

LA STRUTTURA NASCOSTA DI INTERNET

a cura del prof. Antonio Capone – Telecomunicazioni

Descrizione del corso

Oggi tutti usiamo in modo naturale gli strumenti di comunicazione e interazione che Internet mette a disposizione. Tuttavia, difficilmente a scuola vengono raccontati i principi tecnologici che consentono alla rete di funzionare, spingendosi oltre i concetti base dell'informatica presenti nei programmi. Eppure, la struttura nascosta di Internet rappresenta uno straordinario esempio di come la tecnologia venga usata non solo per rispondere ad un bisogno, ma anche per progettare un ambiente nel quale altri possano esercitare la loro **creatività** per sviluppare nuove applicazioni.

Il corso consente agli studenti di comprendere cosa succede nell'infrastruttura della rete quando clicchiamo su una pagina web o giochiamo online, come l'informazione viene rappresentata e trasferita nella rete, come viene regolato il traffico sulle autostrade dell'informazione, come nuovi algoritmi intelligenti di controllo consentono di migliorare continuamente le prestazioni delle nostre applicazioni e che ruolo giocano le nuove tecnologie di rete: dalla fibra ottica al 5G.

La tecnologia di Internet viene introdotta con un approccio simile a quello utilizzato negli insegnamenti offerti nei corsi di laurea di diverse ingegnerie (come informatica, automazione, fisica, gestionale), presentando il concetto di **commutazione di pacchetto**, i protocolli applicativi, il trasporto delle informazioni e l'instradamento in rete. Viene anche proposto un prologo storico con la testimonianza video di uno dei padri fondatori di Internet, **Leonard Kleinrock**, raccolta in occasione della sua visita al Politecnico per i 50 anni della nascita della rete.

Organizzazione

Il corso è suddiviso in 4 moduli; durante ogni modulo gli studenti avranno accesso a diversi **materiali didattici online**, tra cui videolezioni, slide e schede di esercitazione. Gli studenti saranno in contatto costante con docenti e tutor del Politecnico. Inoltre, grazie a un **forum online** potranno lavorare insieme agli altri iscritti all'interno di una classe virtuale. È prevista infine anche la partecipazione a **webinar, attività e question time**, tenuti direttamente dai docenti del corso. Alla fine dei 4 moduli, coloro che avranno completato tutti gli esercizi riceveranno un attestato di partecipazione e un badge digitale, da allegare al proprio CV.

Altri docenti coinvolti

Ing. Alberto Ceresoli – Dottorando in Information Technology.

Struttura del corso

Prologo:

Il 29 ottobre **1969** veniva stabilito il primo collegamento sulla rete che poi sarebbe diventata Internet tra il dipartimento di Computer Science della University of California Los Angeles (UCLA) e lo Stanford Research Institute. Come si è giunti fino a quel risultato? Perché per più di vent'anni dopo quel giorno la rete è rimasta una faccenda riservata ai ricercatori e non visibile al grande pubblico? Qual era lo spirito dei pionieri di Internet e cosa è cambiato da allora?

Ripercorriamo questa storia affascinante e poco nota attraverso il racconto del prof. Leonard Kleinrock, che in occasione dei 50 anni dalla nascita di Internet ha fatto visita al Politecnico di Milano. Kleinrock guidava il gruppo di ricerca che a UCLA inviò il primo pacchetto informativo in rete. Grazie alla sua testimonianza, è possibile collocare la scoperta di Internet nel contesto storico degli anni 60-70: la rete è infatti figlia della

guerra per il predominio tecnologico, insieme alla corsa allo spazio e alla conquista della Luna, anch'essa giunta da poco al cinquantésimo compleanno.

Proviamo a rispondere autonomamente ad alcune domande da utenti di Internet e poi discutiamo insieme le risposte nel webinar di apertura del corso.

Modulo 1 – I pacchetti d'informazione e la loro trasmissione in rete

Il primo modulo fornisce alcuni concetti di base sulle **comunicazioni a distanza**, dal principio alla base della vecchia rete telefonica fino alla **rappresentazione digitale** dell'informazione e la sua suddivisione in frammenti rappresentati da sequenze finite di bit (pacchetti), che possono essere trasferite in rete.

Prendiamo familiarità con il concetto di condivisione delle risorse in rete e la commutazione di pacchetto. Identifichiamo le **grandezze fisiche** che determinano i limiti nella velocità di trasmissione dell'informazione e il tempo necessario. Impariamo ad effettuare dei calcoli sul trasferimento di informazione in rete.

Modulo 2 – I protocolli applicativi di Internet

Passando al secondo modulo facciamo un salto dalla base della fisica per la trasmissione dell'informazione fino al suo utilizzo per creare **applicazioni** di uso comune come il web e la posta elettronica.

Definiamo il concetto di **protocollo** e di **servizio di comunicazione**. Impariamo ad utilizzare dei semplici strumenti comunemente impiegati da chi lavora con la rete come **Wireshark** e i tool per **sviluppatori** dei browser web. Catturiamo ed analizziamo i pacchetti scambiati in rete dal nostro PC ed identifichiamo i livelli protocollari. Scopriamo quali messaggi si scambiano client e server quando viene inviata una mail o viene scaricata una pagina web, come funzionano lo streaming video o i giochi online. Svolgiamo alcune attività esplorative utilizzando gli strumenti suggeriti.

Modulo 3 – Il servizio di trasporto ovvero come accelerare e rallentare in rete

Nel terzo modulo impariamo che la rete rappresenta un efficiente meccanismo di condivisione delle costose risorse per trasmettere informazione, ma che come tutti i meccanismi di condivisione impone delle **limitazioni**. Internet è infatti paragonabile ad una rete stradale, in cui la larghezza della strada limita il numero massimo di auto e all'aumentare del traffico il tempo di spostamento si allunga.

All'interno dei sistemi operativi di tutti i computer collegati, il servizio di trasporto di Internet svolge un lavoro poco visibile ma fondamentale per il funzionamento della rete: consente di regolare la velocità di trasferimento dell'informazione sulla base della larghezza (capacità in bit al secondo) delle autostrade digitali e del traffico generato da tutti gli utenti che in un dato momento le usano.

Prendiamo dimestichezza con i principi di funzionamento del TCP (Transmission Control Protocol) e con alcuni semplici modelli che ci consentono di calcolare qual è la velocità di trasferimento dell'informazione sostenibile in rete.

Modulo 4 – Come trovare la strada verso la destinazione

Nel quarto modulo scopriamo che, per raggiungere la destinazione, ai pacchetti di informazione serve conoscerne l'indirizzo e ricevere delle indicazioni sul percorso da seguire ad ogni nodo di smistamento del traffico di rete.

Impariamo a conoscere gli **indirizzi di Internet** e come sono legati alla sua architettura. Studiamo come i nodi di rete, denominati **router**, elaborano ad alta velocità gli indirizzi dei pacchetti che ricevono e consultano delle tabelle per decidere su che collegamento d'uscita trasmetterli. Infine, affrontiamo il problema della compilazione delle tabelle per far seguire ai pacchetti il **percorso più breve**.

Note biografiche

Antonio Capone – È Professore ordinario di Telecomunicazioni presso il Politecnico di Milano, dov'è anche Preside della Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione, membro del gruppo strategico POLIMI 2040, e direttore dell'Advanced Network Technologies Laboratory (ANTLab) del Dipartimento di Elettronica Informazione e Bioingegneria (DEIB). Le sue competenze sono nell'ambito delle reti di comunicazione e le sue principali attività di ricerca includono la gestione delle risorse in reti radio, l'ingegneria

del traffico in software defined networks, la pianificazione e l'ottimizzazione di rete. Su questi argomenti ha pubblicato [più di 300 articoli su riviste e atti di convegni internazionali](#).

Attualmente è editor di due riviste internazionali (IEEE Trans. on Mobile Computing, Computer Communications) ed è stato editor di altre negli ultimi anni (ACM/IEEE Trans. on Networking, Computer Networks). Partecipa regolarmente ai comitati tecnici delle più importanti conferenze internazionali del settore, per le quali ha anche ricoperto ruoli organizzativi. È fellow dell'IEEE.

Alberto Ceresoli – È dottorando al primo anno in Information Technology al Politecnico di Milano e fa parte del gruppo di Advanced Network Technologies Laboratory (ANTLab) del Dipartimento di Elettronica Informazione e Bioingegneria (DEIB). Ha recentemente conseguito la Laurea Magistrale in Telecommunication Engineering nell'ottobre del 2025 presso il Politecnico di Milano. La sua attività di ricerca si concentra sulle nuove possibilità di localizzazione nelle reti di accesso mobili (RAN).