

Reti di Computer, primi passi

dispensa per alunni del quinto anno del liceo di scienze applicate

del Prof. G. Roveda

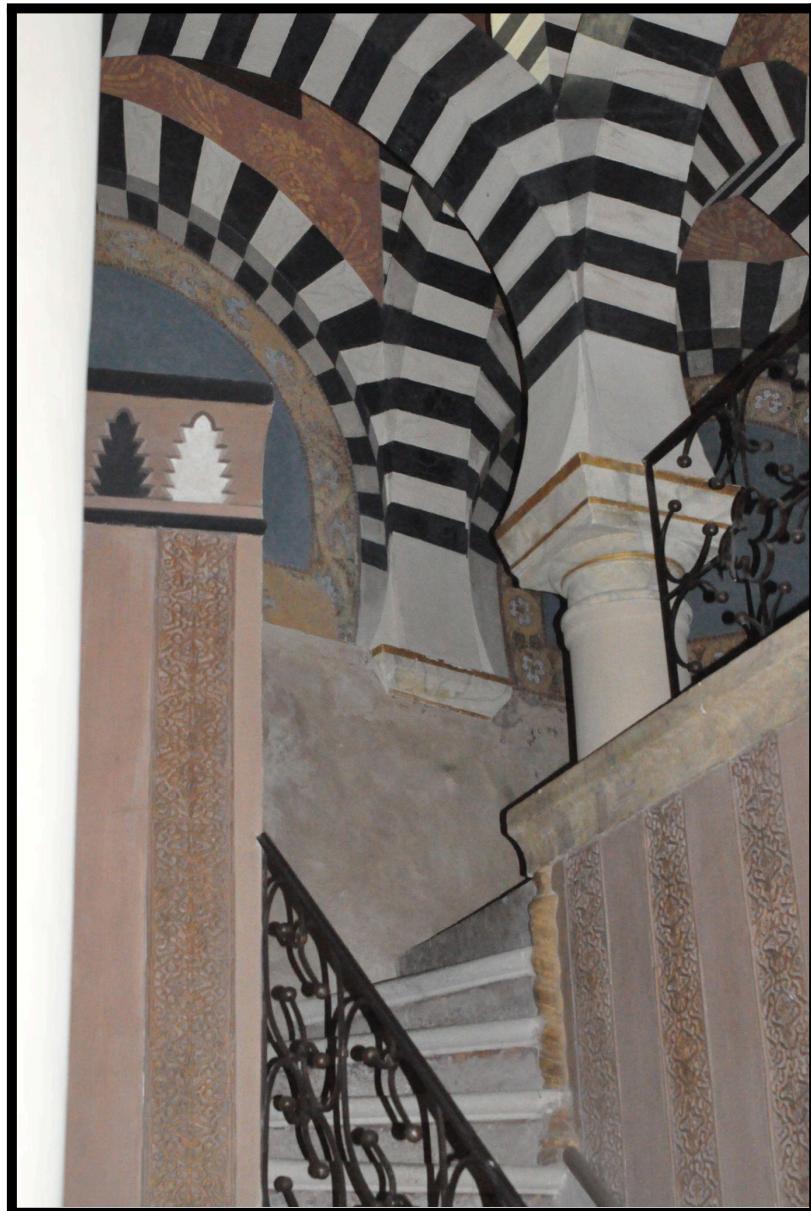


foto di G. Roveda

versione 1.0

Copyright (c) 2023 Gianluigi Roveda.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

GNU Free Documentation License

Version 1.3, 3 November 2008

Copyright (C) 2000, 2001, 2002, 2007, 2008 Free Software Foundation, Inc.
<<https://fsf.org/>>

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially.

Secondarily, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary

formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

The "publisher" means any person or entity that distributes copies of the Document to the public.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition.

Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material.

If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D. Preserve all the copyright notices of the Document.
- E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H. Include an unaltered copy of this License.
- I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- K. For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M. Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties--for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number.

Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit.

When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to copy, modify, sublicense, or distribute it is void, and will automatically terminate your rights under this License.

However, if you cease all violation of this License, then your license from a particular copyright holder is reinstated (a) provisionally, unless and until the copyright holder explicitly and finally terminates your license, and (b) permanently, if the copyright holder fails to notify you of the violation by some reasonable means prior to 60 days after the cessation.

Moreover, your license from a particular copyright holder is reinstated permanently if the copyright holder notifies you of the violation by some reasonable means, this is the first time you have received notice of violation of this License (for any work) from that copyright holder, and you cure the violation prior to 30 days after your receipt of the notice.

Termination of your rights under this section does not terminate the licenses of parties who have received copies or rights from you under this License. If your rights have been terminated and not permanently reinstated, receipt of a copy of some or all of the same material does not give you any rights to use it.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <https://www.gnu.org/licenses/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document specifies that a proxy can decide which future versions of this License can be used, that proxy's public statement of acceptance of a version permanently authorizes you to choose that version for the Document.

11. RELICENSING

"Massive Multiauthor Collaboration Site" (or "MMC Site") means any World Wide Web server that publishes copyrightable works and also provides prominent facilities for anybody to edit those works. A public wiki that anybody can edit is an example of such a server. A "Massive Multiauthor Collaboration" (or "MMC") contained in the site means any set of copyrightable works thus published on the MMC site.

"CC-BY-SA" means the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 license published by Creative Commons Corporation, a not-for-profit corporation with a principal place of business in San Francisco, California, as well as future copyleft versions of that license published by that same organization.

"Incorporate" means to publish or republish a Document, in whole or in part, as part of another Document.

An MMC is "eligible for relicensing" if it is licensed under this License, and if all works that were first published under this License somewhere other than this MMC, and subsequently incorporated in whole or in part into the MMC, (1) had no cover texts or invariant sections, and (2) were thus incorporated prior to November 1, 2008.

The operator of an MMC Site may republish an MMC contained in the site under CC-BY-SA on the same site at any time before August 1, 2009, provided the MMC is eligible for relicensing.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.

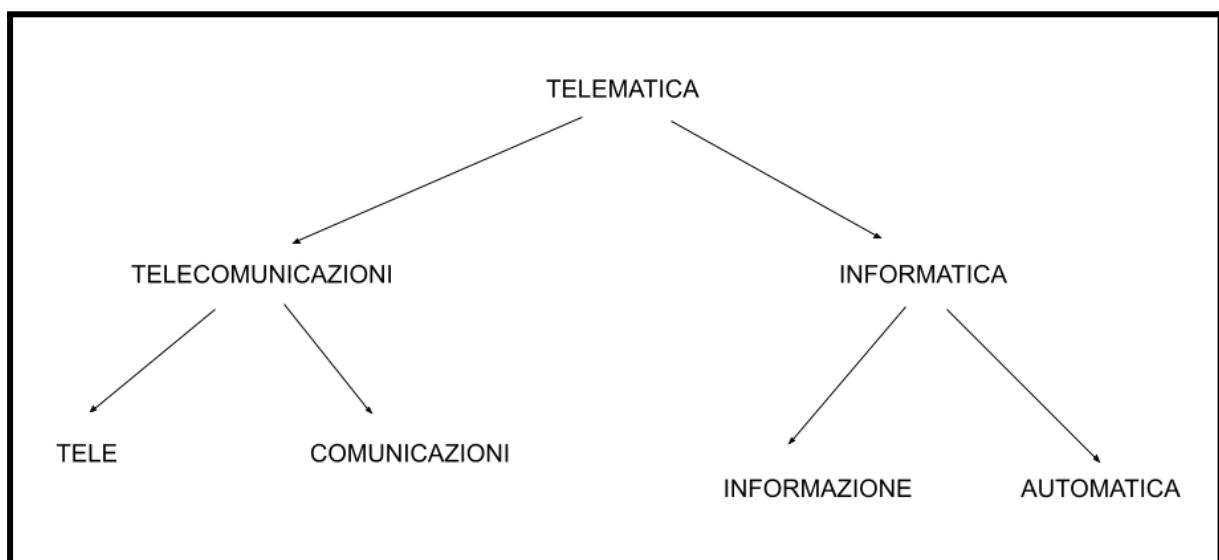
SOMMARIO

Primi elementi di telematica.....	9
Il modello di Shannon.....	9
Genesi delle Reti di Computer.....	11
Classificazione delle reti per topologia.....	13
Classificazione delle reti per estensione.....	15
Modelli di reti.....	16
Il modello ISO/OSI.....	17
Il modello TCP/IP in relazione al modello ISO/OSI.....	19
Il livello di rete.....	20
Il livello fisico.....	20
I canali di comunicazione.....	20
Cavo coassiale.....	20
Cavi UTP e STP.....	21
Fibra ottica.....	23
Onde radio.....	24
Dispositivi di rete.....	24
Schede di rete.....	24
Access Point.....	25
Ripetitore.....	25
Hub.....	25
Switch.....	25
Bridge.....	26
Router.....	26
Gateway.....	27
Segnale analogico e segnale digitale.....	27
Le tipologie di trasmissioni.....	27
Il livello di data link.....	28
IEEE 802.3 - Ethernet.....	28
IEEE 802.11 WLAN.....	29
IEEE 802.2 LLC.....	31
Il livello di internet.....	32
Indirizzi IP.....	32
Indirizzi IP v4.....	32
Indirizzi IP v6.....	35
Internet Datagram in IP v4 e IP v6.....	35
Commutazione di pacchetto.....	37
Il livello di trasporto.....	38
Il livello di applicazione.....	40
DHCP.....	40
DNS.....	41
I protocolli per l'email.....	42
FTP e SFTP.....	43

HTTP e HTTPS.....	44
Bibliografia.....	45
Sitografia.....	45

Primi elementi di telematica

Quando si parla di reti di computer, si parla di una disciplina denominata telematica. Questo termine deriva da due altri termini telecomunicazione e informatica. Non ci soffermeremo su cosa sia informatica, in quanto dovrebbe essere già cosa nota, ma soffermiamoci sul termine telecomunicazioni, prima di parlare della telematica.



Telecomunicazioni indica l'insieme delle tecnologie per la comunicazione a distanza, la parola infatti è composta dal prefisso di origine greca tele, lontano da, e dal termine di origine latina comunicazione.

Questa disciplina, nel suo senso più stretto la si può far risalire a personaggi come A. G. Bell (1847-1922), con l'invenzione del telefono, e G. Marconi (1874-1937), con l'invenzione del telegrafo senza fili. Se invece consideriamo le telecomunicazioni in senso più largo, la sua origine si perde nella notte dei tempi, quando per la prima volta qualcuno mando un segnale di fumo o legò un bigliettino con su scritto un messaggio alla zampa di un piccione viaggiatore.

Una volta compreso il campo delle telecomunicazioni dovrebbe essere chiaro che la telematica si occupa di un suo sottocampo inherente la comunicazione tra dispositivi informatici, principalmente i computer. Quindi la telematica si occupa di reti di computer.

Il modello di Shannon

Dovremmo avere capito che l'origine delle telecomunicazioni in senso stretto è a cavallo del 1900, ma la nascita di una teoria formale su questo campo l'abbiamo con il matematico C. Shannon (1916-2001) con la pubblicazione del suo articolo "A Mathematical Theory of Communication" nel 1948.

Shannon ci dona un modello di comunicazione che ben si adatta a comunicazioni tra entità naturali, come gli esseri umani, e tra entità artificiali, come i computer.

Shannon identifica i principali elementi di ogni comunicazione: un mittente, il messaggio, un destinatario, un codificatore, un decodificatore e un canale di comunicazione.

Il mittente è la fonte dell'informazione, l'entità che necessita di inviare al destinatario un messaggio. L'informazione che compone il messaggio deve essere codificata in una forma adatta a essere trasmessa e gestita dal codificatore attraverso un canale di comunicazione e una volta giunto a destinazione dovrà essere reso comprensibile da un decodificatore prima di giungere al destinatario del messaggio.



Ad esempio tra esseri umani il mittente deve comunicare il luogo di un appuntamento, nel nostro cervello codifichiamo il messaggio in un linguaggio e successivamente, in modo inconsapevole in una sequenza di fonemi (i suoni associati alle lettere delle parole). I fonemi vengono inviati attraverso le corde vocali attraverso il canale di comunicazione dato dall'area che vibra. Le vibrazioni giungono all'orecchio del destinatario che decodifica le vibrazioni in fonemi e gli insiemi di fonemi in parole.

La teorizzazione della comunicazione di Shannon comprende anche la questione del rumore di fondo. Lungo un canale di comunicazione si può avere un rumore di fondo che interferisce con la comunicazione. Un esempio lo possiamo avere con una comunicazione elettrica lungo un cavo di rame in presenza di campi elettromagnetici. L'elettromagnetismo ci insegna che un campo elettromagnetico lungo un cavo può indurre una corrente elettrica indotta, tale corrente elettrica si sovrappone a un eventuale messaggio codificato in impulsi elettrici che passa lungo il cavo. In questo caso la corrente elettrica è il rumore.

Un altro esempio lo possiamo avere durante una lezione in cui la classe, poco rispettosa del lavoro del suo docente, chiacchiera incessantemente generando un rumore di fondo che interferisce nell'ascolto di quanto detto.

Un concetto fino adesso sottinteso è quello del protocollo: *un protocollo è un insieme di regole formali stabilite con il proposito di realizzare la comunicazione tra due entità o più. Da esso viene definita come è codificata l'informazione (formato dei messaggi) e le azioni di gestione della trasmissione e ricezione (tra cui anche come comportarsi in caso di errore di un trasmissione).*

Il concetto di protocollo sottende quello di:

- una sintassi¹ con cui sono espresse le informazioni e una loro semantica² e quindi un linguaggio in cui sono espresse le informazioni;
- modalità di sincronizzazione tra mittente e destinatario;

¹ Sintassi: l'insieme di regole formali per la scrittura di programmi in un linguaggio, che dettano le modalità per costruire frasi corrette nel linguaggio stesso (Prof. Bertini, Università di Firenze);

² Semantica: l'insieme dei significati da attribuire alle frasi (sintatticamente corrette) costruite nel linguaggio (Prof. Bertini, Università di Firenze);

Cosa si intende per sincronizzazione in una comunicazione ? Facciamo nuovamente riferimento alla situazione che meglio conosciamo, quella delle comunicazioni umane. Se devo chiedere qualcosa a un mio alunno di nome Gigetto (nome di fantasia) dovrò iniziare la conversazione con un'espressione come "Buongiorno Gigetto, ascoltami ..." o qualcosa del genere. Ho iniziato un processo di sincronizzazione della comunicazione con "Gigetto". Gigetto dovrà darmi un segnale per farmi capire di aver compreso la mia richiesta dicendo qualcosa del genere: "certo Professore, mi dica pure".

La conversazione tra entità di qualsiasi tipo prevede una serie di messaggi come quelli per dare il via alla comunicazione, per far sapere che le informazioni sono giunte correttamente e per terminarla.

Vi deve essere anche un responso dell'avvenuta trasmissione corretta dell'informazione da parte del destinatario, aldilà della natura del mittente, del destinatario e del canale vi possono capitare diverse tipologie di inconvenienti durante la comunicazione come la perdita di parte del messaggio o la presenza di interferenze sulla comunicazione che corrompono il messaggio (lo modificano).

Quanto detto fino ad ora ci porta ad un'ultima considerazione, le comunicazioni avvengono su due differenti livelli, uno logico e uno fisico. Quello fisico è quello più immediato da comprendere: tra esseri umani comunichiamo principalmente con la voce usando le corde vocali e le orecchie (e quanto ad esse collegato per sentire le vibrazioni nell'aria), tra computer potremmo usare schede di rete collegati da cavi ethernet dove i segnali sono elettrici.

Ma vi è un altro livello che vede la comunicazione in forma astratta, slegata dai sistemi fisici per attuarla, dove si parla del linguaggio dei protocolli di comunicazione, il livello logico.

In realtà scopriremo che i modelli di rete prevedono più di un livello logico andando avanti in questo nostro discorso.

Genesi delle Reti di Computer

Nel dopoguerra nascono i primi computer, sono dispositivi imponenti che occupano intere stanze. Si tratta di dispositivi dai costi enormi sia per gli ambienti che richiedono, un solo computer richiede l'utilizzo di una intera stanza, sia per loro stessi a causa del costo di produzione e di quello di manutenzione. Vediamo qui di seguito una foto del computer statunitense Whirlwind del 1951.



Le informazioni in input/output in quegli anni hanno come principali supporti le schede perforate, bobine magnetiche e tabulati.

Aziende e istituzioni raramente possono permettersi di acquistare più di un computer se non addirittura si trovano costrette a acquistarne uno in collaborazione come nel caso del CINECA di Casalecchio di Reno, nato alla fine degli anni 60 con lo scopo di fornire servizi di calcolo per le università italiane del nord-est (oggigiorno il consorzio ha esteso sia gli scopi che l'area geografica d'interesse).

Se un ente con più sedi deve trasportare informazioni alla o dalla sede del suo computer, questa operazione comporta uno spostamento materiale di volumi di carta, questo ha un costo economico, ma anche in termini di efficienza.

Sulla spinta di tali problemi, negli anni 60, nascono le prime reti informatiche, nascono le reti centralizzate, dove varie sedi differenti da quelle del computer centrale, un mainframe, sono collegate tramite cavi. Nelle sedi differenti troviamo solo una tastiera e un monitor, si tratta di un terminale "stupido", incapaci di svolgere una qualsiasi forma di elaborazione dati in modo autonomo.

In tale situazione tutte le risorse di calcolo e memoria sono poste in un luogo unico, sono centralizzate.

Si tratta comunque di una soluzione costosa: ogni terminale è connesso da un suo cavo, lungo chilometri, al mainframe.

Nel tempo si giungerà, con l'avvento di computer sempre più piccoli ed economici, al concetto di rete distribuita, dove le risorse di calcolo e memoria (e anche di altro genere ad esempio stampanti) potranno essere sparse nei vari nodi della rete informatica e anche condivisi. Ad esempio il progetto seti@home permette di collaborare al progetto SETI a chiunque sia connesso alla rete Internet installando sul proprio computer un programma che effettua dei calcoli su dati astronomici e ne restituisce i risultati. Il programma sfrutta il potere di calcolo del computer su cui è installato quando questo non è utilizzato dal suo proprietario. Il compito dei singoli computer è solo una piccola porzione di un compito più grande diviso da un server tra tutti coloro che aderiscono al progetto. Vi è una vera e propria distribuzione delle attività per raggiungere uno scopo comune.

Classificazione delle reti per topologia

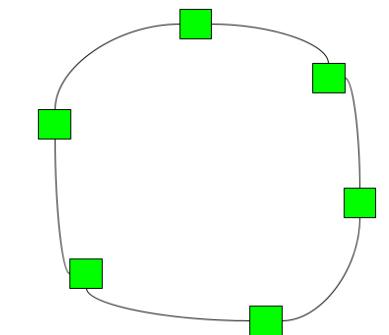
Vi sono principalmente due modi di classificare le reti: per topologia e per estensione. Qui vedremo quello per topologia³.

In questa classificazione abbiamo:

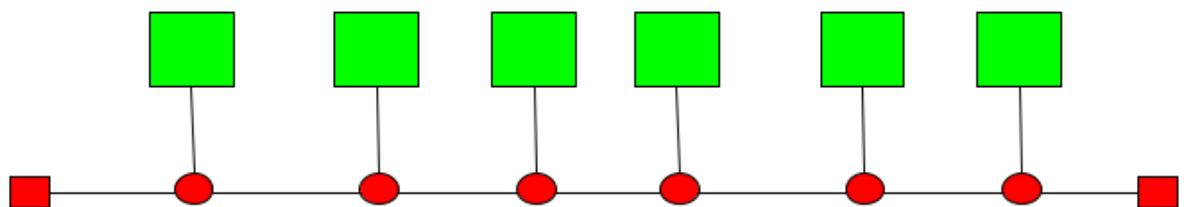
- 1) reti lineari



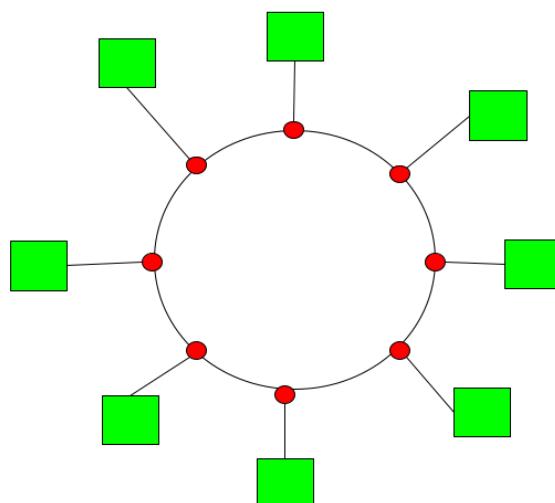
- 2) ad anello



- 3) a bus lineare

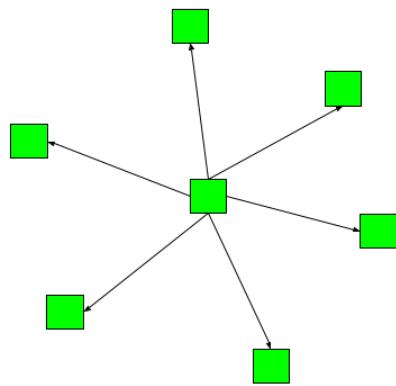


- 4) a bus ad anello

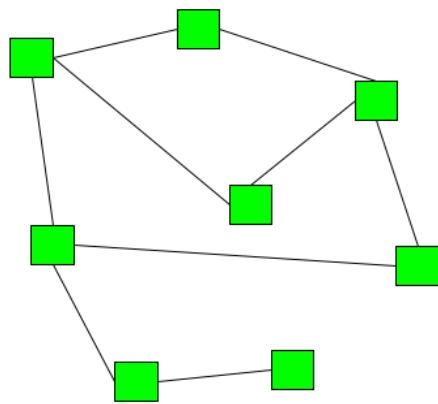


- 5) a stella

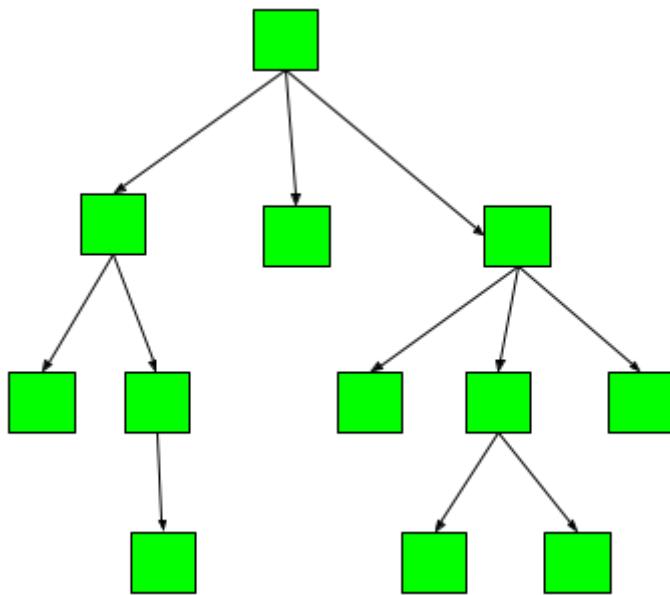
³ Lo studio delle proprietà geometriche delle figure che non dipendono dalla nozione di misura, ma sono legate a problemi di deformazione delle figure stesse (dall'enciclopedia Treccani).



6) a maglia



7) gerarchiche



Queste reti prevedono il collegamento tramite canali di comunicazione (rappresentati negli schemi da linee) di nodi (rappresentati da quadratini verdi). I nodi sono dispositivi elettronici computer, router e switch e le linee, nella maggior parte dei casi sono cavi (come quelli di fibra ottica o i doppini).

Le reti lineari e ad anello prevedono un collegamento diretto del canale di comunicazione tra i nodi a coppie. Ogni nodo funge anche da ripetitore di segnale. La differenza tra le due tipologie stà nel fatto che in un anello il primo elemento viene connesso all'ultimo. L'effetto è che le reti lineari assumono una forma di un segmento di retta su cui si distribuiscono i nodi, due dei quali sono agli estremi, mentre nel caso delle reti ad anello si ha una forma circolare.

Le informazioni partono da un nodo verso ad un altro, se quest'ultimo è la destinazione l'informazione viene presa in consegna dal nodo, altrimenti viene replicata nel segmento di cavo successivo.

Le due topologie a bus prevedono un'unica linea di comunicazione su cui passa la trasmissione. Una trasmissione non è più necessario sia letta da tutti i nodi intermedi tra il nodo mittente e quello destinatario, la trasmissione non passa più attraverso tutti i nodi tra mittente e destinatario. La trasmissione passa attraverso i nodi i punti di svincolo (rappresentati nello schema dal quadrato rosso) come il connettore a T nella seguente figura:



così che il segnale segua sia attraverso il canale sia verso i singoli nodi e solo i nodi interessati leggono il segnale.

La differenza tra i due tipi di reti a bus è che il lineare a inizio e fine con un dispositivo detto terminatore mentre le reti a bus ad anello il punto di inizio e fine sono collegati tra loro.

Nelle reti a stella tutti i nodi sono collegati allo stesso nodo centrale che ha il compito di accettare tutte le trasmissioni e ritrasmetterle in modo che sia ricevuto dal destinatario (a tale categoria di nodi si possono associare dispositivi come gli hub, gli switch e i router).

Nelle reti a maglia i collegamenti sono diretti tra i nodi ma non vi è un limite al numero di canali di comunicazione che partono da un nodo. Quindi un nodo è collegato a uno o più altri nodi. Le reti a maglia sono la più frequente delle topologie utilizzate tra dei dispositivi di rete detti router, di cui parleremo successivamente.

Le reti gerarchiche prevedono che i nodi siano divisi in livelli ogni nodo è collegato a un solo nodo di livello superiore e può essere collegato a molti altri di livello inferiore. Nel livello più alto vi è un solo nodo. La struttura di tale rete è la classica struttura ad albero.

Classificazione delle reti per estensione

Un'altra classificazione adottata per le reti è per estensione. Per anni le classi sono state immutate senza variazioni ma negli ultimi due decenni vi sono delle proposte nuove. Vediamo in cosa consiste questa classificazione vedendo le singole classi, dalla meno estesa alla più estesa:

PAN (Personal Area Network): sono reti ad uso di un singolo utente basate principalmente su tecnologie ad onde radio come bluetooth e wireless e hanno come nodi dispositivi come smartphone, notebook, smartwatch e tablet. Sono di origine relativamente recente, il termine è stato coniato solo da un paio di decenni. Le topologie di reti più presenti in questi casi sono a stella e a maglia;

LAN (Local Area Network o in italiano reti locali): sono reti di piccole dimensioni, anche se superiori alle PAN. Coprono un'area che va da quella di una stanza a quella di un edificio. Esempi di reti locali le possiamo avere in alcune scuole e in molte aziende. Le topologie di reti in caso di dimensioni pari ad una stanza originariamente erano a bus e a stella. Oggigiorno sono quasi unicamente a stella e gerarchici;

MAN (Metropolitan Area Network in italiano reti metropolitane): Sono reti delle dimensioni di una città o di un campus universitario. Sono nate negli anni uniti sfruttando inizialmente la banda non utilizzata dei cavi della rete della televisione via cavo. Attualmente sono presenti prevalentemente come reti wireless. Oggigiorno si tratta di un insieme di reti LAN collegate tra loro in vari modi presentando quindi una certa varietà topologica e tecnologica. Nei casi dei campus universitari negli ultimi anni assistiamo all'utilizzo di un termine a se stante, CAN (Campus Area Network);

WAN (Wide Area Network o in italiano reti geografiche): Sono reti che si estendono su territori che vanno da quelle di una nazione a quelle di un continente. Esempio italiano è la rete GARR. Sono reti che connettono reti locali, metropolitane e CAN.

Inoltre con il termine internet con la i minuscola si intende l'interconnessione di reti geografiche, MAN e CAN, mentre con Internet, con la I maiuscola, si intende una internet specifica che usa un determinato insieme di protocolli di comunicazione.

Modelli di reti

Nel 1977 ISO, International Organization for Standardization, si pone l'obiettivo di realizzare uno standard per i protocolli di rete condiviso tra chi gestiva le reti presenti al tempo, enti come la DARPA (il dipartimento di ricerca della difesa americana) con ARPANET, da cui avrà origine INTERNET, o IBM con la sua rete SNA.

Viene progettato un protocollo a livelli diversi denominato OSI (Open Systems Interconnection), dove ogni livello ha lo scopo di risolvere problematiche diverse, che permettono di risolvere problematiche ulteriori nei livelli superiori. Il progetto è estremamente evoluto e complesso, ma non verrà mai realizzato proprio a causa della sua complessità.

L'idea di protocollo a livelli prevede quindi che il livello N comunichi solo con il livello inferiore N-1 e con quello superiore N+1. Il livello superiore manda dei dati, detti pacchetti, a quello inferiore dopo averli manipolati. Questi dati manipolati sono detti PDU (Protocol Data Unit).

I PDU sono costituiti da due parti, i dati veri e propri (SDU, Service Data Unit) e una intestazione (PCI, Protocol Control Information).

$$\boxed{\text{PDU} = \text{PCI} + \text{SDU}}$$

Gli SDU sono i dati provenienti dal livello superiori a cui sono stati applicate operazioni come “traduzione” in codifiche diverse da quelle originarie o di crittografia. I PCI contengono informazioni come l’identità del destinatario e del mittente o dati aggiuntivi per comprendere se l’informazione è avvenuta correttamente.

Oltre a lavorare sull’informazione, ai livelli sono associate delle attività, SERVIZI, che riguardano i PDU.

Se OSI non vedrà mai una sua implementazione, in compenso, verrà realizzato un modello più semplice a partire dal 1984, il modello TCP/IP, protocollo standard de facto delle comunicazioni su Internet. Il modello ISO/OSI rimarrà un modello teorico, da studiare per comprendere le problematiche da risolvere con un protocollo di rete.

Nel paragrafo successivo daremo una panoramica del modello ISO/OSI e TCP/IP mettendoli a confronto. Nei successivi paragrafi approfondiremo i vari livelli del protocollo TCP/IP.

Il modello ISO/OSI

Il modello OSI è costituito da 7 livelli, il più basso è il fisico e il più alto è quello applicativo.



Ogni livello ha una o più funzionalità, vediamo di dare una descrizione sommaria di ciò livello per livello:

- livello fisico: a tale livello vengono stabiliti gli elementi fisici, i canali (come i cavi UTP e la fibra ottica), come i dispositivi di smistamento (come switch e hub) dell’informazione e di interconnessione della rete (come i bridge) che costituiscono la rete e l’interfaccia fisica tra i dispositivi (come il connettore RJ45 per i cavi UTP). Qui viene stabilita la natura del segnale (come ad esempio la luce, segnale elettrico o onde radio), ovviamente ciò è in relazione al tipo di canale, e la sua frequenza

(quante unità di informazione posso inviare in una unità di tempo), le modalità di sincronizzazione tra mittente e destinatario di un segnale, la classe topologica della rete, le modalità di comunicazione lungo un canale (simplex, half duplex, full duplex), la rappresentazione dei bit come segnali (non sempre è conveniente che 0 sia un segnale alto e 1 un segnale basso, a volte da maggiore sicurezza che 1 e 0 siano una sequenza di segnali più complessa;

- livello data link: Questo livello funge da interfaccia con i livelli superiori che sono logici e quello inferiore, prettamente fisico. Viene diviso in due sottolivelli:

- LLC (Logical Link Control): che si interfaccia con il livello superiore, di rete;
- MAC (Media Access Control): che si interfaccia con il livello fisico;

Il data link divide la trasmissione del livello di Network e la divide in frame (i PDU del livello) e vi aggiunge informazioni relative al mittente e al destinatario, controlla il flusso di dati, adotta strategie per permettere l'accesso a più richiedenti al canale di comunicazione (affrontando problemi come quello della collisione delle trasmissioni) e gestisce gli errori di trasmissione per garantire l'affidabilità del livello fisico;

- livello di rete: a questo livello deve essere gestito l'invio attraverso reti diversi della trasmissione, quindi vi è la gestione del percorso dei dati attraverso eventuali nodi intermedi di passaggio. Se la comunicazione prevedesse al limite un punto di smistamento, come nel caso delle reti a stella, basterebbe il livello di data link, ma qui si considerano situazioni più complesse;

Il livello di network riceve la trasmissione dal livello di trasporto e la divide in packet (i PDU del livello), gestisce l'identificazione dei nodi della rete tramite un sistema d'indirizzamento logico, determina il percorso che deve effettuare ogni singolo packet attraverso la rete;

- livello di trasporto: a questo livello ci si pone il problema di fare in modo che i livelli superiori non si debbano porre il problema che i loro messaggi siano divisi in parti e che vi siano passaggi intermedi tra il mittente e il destinatario finale (ovvero deve realizzare una comunicazione end to end). Inoltre dovrà ricomporre i packet del livello di rete in un unico messaggio ordinato corretto. Si tenga conto, ad esempio, che l'invio attraverso una rete di pacchetti non garantisce il loro arrivo nell'ordine di invio in quanto potrebbero insorgere diversi fattori come il fatto che i packet appartenenti ad uno stesso messaggio potrebbero seguire differenti percorsi. Se non è di competenza il problema di instradare la trasmissione attraverso i nodi della rete, lo è quello di instradare il messaggio al giusto processo attivo nel nodo destinatario (come un client di posta elettronica, uno spooler di stampa o un videogame multiplayer). Il livello di trasporto divide i messaggi del livello di sessione in segmenti (PDU del livello) associando ad ogni segmento un identificatore univoco per lo stesso messaggio, tale identificatore permetterà la sua ricomposizione, una volta giunto a destinazione. Anche a questo livello, come già avviene a livello di data link, vengono effettuati dei controlli per rilevare eventuali errori di trasmissione e viene prevista la possibilità di effettuare richieste di ritrasmissione del messaggio intero o di sue parti;

- livello di sessione: In questo livello viene gestita la comunicazione end-to-end nei principalmente nei suoi aspetti di sincronizzazione (aperture, chiusura, ritrasmissione, ecc). La comunicazione viene organizzata in unità logiche dette sessioni. Ogni sessione può prevedere la comunicazione nei due sensi (da mittente a destinatario e da destinatario a mittente). Nelle sessioni sono previste l'inserimento

- di punti di controllo ove il sistema deve verificare che il messaggio sia arrivato completo e corretto e eventualmente richiedere la ritrasmissione;
- livello di presentazione: caratterizzante di questo livello è il controllo della correttezza sintattica⁴ e semantica⁵ del messaggio da trasmettere. Le principali funzioni attribuite a questo livello sono la traduzione del formato dati usati dal mittente in un formato comune (nel mittente) e viceversa (nel destinatario), la criptazione dei messaggi quando richiesto e la compressione dei dati in caso di trasmissione di un quantitativo importante di dati;
 - livello applicativo: la funzione principale è interfacciare la rete con gli utenti e gli applicativi. Esempi di servizi a questo livello sono la posta elettronica, il file transfert, il terminale remoto e il www. Numerosi sono i protocolli di comunicazione standardizzati a questo livello per i differenti servizi (come POP, SMTP, HTTP e FTP);

Il modello TCP/IP in relazione al modello ISO/OSI

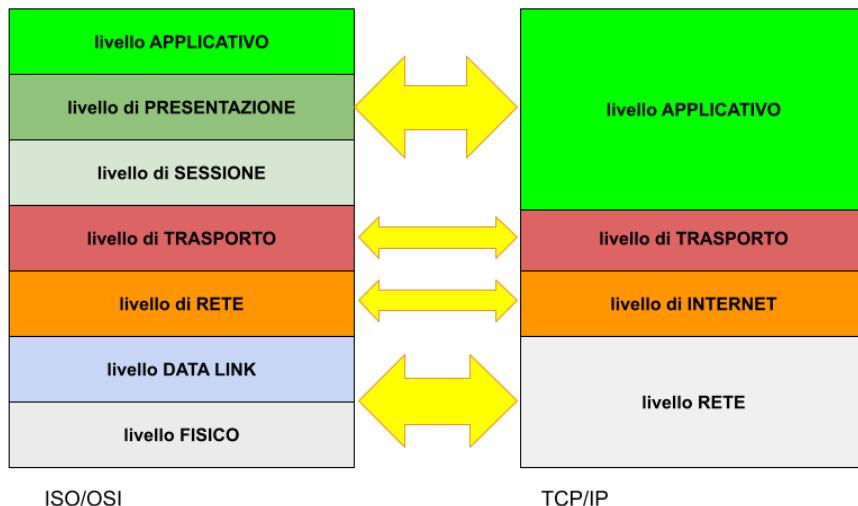
Mentre il modello OSI rimarrà solo teorico, il modello TCP/IP nascerà e si evolverà venendo realizzato in tempi rapidi. Anche quando, nel paragrafo precedente, abbiamo alluso ad esempi concreti, in realtà abbiamo parlato quasi sempre di quanto previsto nel TCP/IP. D'altro canto è possibile creare una corrispondenza tra i livelli del TCP/IP e OSI quasi perfetta. In questo paragrafo si discuterà proprio di questa corrispondenza. Nei paragrafi successivi, invece, approfondiremo quanto prevede ogni livello dei protocolli del TCP/IP.

⁴ sintassi (traduzione da FOLDOC, Free On Line Dictionary Of Computing): la struttura dei termini validi in un dato linguaggio come descritto da una grammatica. Per esempio, la sintassi di un numero binario potrebbe essere espressa come:

```
numero_binario=cifra[ numero_binario ]
cifra = "0" | "1"
```

ciò significa che un numero binario è una cifra che può essere seguita da un numero binario e le cifre in gioco sono 0 o 1.

⁵semantica (traduzione da FOLDOC, Free On Line Dictionary Of Computing): Il significato di una stringa in un qualche linguaggio, al contrario della sintassi che descrive come i simboli possono essere combinati indipendentemente dal loro significato.



Il modello TCP/IP indica quattro livelli: livello di rete, livello internet, livello di trasporto e livello applicazioni. I soli livelli che hanno una buona corrispondenza con quelli dell'ISO/OSI sono quello di rete dell'iso/osi con quello di internet del TCP/IP e quelli di trasporto dei due modelli. Per gli altri livelli bisogna fare alcune considerazioni.

Nel TCP/IP il livello di rete non ha alcuna specifica al di fuori di quelle necessarie per interfacciarsi correttamente con il livello superiore (quello di INTERNET). Effettivamente il livello di rete di TCP/IP, corrispondente al livello fisico e di data link dell'iso/osi, sono totalmente dipendenti dalle evoluzioni tecnologiche, quindi da parte di un protocollo a livelli con forte orientamento alla problematica di essere attuato in tempi brevi, non aveva alcun senso avere specifiche ulteriori.

Vi è una situazione simile inerente il livello di sezione e presentazione dell'ISO/OSI per quanto riguarda la corrispondenza con il TCP/IP. Le funzionalità previste in questi livelli non sono considerate nei livelli del TCP/IP, sono lasciate agli sviluppatori degli applicativi. Quindi sono considerati, in tal senso, parte del livello applicativo del TCP/IP.

Nei prossimi paragrafi analizzeremo le tecnologie più diffuse attualmente inerenti il livello fisico, gli standard inerenti il livello di data link della IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), il livello di internet del TCP/IP, il livello di trasporto trattando i due protocolli previsti dal TCP/IP (TCP e UDP) e il livello applicativo del TCP/IP.

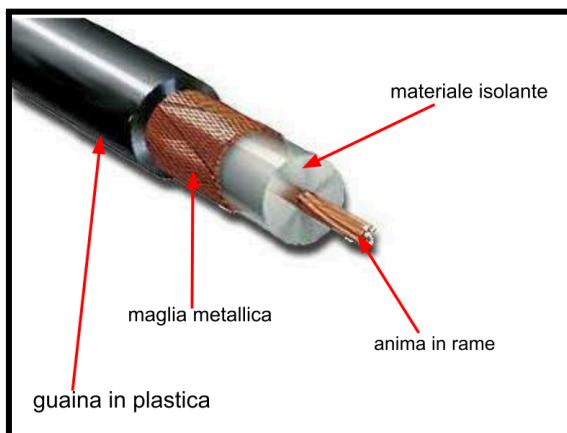
Il livello di rete

Il livello fisico

I canali di comunicazione

Cavo coassiale

I cavi coassiali sono una famiglia di cavi costituiti da un'anima in rame, su cui passa il segnale elettrico, avvolti in più strati protettivi da interferenze e elementi fisici come acqua e urti. Nello specifico l'anima è avvolta da materiale isolante che a sua volta è avvolto da una maglia metallica intrecciata fittamente. Il tutto è protetto da una guaina in plastica.



Questi cavi sono attualmente ancora in uso dagli antenisti per collegare le televisioni alle antenne, ma un tempo, in una versione apposita erano usate per le reti locali con topologia a bus. I cavi utilizzavano come connettori a schede di rete o per i terminatori la tecnologia BNC.



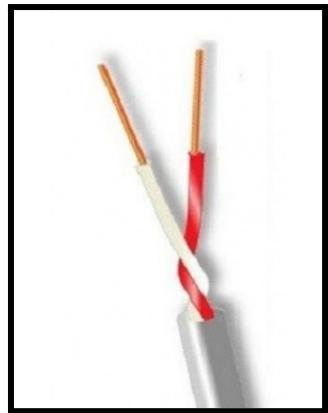
Attraverso tale mezzo la velocità di trasmissione poteva raggiungere i 10 Mbps. (10.000.000 bit per ogni secondo).

Attualmente non sono più convenienti nella realizzazione di reti locali.

Cavi UTP e STP

I cavi UTP e STP sono attualmente usati per realizzare reti locali. Come il cavo coassiale, prevedono l'utilizzo di trasmissioni di segnali elettrici. La topologia a cui fare riferimento è quella a stella. I cavi permettono un collegamento diretto a un centro di smistamento della trasmissione.

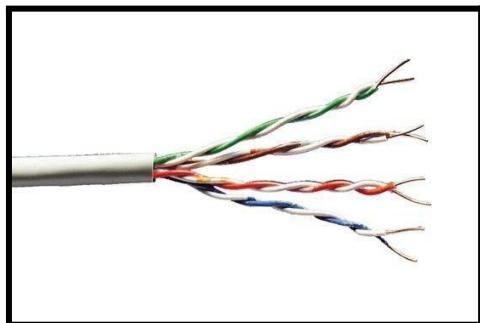
La tecnologia usata si basa su quella del doppino telefonico (i cavi che collegano i telefoni alla linea telefonica) che presenta una coppia di cavi di rame in una guaina isolante attorcigliati tra loro. La coppia di cavi è avvolta da una guaina in plastica.



doppino

I cavi vengono attorcigliati gli uni con gli altri per far sì che i campi magnetici dovuti al passaggio di corrente sui due cavi si annullino a vicenda. Annullandosi si evita l'effetto della corrente indotta da un cavo sull'altro. Il sistema è buono ma non perfetto.

I cavi UTP (Unshielded Twisted Pair) presentano 4 coppie di cavi intrecciate e non solo una come nel doppino.



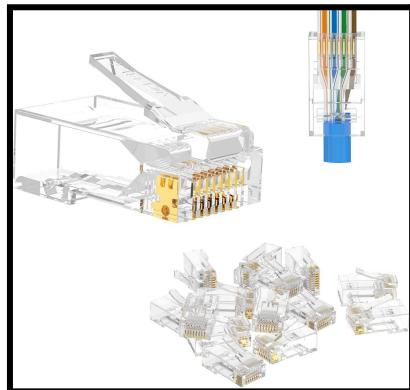
utp

I cavi STP differiscono dagli UTP per la schermatura delle singole coppie tramite fogli di materiale conduttivo.



stp

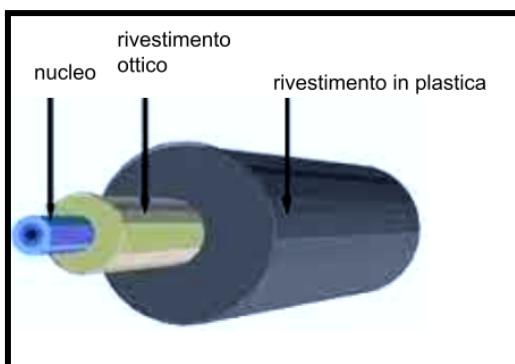
I cavi UTP e STP usano connettori RJ45 per la connessione a schede di reti o dispositivi di smistamento (switch o hub). Presentano 8 pin di trasmissione dati, i dati che vengono dalle 4 coppie di cavi dell'UTP.



connettore RJ45

Fibra ottica

I cavi in fibra ottica, come dice il nome, prevedono l'utilizzo della luce per i segnali che costituiscono la trasmissione dati.

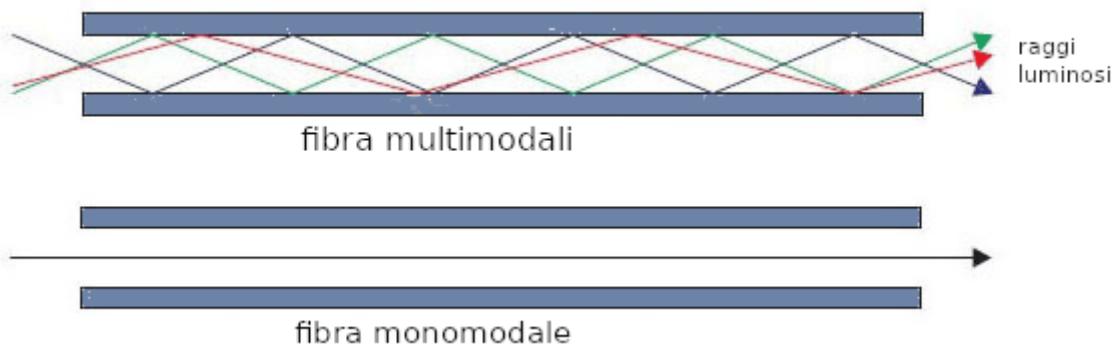


struttura fibra ottica

La struttura di una fibra ottica prevede, in genere un nucleo di vetro avvolto da un secondo strato sempre in vetro, detto cladding, con un indice di rifrazione differente. Il tutto avvolto da una guaina protettiva di plastica.

La fonte del segnale può essere un led o un emettitore di laser.

Vi sono due grandi categorie di fibre, le monomodali e le multimodali. Nelle monomodali la luce si propaga nella direzione del cavo. Nei multimodali diversi raggi luminosi si propagano "rimbalzando" da un lato all'altro del nucleo del cavo con angoli di riflessioni diversi. Ogni raggio è inerente a una differente trasmissione.



Onde radio

Negli ultimi decenni si sono diffuse le trasmissioni radio di segnali digitali realizzando reti locali senza fili. Tali reti sfruttano sia la rete cellulare sia reti nate appositamente per la trasmissione prettamente digitale, dette WIFI, per reti locali.

Le reti wifi sono reti centralizzate al cui centro trovano posto apparecchi di smistamento della comunicazione.

Le frequenze di comunicazione previste sono, per il WIFI, tra 1 e 6 GHz, mentre per le reti cellulari tra 900 e 2600 MHz.

Dispositivi di rete

Schede di rete

Le Network Interface Card, in breve NIC, sono quelle che conosciamo con il termine più comune di scheda di rete. Sono componenti hardware ormai prettamente interne che permettono la connessione dei computer con una rete o via cavo o via onde radio (bluetooth o wireless). Spesso le schede di rete sono integrate nella scheda madre del dispositivo mentre un tempo erano presenti come schede di espansione.



scheda di rete come scheda di espansione

Ogni scheda di rete a un suo identificatore univoco detto MAC address.

Un notebook dotato di porta di rete e possibilità di connettersi via wireless e bluetooth avrà tre MAC address differenti in quanto ognuna delle tre modalità di trasmissione comporta la presenza di una differente scheda di rete.

Access Point

Gli access point sono ormai rari come dispositivi a se stanti, spesso sono integrati con i router. La loro funzione è quella di permettere a dispositivi che usano trasmissioni radio di accedere a una rete.



access point

Ripetitore

I segnali, che siano elettrici, onde radio e ottici (luce), nel propagarsi perdono di intensità. Questo comporta la necessità, in caso di canali troppo lunghi, di intensificare periodicamente il segnale. Questa funzione viene assolta da apparecchi chiamati ripetitori.

Hub

Gli hub possono essere visti come dei ripetitori, in quanto rigenerano il segnale, con più linee di uscita, ma la loro funzione principale è smistare i messaggi. Il loro funzionamento è estremamente semplice, i messaggi in ingresso vengono mandati su tutte i cavi collegati, fatta eccezione per quello da dove è arrivata la trasmissione. I dispositivi che ricevono la trasmissione devono scartare le trasmissioni a loro indirizzate e scartare le altre.

Questo dispositivo è chiaramente poco adatto in reti molto estese e si adatta a piccole LAN. Questi apparecchi avevano senso sino a circa 20 anni fa, quando la differenza di costo tra loro e gli switch era rilevante.

Switch

Gli switch sono veri dispositivi di smistamento, vengono utilizzati in reti locali. Quando uno switch riceve una trasmissione identifica il destinatario e ritrasmette la trasmissione solo lungo il canale a cui è collegato il destinatario.

Si tratta di un apparecchio che coinvolge pienamente il primo livello TCP/IP leggendo negli SDU del livello di Data Link l'indirizzo MAC del destinatario.



switch

Bridge

Un bridge di rete è un dispositivo che connette due reti LAN con la medesima architettura tra di loro. Si tratta di un dispositivo che lavora, come lo switch, sia a livello fisico sia a livello di datalink.



bridge

Il bridge evita che le trasmissioni che sono interne a una delle due reti connesse si propaghino nell'altra, contrariamente a quanto farebbe un ripetitore o un hub.

Router

I router di rete sono dispositivi di smistamento informazione più sofisticati che tratteremo, sono i primi apparecchi che affrontano problematiche fino al livello internet del modello TCP/IP. Si tratta di un vero e proprio computer dotato di un suo sistema operativo con scopo specifico di instradare una trasmissione attraverso i nodi della rete. Instradare vuol dire non solo decidere per ogni pacchetto che compone la trasmissione quale linea di uscita utilizzare preoccupandosi quindi del solo nodo successivo da fargli raggiungere, ma doversi preoccupare dell'intero percorso considerando le alternative tenendo conto delle informazioni raccolte sull'attuale traffico di rete. Presentano di norma tre tipologie di porte: quelle per la connessione ai nodi di una LAN (computer, stampanti di rete, ecc) come quelle ethernet, quelle per la connessione alle reti geografiche che possono essere seriali o ISDN e una porta AUX per la configurazione del dispositivo.



router

Gli apparecchi router presenti nelle abitazioni dei privati di norma integrano le funzionalità dei router con quelle dei modem adsl o vdsl, dispositivo che permette di superare l'ultimo tratto che separa dalla rete Internet attraverso la rete telefonica. Tale tratto negli anni si è sempre più accorciato. Le linee in fibra ottica che 30 anni fa collegavano solo istituti di ricerca, università, grandi aziende e istituzioni nazionali sono ora vicine alle nostre case, quindi il tratto di rete è sempre più ridotto, nella maggior parte dei casi a pochi metri.

Gateway

Sono dispositivi che lavorano a tutti i livelli del modello TCP/IP. Prevedono le funzionalità dei router per il collegamento di reti che usano protocolli differenti e possono avere anche funzioni di sicurezza come quelle dei firewall (sistemi hardware e/o software per filtrare accessi non consentiti).

Segnale analogico e segnale digitale

I segnali si dicono analogici quando quanto trasmesso può essere un qualsiasi valore all'interno di un intervallo, quindi l'insieme dei valori trasmissibili è continuo. Questo concetto rimane valido sia per i segnali trasmessi via cavo (sia in caso di segnali elettrici sia in caso di luce) sia per le onde radio, vale per qualsiasi segnale.

I segnali analogici più usati sono una tipologia di segnale periodico⁶ detto sinusoidale⁷, essi sono caratterizzati da un'ampiezza d'onda⁸, una frequenza di propagazione⁹ e la fase¹⁰.

I segnali digitali non hanno continuità di valori all'interno di un intervallo, ma possono assumere un certo numero di valori discreti, nel caso di segnali binari i valori sono due. Il passaggio da un valore ad un altro avviene istantaneamente o quasi.

Le tipologie di trasmissioni

Le trasmissioni possono avvenire in diversi modi:

⁶ segnali periodici, segnali i cui valori si ripetono a intervalli di tempo fissi

⁷ il segnale sinusoidale viene descritto dalla funzione trigonometrica del seno

⁸ ampiezza d'onda: la differenza tra il valore medio e il valore massimo raggiunto da una funzione onda.

⁹ frequenza di propagazione: il numero di volte che un'onda raggiunge il suo valore massimo in un'unità di tempo.

¹⁰ fase: si dice che due onde sono in fase se raggiungono il loro punto di massimo e di minimo contemporaneamente. Se ciò non avviene si dice che le due onde presentano una differenza di fase o sfasatura. La misura della sfasatura è espressa in radianti.

- simplex: la comunicazione avviene da un nodo ad un altro (o altri) in un unico verso, non vi è risposta in questo tipo di trasmissione. Questo è il caso delle trasmissioni radiofoniche e televisive;
- half duplex: la comunicazione tra due nodi può avvenire in entrambi i versi, ma non contemporaneamente. Un esempio classico è la comunicazione dei radioamatori;
- full duplex: la comunicazione tra due nodi può avvenire in entrambi i versi anche contemporaneamente. Un esempio classico è la comunicazione telefonica.

Il livello di data link

Il modello TCP/IP non offre particolari specifiche per la parte del livello di rete corrispondente al sottolivello MAC del data link del modello ISO/OSI contrariamente al sottolivello LLC inerente l'interfacciamento con il livello di internet standardizzato da IEEE con il protocollo 802.2. Nonostante ciò esistono degli standard stabiliti dalla IEEE per i protocolli inerenti differenti tecnologie del livello fisico. Qui di seguito parleremo di alcuni protocolli dell'IEEE per il MAC e del protocollo per LLC.

IEEE 802.3 - Ethernet

Questo protocollo è usato nel contesto delle reti locali e può supportare topologie di reti a bus, a stelle o miste. Spesso ci si riferisce a lui parlando di protocollo ethernet, ma in realtà ethernet è il protocollo da cui la IEEE è partito nello sviluppo di 802.3.

Si tratta di un protocollo che presenta diverse versioni sempre più efficienti e affidabili. In questa sede la trattazione rimarrà generica in proposito.

Le reti ethernet sono un sottoinsieme delle reti Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect, più brevemente CSMA/CD, questo vuol dire che più nodi possono avere accesso a uno stesso canale condiviso (multiple access), possono rilevare se il canale è libero o occupato (carrier sense) e comprendere se una trasmissione disturba un'altra (collision detect).

I canali storicamente erano realizzati con cavi coassiali, mentre negli ultimi decenni sono quasi totalmente soppiantati da cavi UTP.

Come sono fatti i frame dell'ethernet ? Sono strutturati come sequenze di campi di bit di diversa dimensione, ogni campo ha una sua funzione, nel seguente schema li vediamo elencati.

preambolo (56 bit)	delimitatore di inizio (8 bit)	indirizzo destinatario (48 bit)	indirizzo mittente (48 bit)	lunghezza del campo dati (16 bit)	corpo del messaggio (dimensione variabile)	CRC (32 bit)
-----------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	--	---	-----------------

Analizziamo i campi del frame ad uno ad uno:

- preambolo: si tratta di una sequenza di 56 bit inviati dalla sorgente della trasmissione al destinatario (ogni byte pari a 10101010) con il fine di permettere a quest'ultimo di comprendere che stà arrivando un messaggio e prepararsi alla sua ricezione, in altre parole il suo scopo è quello di sincronizzare il mittente e il destinatario durante la trasmissione del frame.
- delimitatore di inizio: un byte che rende nodo al destinatario il termine della trasmissione del preambolo e l'inizio della trasmissione dei campi che costituiscono il

messaggio vero e proprio. Questo campo spesso viene considerato tutt'uno con il preambolo.

- indirizzo destinatario e mittente: sono due campi di 48 bit l'uno. Contengono un indirizzo identificativo delle schede di rete usate nella comunicazioni dai nodi interessati, denominati indirizzi MAC (o a volte indirizzi LAN). Spesso vengono espressi come una sequenza di 6 numeri esadecimale di 2 cifre.
- lunghezza del campo dati: si tratta di un campo di 16 bit che informa il destinatario su quale sia la dimensione del campo dati che è variabile.
- corpo del messaggio vero e proprio, che può essere completato da un sottocampo PAD per far sì che questo non sia mai inferiore a 46 byte.
- il campo CRC contiene una sequenza di 32 bit ed è calcolato a partire dal contenuto del resto del frame tramite una espressione polinomiale matematica basata sull'aritmetica modulare¹¹. L'applicazione di tale algoritmo risulta ottimo per rilevare gli errori di trasmissione, ma non quelli legati ad attività di hacking.

Come avviene la gestione della trasmissione con questo protocollo ? Sulla ricezione non vi è nulla da dire di particolare, ma l'invio dei dati presenta degli aspetti interessanti. Quando un nodo necessita di inviare un frame prima controlla che il canale sia libero e se lo è lo invia altrimenti attende che lo diventi. In caso due nodi inviano contemporaneamente il proprio frame si ha una collisione. In caso di collisione di due nodi mandano un frame particolare, il preambolo con l'aggiunta di una sequenza fissa di 32 bit detta jamming sequence, per segnalare l'evento sul canale. Se un nodo riesce a segnalare all'altro la collisione prima che se ne accorga, sarà solo lui ad inviare la jamming sequence. Una volta rilevata la collisione i nodi coinvolti aspetteranno un certo intervallo di tempo prima di riprovare a trasmettere.

IEEE 802.11 WLAN

Questo standard riguarda aree di copertura corrispondenti alle cugine cablate LAN e CAN. Gestisce una comunicazione in rete inerente un mezzo condiviso che non è materiale, abbiamo a che fare con onde elettromagnetiche, nello specifico onde radio (a differenti frequenze) e infrarossi, anche se quest'ultimo non viene più utilizzato.

Il protocollo prevede tre tipi di frame:

- frame dati: prevede gli otto seguenti campi:

check	durata	indirizzo 1	indirizzo 2	indirizzo 3	indirizzo 4	numero frame	dati	crc
-------	--------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------	------	-----

- check: il campo contiene informazioni sulla rete e sui tipi di dati contenuti nel frame;
- durata: questo campo contiene la durata della trasmissione del frame
- indirizzo 1, indirizzo 2, indirizzo 3 e indirizzo 4: questi campi contengono rispettivamente l'indirizzo del mittente, del destinatario, dell'access point di ingresso e dell'access point in uscita;

¹¹ l'aritmetica modulare interviene nell'ambito degli insiemi Z_n , ovvero dei sottoinsiemi di Z , insieme degli interi, con valori che vanno da 0 a n estremi compresi

- numero frame: il campo contiene il numero di frame in cui è stato frammentato il messaggio di cui lo stesso fa parte;
 - dati: il campo contiene l'informazione oggetto della trasmissione;
 - crc: questo campo ha la stessa funzione nel protocollo 802.3 visto precedentemente;
- frame di controllo: prevede i seguenti quattro campi:

versione	tipo	sottotipo	flag
----------	------	-----------	------

- versione: indica la versione del protocollo 802.11 in uso durante la trasmissione;
 - tipo: specifica se il frame è dati, di controllo o di gestione
 - sottotipo: questo campo permette di specificare cose come il richiedere l'uso del canale da parte di un dispositivo all'access point o il rendere noto che il canale è disponibile a chi l'ha richiesto;
 - flag: è costituito da diversi sottocampi contenenti informazioni come se la provenienza è diretta o indiretta, se vi sono altri frame che costituiscono lo stesso messaggio, se vi sono altri frame in arrivo dallo stesso mittente o se il campo dati è crittato con l'algoritmo WEP¹²;
- frame di gestione: sono tre tipi, due dei quali costituito dai seguenti 5 campi:

controllo	durata	destinazione	mittente	crc
-----------	--------	--------------	----------	-----

e l'ultimo senza il campo mittente. Il significato dei campi è lo stesso del frame dati, quindi non li ripeteremo.

I primi due frame di gestione sono RTS e CTS, che servono rispettivamente per richiedere l'uso del canale da parte di un dispositivo all'access point e per rendere noto che il canale è disponibile a chi l'ha richiesto. Il terzo serve per notificare l'arrivo di un frame al mittente.

La gestione dell'accesso al canale che viene prevista da questo protocollo è più complessa in quanto deve tener conto di diversi problemi:

- Teniamo conto che non sempre i dispositivi in rete sono dotati di due antenne, questo comporta che quando si trasmette non si riceve e viceversa, ovvero si ha una trasmissione half duplex. Per quanto riguarda la rilevazione delle collisioni questo comporta che durante una trasmissione il nodo potrebbe non essere in grado di rilevare una collisione;

¹² WEP (da Sicurezza dei Protocolli Wireless, parte 2a - WPA e WEP del Dott. A.Guadagnini): acronimo di Wired Equivalent Privacy, Protocollo con chiave a crittazione simmetrica basato su disgiunzione esclusiva (meglio conosciuta come XOR). Ogni Host che intende collegarsi all'access point (AP) mediante protocollo WEP deve conoscere la chiave crittografica.

- se due dispositivi trasmettono contemporaneamente allo stesso ricevente non è detto che siano in grado di rendersi conto della situazione di inevitabile collisione a causa di ostacoli presenti nell'area o della distanza che hanno tra loro;
- a causa di due nodi che stanno trasmettendo, un terzo nodo crede di non poter accedere alla rete anche se vi è un punto di accesso alla rete non coinvolto nell'area di comunicazione dei primi due nodi e con cui non vi è quindi pericolo di collisioni

Questo comporta l'impossibilità di non poter usare il CSMA/CD visto precedentemente. La gestione viene effettuata non tramite la rilevazione delle collisioni, quindi, ma tentando di evitarle. Difatti la maggior parte delle versioni del 802.11 segue le modalità de CSMA/CA con Acknowledgment (ACK), dove le lettere CA stanno per Collision Avoidance. L'idea alla base è quella di attendere, prima di trasmettere sul canale trovato libero, un tempo variabile, nel tentativo di evitare collisioni dovute alla trasmissione contemporanea. Inoltre una volta inviato il frame, il nodo mittente aspetta un messaggio di ricevuta dal nodo destinatario, un acknowledgment.

IEEE 802.2 LLC

I precedenti protocolli sono tutti esempi di protocolli inerenti il sottolivello MAC, questo protocollo invece definisce il sottolivello LLC. Dato che non tutti i protocolli di MAC hanno sistemi inerenti la gestione degli errori o di conferma dell'avvenuta ricezione, questo livello si occupa anche di questo, oltre al controllo del flusso dei dati e a nascondere al livello internet del TCP/IP le differenze tra i diversi protocolli di MAC che potrebbero essere in uso.

Sulla macchina che trasmette il messaggio, quando il livello internet passa un pacchetto al sottolivello LLC, gli viene aggiunto un campo contenente l'intestazione LLC, un numero progressivo e un numero di acknowledgment che permetterà al destinatario di rendere noto l'arrivo del frame. Questo viene poi passato al sottolivello MAC. Ovviamente si ha il processo inverso nel nodo destinatario.

intestazione LLC	sequenziale	ack	pacchetto
------------------	-------------	-----	-----------

I campi aggiunti da LLC permettono di fornire tre differenti servizi:

- servizio a datagrammi: senza l'utilizzo di messaggi di acknowledgment, conseguentemente i campi del un numero progressivo e del numero di acknowledgment non sono presenti;
- servizio orientato alla connessione: i frame devono raggiungere la destinazione nello stesso ordine con cui sono stati spediti;
- servizio con acknowledgment: il mittente, per ogni frame spedito, attende un messaggio che informi dell'avvenuta ricezione;

Il livello di internet

Il protocollo a questo livello dà metà del nome a tutta la pila dei protocolli: IP, internet protocol. Questo livello corrisponde a quello di rete dell'ISO/OSI come problematiche affrontate.

Nel suo specifico, si tratta di un protocollo che non prevede una fase di negoziazione dell'inizio e fine della comunicazione (senza connessione) e non prevede la conferma della ricezione dei pacchetti né al destinatario né il livello superiore del mittente (inaffidabile). Questo non vuol dire però che tali aspetti debbano permanere anche nei protocolli degli altri livelli.

Nei prossimi paragrafi vedremo come sono affrontati due aspetti che ISO/OSI prevedeva nel suo livello di rete: l'identificazione dei nodi in tutta la rete e lo smistamento della trasmissione attraverso tutta la rete.

Indirizzi IP

Indirizzi IP v4

Il livello di internet deve provvedere al problema dell'identificazione dei nodi sull'intera rete Internet, ciò viene fatto associando un numero ad un nodo, numero detto indirizzo IP.

Nella maggior parte dei casi un singolo nodo potrebbe avere più indirizzi IP non essendo associato tanto al nodo ma alla scheda di rete. Vi sono stati in passato tentativi di usare un solo indirizzo IP per nodo anche in presenza di più schede di rete ma senza un seguito.

Gli indirizzi IP sono stati per anni costituiti da 4 byte secondo la struttura data da IP v.4 (dove v stà per versione).

Normalmente li troviamo scritti in forma di 4 numeri decimali (con valore da 0 a 255) separati da un punto.

Gli indirizzi IP v4 sono strutturati in 3 parti: network, subnet (non sempre presente) e host.

La prima parte identifica la rete di appartenenza, la seconda la sottorete e la terza il nodo.

Questi indirizzi possono essere di 5 tipi diversi detti classi:

- classe A:
hanno il primo bit (il più significativo) fisso a 0 e il resto del byte indica la rete e gli altri 3 byte quindi identificano l'host.

0	network (7 bit)	host (3 byte)
---	-----------------	---------------

Sono indirizzi utilizzati per reti di grandi dimensioni, ovvero con molti nodi.

- classe B: hanno i primi due bit fissi a 10 e i successivi 14 indicano la rete. Il resto dell'indirizzo (2 byte) indica il nodo.

1	0	network (14 bit)	host (2 byte)
---	---	------------------	---------------

Questo tipo d'indirizzo è usato per reti di medie dimensioni.

- classe C: hanno i primi 3 bit fissi a 110 e i successivi 21 indicano la rete, i restanti (1 solo byte) indica il nodo.

1	1	0	network (21 bit)	host (1 byte)
---	---	---	------------------	---------------

Sono utilizzati per reti di piccole dimensioni.

- classe D: hanno i primi 4 bit fissi a 1110 e i successivi 28 bit indicano un indirizzo che corrisponde a un gruppo di nodi.

1	1	1	0	indirizzo di multicast (28 bit)
---	---	---	---	---------------------------------

Questo indirizzo, difatti, è utilizzato per le comunicazioni multicast, ovvero per indicare come destinatario di un gruppo di nodi.

- classe E: hanno i primi 4 bit fissi a 1111 e i successivi 28 bit indicano indirizzi che erano stati lasciati per scopi che dovessero insorgere successivamente.

1	1	1	1	indirizzo con scopo non definito (28 bit)
---	---	---	---	---

Esistono poi alcuni indirizzi con scopo specifico:

- l'indirizzo che indica l'host locale con tutti i bit a 0 (localhost);
- l'indirizzo che indica tutti gli host della rete a cui appartiene il mittente con tutti i bit a 1 (broadcast);
- indirizzi per inviare pacchetti a se stessi a scopo di test con i primi 8 bit a 1, gli altri bit a un indirizzo non specificato (loopback);
- i bit dei primi due byte a 0 e due byte indicano un host della rete dove risiede il mittente;
- i primi due byte indicano una rete e gli altri sono tutti ad 1 per mandare un pacchetto in broadcast a tutti gli host della rete specificata;

Le classi A, B e C permettono di specificare diversi reti e tenendo conto che questi indirizzi dovevano soddisfare le esigenze mondiali, il numero di reti specificabili non erano poi così tanti. Già al finire del millennio scorso la discussione sull'imminente esaurimento degli indirizzi IP era molto sentita nella comunità scientifica (discussione che porterà all'uscita della nuova versione per gli indirizzi IP v.6 nel 2004).

Per limitare la necessità di usare gruppi di IP differenti per indicare reti diverse anche nel caso di reti complesse suddivisibili in più reti più piccole in modo da permettere il broadcast per un sottoinsieme degli host di una rete fu introdotta la strategia delle sottoreti, o subnet.

Un sottoinsieme dei nodi di una stessa rete diviso dagli altri in base a tale strategia è detto sottorete. L'idea è quella di considerare la parte host degli indirizzi IP come diviso in due parti: subnet e host. A seconda di quanti bit vengono riservati alla parte subnet potrò avere un maggiore o minore numero di sottoreti dentro una stessa rete. L'ampiezza del campo subnet è specificato dal parametro netmask (lo stesso per tutti i nodi della stessa sottorete).

La netmask presenta i bit corrispondenti a quelli dedicati alla rete e alla subnet a 1 e a 0 quelli dedicati all'host. Una delle netmask più conosciuta è 255.255.255.0 (usata per indirizzi di classe B), ovvero la netmask che indica che solo l'ultimo byte è per indicare l'host.

Controlliamo quanto appreso sino ad ora, se ho un indirizzo IP 130.2.10.4 per vedere la sua classe di appartenenza dovrò vedere il primo campo in binario, ovvero

$$130_{10} = 10000010_2.$$

Dato che i primi due bit sono 10 siamo di fronte ad un indirizzo di classe B.

Supponiamo di avere per tale indirizzo la netmask 255.255.240.0, per sapere l'indirizzo di rete separato da quello della subnet devo convertire entrambi in binario:

- indirizzo IP: 10000010.00000010.00001010.00000100
- netmask: 11111111.11111111.1110000.00000000

Facendo l'and bit a bit dei due numeri ottengo: 10000010.00000010.00000000.00000000.

Riscritto in numeri decimali: 130.2.0.0

Quest'ultimo è l'indirizzo della rete dove risiede il nodo con indirizzo 130.2.10.4.

Inoltre i primi 4 bit della parte che non indica la rete sono a 1, quindi quei bit sono quelli che indicano la sottorete.

Questo mi permette inoltre di dire che con quella netmask sono individuabili 2^4 sottoreti diverse.

Se invece ho l'indirizzo IP 200.110.12.05, che equivale in binario a:

$$11001000.01101110.00001100.00000101$$

dati i primi tre bit a 110 so di avere a che fare con un indirizzo di classe C. Se la netmask è 255.255.255.224, ovvero in binario:

$$11111111.11111111.11111111.11100000$$

di conseguenza, facendo l'and bit a bit con l'indirizzo IP, otterrò come indirizzo della rete:

$$11001000.01101110.00001100.00100000$$

che come sequenza di valori decimali sarà:

$$200.110.12.32$$

Inoltre 3 bit dell'ultimo byte, quello della parte host, sono a 1, quindi quei bit identificano la subnet. Di conseguenza possiamo dedurre che per quella rete posso avere un totale di 2^3 subnet diverse.

Indirizzi IP v6

Nel 2004 la ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) rende disponibile il nuovo protocollo per il livello internet, IP v6, la cui caratteristica principale è la dimensione degli indirizzi, non più di 4 byte, ma di 16 byte. Lo spazio di indirizzamento aumenta quindi in modo notevole spostando il pericolo di esaurire gli indirizzi IP verso un futuro lontano.

Per garantire la stabilità durante il passaggio dalla versione 4 alla versione 6 del protocollo ICANN ha stabilito che entrambe le versioni saranno supportate sino al 2024.

Gli indirizzi IP v6 sono espressi con 32 cifre esadecimale (base 16) raggruppati in 8 gruppi da 4 separati tra loro dal simbolo ":".

Contrariamente a IP v4, IP v6 non prevede alcuna classificazione degli indirizzi.

Gli indirizzi sono composti da 3 parti: 48 bit identificano la rete, 16 bit la sottorete e 64 bit il nodo.

rete (48 bit)	sottorete (16 bit)	host (64 bit)
---------------	--------------------	---------------

Pur non essendoci una classificazione degli indirizzi equivalente a quella di IP v4, sono presenti 3 tipi di indirizzi:

- unicast, che identificano un NIC di un dispositivo;
- multicast, che definiscono dei gruppi di dispositivi, detti gruppi multicast. Un pacchetto spedito ad un indirizzo multicast è instradato verso tutti i nodi del gruppo multicast indicato;
- anycast, sono assegnati a più NIC (spesso appartenenti a dispositivi diversi), un pacchetto spedito a un indirizzo anycast è instradato verso alla scheda di rete più vicina;

Internet Datagram in IP v4 e IP v6

Il PDU del livello Internet è denominato Internet Datagram, ed ha una struttura piuttosto articolata che si può dividere in due grosse aree: l'intestazione (o header) e la parte dati. Nello schema sottostante lo sfondo dei campi dell'intestazione è un azzurro tenue.

versione 4 bit	lunghezza dell'header 4 bit	tipo di servizio 1 byte	lunghezza totale 2 byte
identificazione	2 byte	flags 3 bit	fragment offset 13 bit
time to live	1 byte	protocollo	1 byte
header checksum		2 byte	
indirizzo IP del mittente			4 byte
indirizzo IP del destinatario			4 byte
opzioni e padding (4 x N byte)			
dati ...			

struttura del datagram di IP v4

Vediamone i diversi campi che compongono l'intestazione:

- versione: contiene la versione del protocollo del livello di internet a cui fa riferimento, si tratta di un campo da un nibble (4 bit);
- lunghezza dell'header: è un secondo campo da un nibble usato per indicare la lunghezza in unità da 32 bit dell'header;
- tipo di servizio: è un campo di 1 byte con due funzioni, poter dare un livello di priorità al datagram (da 0 a 7) e specificare alcune modalità di gestione che verranno applicate dal livello di trasporto;
- lunghezza: campo da 2 byte per indicare la lunghezza in byte di tutto il datagram (attenzione, il campo dati non ha lunghezza fissa);
- identificazione, flag e fragment offset: sono 3 campi da 2 byte, 3 bit e 13 bit per la gestione della frammentazione del messaggio nei diversi datagrammi;
- time to live: è un campo da un byte che contiene il tempo limite per cui un datagram è permesso essere ritrasmesso. Questo limite evita che in situazioni particolari si crei un eccesso di carico su Internet;
- protocollo: è un campo da un byte che informa quale protocollo del livello applicativo si debba usare per la trattazione dei dati nel datagram;
- header checksum: campo da 2 byte usato per controllare che l'intestazione sia stata trasmessa correttamente. Ogni due byte dell'intestazione viene sommato insieme e del risultato viene fatto il complemento a 1. Tale risultato viene registrato in questo campo dal mittente e il destinatario verifica che tale rapporto permanga anche nel datagramma ricevuto;
- indirizzo IP del mittente e indirizzo IP del destinatario: sono due campi da 4 byte contenenti gli indirizzi IP del nodo mittente e del nodo destinatario del datagram;
- opzioni e padding: sono due campi che occupano un numero di byte multiplo di 4. Le opzioni contengono delle indicazioni per i nodi che compongono il percorso del datagram su come trattarlo (ad esempio se devono aggiungere il proprio IP nel datagramma per poter ricostruire il percorso che è stato effettuato o se il datagramma deve forzatamente passare per un determinato percorso per raggiungere la destinazione). Tale campo, per una necessità di struttura, deve avere un numero di byte multiplo di 4. Se il campo opzioni non è sufficiente vengono aggiunti il numero K di bit tali da soddisfare il requisito. Questi K bit sono il così detto campo di padding;

Questo è per quanto riguarda l'IP v4. Con la versione 6 l'intestazione viene semplificata come conseguenza dell'eliminazione di funzionalità non ritenute necessarie.

I datagram sono divisi in due parti anche in questo caso, una intestazione e un pay load. Quest'ultima parte, di dimensione variabile, contiene il PDU del livello di trasporto.

Versione (4 bit)	Classe di traffico (1 byte)	Etichetta di flusso (20 bit)	
lunghezza del Pay Load (2 byte)		prossima intestazione (1 byte)	Limite di salti (1 byte)
Indirizzo IP v6 Mittente (16 byte)			
Indirizzo IP v6 Destinatario (16 byte)			
Pay Load			

struttura del datagram di IP v6

Analizziamo brevemente i campi dell'intestazione:

- versione: come in IP v4;
- classe di traffico, etichetta di flusso: campi da 12 bit e 20 bit rispettivamente. Sono campi per la gestione dei servizi e della loro qualità (come gestione della congestione del traffico, gestione di servizi differenziati e permettere la trasmissione orientata alla connessione);
- lunghezza del pay load: campo da 2 byte che indica la lunghezza del campo Pay Load;
- prossima intestazione: campo da un byte che può avere due funzioni:
 - segnala la presenza di intestazioni speciali prima dell'inizio del campo di Pay Load. Queste intestazioni sostituiscono, nello scopo, il campo opzioni di IP v4;
 - in caso di assenza di intestazioni speciali, di cui sopra, ha il medesimo scopo del campo Protocol di IP v4;
- limiti di salto: campo da 1 byte equivalente al campo time to live di IP v4;

Commutazione di pacchetto

Negli anni 60, in piena guerra fredda, viene formulata la prima idea alla base della commutazione di pacchetto da Baron presso la RAND Corporation. Baron cercava un modo per garantire la continuità delle comunicazioni anche durante un attacco nucleare, dove alcune linee di trasmissioni potevano essere distrutte. L'idea di Baron era di frammentare un messaggio in più pezzi, pacchetti, dove ognuno di questi poteva seguire un differente percorso nella rete delle linee di comunicazione. Una strategia di questo tipo aveva più

probabilità di raggiungere il successo nella trasmissione rispetto a quella di spedire un messaggio intero.

Ovviamente tale idea fu adottata poi dalla DARPA per realizzare ARPAnet, da cui ebbe origine Internet.

Questo modello di comunicazione prevede più nodi di smistamento della trasmissione, di norma sono dei router, che stabiliscono tra loro una connessione per ogni singolo pacchetto, ma non per interi percorsi tra mittente iniziale e destinatario finale.

Ovviamente questo tipo di commutazione comporta il fatto che i singoli pacchetti possono raggiungere il destinatario in ordine differente da quello di invio. Quindi i pacchetti dovranno contenere informazioni su come essere ricomposti in un unico messaggio. Questo spiega alcuni campi presenti nella struttura degli IP datagram.

La commutazione di pacchetto non necessita forzatamente di instaurare un circuito (ovvero un percorso) riservato per comunicare da un nodo della rete ad un altro, visto che ogni pacchetto segue una sua via e per lui viene instaurato una linea di connessione solo tra il nodo raggiunto e quello immediatamente successivo da raggiungere. Questo rende meno snella la gestione del traffico di trasmissione da parte dei singoli router.

Il livello di trasporto

Il livello di trasporto prevede due protocolli nel TCP/IP: UDP (User Data Protocol) e TCP (Transmission Control Protocol). Il primo è connectionless ed è inaffidabile (si accetta la possibilità di perdita di pacchetti), tutto ciò a beneficio della velocità di trasmissione. Questo tipo di protocollo risulta particolarmente adatto nei applicazioni di streaming, come visione di video o telefonate via Internet.

Il secondo è orientato alla connessione ed è affidabile, queste caratteristiche però lo rendono più lento nella trasmissione e inoltre comporta l'utilizzo di maggiori risorse di elaborazione (elaborazioni più complesse) e memoria dei nodi (mole di dati da memorizzare maggiore).

Il segmento dell'UDP è dato da 5 campi, l'ultimo contiene il PDU del livello applicativo, i primi 4 costituiscono il PCI e sono:

numero porta mittente (2 byte)
numero porta destinatario (2 byte)
lunghezza (2 byte)
checksum (2 byte)
dati

struttura del segmento UDP

- numero di porta del mittente (2 byte): contiene un costrutto software, detto porta, che identifica il processo che ha inviato la trasmissione dal nodo mittente;

- numero di porta del destinatario (2 byte): contiene la porta che identifica il processo in attesa della trasmissione inviata nel nodo destinatario;
- lunghezza (2 byte): contiene la lunghezza in byte del segmento;
- checksum (2 byte): è analogo in scopo all'omonimo campo del livello inferiore;

I segmenti UDP hanno dimensione massima di 65.508 byte di cui i primi otto abbiamo visto essere la parte di intestazione.

Il segmento del TCP è decisamente più complesso di quello dell'UDP, i campi dell'intestazione sono ben undici:

porta mittente (2byte)	porta destinatario (2 byte)		
numero sequenziale (4 byte)			
acknowledgment (4 byte)			
lunghezza (4 bit)	riservato (6 bit)	flag (6 bit)	window size
checksum		urgent point	
opzioni			
dati			

struttura del segmento TCP

- porta mittente, porta destinatario: sono due campi, ognuno da due byte delle porte da dove è stato inviato il segmento e da dove il processo destinatario è in attesa del pacchetto;
- numero sequenziale: campo da quattro byte, contiene la posizione occupata nello stream di byte inviati dal mittente dal primo byte del campo dati (che vedremo essere successivo all'intestazione che stiamo analizzando);
- acknowledgment, window size : sono due campi da 4 byte e da 2 byte rispettivamente, contengono informazioni sul flusso dei dati;
- lunghezza: campo da un nibble che specifica la lunghezza del segmento in unità da 4 byte;
- riservato: campo da 6 bit riservato a utilizzi futuri, sono di norma tutti a 0;
- flag: si tratta di 6 campi da un bit utilizzati per informazioni di controllo sulla comunicazione;
- checksum: campo da 2 byte per verificare che il segmento sia integro;
- urgent point: campo da 2 byte, indica dove si trovano i dati urgenti nel campo dati se ve ne sono;
- opzioni: campo di dimensione variabile da 0 a 4 byte, può contenere differenti informazioni di cui alcune applicabili al flusso come la dimensione massima dei segmenti da scambiarsi tra i due nodi coinvolti

All'intestazione segue il campo dati, come nel caso precedente, contiene il PDU del livello superiore.

Il livello di applicazione

Questo è il livello dei programmi che forniscono un servizio o che richiedono un servizio e che permettono all'utente di "dialogare in rete" (usando il termine dialogo in senso lato, volendoci includere anche la trasmissione di contenuti di varia natura come programmi, ebook, file mp3 e filmati). I programmi che forniscono un certo tipo di servizio seguono un particolare protocollo, ad esempio i programmi che trasferiscono file da un computer all'altro usano il protocollo FTP o SFTP. Quindi quando si parla di livello applicativo non si parla solo di programmi, ma anche dei protocolli definiti a questo livello che vengono usati nella trasmissione dei dati.

Gli applicativi devono gestire non solo quanto previsto dal livello applicativo del livello OSI, ma anche gestire quanto previsto nei livelli di sessione e presentazione dell'OSI. Ad esempio la differenza tra i precedenti protocolli FTP e SFTP è che il primo prevede la trasmissione in chiaro e l'altra oscurata (i dati vengono crittografati) e il problema della crittografia è una delle problematiche del livello di presentazione del modello OSI.

Esistono due tipologie di architettura di comunicazione a tale livello:

- 1) client - server
- 2) peer to peer

Nell'architettura client - server un processo risiedente in un nodo della rete fornisce servizi (server) ai altri che li hanno richiesti (client), questi ultimi possono risiedere anche in altri nodi.

Un esempio di architettura client server lo abbiamo con il servizio dato da un sito web. Il sito risiede in un computer e un programma, il web server, presente sullo stesso computer fornisce le pagine del sito agli internet browser come Firefox e Chrome, i client.

L'architettura peer to peer prevede un dialogo alla pari tra i nodi che intervengono nella trasmissione. Quindi ogni processo coinvolto è sia server che client.

Esempi ne sono i servizi di file sharing dove ogni computer coinvolto può sia richiedere file da un altro sia renderne disponibili per gli altri.

Nei successivi paragrafi vedremo dei protocolli alla base di alcuni servizi tra quelli più importanti.

DHCP

Il protocollo DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol, è classificato come protocollo di servizio ed è un protocollo che si basa su una architettura client-server.

I clienti sono programmi di servizio dei sistemi operativi che richiedono a un computer di una rete, il server DHCP, a cui si vogliono collegare, le informazioni necessarie per configurarsi automaticamente come nodo di quella rete.

Tra tali informazioni viene fornito un indirizzo IP (IP dinamico). Tale IP viene associato al computer che si è connesso solo il tempo che permane la connessione.

Una volta che il nodo si disconnette, l'indirizzo IP viene reso disponibile per un nuovo computer che si vuole connettere.

Questo tipo di servizio risulta particolarmente in presenza di reti wireless dove chi si collega ad una rete lo fa dal proprio notebook personale.

DNS

Il protocollo DNS, Doman Name System, è classificato come protocollo di servizio ed ha una architettura client-server.

Inizialmente i nodi della rete erano indicati solo da un indirizzo IP che ha il pregio di essere univoco ma è scarsamente memonico.

L'idea per superare tale problema è avere un sistema in rete di traduzione tra indirizzi IP e indirizzi memonici.

Partiamo con il descrivere la struttura degli indirizzi previsti da tale protocollo: si tratta di sequenze di stringhe di caratteri alfanumerici separati da dei punti.

Ogni stringa indica un differente livello gerarchico nella composizione dell'indirizzo nominale.

Il livello più alto è l'ultima stringa a cui seguono altre fino ad arrivare alla prima che va ad indicare un singolo nodo, o a volte un gruppo di nodi.

Il livello più alto indica l'appartenenza ad una categoria che può essere geografica (come it, fr e uk) o anche di area di cui si occupa (come edu, com e gov).

Gli altri termini indicano la rete (o anche un gruppo di reti) e l'host (quello meno importante, ma il primo a sinistra).

Ad esempio all'università di Bologna qualche decennio fa, leporello.cs.unibo.it indicava un server nomehost leporello, di dominio cs.unibo.it. Il termine it indica una rete italiana, unibo che si tratta di un host su una rete dell'Università di Bologna e, infine, cs che appartiene al dipartimento di Informatica (Computer Science).

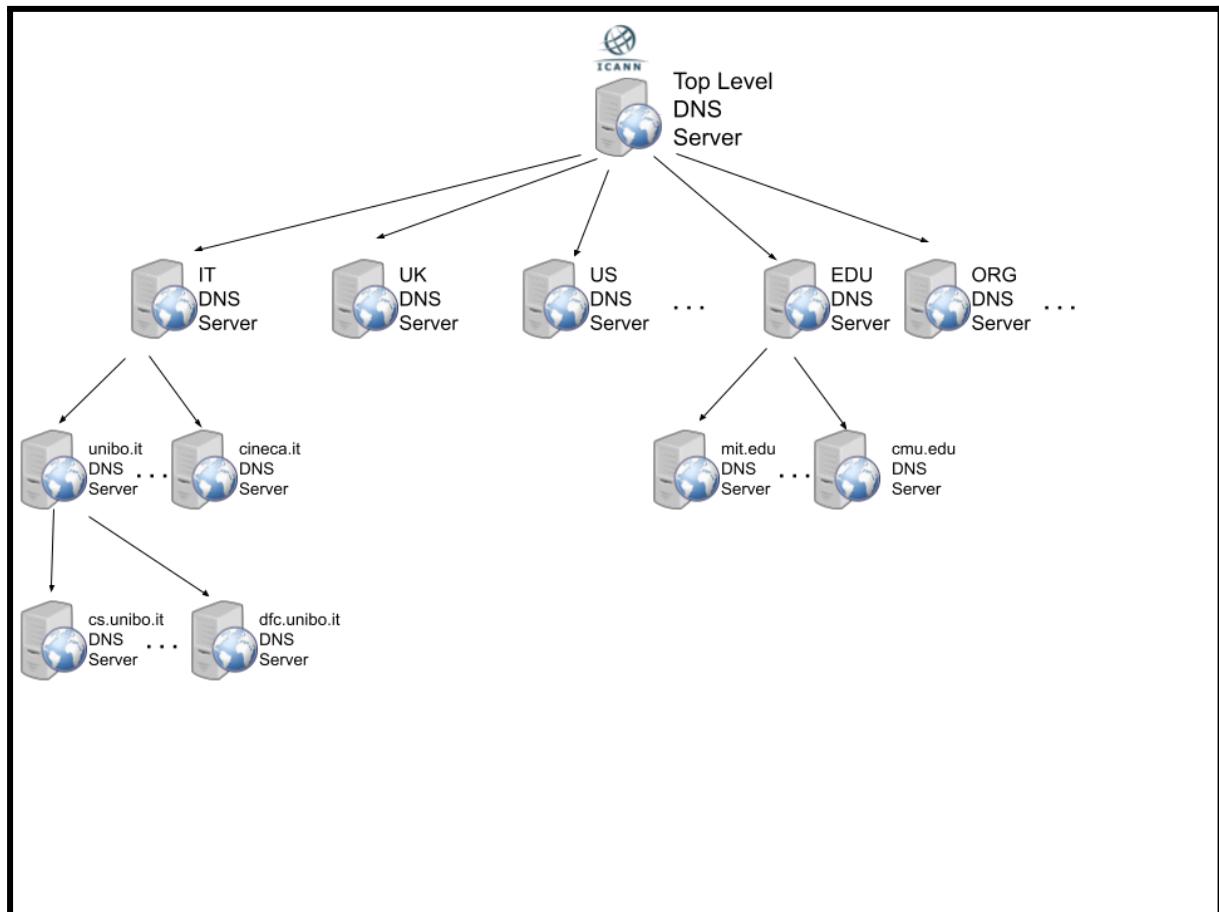
Similmente possiamo leggere l'indirizzo dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare home.infn.it, dove home indica il server web (o i server), infn l'appartenenza ad una rete dell' INFN e it che abbiamo a che fare con una rete italiana.

Sfortunatamente la trasmissione in rete, però, avviene tramite indirizzi IP e non con quelli nominali. Quindi quando si indica un sito su un sito su un browser, bisogna richiedere il corrispondente indirizzo IP. Essendo impensabile che tutti i computer in rete conoscano gli indirizzi nominali di tutti, vi deve essere un sistema di traduzione legato ai livelli gerarchici degli indirizzi nominali.

Per capire come funziona il sistema di traduzione prendiamo un esempio da una computer della rete del Cineca (dominio cineca.it) voglio vedere una pagina web del sito web del MIT (dominio mit.edu). La richiesta viene spedita ad un server DNS della rete del Cineca che conosce solo gli IP dei nodi con dominio cineca.it. mit.edu non è conosciuto dal DNS del Cineca, quindi lo manda al server DNS che si occupa del livello superiore al proprio, quello che si occupa degli "it". Anche questo server non conosce l'IP cercato, quindi manda la richiesta al livello più alto gestito da ICANN. Questo manda la richiesta a chi si occupa degli "edu", che lo manda al server de DNS del MIT. La risposta sarà l'indirizzo IP del nodo con l'indirizzo nominale del web server del MIT. Questa risposta ripercorre il percorso dei server DNS a ritroso fino a raggiungere il richiedente iniziale.

Consideriamo invece di voler effettuare una trasmissione tra due computer dell'Università di Bologna, uno al dipartimento di filosofia (dfc.unibo.it) e l'altro al dipartimento d'informatica.

Potrebbe essere che ogni dipartimento ha un suo server DNS che non sa nulla dei nomi e degli IP dei computer dell'altro dipartimento. Quindi il server DNS del dipartimento d'informatica riceve una richiesta che non può soddisfare e che rimanda al livello superiore del server DNS di tutta l'università. Questo sottopone la richiesta al server DNS del dipartimento di filosofia che risolve la corrispondenza tra indirizzo nominale e indirizzo IP.



Ipotetica Porzione dei collegamenti tra DNS server

I protocolli per l'email

Sono tre i protocolli che interessano questo argomento:

- SMTP, Simple Mail Transfert Protocol;
- POP, Post Office Protocol;
- IMAP, Internet Message Access Protocol;

SMTP ha un architettura client-server, la sua funzione è l'invio dei messaggi di posta elettronica. La mail viene spedito da un programma client come thunderbird a un server di posta MSA, Mail Submission Agent (detto anche SMTP server), che lo passa ad una rete di altri server MTA, Mail Transfert Agent, per il suo smistamento verso la destinazione. L'ultimo server MTA trasmette il messaggio a un server MDA, Mail Delivery Agent (detto anche POP server).

POP ha anch'esso un architettura client-server, ha la funzione di gestire la trasmissione delle email dal MDA server ai client di posta: il client di posta richiede al POP server di spedirgli le email a lui destinate. Quindi il POP server le invia dal proprio archivio. Di norma scaricare la posta vuol dire cancellarle dall'archivio del POP server, ma è anche possibile mantenerne una copia sul server. Senza scaricare le email non si può sapere alcun che sulle email conservate nel pop server.

IMAP permette la consultazione delle mail anche attraverso un portale su www, non solo attraverso un client. Il protocollo IMAP prevede di scaricare sul proprio computer solo l'elenco delle mail ricevute dal server MDA dove ogni voce dell'elenco è data da oggetti, mittente e data delle mail ricevute.

Successivamente il client può richiedere di ricevere i dati completi di una o più email.

Il primo formato di posta elettronica fu definito nel 1982 con il documento RFC 822 e prevedeva messaggi composti di soli carattere ASCII. Nel 1992 vengono introdotti i primi contenuti multimediali con il formato MIME descritto in RFC 1341. Il formato MIME si evolverà negli anni (RFC 2045 e RFC 2056). Il protocollo prevede anche la possibilità di scrivere il testo della mail in HTML, così da prevedere testo più ricco potendo prevedere caratteristiche come testo con caratteristiche come il grassetto o il corsivo e dimensioni differenti per differenti parti del testo.

FTP e SFTP

Il protocollo FTP, File Transfert Protocol, ha un architettura client serve. Il client richiede di stabilire una sessione di lavoro con il server autenticandosi fornendo delle credenziali (username e password). Durante una sessione il client può scaricare file o caricarne in base ai diritti a lui concessi sul computer remoto dove risiede il server.

FTP usa due connessioni (quindi due porte), una per la trasmissione dei comandi e il messaggio di ricezione di questi e l'altra per il trasferimento dei file.

Il protocollo FTP trasmette in chiaro, anche le credenziali. Quindi per motivi di sicurezza spesso viene esteso fornendogli strumenti per crittografare la trasmissione. Il protocollo così modificato è noto come FTPS.

SFTP, stà per SSH FTP, si basa sul protocollo SSH per la connessione a sistemi remoti crittografata. Inoltre SFTP prevede l'uso di chiavi pubbliche e private¹³. SFTP non effettua connessioni separate per i comandi e per il trasferimento dei file per ridurre i rischi legati alla sicurezza.

¹³Uno schema di crittografia, introdotto da Diffie e Hellman nel 1976, in cui ogni persona riceve una coppia di chiavi, chiamate chiave pubblica e chiave privata. La chiave pubblica di ogni persona viene pubblicata mentre la chiave privata viene mantenuta segreta. I messaggi vengono crittografati utilizzando la chiave pubblica del destinatario previsto e possono essere decrittografati solo utilizzando la sua chiave privata (da FOLDOC, <https://foldoc.org>).

HTTP e HTTPS

Negli anni 80 viene realizzato un linguaggio per scrivere ipertesti¹⁴ denominato HTML, HyperText Markup Language con lo scopo di avere un sistema di consultazione delle informazioni in rete più razionale su Internet.

Viene realizzato anche un protocollo per il trasferimento delle pagine che compongono gli ipertesti in HTML denominato HTTP, HyperText Transfer Protocol.

Tale protocollo ha architettura client-server. Il server, denominato server web (come ad esempio apache), fornisce le pagine dell'ipertesto che vengono richieste in HTML. I client sono programmi denominati internet browser (come ad esempio Chrome e Firefox).

La comunicazione tra internet browser e web server avviene, secondo tale protocollo, in chiaro.

HTTPS prevede la crittografia nella trasmissione.

Il linguaggio HTML viene definito inizialmente in SGML¹⁵, e si basa sull'uso di marche, etichette testuali, per delimitare aree di testo a cui associare un certo stile grafico o una certa funzione come un collegamento ipertestuale ad un'altra pagina.

¹⁴ ipertesto s. m. [comp. di iper- e testo, sul modello dell'ingl. hypertext]. – Documento elettronico contenente un insieme di informazioni di natura per lo più testuale e grafica, ma anche integrabili con inserti musicali e filmati ottenuti con altre apparecchiature collegate, come CD -ROM, videoregistratori e sim. (in quest'ultimo caso si parla più propriam. di ipermedia). Le informazioni sono raccolte in diverse aree collegate tra loro secondo una configurazione a grafo che ne consente la consultazione da ogni punto dell'ipertesto e offre all'utente la possibilità di costruirsi un percorso di lettura aperto alle più libere associazioni logiche e non costretto in una rigida struttura sequenziale (dal vocabolario online Treccani).

¹⁵ Standard Generalized Markup Language. SGML è un linguaggio complesso per definire altri linguaggi per la stesura di testi gestiti da sistemi automatici ed è uno standard ISO del 1986.

Bibliografia

[BRSI2012] E. Badino, R. Rondano, A. Spano, C. Iacobelli, Internetworking, Sistemi e Reti - Secondo Biennio, Juvenilia Scuola, 2012

[GNM95] S. Gai, P. Nicoletti, G. Montessori, Reti locali. Dal cablaggio all'internetworking, Telecom Italia, 1995

[GP2007] A. Garavaglia, P. Petracchi, Sistemi, volume 3, Zanichelli, 2007

[PD2008] L. L. Peterson, B. S. Davie, Reti di Calcolatori, seconda edizione, Apogeo, 2008

[TAN01] A. S. Tanenbaum, Reti di Computer, 3a edizione, UTET, 2001

Sitografia

[MAY2017] M. Mayer, Aritmetica modulare e crittografia,
<https://www.mat.uniroma1.it/sites/default/files/PASCAL-AritmeticaModulareCrittografia.pdf>

[SAN2015] A. Sanza, Reti Wi-Fi e sicurezza, tesi di laurea, 2014-15,
https://amslaurea.unibo.it/9647/1/Sanza_Antonello_tesi.pdf

[BAJ2019] V. Bajrami, What you need to know about IPv6, 2019,
<https://www.redhat.com/sysadmin/what-you-need-know-about-ipv6>

[GRA2017] R. Graziani, IPv6 Address Representation and Address Types, CISCO PRESS, 2017, <https://www.ciscopress.com/articles/printfriendly/2803866>

[FRY94] H. Frystyk, The Internet Protocol Stack, W3C, 1994,
<https://www.w3.org/People/Frystyk/thesis/TcpIp.html>

[ZAM] F. Zambonelli, Corso di reti di calcolatori, Internet Protocol, 2001
<http://www.agentgroup.unimore.it/Zambonelli/didattica/reti/LucidiPDF/IP.pdf>

[GH03I] V. Ghini, Richiami di Reti, Università di Bologna, 2003,
https://www.cs.unibo.it/~ghini/didattica/reti_lpr/TAC003.pdf

[GH03b] V. Ghini, Il campo opzioni, Università di Bologna, 2003,
https://www.cs.unibo.it/~ghini/didattica/reti_lpr/TAC003_53-54.pdf

[TAL03] D. Talia, Il livello di rete in Internet, Protocollo IP, Università della Calabria, 2003
<http://si.deis.unical.it/~talia/aa0203/reti/reti-lezione4.pdf>