

LA STRUTTURA NASCOSTA DI INTERNET

a cura del prof. Antonio Capone – Telecomunicazioni

Descrizione del corso

Ogni giorno usiamo Internet come se fosse la cosa più naturale del mondo: chattiamo, guardiamo contenuti in streaming, giochiamo online, condividiamo contenuti. Ma quanti di noi sanno davvero cosa succede dietro le quinte quando clicchiamo su un link o inviamo un messaggio?

A scuola raramente si va oltre i concetti base dell'informatica, eppure la struttura nascosta di Internet è uno straordinario **esempio di ingegneria e creatività**. Non è solo tecnologia che risponde a un bisogno: è un **ambiente** progettato apposta perché altri possano inventare, costruire, innovare. È una **piattaforma aperta** dove nascono continuamente nuove applicazioni che cambiano il nostro modo di vivere.

In questo corso scoprirai cosa accade davvero nell'infrastruttura della rete quando giochi online o carichi una pagina web. Come viene **rappresentata** e **trasferita** l'informazione? Come viene regolato il traffico sulle **"autostrade digitali"**? Come fanno **algoritmi intelligenti** a migliorare continuamente le prestazioni delle tue app preferite? E quale ruolo giocano le nuove tecnologie – dalla fibra ottica al 5G – nel rendere tutto più veloce ed efficiente?

Cominceremo con un tuffo nella storia, con la testimonianza video di **Leonard Kleinrock**, uno dei padri fondatori di Internet, raccolta durante la sua visita al Politecnico per celebrare i 50 anni della rete.

Preparati a scoprire che dietro ogni click c'è un universo di tecnologia affascinante che vale la pena conoscere.

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. Al termine del corso, gli studenti che avranno partecipato a tutti i webinar e completato tutti gli esercizi e le attività proposte dai docenti riceveranno un **attestato di partecipazione** e un **badge digitale**, utile da inserire nel proprio CV.

Altri docenti coinvolti

Ing. Alberto Ceresoli – Dottorando in Information Technology

Struttura del corso

Prologo

Il **29 ottobre 1969** venne stabilito il primo collegamento sulla rete che poi sarebbe diventata Internet, connettendo il dipartimento di *Computer Science* della University of California Los Angeles e lo *Stanford Research Institute*. Eppure la rete rimase per oltre vent'anni invisibile al grande pubblico, riservata ai ricercatori. Capire come si è giunti a quel risultato e cosa è cambiato da allora significa comprendere non solo l'evoluzione tecnologica, ma anche la trasformazione culturale che ne è seguita. La testimonianza del professor Leonard Kleinrock offre una prospettiva unica su questa storia. Kleinrock guidava il gruppo di ricerca che a UCLA inviò il primo pacchetto informativo in rete, ed è quindi uno dei protagonisti diretti di quella rivoluzione. La sua visita al Politecnico di Milano in occasione dei 50 anni dalla nascita di Internet ha permesso di raccogliere un racconto di prima mano che va oltre i fatti tecnici per catturare lo spirito dei pionieri. Collocare la nascita di Internet nel contesto storico degli anni Sessanta e Settanta è essenziale. La rete è figlia della guerra fredda e della **competizione per il predominio tecnologico**, un periodo segnato anche dalla corsa allo spazio e dalla conquista della Luna.

Lo spirito dei pionieri emerge come elemento centrale. Cosa li animava? Quali erano le loro intuizioni e speranze per questa nuova tecnologia? E soprattutto, cosa è cambiato nel modo in cui concepiamo la rete? Riflettere su queste domande significa interrogarsi sul percorso che ha portato Internet da strumento di ricerca a infrastruttura globale.

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

Il primo modulo introduce i concetti fondamentali delle **comunicazioni a distanza**, partendo dal principio della vecchia rete telefonica per arrivare alla **rappresentazione digitale dell'informazione**. L'elemento chiave è comprendere come l'informazione venga suddivisa in frammenti rappresentati da sequenze finite di bit, chiamati pacchetti, che possono essere trasferiti attraverso la rete. Il concetto di commutazione di pacchetto rappresenta il cuore del funzionamento di Internet. A differenza della rete telefonica tradizionale, la commutazione di pacchetto permette di utilizzare le stesse risorse in modo molto più efficiente, inviando frammenti di informazione che viaggiano indipendentemente verso la loro destinazione. Il modulo affronta anche gli aspetti quantitativi della trasmissione, identificando le **grandezze fisiche** che determinano i limiti nella velocità di trasmissione e il tempo necessario per trasferire dati. Questi concetti permettono di effettuare calcoli concreti sul trasferimento di informazione in rete.

Modulo 2 – I protocolli applicativi di Internet

Nel secondo modulo si passa dalla fisica della trasmissione dell'informazione fino al suo utilizzo concreto per creare **applicazioni** di uso comune come il web e la posta elettronica. Vengono introdotti i concetti fondamentali di **protocollo** e **servizio di comunicazione**, che regolano il modo in cui i diversi dispositivi interagiscono tra loro. Il modulo propone un approccio pratico attraverso strumenti comunemente usati da chi lavora con le reti, come **Wireshark** e i **tool per sviluppatori dei browser web**. Questi permettono di analizzare i pacchetti effettivamente scambiati in rete dal proprio computer, rendendo visibile ciò che normalmente rimane nascosto. È possibile identificare i diversi livelli protocollari e scoprire quali messaggi si scambiano client e server durante operazioni quotidiane: l'invio di una mail, il caricamento di una pagina web, lo streaming video o i giochi online. Le attività esplorative proposte trasformano concetti astratti in esperienze concrete e verificabili.

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

Nel terzo modulo si scopre che Internet, pur essendo un efficiente meccanismo di condivisione delle risorse per trasmettere informazione, impone inevitabilmente delle **limitazioni**. La rete funziona come una **rete stradale**: la larghezza della strada limita il numero massimo di veicoli e all'aumentare del traffico i tempi di percorrenza si allungano. È un'analogia semplice ma potente per comprendere le dinamiche della rete. All'interno dei sistemi operativi di ogni computer collegato si svolge un lavoro invisibile ma fondamentale: il servizio di trasporto di Internet regola la velocità di trasferimento dell'informazione in base alla capacità delle "autostrade digitali" e al traffico generato da tutti gli utenti che in quel momento le utilizzano. È un processo continuo e automatico che permette alla rete di funzionare senza collassare sotto il peso delle richieste. Il modulo introduce i principi di funzionamento del **TCP (Transmission Control Protocol)**, il protocollo che gestisce questa regolazione, e propone semplici modelli per calcolare quale velocità di trasferimento sia effettivamente sostenibile in rete. Comprendere questi meccanismi significa capire perché la nostra connessione a volte rallenta e come la rete si adatta dinamicamente alle condizioni di carico.

Modulo 4 – Come trovare la strada verso la destinazione

Nel quarto modulo si entra nel cuore del funzionamento della rete: come fanno i pacchetti di informazione a raggiungere la loro destinazione? Servono due elementi essenziali: un indirizzo che identifichi dove devono arrivare e indicazioni precise sul percorso da seguire ad ogni nodo di smistamento del traffico. Vengono introdotti gli **indirizzi di Internet** e il loro legame con l'architettura della rete. Si scopre poi come i **router**, i nodi che gestiscono il traffico, elaborino ad altissima velocità gli indirizzi dei pacchetti in arrivo e consultino tabelle per decidere su quale collegamento d'uscita inoltrarli. È un processo che avviene miliardi di volte al secondo, in modo invisibile ma essenziale. Infine viene analizzata la **compilazione delle tabelle di instradamento**, 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 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).