regole per tradurre i nomi logici in indirizzi IP. Questa è la funzione del protocollo DNS basato su approccio C/S: esiste un software server DNS, installato sui nodi che avranno il ruolo di server DNS, e un software client DNS attraverso cui un qualunque nodo può

rivolgersi ad un server DNS per avere la traduzione da nome logico a indirizzo fisico. Per questa traduzione esistono un gran numero di server (name server) organizzati in modo gerarchico; nessun name server conosce tutte le traduzioni possibili ma può richiederle ad altri..

Quando un nodo fa una richiesta di una risorsa che richiede l'utilizzo del protocollo DNS (ad es. quando si digita un indirizzo logico dentro un browser per connettersi ad una pagina web su un elaboratore remoto), il client DNS della macchina su cui viene digitato l'indirizzo logico si rivolge al server DNS del suo dominio di appartenenza per chiedere la traduzione dell'indirizzo, tale richiesta sale verso l'alto nella gerarchia dei domini fino a che si arriva ad un dominio che ha l'indirizzo richiesto in uno dei suoi sotto-domini; a questo punto la richiesta scende nei sotto-domini fino ad arrivare a quello cui l'indirizzo appartiene che effettua la traduzione, l'indirizzo così tradotto percorre il percorso inverso fino ad arrivare al client DNS della macchina che aveva chiesto la traduzione. Per accelerare il processo nelle memorie cache del client e del server sono mantenute le traduzioni degli indirizzi più usati.

FTP

Un'altra applicazione che è fornita dalla rete Internet è quella per il trasferimento di file tra gli elaboratori. Funzione gestita sempre con l'approccio C/S da un altro protocollo applicativo: FTP

Se un elaboratore della rete ha installato un software server FTP da ogni altro elaboratore della rete dotato di client FTP sarà possibile effettuare il trasferimento di file da a verso quell'elaboratore. Una richiesta di connessione da un client FTP verso un server FTP comporta la creazione di una connessione TCP e su questa il trasferimento come stream di dati del file di cui si richiede il download/upload.

Il protocollo FTP permette di entrare nelle directories del computer remoto, esattamente come se fosse in locale, con possibilità operative dipendenti dal tipo di accesso. I tipi di accesso FTP sostanzialmente due:

- *autenticato*, in cui l'utente ottiene l'accesso attraverso un processo di autenticazione, che si esplica fornendo al server i propri dati (*username, password*). In questo all'utente viene concessa la possibilità di compiere tutte quelle operazioni che normalmente si compiono sul disco locale, quali, ad esempio, la copia, la cancellazione o lo spostamento dei files. E' inoltre possibile trasferire i files in entrambe le direzioni, per cui si possono avere due tipi di procedure:
 - *download*, per il trasferimento di files dalla macchina server alla macchina client;
 - *upload*, per il trasferimento di files dalla macchina client alla macchina server;
- *anonimo*, in cui ciascun utente può accedere liberamente all'archivio "pubblico". Con questa modalità l'insieme delle operazioni eseguibili è ristretto rispetto a quelle concesse agli utenti autorizzati dal sistema, in particolare è possibile compiere solo operazioni di download.

TELNET

Tale protocollo, anch'esso basato sull'approccio C/S, consente di effettuare una connessione per lavorare in modo remoto su un elaboratore della rete. Il server TELNET è in esecuzione sull'elaboratore remoto e attraverso un programma client si può usare quell'elaboratore.

SMTP

La posta elettronica costituisce uno dei servizi più consolidati (è in uso da circa 20 anni) ed utilizzati di Internet. Il funzionamento della posta elettronica è basato su un protocollo specifico detto SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), definito al di sopra del protocollo TCP. Anche gli indirizzi di posta elettronica sono associati a domini internet. Il servizio di posta elettronica può essere attivato in un qualunque dominio installando un sistema di gestione della posta e definendo i

nomi delle caselle di posta elettronica degli utenti seguendo la convenzione nomeutente@nomedominio.

Un messaggio di posta elettronica ha un formato ben definito, costituito da una *intestazione*, contenente i dati degli utenti coinvolti, data, priorità, e così via, e da un *corpo (body)*, esattamente come avviene nella "cartacea" posta ordinaria:

La posta elettronica è implementata attraverso la cooperazione di due tipi di sottinsiemi:

- *Agente Utente (Mail User Agent)*, l'interfaccia tra l'utente e l'applicazione di rete, che permette di comporre i messaggi, consegnarli per la trasmissione, riceverli, leggerli, salvarli ed eliminarli
- *Agente di trasferimento messaggi (Mail Transport Agent)*, l'applicazione di rete vera e propria, che permette di trasportare i messaggi sulla rete fino all'agente di trasferimento di destinazione.

L'agente utente coincide con l'applicazione (software) per la lettura della posta elettronica sul computer locale, il cosiddetto *mail reader* (o *mail client*). Sono mail readers tra i più conosciuti: Microsoft Outlook (e sue varianti), Netscape Messenger e Thunderbird.

In corrispondenza delle funzionalità appena illustrate oggi si utilizzano due protocolli distinti:

- *SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)*, per il trasporto del messaggio da sorgente a destinazione, ovvero dall'utente iniziale, o mittente, ad un agente di trasferimento e poi tra i vari agenti di trasferimento fino alla casella postale del destinatario;
- *POP3 (Post Office Protocol versione 3)*, per la consegna del messaggio dall'ultimo agente di trasferimento all'utente finale o destinatario. Questo protocollo accetta messaggi formattati ed inviati tramite il protocollo SMTP.

Vediamo come avviene la trasmissione di un messaggio. Supponiamo che l'utente A invii un messaggio all'utente B. Allora la sequenza di operazioni è la seguente:



in cui i server SMTP attraversati, che in figura sono solo due, possono essere in numero maggiore. Nella fase finale, invece, le operazioni sono le seguenti:



Se il protocollo SMTP gestisce l'apertura della connessione, il trasferimento delle informazioni e la chiusura della connessione, il protocollo POP3 gestisce l'accesso remoto alle caselle di posta elettronica previa autenticazione degli utenti. Una caratteristica saliente di quest'ultimo protocollo è il prelievo dei messaggi dalla casella di posta con cancellazione degli stessi dal server remoto e il loro salvataggio sul computer locale.

Il protocollo IMAP. Il protocollo POP3 non permette un'efficiente gestione della posta nel caso di utenti che utilizzano più computer per accedere alle proprie caselle e-mail. In tal caso si rivela

particolarmente utile un altro protocollo più evoluto per la gestione della posta, ovvero IMAP (*Interactive Mail Access Protocol*). Questo protocollo consente l'accesso alle caselle di posta in maniera più sofisticata in quanto permette la lettura della posta e la sua manipolazione direttamente sul server prima ancora di prelevarla; inoltre non cancella nessun messaggio, se non dopo specifica richiesta dell'utente. In altre parole esso permette ad un software client di accedere ai messaggi remoti dal proprio calcolatore, proprio come se fossero locali, senza bisogno di trasferire i messaggi o i files tra questi computers.

L'utilizzo di questo protocollo consente di accedere alla posta da più calcolatori ed è pertanto molto importante in relazione alla crescita del fenomeno per cui ogni utente utilizza computer multipli (ufficio, casa, portatile, ecc.); il protocollo POP lavora invece meglio nel caso di utente con un solo calcolatore, in quanto le sue funzionalità permettono di accedere ai messaggi soltanto in modalità off-line.

Un esempio tipico di IMAP client è la *Web Mail*.

Il protocollo MIME

La possibilità di inviare file allegati (di qualunque tipo) con la posta elettronica, funzionalità ulteriore che la rende un mezzo di comunicazione molto potente, viene fornita attraverso il protocollo standard MIME (*Multipurpose Internet Mail Extension*).

Questo protocollo specifica come i messaggi o i files in essi contenuti, in aggiunta al testo ASCII di base, devono essere formattati per essere scambiati fra differenti sistemi di posta elettronica. Il protocollo MIME è molto flessibile, permettendo di includere virtualmente ogni tipo di file o documento in un messaggio e-mail. Tipicamente, un messaggio MIME può contenere testo, immagini, audio, video, o dati specifici di qualunque applicazione.

Le mailing lists

Una mailing list (*electronic mailing list*) è una risorsa basata sull'e-mail che permette di condividere domande, risposte, informazioni e documenti con altri membri dello stesso gruppo, ovvero consente ad un gruppo di persone di comunicare tra di loro. Il servizio si basa su un indirizzo e-mail di gruppo e su un programma *list server* che mette in corrispondenza un indirizzo con una lista di indirizzi. Ciò avviene attraverso un meccanismo di exploder postale in cui si accetta un messaggio in arrivo o lo si invia ad un gran numero di destinatari. La procedura è sostanzialmente la seguente:

- un componente del gruppo invia un messaggio all'indirizzo e-mail che identifica il suo gruppo;
- il list server, ricevuto il messaggio, identifica i componenti del gruppo e provvede ad inoltrarlo agli indirizzi e-mail corrispondenti.

Il meccanismo è di fatto equivalente allo scambiarsi messaggi di posta in cui il campo "A:" (ovvero "To:") contenga tutti gli indirizzi e-mail dei componenti del gruppo, tuttavia le mailing list offrono importanti vantaggi:

- la posta è spedita ad un solo indirizzo sebbene i mittenti siano tanti;
- le persone possono facilmente associarsi (sottoscrivendo la fruizione del servizio) o lasciare il gruppo;
- i messaggi sono salvati in archivio.

NEWS

Esistono altri protocolli e servizi applicativi costruiti al di sopra di TCP/IP tra i quali il servizio di news per la creazione di gruppi di discussione che sono sistemi di comunicazione molti a molti in cui ognuno può vedere i messaggi lasciati dagli altri utenti e rispondere ad un messaggio o scriverne uno nuovo. Spesso i client di posta fungono anche da client per le news; esistono vari server di news ognuno dei quali mantiene alcune delle migliaia di liste di discussione.

Il WEB e il protocollo HTTP (Hyper Text Transfer Protocol)

HTTP è uno dei più interessanti protocolli del livello applicativo di Internet ed è alla base del funzionamento del WWW (World Wide Web). Anch'esso costruito al di sopra di TCP/IP è basato su un approccio C/S. Il web non è altro che un enorme deposito di informazioni collegate tra loro mediante legami ipertestuali; è costituito infatti da una moltitudine di documenti (iperoggetti) ognuno dei quali contiene informazioni in formati differenti (testo, immagini, suoni, ...).

Questi oggetti (tipicamente documenti e programmi), detti anche *pagine web*, sono collegati tra di loro in modo da formare un grande ipermedia, evoluzione del concetto di ipertesto, e contengono testo formattato con linguaggio specifico, collegamenti (*links*) ad altre pagine web o ad altre risorse; possono contenere però anche immagini, suoni, video, scenari tridimensionali e codice (*script*) eseguibile.

Oggi il WWW rappresenta il servizio più famoso offerto da Internet, ma nell'ultimo decennio è stata anche la ragione che ha decretato il suo successo ed il suo enorme sviluppo.

Lo standard del web prevede di costruire i documenti mediante il linguaggio HTML che è visualizzato per mezzo di programmi detti browser (i client) che forniscono una serie di strumenti per supportare la navigazione sul web: pulsanti per tornare indietro, bookmarks, etc...

Tra gli agenti browser più noti figurano NCSA Mosaic, l'antenato degli attuali browser, Mozilla, Netscape Navigator, Microsoft Internet Explorer (ciascuno con diverse versioni) ed Opera (e sue varianti).

Le pagine e più in generale i servizi cui si può accedere da un browser sono forniti da un server web: quando si digita un indirizzo nella barra degli indirizzi di un browser esso nel ruolo di client web invia una richiesta al server web specificato nell'indirizzo. La richiesta specifica qual è il documento cercato se il server ha il documento invia una risposta contenente il documento. Questa descritta è una interazione C/S per il web che si appoggia sul protocollo HTTP introdotto al CERN di Ginevra negli anni '90 come meccanismo per permettere ai fisici di condividere i documenti.

Il protocollo HTTP è il protocollo di livello Applicazione (implementato al di sopra di TCP) che permette di gestire il sistema d'informazione ipermediale e distribuito del web, occupandosi nello specifico del dialogo tra client e server web. E' un protocollo *senza memoria (stateless)* in quanto ogni interazione tra client e server si svolge indipendentemente da eventuali "dialoghi" precedenti. Questa struttura, per certi versi necessaria, permette di ricercare e recuperare un'informazione in maniera veloce, saltando rapidamente da un server all'altro attraverso i collegamenti ipertestuali.

Da osservare, inoltre, che HTTP è un protocollo ASCII, cioè i messaggi scambiati tra client e server sono costituiti da sequenze di caratteri ASCII. Pertanto, per spedire i dati di vario genere che costituiscono una pagina web, viene usato il protocollo MIME, e dunque anche tra le informazioni scambiate sulla natura dei dati, vanno comunicati i tipi di formato utilizzati.

La procedura di utilizzo appena descritta assegna al protocollo HTTP una semplicità di gestione molto alta, in quanto ogni interazione si svolge prevedendo esclusivamente una richiesta ed una

risposta (una conversazione più lunga si articola con una serie di contatti tra loro indipendenti) ma anche le tipologie di informazioni che si possono gestire sono facilmente estendibili attraverso la definizione di nuovi tipi di formato MIME. Il server HTTP è il nucleo fondamentale di un server web e si occupa di accettare le richieste da parte dei client HTTP e di fornire loro i documenti richiesti, se esistono, o messaggi di errore.

Ogni risorsa accessibile via Web ha un indirizzo URL di riferimento. Tale indirizzo è costituito da tre parti:

- *metodo di accesso*, per indicare il protocollo da utilizzare nella connessione, ovvero in che modo si vuole accedere alla risorsa. I metodi più comuni sono HTTP, FTP (per il trasferimento di files), NEWS (protocollo per accedere ai gruppi di discussione), MAILTO (per spedire posta elettronica), TELNET (protocollo di terminale virtuale per login remoti), FILE (accesso a documenti locali);
- *nome dell'host*, logico o indirizzo IP, per identificare la residenza fisica della risorsa. A ciò va collegato anche il numero della porta che permette l'accesso alla risorsa;
- *nome dell'oggetto*, che include il cammino ed il nome del file, per identificare univocamente la risorsa.

Un URL assume dunque la forma seguente

metodoaccesso://nomehost/nomeoggetto

Ad es. <http://www.dima.unige.it/index.html> rappresenta l'URL della pagina index.html; il server cui connettersi è un server HTTP; l'indirizzo del server è www.dima.unige.it mentre il documento richiesto index.html.

Esistono alcune regole per completare un URL non specificato interamente dall'utente: se manca il nome della directory, si assume che la directory sia la stessa della pagina precedente; se manca il nome del file si restituisce un file prefissato all'interno della directory (“index.html”, “default.html” oppure “welcome.html”), e così via.

Le attuali versioni dei browser possono fungere non solo da client web ma anche da client FTP o da client telnet.

Anche nel caso del web c'è una convenzione sul nome logico da assegnare all'elaboratore su cui viene installato il server web. Il nome convenzionale è www e per questo motivo l'indirizzo di gran parte dei siti inizia con www. Più nomi logici possono essere assegnati allo stesso elaboratore; ad es. se in un'azienda avessimo solo un elaboratore ma volessimo offrire servizi differenti potremmo usarlo sia come server FTP che come server HTTP e assegnare i nomi logici ftp e www allo stesso elaboratore.

Esistono alcune strategie per velocizzare il trasferimento di una pagina web dal server web cui si è connessi. I browser attuali hanno infatti una **memoria cache** in cui sono memorizzate le ultime pagine caricate dall'utente: quando l'utente richiede il caricamento di una pagina il browser prima di chiederla al server verifica se essa è contenuta nella cache. I **proxy server** sono dei nodi speciali all'interno della rete che possono svolgere il ruolo di ponti nella connessione in rete. In condizioni normali una richiesta di connessione da un client ad un server porta ad una connessione diretta tra client e server per il trasferimento di dati. Nel caso in cui il client decida di usare un proxy server la connessione è effettuata in due passi: il client si connette al proxy cui delega il compito di scaricare

le informazioni, il proxy funge da server per il client e da client verso il server da cui deve prelevare l'informazione che viene passata al client. L'uso di un proxy può essere configurato all'interno del browser. Deve essere specificato l'indirizzo del proxy. Una funzione del proxy è quella di svolgere un ruolo di cache per tutti i client che passano attraverso quel nodo, sono cioè memorizzate in una cache di grandi dimensioni le pagine usate recentemente dagli utenti che passano attraverso il proxy. Le pagine possono essere fornite velocemente agli utenti anche se questi non le hanno ancora caricate, grazie al fatto che altri le hanno già richieste. Questa funzione è spesso adottata dai fornitori di connessione per l'accesso domestico.

HTTP non prevede un concetto di sessione e ogni elemento che deve essere caricato corrisponde ad una nuova connessione TCP verso il server che quindi non ha alcun elemento per comprendere quali richieste arrivino da quali utenti e quali richieste corrispondano ad una sessione di lavoro da parte dello stesso utente. Un meccanismo che consente la memorizzazione di certe informazioni è il **cookie** che è semplicemente un file di testo che molti server producono e memorizzano sul calcolatore del client e che identifica in qualche modo l'utente. Quando l'utente torna su un server già visitato e che ha scritto un cookie nella richiesta HTTP il valore del cookie è inviato al server che così è in grado di riconoscere l'utente. I cookie sono memorizzati in un'apposita cartella e quindi possono essere rimossi.

Ulteriori estensioni del Web sono rappresentate dall'introduzione di alcune funzionalità, sulla scia dei server gateway, e di forme di interattività superiore alla semplice navigazione tra le pagine con elaborazioni compiute in locale dal client. In questo ambito spicca l'utilizzo di alcuni linguaggi che permettono di avere una rapida interazione con la pagina web:

- *Javascript*, per la definizione di computazioni compiute dal client attraverso del codice (*script*) inserito direttamente nella pagina web;
- *Java*, per la definizione di computazioni effettuate dal client attraverso file eseguibili (*applet*); questi, associati a collegamenti della pagina web, sono trasmessi al server al client assieme alla pagina stessa, e vengono pertanto eseguiti dal client in autonomia.

La piattaforma di calcolo basata su Java è formata da: il *linguaggio* Java, un *compilatore* dal linguaggio al codice eseguibile (bytecode), un interprete del codice eseguibile ovvero la *Java Virtual Machine* (JVM).

In definitiva, i documenti web possono essere classificati secondo tre diverse tipologie fondamentali:

- *statici*, il contenuto è prefissato dall'autore e la visualizzazione produce sempre le stesse informazioni. Sono aggiornati solo se interviene l'autore (esempi tipici sono le pagine con solo HTML);
- *dinamici*, non sono predefiniti ma sono generati dal server web ogni qualvolta se ne faccia richiesta. Le informazioni visualizzate possono cambiare a seconda di quanto richiesto, eventuali cambiamenti si hanno solo in seguito a nuove acquisizioni del documento (esempi tipici sono i documenti generati dai CGI);
- *attivi*, non sono del tutto predefiniti, consistono in applicazioni inviate dal server web che vengono eseguite localmente. Le informazioni visualizzate dipendono da una serie di fattori, fra cui l'interazione applicazione-utente. Possono cambiare anche senza ulteriori acquisizioni del documento (esempi tipici sono i documenti generati da Java e Javascript).

Osservazione. Un protocollo di trasferimento alternativo ad HTML ed oggi molto pubblicizzato è il WAP (Wireless Access Protocol), ideato dal WAP Forum, per l'utilizzo su cellulari e computer palmari. In realtà esso consiste di una suite di protocolli per risolvere varie problematiche ed

utilizza dei *proxy wap* per assicurare la connessione ad una pagina web (con l'eventuale traduzione dell'HTML).