

# 1 Ethernet

Ethernet è il primo standard di rete locale realizzato. Nata come avanzatissima rete sperimentale, in grado di comunicare alla velocità stratosferica di 10 Mbit/s, per diversi anni fu impiegata solo in ambienti mainframe e minicomputer, dati i suoi costi molto alti. Ethernet conquistò il mondo dei personal computer solo alla fine degli anni ottanta, spodestando altre reti a minore costo che si erano precedentemente affermate (p.es. Arcnet). Ciò avvenne con l'inizio della produzione di chipset VLSI che realizzavano a basso costo un'interfaccia Ethernet completa con un circuito integrato o poco più. Nel 1997 i nodi Ethernet presenti nel mondo sono stati stimati a 100 milioni. Nel 2004 le sole porte in tecnologia UTP sono state stimate a 800 milioni.

Le specifiche Ethernet furono pubblicate dal 1980 da Xerox, DEC e Intel, nelle due versioni Ethernet I e II. Esse riguardavano il cablaggio e le modalità di trasmissione, cioè i livelli 1 e 2 dello schema ISO/OSI. Esse sono state riprese e formalizzate nella norma IEEE 802.3, che ha differenze solo marginali con i primi standard Ethernet.

Lo standard IEEE 802.3 è definito per molti mezzi di trasmissione ed è stato successivamente esteso alla velocità di 100 Mbit/s (Fast Ethernet), poi a 1 Gbit/s ed a 10 Gbit/s (GbE).

La massima distanza ammessa fra le due stazioni più lontane in una Ethernet è dell'ordine di alcuni chilometri, nel caso in cui si usino link in fibra ottica.

## 1.1 Livello fisico

Come già detto, Ethernet è stata la prima rete locale. Essa è tuttora la più diffusa; nata sul supporto di trasmissione del cavo coassiale largo, in banda base, è stata estesa nel corso del tempo praticamente a tutti i mezzi di trasmissione esistenti, per via della forte spinta del mercato, che chiedeva sempre maggiore flessibilità di installazione e di uso e sempre maggiore velocità di trasmissione.

Difficile e lungo fu il processo di implementazione di Ethernet su doppino telefonico (UTP), che era molto importante, data l'ubiquità dei cavi UTP negli edifici (le specifiche 802.3 per UTP sono del 1990).

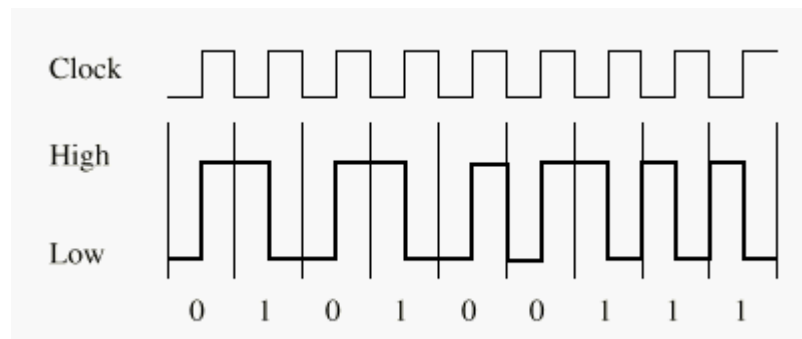
La topologia logica di una Ethernet è a bus<sup>1</sup>: tutte le stazioni condividono lo stesso mezzo di trasmissione, sul quale una sola stazione alla volta può trasmettere, mentre tutte le altre hanno la possibilità ricevere contemporaneamente. Una rete Ethernet si può cablare con un layout misto, adattabile alle necessità, con alcuni tratti lineari ed altri a stella.

Tutte le stazioni di una Ethernet lavorano in modo indipendente; al livello fisico non esistono stazioni particolari, che abbiano funzione di coordinamento o di controllo delle altre. Ciò significa che i server delle reti locali sono distinti dalle altre stazioni per funzioni di livello più alto del livello 2 (Ethernet prende i livelli 1 e 2 di OSI).

### Tecnica di trasmissione Ethernet (Ethernet signalling)

I segnali Ethernet sono trasmessi a tutte le stazioni collegate alla rete. La trasmissione avviene in modo seriale, un bit alla volta, i Byte nell'ordine specificato dal formato del frame (vedi oltre). La prima versione di Ethernet trasmetteva alla velocità di 10 Mbit/s. Questa velocità è valutata senza tener conto né dell'overhead causato da header e trailer, né del tempo perso in contese e collisioni sul mezzo di trasmissione. Una figura più realistica del throughput massimo di una rete Ethernet è di circa 4 Mbit/s, variabile in base al numero delle stazioni attive. Se le stazioni attive sono solo due il throughput può arrivare a 9 Mbit/s.

In quasi tutte le versioni di Ethernet la tecnica di trasmissione è in banda base. Se il mezzo è un cavo coassiale il segnale viene codificato con codice Manchester differenziale. Questo tipo di codifica si ottiene combinando il segnale numerico da trasmettere con un'onda quadra di clock. La codifica Manchester consiste nella spedizione di un ciclo del segnale di clock se il bit da trasmettere è 0, del ciclo negato se il bit da trasmettere è uno. In questo modo viene trasmesso un segnale che varia almeno una volta ad ogni bit trasmesso ed è più semplice per l'elettronica delle schede il mantenimento



del sincronismo fra il trasmettitore ed il ricevitore, che comunicano ad alta velocità. Come si vede dal disegno, se si deve spedire una sequenza di bit uguali il segnale trasmesso è un'onda quadra di frequenza 20 MHz di quella del clock. Dunque il mezzo di trasmissione utilizzato deve avere la banda passante sufficiente a trasmettere un modo affidabile quest'onda quadra.

<sup>1</sup> Almeno per ciò che riguarda le "prime" Ethernet.

### 1.1.1 Mezzi di trasmissione e dispositivi Ethernet

Prima di trattare in dettaglio i mezzi di trasmissione, diamo alcune definizioni che ci servono subito.

#### Segmento

Un tratto della rete nel quale viene trasportato un segnale non amplificato. Un segmento ha due punti terminali, ciascuno dei quali corrisponde ad un terminatore, ad un ripetitore, ad un bridge o ad un router (vedi oltre).

#### Terminatore

Un dispositivo passivo (un'impedenza) posto alla fine di una linea di trasmissione e che ha lo stesso valore dell'impedenza caratteristica della linea. Il terminatore evita la riflessione delle onde elettromagnetiche che si propagano lungo la linea e la conseguente distorsione del segnale trasmesso. Le linee Ethernet sono terminate. In alcuni tipi di cablaggi (cavo coassiale) il terminatore è visibile e viene posto alla fine del cavo della rete, in altri tipi è "nascosto" dentro gli apparati.

#### Transceiver (o MAU)

Dispositivo che è in grado di trasmettere e ricevere segnali Ethernet. Il transceiver è un dispositivo passivo che, come tale, attenua il segnale che vi transita. Il transceiver Ethernet dovrà anche essere in grado di rilevare le collisioni, quando esse avvengono. MAU significa Medium Attachment Unit. La parola transceiver significa **transmitter - receiver**.

### Mezzi di trasmissione

L'ordine con cui presentiamo i mezzi di trasmissione è grossomodo quello cronologico di introduzione.

Esistono dei vincoli sulla lunghezza dei segmenti di rete che dipendono dal mezzo di trasmissione utilizzato, dal numero di dispositivi presenti in un percorso e dall'estensione complessiva della rete.

#### *Interfacce elettriche 802.3*

Nel gergo Ethernet i vari tipi di interfaccia elettrica della rete si indicano di solito con un acronimo composto dalla velocità massima in Mbit/s (10 o 100), dall'indicazione del metodo di segnalazione (**Baseband** o **Broadband**), e della lunghezza massima del segmento di rete in centinaia di metri (per la definizione di segmento, vedi oltre). Naturalmente ogni tipo di mezzo di trasmissione utilizzato deve avere la sua interfaccia elettrica.

#### Cavi coassiali

##### 10Base5: coassiale largo (thick coax)

Il cavo coassiale grosso, di colore giallo nelle specifiche Ethernet, da 50  $\Omega$  di impedenza caratteristica, è stato il primo supporto utilizzato. La massima lunghezza di un segmento 10Base5 è di 500 m. Il massimo numero di stazioni in un segmento 10Base5 è 100.

Le stazioni su un thick coax vanno tenute ad una distanza minima di 2,5 m, di solito nel cavo stesso sono stampati con una barra i punti nei quali è consigliato collegare il cavo coassiale alle stazioni.

Il cablaggio da realizzare è lineare. I segmenti vanno terminati. Le stazioni sono collegate con un transceiver esterno alla scheda di rete, che è piazzato direttamente sul cavo coassiale. Dal transceiver parte un cavo che raggiunge la scheda di rete, collegandosi attraverso un connettore Cannon a 15 poli detto connettore AUI. Un'installazione 10Base5 ha costo sensibilmente più alto di una a thin coax (10Base2), sia per le spese di posa (il cavo è ingombrante e rigido), sia per il costo del cavo e dei transceiver. Oggi non è mai il caso di pensare ad un'installazione con thick coax, dato che su questo mezzo di trasmissione la velocità di trasmissione è sempre rimasta quella originale di 10 Mbit/s.

##### 10Base2: coassiale stretto (thin coax)

La massima lunghezza di un segmento 10Base2 è di 185 m. Il massimo numero di stazioni in un segmento è 30.

Il cavo coassiale usato è l'RG 58, di 50  $\Omega$  di impedenza caratteristica. I segmenti vanno terminati. Di solito il cablaggio realizzato è lineare, anche se esistono concentratori (detti multiport repeater), per cui è possibile anche un cablaggio a stella o misto. La distanza minima fra le schede di rete 10Base2 è di 0,5 m.

Con questo mezzo di trasmissione si realizzavano le reti di costo minore, anche se esse non hanno avevano la flessibilità di quelle che utilizzano UTP (vedi oltre). Anche per le reti 10Base2 una nuova installazione è da escludere, a meno di non voler riciclare vecchio materiale da museo (o da discarica). Infatti anche su questo mezzo di trasmissione lo sviluppo di Ethernet si è fermato ai 10 Mbit/s.

##### 10Broad36: Broadband coax

Rete basata su cavo coassiale a larga banda, identico a quello per le trasmissioni TV via cavo. Ha una lunghezza massima di segmento di 3600 m. Fu usata molto raramente, di solito solo se si ha un cavo coassiale a larga banda già cablato per altri scopi. È l'unica Ethernet in cui la tecnica di trasmissione non è digitale. Anche in questo caso la tecnologia si è fermata e non è mai esistita una 100Broad36.

#### Doppini telefonici

I segmenti di rete in UTP sono collegamenti da punto a punto fra la stazione ed un concentratore detto "hub". La distanza che si può coprire, nel collegamento della stazione al suo hub, è di 100 - 150 m. Il primo standard Ethernet che riguarda doppini telefonici si chiama "10BaseT", ove la T sta per "Twisted pair" (doppino telefonico). La norma e la sigla 10BaseT non parlano di lunghezze, anche perché la distanza raggiungibile dipende molto più dalla qualità del cavo che non da limitazioni nella rilevazione della collisione (vedi oltre). La norma specifica cavi che devono dare una attenuazione inferiore a -11,5 dB, alla lunghezza desiderata. Il cavo usato è un doppino non schermato di qualità "voce", cioè un buon cavo per telefono, di categoria 3, secondo la norma EIA/TIA 568 (ISO 11801). La norma specifica che il cavo

deve essere di tipo intrecciato per tutta la lunghezza del segmento. Il cablaggio da realizzare è a stella, che rende possibili i vantaggi del cablaggio strutturato. Questo mezzo di trasmissione è il più flessibile ed è quello più utilizzato. L'hardware per 10BaseT era solo leggermente più costoso di quello per 10Base2, il costo degli hub è oggi davvero molto basso.


Lo standard 802.3 non prevede come mezzo di trasmissione il doppino schermato (STP). Peraltro alcuni produttori forniscono apparecchiature in grado di funzionare anche con STP.

Come mezzo di trasmissione l'UTP ha subito grandi evoluzioni. La qualità del cavo è molto migliorata ed è stata formalizzata nelle norme EIA/TIA 568 in categorie. Si è passati dalla Categoria 5 alla 5 enhanced, 6 e 7.

Su questi cavi migliorati è aumentata anche la velocità di trasmissione di Ethernet, che è passata dai 100 Mbit/s (10BaseT, Fast Ethernet) sui cavi in categoria 5, a 1 Gbit/s (1000BaseT, Giga Ethernet) sui cavi in categoria 6, mentre è in vista il 10 Gbit/s su cavi in categoria 7.

I cavi UTP che rispondono alle norme EIA/TIA 568 hanno coppie di fili attorcigliati, uno di colore "intero", l'altro striato in bianco e nello stesso colore dell'altro filo della stessa coppia. I colori sono:

| <b>Coppia</b> | <b>Colori</b>            |
|---------------|--------------------------|
| 1             | Blu – Bianco Blu         |
| 2             | Arancio – Bianco Arancio |
| 3             | Verde – Bianco Verde     |
| 4             | Marrone – Bianco Marrone |



#### Fibra ottica

Se il mezzo di trasmissione è la fibra ottica si possono avere velocità da 10 Mbit/s a 10 Gbit/s. Dipendendo dalle apparecchiature utilizzate e dalla velocità usata, la distanza coperta può arrivare a molti chilometri. Gli standard per fibra ottica hanno avuto molte varianti, risolte con la conquista del mercato da parte di una tecnologia "migliore" o con la creazione di dispositivi "multistandard" in grado di funzionare con diverse tecniche di trasmissione. Gli standard iniziali Ethernet per 10 Mbit/s su fibra ottica definivano tre varianti, note come 10BaseFB, 10BaseFP, 10BaseFL, quest'ultima era un'evoluzione di uno standard precedente, noto come FOIRL.

#### Wireless

Esistono diverse implementazioni Ethernet senza fili, sia con trasmissione via "etere", in radiofrequenza, sia con mezzi ottici (infrarossi). Dal 1997 esiste uno standard (IEEE 802.11), che ha diverse versioni, anche incompatibili fra di loro. Per i dettagli, vedi in seguito.

### Dispositivi che costituiscono una rete Ethernet, definizioni

#### Connettore e collegamento alla rete

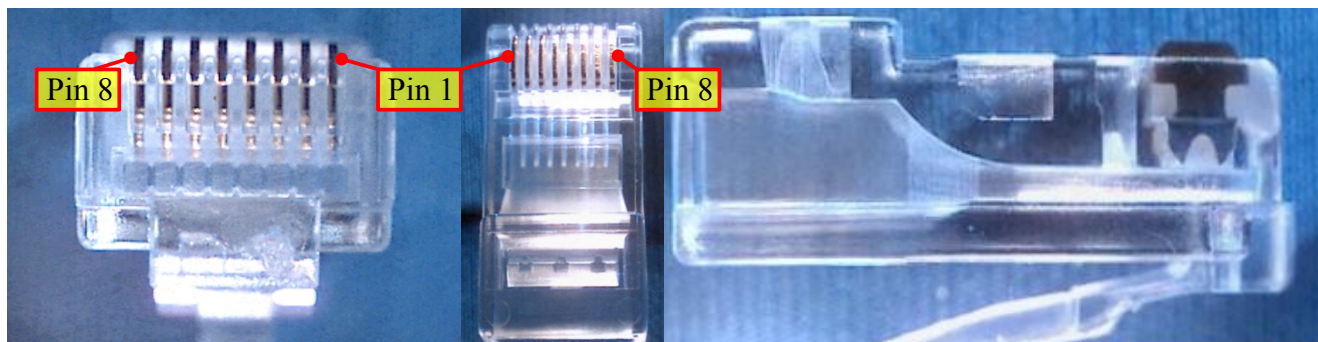
A seconda del mezzo di trasmissione scelto ci si collegherà alla rete con connettori diversi.

Le reti 10Base5 (thick coax) hanno un connettore Cannon a DB 15 pin detto connettore AUI ("Attachment Unit Interface") che si deve collegare, tramite un cavo speciale (drop cable o transceiver cable), al transceiver. Questo cavo, se ben fatto, può essere lungo fino a 50 m. Il connettore sulla scheda è femmina. Il transceiver 10Base5 è perciò esterno alla scheda di rete e viene collegato direttamente al cavo coassiale, per mezzo di contatti a perforazione d'isolante ("a vampiro"). Il drop cable è costituito da diverse coppie di doppini, con un unico schermo esterno.

Le reti 10Base2 (thin coax) hanno un connettore "a baionetta" BNC (il significato della sigla BNC è controverso; quello più accreditato riprende il nome degli inventori: "Bayonet Neil - Concelman Connector"), come quello con cui ci si connette agli oscilloscopi, molto agevole nell'inserzione. I transceiver per 10Base2 sono inclusi nella scheda di rete, perciò non esiste il drop cable ed è il coassiale stesso che viene portato fino alla scheda di rete e collegato con il connettore BNC a T. L'ultima stazione di ogni segmento deve avere un terminatore in uno dei due estremi della T.

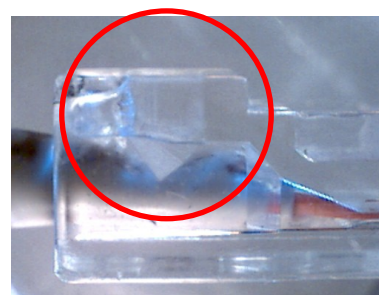
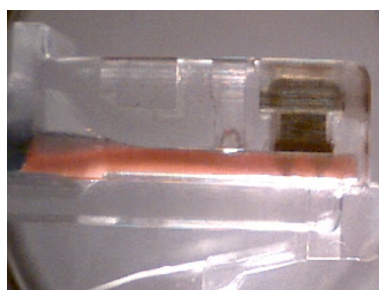
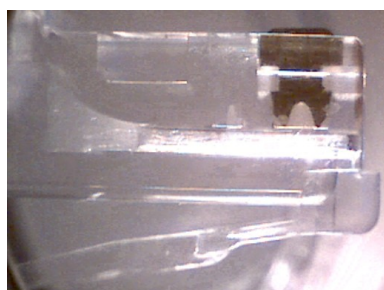
Le reti 10BaseT (UTP) hanno connettori RJ-45 (ISO 8877), simili a quelli delle prese telefoniche americane che si trovano nei modem (RJ-11). A differenza degli RJ-11, che hanno quattro contatti, l' RJ-45 ha 8 contatti e quindi è più grande.

Le seguenti foto al microscopio mostrano un connettore RJ45.



La norma EIA/TIA-588 specifica questi connettori in grande dettaglio. Il cavo viene intestato sul connettore, di solito si dice che viene "crimpato", con un orribile neologismo che proviene dall'inglese "to crimp".

"Crimpare" un connettore significa stringere il cavo con un attrezzo che, assicura una ritenzione meccanica stabile del cavo, perfora l'isolante dei fili e fa un collegamento elettrico fra ogni filo del cavo ed ogni contatto del connettore. Nelle seguenti fotografie al microscopio si vedono i "denti" di un contatto prima e dopo la crimpatura. Si noti come "dopo la cura" il dente affondi nel filo, effettuando il contatto elettrico. Nella foto a destra si vede la parte finale del connettore dopo la crimpatura. Si noti come una parte del connettore sia stata abbassata dall'attrezzo che ha fatto la crimpatura, in modo da stringere il cavo ed evitare che possa uscire anche se tirato con forza.



Degli otto fili presenti nel connettore solo quattro vengono usati in reti Ethernet 10BaseT e nelle più comuni delle 100-BaseT, una coppia per la trasmissione e l'altra per la ricezione (pin 1-2 e 3-6 del connettore). I quattro fili in più che si portano fino al computer possono servire per un telefono analogico (ne basterebbero due) o digitale (si userebbero tutti e quattro). Alcuni tipi di Fast Ethernet (100 Mbit/s) e tutte quelle a 1 Gbit/s su UTP fanno uso di tutti gli otto i fili.

Versioni recenti degli standard Fast Ethernet prevedono l'uso delle coppie non utilizzate per alimentare il dispositivo remoto. Queste tecniche sono dette POE (**P**ower **O**ver **E**thernet) e sono utili, per esempio, per non dover portare l'alimentazione ad un access point wireless situato in un posto impervio, oppure per alimentare sensori "intelligenti" o dispositivi di acquisizione dati direttamente dall'hub.

Guardando il connettore di fronte, con i contatti in alto, il contatto più a sinistra è il numero 8. Guardando la presa a muro, con l'incavo per la linguetta di rimozione del connettore verso il basso ed i contatti verso l'alto, il contatto più a sinistra è il numero 1.

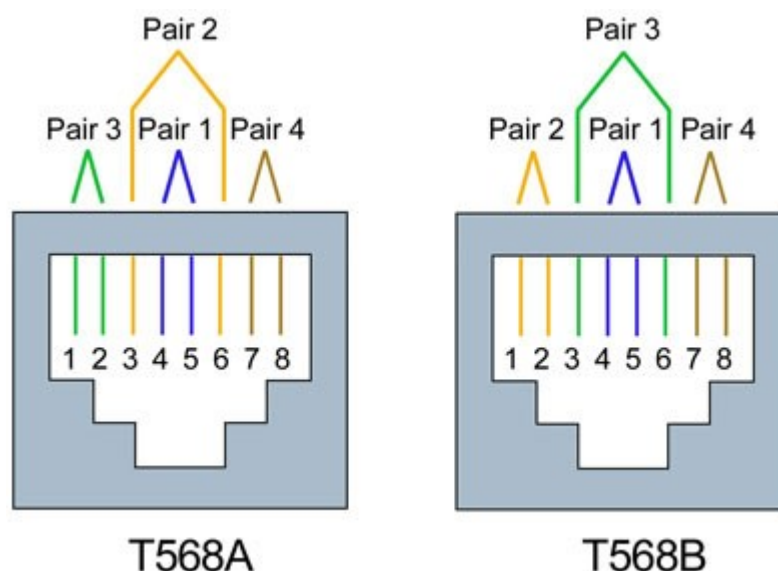


Figura 1: Colori dei fili in un connettore RJ45 per Ethernet secondo le EIA-TIA 568 A e 568 B.

Connettori RJ-45 sono usati, oltre che nelle Ethernet, anche nelle reti locali Token ring, nelle schede ISDN per il collegamento alle reti telefonica digitale, in ATM e per collegare i sensori in certi sistemi moderni di acquisizione dati. Segue una tabella che illustra l'utilizzazione dei contatti di un RJ-45 nei vari standard (compresi alcuni Ethernet ora non più usati).

| <i>Uso</i>   | <i>Coppie</i> | <i>Contatti RJ45</i> | <i>Note</i>                          |
|--------------|---------------|----------------------|--------------------------------------|
| 10BaseT      | 2; 3          | 1-2; 3-6             |                                      |
| 100Base-T4   | 2; 3          | 1-2; 3-6             | Unico collegamento usato attualmente |
| 100Base-T8   | 1; 2; 3; 4    | 4-5; 1-2; 3-6; 7-8   | Non più usato                        |
| 100VG-AnyLAN | 1; 2; 3; 4    | 4-5; 1-2; 3-6; 7-8   | Non più usato                        |
| 1000BaseT    | 1; 2; 3; 4    |                      |                                      |
| Token ring   | 1; 3          | 4-5; 3-6             |                                      |
| ISDN         | 2; 3          | 1-2; 3-6             | Come Ethernet                        |

Il connettore RJ 45 è il "punto debole" dei cablaggi in categoria 6, e verrà sostituito da un nuovo tipo di connettore con la categoria 7.

#### Cavo "dritto" (patch cable)

Per collegare un hub ad una scheda di rete si usa un cavo terminato da entrambi i lati con un connettore RJ45. Il cavo è "dritto" (patch cable), ha tutti i contatti da un lato collegati con gli stessi contatti dall'altro lato.

Dato che, naturalmente, la coppia di pin di ricezione da un lato del segmento deve essere collegata alla coppia in trasmissione dall'altro lato, ciò implica che le prese sull'hub e sulla scheda di rete sono "incrociate", nel senso che la presa "da hub" ha il contatto di trasmissione sul pin del connettore che è in ricezione sulla presa "da scheda di rete".

Per le tratte terminali, fra stazione e presa a muro, si è usata in passato una "piattina" che ha all'interno quattro coppie di fili non attorcigliati e porta ai suoi estremi il connettore maschio. Questo cablaggio è molto più facile da terminare per crimpatura ma dà parecchi problemi ad alta velocità, per cui oggi di fatto non è più usato.

Attualmente le norme per i cablaggi specificano addirittura che il cavo patch fra muro e scheda di rete non debba essere "fatto a mano", ma dovrebbe essere un cavo termosaldato di produzione industriale, crimpato e certificato in fabbrica.

Collegamenti dei contatti nel cavo "dritto" ("straight through") per Ethernet UTP

| <i>Contatto</i><br><i>RJ45</i><br><i>lato 1</i> | <i>Colore</i><br><i>filo</i> | <i>Contatto</i><br><i>RJ45</i><br><i>lato 2</i> | <i>Nome</i><br><i>segnale</i> | <i>Note</i>                       |
|---|------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1   | Bianco Arancio               | 1   | T2                            | TxData +, coppia 2 segnale +      |
| 2   | Arancio                      | 2   | R2                            | TxData -, coppia 2 segnale -      |
| 3   | Bianco Verde                 | 3   | T3                            | RecvData +, coppia 3 segnale +    |
| 4   | Blu                          | 4   | R1                            | Non usato per trasmettere segnali |
| 5   | Bianco Blu                   | 5   | T1                            | Non usato per trasmettere segnali |
| 6   | Verde                        | 6   | R3                            | RecvData -, coppia 3 segnale -    |
| 7   | Bianco Marrone               | 7   | T4                            | Non usato per trasmettere segnali |
| 8   | Marrone                      | 8   | R4                            | Non usato per trasmettere segnali |

Si noti come la coppia Verde non sia su contatti contigui. Ciò rende un po' più complicata l'operazione di cablaggio. La coppia Blu (coppia 1) e quella Marrone (coppia 4) non sono usate per trasmettere segnali; è d'uso collegarle lo stesso. I cavi completi che si acquistano in negozio collegano tutti gli 8 fili come indicato nella tabella.

Cavo incrociato (crossed patch)

Per un rapido scambio di dati ad alta velocità fra due computer (o per fare un gioco uno contro uno), è possibile collegare fra loro due schede di rete, senza usare un hub.

Dato che in questo caso lo scambio fra fili di trasmissione e ricezione non può essere fatto all'interno dell'hub, è necessario usare un cavo speciale ("crossover" patch cable).

La piedinatura del "cross patch" inverte la coppia in trasmissione con quella in ricezione, come tutti si aspettavano:

| <i>Contatto</i><br><i>RJ45</i><br><i>lato 1</i> | <i>Colore</i><br><i>filo</i> | <i>Contatto</i><br><i>RJ45</i><br><i>lato 2</i> | <i>Note</i>            |
|---|------------------------------|---|------------------------|
| 1   | Bianco Arancio               | 3   | TxData+ con RecvData+  |
| 2   | Arancio                      | 6   | TxData- con RecvData-  |
| 3   | Bianco Verde                 | 1   | RecvData+ con TxData+  |
| 4   | Blu                          | 4   | n.a.                   |
| 5   | Bianco Blu                   | 5   | n.a.                   |
| 6   | Verde                        | 1   | RecvData - con TxData- |
| 7   | Bianco Marrone               | 7   | n.a.                   |
| 8   | Marrone                      | 8   | n.a.                   |

Nei cavi incrociati che si trovano in commercio sono collegati tutti i contatti, le coppie 1 e 4 (Blu e Marrone) di solito NON sono invertite (di fatto i collegamenti corrispondono ad un connettore 568A e ad un 568B).

Alcuni hub per UTP hanno connettori più "densi", da 50 pin, compatibili con quelli utilizzati nei sistemi telefonici, che collegano diverse stazioni.

Scheda di rete (NIC)

La scheda di rete che sta dentro il computer viene detta NIC (Network Interface Card).

Per la scelta delle schede di rete si hanno a disposizione diverse opzioni. In molte schede è presente uno solo dei tre tipi di connettori alla rete (di solito l' RJ45), mentre nelle schede da 10 Mbit/s ce ne possono essere uno, due o tre (schede "combo" con AUI, BNC e RJ45).

Se si ha una rete eterogenea, con diversi mezzi di trasmissione, è buona regola tenere di riserva un paio di schede con tutti e tre i connettori, così da poter sostituire in emergenza ogni scheda della rete che andasse rotta.

Molte schede hanno LED diagnostici che permettono di individuare visivamente se il collegamento fisico di quella scheda è funzionante.

### Ripetitore (repeater)

Dispositivo attivo che amplifica, "risquadra" ed eventualmente ritemporizza i segnali fisici di una rete Ethernet. Non fa nessun tipo di buffering e lavora solo elettricamente. Non è a conoscenza di cosa contiene il pacchetto che contribuisce a smistare. Aumenta la distanza che la rete può coprire, limitando i problemi di attenuazione, ma non può fare nulla per quel che riguarda i ritardi di propagazione. Permangono perciò limiti di "copertura" della rete riferiti alle possibili difficoltà nella rilevazione della collisione (vedi oltre, in MAC).

### Multiport transceiver, multiport repeater

Dispositivi che funzionano con cavi coassiali, leggono un segnale all'ingresso e lo riproducono su più di una uscita (su più segmenti). Il multiport transceiver, che non ha funzioni attive sul segnale, è un dispositivo solo un po' più complicato di un ripartitore di segnale di un cavo d'antenna TV. Il multiport repeater è un ripetitore che è in grado di pilotare molte linee di uscita, ciascuna delle quali è un segmento di rete.

### Concentratore (Repeater Hub)

La parola "hub" in Inglese viene usata, in senso figurativo, come "centro". Nel gergo informatico indica un concentratore al quale si connettono da punto a punto diversi sistemi, di solito stazioni di rete cablate con UTP. Nel caso di Ethernet un repeater hub è un multiport repeater per UTP, dal quale partono collegamenti punto - punto con le stazioni invece che interi segmenti cablati linearmente. Ad un hub Ethernet, che è anche un ripetitore, si può collegare un altro hub, realizzando un cablaggio ad albero. Quest'ultimo cablaggio può dare qualche problema perché diventa più difficile gestire la rete e rispettare le specifiche sul numero dei ripetitori.

### "Stackable hub"

Alcuni tipi hub hanno un connettore speciale di specifiche "proprietarie" (non standard), che permette di collegarli con altri dello stesso produttore in modo da formare un hub "più grosso", che si comporta come se fosse un singolo hub con un numero maggiore di port. Questo tipo di hub viene detto "stackable", appunto perché gli hub si possono impilare fisicamente uno sopra all'altro, costituendo un tutt'uno. Quando gli hub che si usano non sono "stackable" se è necessario aggiungere un hub esso occupa una porta di quello preesistente ed aumenta di uno il conteggio dei ripetitori della rete (Vedi figura: "hub in cascata e hub stackable")

### Sottorete

Termine usato spesso in modo ambiguo. Di solito significa una rete che di per sé potrebbe essere autonoma ma è collegata con un'altra, a formare una rete più grande e complessa.

Una spiegazione suggestiva del termine viene data da "The Ethernet FAQ": "*(subnet ..) a big nylon thing used to capture enemy subs*"

### Dominio di collisione (sottorete Ethernet)

E' una rete CSMA/CD, nella quale se due stazioni trasmettono contemporaneamente si genera una collisione. Nella stessa LAN ci possono essere diversi domini di collisione, ciascuno separato dagli altri da un dispositivo che contiene un buffer di memoria e che disaccoppia i due domini di collisione, come un bridge o un router.

### Dorsale (Backbone)

La parte di una rete che realizza i collegamenti più importanti e veloci. Tutto il traffico fra computer "distanti" deve passare attraverso la dorsale.

### Bridge

I bridge sono dispositivi di livello 2 (DLL). Come abbiamo visto il livello 2 è suddivisibile nei due sottolivelli MAC e LCC. Alcuni bridge, che operano a livello MAC, sono in grado di collegare solo segmenti con lo stesso MAC ma con diverso mezzo di trasmissione, come per esempio Ethernet su coassiale o su fibra ottica. Altri bridge, che lavorano al livello LCC, sono in grado di collegare segmenti di rete con MAC diversi, con p.es. Ethernet o Token - Ring.

Un bridge collega due o più segmenti di rete leggendo tutti i pacchetti che giungono da ciascuno di essi, copiandoli in un suo buffer di memoria temporanea, e "ricopiando" i pacchetti sugli altri segmenti, rispettando le regole ed i tempi previsti dai MAC di destinazione.

Dunque un bridge funge da relay fra due domini di collisione ed è in grado di collegare segmenti con lo stesso MAC che hanno formati elettrici diversi (p.es. 10BaseT con 10Base2). Funziona a livello di data link (livello 2, sottolivello MAC), utilizzando indirizzi fisici (indirizzi MAC).

Dato che è in grado di rispettare le regole MAC di tutti i segmenti di rete collegati ai suoi port, un bridge disaccoppia i segmenti dal punto di vista del rilevamento della collisione: due stazioni che trasmettono contemporaneamente su due port diversi di un bridge non generano collisioni. Il bridge rompe cioè il "dominio di collisione", ai suoi port si collegano sottoreti CSMA/CD potenzialmente autonome. Il prezzo che si paga è un aumento dei tempi di latenza dei pacchetti trasmessi, effetto che si può minimizzare scegliendo saggiamente il punto ove installare il bridge, in modo che il traffico fra le sottoreti realizzate non sia troppo sostenuto. Un bridge tradizionale permette di allargare le dimensioni di una rete, ma non si migliorarne le prestazioni, dato che riproduce su ogni suo port tutto il traffico che riceve sugli altri.

Per quanto un bridge unisca reti separate, esse sono viste dai livelli di rete superiori come una sola ("domino di broadcast").

Esistono bridge che possono collegare MAC di tipo diverso (p.es. Ethernet con Token Ring o con Wireless). Essi possono essere classificati come relay di livello LLC, considerando che nelle norme 802, il livello che mette assieme i MAC è LLC.

### Learning bridge

Un learning bridge cattura l'header di ogni frame che proviene da ciascuna delle LAN collegate ai suoi port. Leggendo l'indirizzo del mittente, è in grado di crearsi una tabella di corrispondenze fra indirizzi MAC e domini di collisione di appartenenza. Dunque "impara" in quale dominio risiede ogni nodo della rete complessiva e può spedire i frame solo nel dominio che contiene la stazione di destinazione, senza propagarlo anche in sottoreti che non sono interessate, cioè quelle su cui non è presente né il mittente né il destinatario. Questo modo di funzionare libera le sottoreti non interessate per la trasmissione di altri pacchetti, aumentando l'efficienza della rete globale. Tutti i bridge prodotti al giorno d'oggi sono learning bridge.

Considerando che ogni volta che si accende un computer le sue schede di rete mandano un messaggio in broadcast per annunciare il loro ingresso nella rete, la tabella del learning bridge si riempie rapidamente ed in modo efficace.

Figura 2: Learnig bridge

### Switch (Ethernet switching hub)

Uno switching hub è un bridge<sup>2</sup> che è in grado di sostenere la massima velocità della rete ad ognuno dei suoi ingressi (port)<sup>3</sup>. In questo modo la banda della rete di fatto non è suddivisa fra i vari port, ma aumenta con il numero di port dello switch.

Uno switch funziona come un learning bridge ma è estremamente veloce, perché implementato in hardware, con circuiti progettati esclusivamente per quello scopo (ASIC: Application Specific Integrated Circuit). Legge i frame in arrivo e li scrive rapidissimamente, in modo "intelligente", sul solo port interessato da quel frame, cioè quello ove risiede la stazione di destinazione. Uno switching hub ha un "back-panel" ("pannello di espansione") velocissimo, tanto da poter sopportare la somma del massimo traffico di tutti i port che vi sono collegati. Inoltre esso è in grado di commutare fisicamente ogni su port su ogni altro; ha perciò una topologia interna di tipo crossbar ("crossbar switch").

I port dello switch commutano tanto velocemente da non rallentare il traffico su di essi, come se ciascuna coppia di port avesse a disposizione per sé tutta la rete. In questo modo "simula" la presenza di un mezzo di trasmissione dedicato, non condiviso, in ciascuno dei suoi port.

Come un bridge, uno switch opera al livello 2 del modello OSI (DLL), utilizzando indirizzi MAC.

Gli switch si dividono in pass-through ("passa subito", detti anche "cut-through") e store-forward ("memorizza e distribuisce"). I primi passano il frame al port di destinazione non appena vedono il relativo indirizzo, senza attendere altre informazioni; i secondi memorizzano tutto il frame e lo spediscono solo alla fine, se non presenta errori. Gli switch pass-through hanno il migliore tempo di latenza, aggiungono cioè meno ritardo fra il momento in cui il frame comincia ad arrivare e quello in cui comincia ad uscire. In compenso possono propagare sul resto della rete dei frame errati, dato che cominciano a spedire prima di poter calcolare il CRC. Gli switch store-forward, più "latenti", sono più indicati nelle situazioni in cui ci possono essere più errori del normale. In questo caso infatti gli errori non vengono propagati nei segmenti di rete che escono dallo switch. Alcuni switch ("adattativi", adaptive) sono in grado di passare "intelligentemente" da un funzionamento pass-through ad uno store-forward in base a statistiche sul tasso di errore e a dati istantanei sulle condizioni del traffico e dei mezzi di trasmissione.

Gli switching hub hanno di solito un port a più alta velocità per il collegamento ad una dorsale, che è in grado di sopportare la banda aggregata di tutti gli altri (p.es. 10 port a 10 Mbit/s e 1 port a 100 Mbit/s).

Gli switching hub ordinari accettano alle loro porte un solo computer ("port switch"). Essi sono utilizzati pienamente solo collegandoli a server di rete particolarmente carichi.

Altri tipi di switch ("segment switch") possono accettare interi segmenti di rete. La banda di ogni ingresso dello switch può così essere condivisa fra tutte le stazioni del segmento.

Dal punto di vista logico la sostituzione di un hub con uno switch trasforma un segmento a mezzo di trasmissione condiviso in tanti segmenti la cui larghezza di banda si somma.

Quasi tutti i modelli di switch possono funzionare in modo "full duplex". Ci può avvenire solo nei port ove è collegata una sola stazione. Infatti se una sola stazione è collegata ad un port di uno switch il problema della collisione non si pone. Dato che non ci sono collisioni è possibile la trasmissione e la ricezione contemporanea alla scheda di rete, che naturalmente deve essere tale da supportare questa modalità di funzionamento. In questo caso la velocità massima a disposizione della rete, sommando i dati in lettura a quelli in scrittura, è il doppio della velocità massima nominale del segmento.

Qualora avessimo più di una stazione su un port di uno switch non sarebbe possibile operare in full duplex. Infatti, come già illustrato in precedenza, nella modalità Ethernet "normale" la collisione viene rilevata, nelle schede UTP, per la presenza contemporanea di un segnale nella coppia di ingresso ed in quella di uscita. Ne consegue che con un hub "regolare" l'attività di spedizione e ricezione contemporanea sarebbero interpretate come collisioni.

Se un dispositivo viene denominato solo "hub" di solito è un "repeater hub", mentre spesso gli "switching hub" vengono detti solo "switch".

Nel progetto di una rete moderna si farà il possibile per utilizzare switch ovunque sia necessario spezzare un dominio di collisione. Si interporrà invece un router quando si vorranno collegare reti "logicamente" staccate fra di loro con un dispositivo che si può configurare per realizzare funzioni complesse (NAT, firewall, vedi in seguito).

<sup>2</sup> Attenzione, nelle versioni di questo documento precedenti alla 0.9.2 qui era scritto erroneamente "hub".

<sup>3</sup> Si dice che è in grado di commutare i frame a "wire speed" (alla velocità "del cavo")



### Switch gestiti o non gestiti

Gli switch più "facili" da acquistare e da usare sono quelli "unmanaged", cioè "non gestiti". L'unica cosa da fare per far funzionare uno switch unmanaged è collegargli le stazioni di rete. E' chiaro però che questa soluzione ha minore flessibilità. Infatti esistono anche switch "managed" (gestiti), che consentono di accedere alle sue funzioni per effettuare controlli e riconfigurazioni.

La gestione dello switch "managed" può essere effettuata "in banda", utilizzando le normali porte di rete dello switch, o "fuori banda", tramite una specifica porta di gestione, Ethernet od anche RS-232.

Gli switch fuori banda di solito sono gestiti collegandosi alla porta di gestione con un computer in emulazione di terminale.

In altri casi, molto frequenti, gli switch gestiti si avvalgono del protocollo HTTP<sup>4</sup> per la loro gestione sia "in banda" che "fuori banda". Essi infatti contengono un Web server, che permette di configurarli dal browser di un computer qualsiasi collegato allo switch.

Un altro protocollo importante per la gestione delle apparecchiature di rete, specie nei dispositivi "enterprise", rivolti alle grandi aziende, è l'SNMP (Simple Network Management Protocol). SNMP è il protocollo Internet sviluppato per gestire i nodi (server, workstation, router, switch, hub ecc.) in una rete IP (vedi oltre). Il protocollo SNMP consente agli amministratori di gestire le prestazioni della rete, di individuare e risolvere eventuali problemi e di pianificare la crescita della rete.

### Dominio di broadcast

Una rete locale può essere identificata, in senso lato, con un dominio di broadcast. Il dominio di broadcast è l'insieme delle stazioni che può essere raggiunto da un pacchetto particolare che porti come indirizzo di destinazione un particolare numero, detto indirizzo di broadcast. Il pacchetto destinato al broadcast viene propagato a tutte le stazioni che stanno su una rete locale e da esse viene letto ed utilizzato. Il broadcast ha senso sulle reti locali, ove la trasmissione avviene ad alta velocità e su mezzo condiviso, perché è facile ed economico, mentre non ha senso nelle reti geografiche, sia per la bassa velocità sia per l'enorme numero di stazioni collegate. Si pensi all'effetto devastante che potrebbe avere la spedizione di pacchetti in broadcast su Internet. Questi pacchetti dovrebbero essere propagati a "tutti i computer del mondo" solo per la presenza nel loro frame di un particolare indirizzo di destinazione.

### LAN virtuali (VLAN)

L'inserimento di un bridge o di uno switch tra due segmenti permette di creare diversi domini di collisione, ma si mantiene unico il "dominio di broadcast", la rete locale rimane cioè unica dal punto di vista logico: una richiesta di trasmissione in broadcast viene propagata in tutti i domini di collisione della rete. Molti switch moderni sono in grado di raggruppare dinamicamente, sotto controllo del software, gruppi dei loro port entro "domini di broadcast" separati. Sono perciò in grado di creare delle reti separate logicamente, ma che possono essere riconfigurate esclusivamente via software, senza necessità di ricablaggi, idealmente senza neppure togliere il cavo dalla scheda di rete e dall'hub.

Questi domini di broadcast riconfigurabili "via software" sono detti "LAN virtuali".

### Router

Un router è un dispositivo "classico" usato da tempo per collegare le reti locali fra loro ed alle reti geografiche. Ha molte funzionalità, anche complesse, che richiedono l'uso estensivo di software e la presenza di CPU potenti, tanto che come router vengono sovente usati computer general purpose. Un router però lavora al livello 3 OSI (livello network), ed utilizza indirizzi di livello più alto di quello fisico (quasi sempre indirizzi IP (Internet Protocol)). Conoscendo questi indirizzi e consultando una tabella al suo interno il router può sapere in quale suo port deve trasmettere il frame perché esso giunga più vicino alla sua destinazione finale.

Quando la rete ha una topologia tale per cui sono possibili percorsi alternativi per giungere nello stesso punto (topologia a maglia), il router ha anche una funzione di **instradamento** dei pacchetti, dalla quale deriva il suo nome ("route" significa sostanzialmente "strada").

Un router può dunque decidere, in tutto o in parte, il percorso che il pacchetto deve fare per giungere a destinazione.

Anche il router, come il bridge, collega due sottoreti e può collegare reti con MAC diversi. Inoltre è in grado di offrire funzioni di controllo del flusso (richiesta di interruzione della trasmissione se il canale non è in grado di sopportare il traffico).

Alcuni router sono inoltre in grado di fornire funzioni di qualità del servizio (QoS). In questo caso possono dare la priorità ai pacchetti urgenti, si solito quelli che trasportano traffico in tempo reale.

In alcuni contesti oltre al termine router è usato, per significare la stessa cosa, il termine "gateway".

Il router è un dispositivo con software sofisticato, molto più flessibile di uno switch, ed è in grado di filtrare pacchetti da o per indirizzi "pericolosi" o che usano protocolli dei quali non si vuole premettere l'uso.

Un router è un dispositivo intrinsecamente più lento di uno switch<sup>5</sup>, che va usato ove ci siano connessioni geografiche oppure ove esistano reti locali separate che fra loro si scambiano un traffico non troppo sostenuto e/o con requisiti di sicurezza.

Un computer general purpose con un Sistema Operativo adeguato, per esempio un PC, può essere configurato per svolgere le funzioni di un router.

<sup>4</sup> Il protocollo del "Web", vedi oltre

<sup>5</sup> Affermazione contraddetta dall'esistenza degli switch layer 3 (vedi oltre).

### Layer 3 switch (o "routing switch")

Queste apparecchiature sono di introduzione piuttosto recente ed hanno una complessità ed un costo molto superiore a quelli delle altre apparecchiature "classiche" della rete locale. Come dice il nome, sono router, di livello "Network" ISO/OSI (3), in grado di operare a "wire speed" sulla rete locale. Per dettagli sui router, si veda in seguito.

### Layer 4-7 switch

Vengono chiamati "switch layer 4-7" i dispositivi che sono in grado di fare a "wire speed" le operazioni tipiche dei livelli superiori dello stack ISO-OSI. Il termine è spesso usato in modo ambiguo dagli esperti di marketing. Le funzioni e le caratteristiche degli switch Layer 4-7 cambiano molto da apparecchiatura ad apparecchiatura.

Uno switch layer 4 funziona a livello di trasporto e dunque dovrebbe fornire a wire speed collegamenti TCP (vedi oltre). Per questo deve essere in grado di gestire il controllo del flusso e può ottimizzare, dare priorità e QoS al traffico in base alle caratteristiche del protocollo di alto livello di cui trasporta i dati (funzione di "traffic shaping" o "bandwidth shaping").

Può inoltre filtrare il traffico in base al protocollo di trasporto<sup>6</sup>, ed, in alcuni casi, tener traccia (accounting) della quantità di dati trasportati fra le stazioni.

Altre funzioni interessanti degli switch di livello 4-7 sono quelle relative al bilanciamento del carico fra le porte. In questo caso lo switch fa in modo che il traffico sia spedito equamente alle stazioni collegate, senza che solo alcuni di essi rimangano inattivi o siano affogati di traffico. Questo è molto utile se si hanno molti server che sono visibili all'esterno come uno solo (virtual server in una "server farm"). La configurazione di tali switch potrebbe essere legata ad una percentuale del carico: server più veloci potrebbero avere una maggiore percentuale di carico rispetto agli altri.

Altri switch di livello più alto forniscono servizi di sicurezza (firewall con "state inspection", controllo degli accessi ..).

## Cablaggio

Il cablaggio finale delle stazioni, al tavolo degli utenti, oggi viene sempre realizzato in rame, dato che la fibra ottica avrebbe costi troppo alti. Se le distanze non sono un problema e se le stazioni sono tutte relativamente vicine ad un punto centrale, si usa un cablaggio a stella con hub UTP.

Se si tratta di collegare gruppi di stazioni fra di loro lontani, si può contemplare la soluzione di hub al centro dei gruppi, collegati a cascata con cavo UTP, usando i port di "uplink" che si trovano negli hub per questo scopo. In questo caso bisogna fare attenzione a non superare di troppo le regole sul collegamento in cascata degli hub ed usare switch per evitare che queste regole vengano violate.

UTP: si possono anche utilizzare cavi con più coppie (4, 25, 50 e oltre), alcune ditte hanno sistemi di cablaggio che permettono di mantenere al conformità con le normative EIA-TIA 568 anche con cavi multipolari.

Da fare!

Disegno: cablaggio misto di una rete con gruppi di lavoro lontani.

Nel collegamento fra piani di edifici l'installazione di coassiali grossi (10Base5) e di fibra ottica hanno costi comparabili, ma i vantaggi della soluzione in fibra sono molti. In condizioni di budget ristretto si considererà l'uplink fra hub con UTP.

Nel collegamento fra edifici diversi, ove le tensioni di terra possono essere considerevolmente diverse, od in ambienti ad alto rumore elettromagnetico, sarebbe buona norma installare fibra ottica, che non è conduttiva e non subisce interferenze elettromagnetiche. Lo stesso vale per il cablaggio di dorsali di rete, che debbano sopportare la banda aggregata di diverse sottoreti e perciò fornire velocità molto alte.

Per "badge" intelligenti ed in generale per sistemi mobili la scelta naturale è la rete wireless, ammesso che l'ambiente elettromagnetico non sia troppo disturbato.

Quando si eseguono lavori per cablare la rete, è buona norma posare sempre qualche linea in più; non costerà molto di più, dato che il fattore principale del costo è la manodopera per la posa, e si avrà spazio per l'espansione futura della rete.

In occasione di ristrutturazioni, meglio non lasciar distruggere le canalette telefoniche che non servono più; serviranno il giorno dopo la loro distruzione. Se si posano fibre ottiche, usare cavi che contengono più fibre di quelle indispensabili, tener presente che le fibre monomodali non costano oggi molto di più delle fibre multimodali ma hanno prestazioni molto superiori, per cui se l'impianto deve restare operativo per molto tempo vale la pena di considerare l'opzione della fibra monomodale. Anche nel caso della fibra ottica un cavo con un paio di fibre in più ha un costo marginalmente superiore, mentre il grosso del costo del cablaggio sta nella posa del cavo e nell'installazione del fibra, che è un'operazione delicata, fatta da personale specializzato. Per cui si potrà cablare qualche fibra in più, facendo installare solo le fibre utilizzate effettivamente. Ricordare che la fibra ottica non si può installare con raggi di curvatura troppo piccoli, pena un enorme aumento dell'attenuazione.

Lo standard 802.3 su UTP è fatto per funzionare anche su normali doppini telefonici, per cui qualche volta è possibile utilizzare i cavi già posati dell'impianto telefonico. Questo era quasi sempre vero ai tempi della Ethernet 10Mbit/s, che può usare anche cavi "voice grade", mentre è meno applicabile per le reti più veloci.

<sup>6</sup> p.es., dato che conosce il numero del port TCP, può filtrare o dirigere sulle stazioni volute tutto il traffico Web.

Esistono apparecchiature che permettono di misurare la qualità dei cavi già posati, per verificare se sono adatti alla rete che si deve installare. Peraltro spesso si sceglie di sostituire comunque i cavi già posati, per non doverlo fare in futuro, quando si passerà a reti più veloci.

#### Cablaggio strutturato

Il cablaggio delle reti in UTP riprende in gran parte quello della rete telefonica interna di un'azienda. Se possibile tutti i cavi, telefonici e per la rete dati, vengono fatti convergere nello stesso punto. In quel punto si metterà un armadio che conterrà tutti gli hub ed un pannello (patch panel) che "converte" le prese a RJ-45 degli hub in connettori multipolari. Al patch panel si collegheranno uno o più cavi multipolari, provenienti da altri connettori multipolari, sistemati in posizioni strategiche dell'edificio. Da questi connettori partono le coppie singole che collegano tutte le prese a muro dell'edificio.

Se il passaggio a reti più veloci è previsto in tempi non molto lunghi, si deve considerare la possibilità di installare mezzi di trasmissione che serviranno anche per i tipi di rete più moderni. A questo proposito c'è da ricordare che Ethernet a 100 Mbit/s ed a velocità maggiori è specificata solo su fibra ottica e UTP di buona qualità (cat. 5); i cavi coassiali non hanno futuro.

Per limitare gli effetti delle interferenze esterne è buona norma far passare i cavi di rete ad almeno un metro da trasformatori o da motori elettrici ed a 30 cm da lampade fluorescenti.

In una installazione di rete ben fatta il cablaggio dovrebbe rispettare la norma ISO 11801 sul cablaggio strutturato ed essere classificabile di classe D. Questo tipo di impianto richiede UTP, placche a muro e morsetti di collegamento tutti di categoria 5 e, per essere davvero di categoria 5, deve essere "certificato" dalle aziende che lo realizzano, effettuando misurazioni **dopo** la posa dei cavi, che possono assicurare che il materiale è della giusta qualità e la posa è stata fatta a regola d'arte. Un impianto cablato in classe D ISO 11801 ha un tempo di vita più lungo, perché le norme sulle reti locali ad alta velocità tengono sempre in considerazione, come mezzi di trasmissione, impianti di questo genere.

#### Altre limitazioni al layout della rete

Oltre che le limitazioni alla lunghezza dei singoli segmenti ed al numero di stazioni collegabili, tipiche del mezzo di trasmissione prescelto, nel progettare il layout della rete si debbono tenere in conto altre limitazioni.

In uno stesso dominio di collisione ogni possibile percorso fra due schede di rete NON può passare in più di 4 ripetitori o repeater hub, oppure in 3 segmenti. Ciò è dovuto al fatto che ogni ripetitore aggiunge un ritardo alla propagazione dei segnali sulla rete. Se si superano i 4 ripetitori il ritardo potrebbe dar luogo a collisioni non rilevate ("late collisions").

Il numero massimo di stazioni che si possono collegare ad una Ethernet è 1024.

Il massimo numero di bridge in una LAN è 7 (IEEE 802.1), anche se considerazioni sulle prestazioni limiterebbero questo numero a 4, con un solo link esterno verso WAN.

Queste indicazioni sono solo di massima. In caso di reti complesse, è possibile realizzare un modello della rete e calcolare i ritardi connessi, utilizzando i ritardi tipici dei mezzi di trasmissione e dei ripetitori, e verificando che il ritardo massimo sia inferiore a 57.6  $\mu$ s.

### 1.1.2 Dettagli sul MAC Ethernet (CSMA/CD)

Il MAC Ethernet è il CSMA/CD; Carrier Sense Multiple Acces / Collision Detection, accesso multiplo con controllo di portante e rilevamento della collisione. CSMA/CD funziona come già descritto nella trattazione generale delle reti locali. A quanto già detto aggiungiamo il dato sul tempo medio fra i tentativi di risedizione, nel caso in cui si trovi il mezzo occupato o si rilevi una collisione, che è di 51,2  $\mu$ s.

Le regole per realizzare il MAC sono implementate in hardware nell'interfaccia delle schede di rete e negli hub. In questo modo un'unica stazione riesce ad avere accesso al mezzo di trasmissione. Al contrario tutte le stazioni della rete possono leggere i dati trasmessi. La prima informazione del frame Ethernet è l'indirizzo della stazione di destinazione. Solo la stazione che legge il suo indirizzo in questo campo continuerà a leggere il resto del frame e lo utilizzerà.

#### Rilevazione della collisione

Se il mezzo di trasmissione è un coassiale il transceiver, quando deve trasmettere, applica una differenza di potenziale fra lo schermo ed il conduttore interno. Dato che il "sense" della collisione viene fatto in misurando tensioni differenziali, quando due transceiver trasmettono contemporaneamente le loro tensioni si aggiungono. Se viene rilevata una differenza di tensione più alta di una certa soglia, superiore alla tensione "normale", ciò significa, per il transceiver, la presenza di una collisione.

Se il segnale che giunge ad un transceiver è tanto attenuato che la somma delle tensioni di due trasmettitori è inferiore al valore di soglia, la collisione non viene rilevata, anche se c'è. Dato che l'attenuazione è proporzionale alla lunghezza del segmento di rete, se la rete ha un raggio troppo grande ed il segnale viene troppo attenuato, sarà necessario usare dei ripetitori, che lo rimettano in condizioni originarie.

Nei segmenti UTP la collisione viene rilevata dalle schede sui computer, quando c'è contemporaneamente un segnale sia nella coppia di trasmissione, sia nella coppia di ricezione. All'ingresso dell'hub viene rilevata come nel caso del coassiale.

Il meccanismo di rilevazione della collisione è tale che un transceiver può rilevare una collisione solo mentre trasmette. E' dunque molto importante che il primo bit di ogni frame possa raggiungere ogni nodo della rete prima che chi trasmette termini la trasmissione del suo frame.

I primi 64 bit di ogni frame (preambolo) non contengono informazioni e sono presenti per fare in modo che, nel momento in cui il trasmettente comincia a scrivere dati significativi, in ogni punto della rete sia presente la "portante" del frame che si sta per spedire. Se nel frattempo un altro nodo ha cominciato a trasmettere, in tutta la rete sarà possibile rilevare la collisione.

Non appena una stazione che sta trasmettendo rileva una collisione, spedisce un segnale di 32 bit, della durata di circa 57  $\mu$ s, fatto in modo che il pacchetto che si ottiene aggiungendo la sequenza di jam ai dati spediti fino a quel momento termini con un errore di CRC (questo segnale viene detto "jam" che significa "ingorgo", oltre che "marmellata" :-). Questo fa in modo che l'altra stazione che sta provando a trasmettere si accorga della collisione e ne fa innescare altre, se altre stazioni nel frattempo hanno iniziato a trasmettere. Alla fine del segnale di jam, la stazione interrompe la trasmissione del pacchetto, liberando il mezzo per altre stazioni. Infine attende un tempo casuale, che dipende anche dall'indirizzo della stessa scheda di rete, e ricomincia la sequenza precedente, per avere di nuovo accesso al mezzo. Questa sequenza è tutta realizzata dal chip di interfaccia Ethernet e perciò viene eseguita molto rapidamente dalla scheda di rete, senza particolare aggravio per la rete. La scheda di rete ha un buffer di un frame che le permette di ricordare ciò che deve essere spedito fra un tentativo di trasmissione e l'altro, senza disturbare la CPU del computer che la ospita.

In condizioni normali il rilevamento della collisione avviene entro i 57  $\mu$ s del segnale di jam. La collisione, rilevata entro questo margine di tempo, è un evento "normale" in una Ethernet, un evento previsto che non significa che ci sono dei problemi. Diverso è il discorso delle collisioni non rilevate o rilevate in ritardo ("late collisions"), che sono sintomo che la rete non funziona al meglio. Infatti gli standard Ethernet prevedono che nel caso in cui nei primi 57  $\mu$ s non ci sia rilevazione della collisione, la stazione spedisca tutto il frame, senza più "ascoltare" eventuali collisioni.

Questo significa che se, entro quei nei primi 57  $\mu$ s, non viene rilevata una collisione che invece avviene in seguito, le due stazioni spediscono contemporaneamente tutto il loro frame. Date le condizioni la trasmissione sarà senz'altro errata ed alla fine il CRC darà luogo ad un errore. I pacchetti trasmessi dalle stazioni "collidenti" andranno perduti e dovranno essere rispediti. Nel frattempo però il tempo per la spedizione del pacchetto è stato sprecato. Inoltre la rispedizione comporta l'intervento di livelli di software superiori e la trasmissione in rete di un frame speciale per la richiesta di ritrasmissione. Ciò non coinvolge solo le schede di rete interessate, come in una collisione "normale", ma anche le CPU dei due computer, richiedendo molto più tempo. Si capisce dunque come la presenza di troppe collisioni non rilevate può di fatto "bloccare" la rete.

Da quanto detto si può capire come la rilevazione corretta delle collisioni pone dei vincoli non solo sull'attenuazione ma anche sul tempo che l'onda elettromagnetica impiega per coprire, all'andata ed al ritorno, la distanza fra le due stazioni più lontane. Se questo tempo è maggiore di 57  $\mu$ s, si possono generare errori nella rilevazione della collisione. Il segnale di jam deve durare 2 volte il tempo di propagazione massimo dell'onda elettromagnetica da un qualsiasi punto del dominio di collisione ad un qualsiasi altro, per dare il modo anche alle stazioni più lontane di riconoscere che sono andate in collisione. Una volta definito questo tempo come 57  $\mu$ s, sapendo la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo e nei ripetitori, le specifiche Ethernet limitano la lunghezza massima dei segmenti ed il numero di ripetitori e hub. Se nella rete non ci fossero ripetitori la distanza massima sarebbe di circa 5 km, ma con distanze del genere l'attenuazione sarebbe inaccettabile. In una rete con ripetitori e hub la maggior parte del ritardo di propagazione viene aggiunta da questi dispositivi; ecco perché gli standard e le regole empiriche specificano un numero massimo di ripetitori - hub che si possono attraversare (vedi oltre, in "cablaggio").

Le specifiche delle norme sono piuttosto conservative e le apparecchiature negli ultimi anni sono molto migliorate. Per cui può capitare che anche se le specifiche non sono rispettate alla lettera le reti funzionino bene lo stesso.

Peraltro è sempre necessario rendersi conto di quando si è "al limite" delle specifiche per poter bene interpretare i problemi che potrebbero presentarsi.

Le "late collisions" possono essere frequenti se la rete ha troppo ritardo di propagazione (quindi se ha troppi ripetitori), se il traffico sulla rete è troppo intenso o se ci sono malfunzionamenti hardware. Tranne l'ultimo caso, da risolvere sostituendo i dispositivi malfunzionanti, questi problemi possono essere risolti con un semplice ripetitore, se il problema è causato dalla sola attenuazione, oppure suddividendo il dominio di collisione più congestionato in domini più piccoli. Ciò si può fare con un bridge, uno switching hub od un router. Per rendersi conto di cosa non funziona esistono molti strumenti, sia software che hardware, che permettono l'analisi delle prestazioni della rete.

## 1.2 Fast Ethernet

I mezzi di trasmissione usati in Ethernet 100 Mbit/s sono solo UTP e fibra ottica, i cavi coassiali sono stati abbandonati, per la loro scomodità.

Per implementare Ethernet a 100 Mbit/s sono stati usati diversi approcci; uno è essenzialmente l'estensione del CSMA/CD a frequenze di clock più alte, ed è stato incluso nello standard 802.3, l'altro usa un metodo del tutto nuovo di accesso al mezzo ma può trasportare frame Ethernet (802.12).

Negli standard Fast Ethernet è prevista una funzione di autonegoziazione, sfruttando la quale le schede e gli hub sono in grado di stabilire e concordare qual è il protocollo a massima velocità tramite il quale possono comunicare (schede 10/100/1000).

### Fast Ethernet IEEE 802.3

100BaseTX: UTP con 2 coppie

Questa modalità, che nel tempo è divenuta l'unica usata, usa, immutato, il CSMA/CD e la codifica del 10BaseT, aumentando la frequenza di clock a 100 MHz. Di conseguenza devono diminuire di un fattore 10 il tempo massimo per la rilevazione della collisione e perciò, almeno in linea di principio, anche il diametro massimo della rete (in verità, con ripetitori più "veloci" si può arrivare a raggi della rete confrontabili con quelli di 10BaseT). Il supporto fisico è quello sviluppato per la rete FDDI in rame su UTP, il MAC ed il frame sono quelli Ethernet. La qualità dei cavi per 100BaseTX deve essere molto migliore dei cavi per 10BaseT o per 100BaseT4 (è richiesta almeno la Categoria 5 EIA-TIA 568). Il cavo può anche essere un STP.

100BaseT4: UTP con 4 coppie

I cavi utilizzati sono analoghi simili a quelli per 10BaseT. Si possono usare cavi di Categoria 3, ma in questo caso si usano tutti gli 8 fili del cavo. La tecnica di trasmissione è in banda base, basata su un'onda quadra da 25 MHz, e la codifica è diversa dalla Manchester. Le due coppie non usate in 10BaseT e 100BaseTX sono usate in modo bidirezionale half duplex.

100BaseFX: fibra ottica

La fibra utilizzata è sostanzialmente la stessa usata in FDDI, il MAC ed il frame sono quelli Ethernet.

### VG-AnyLAN (IEEE 802.12)

I cavi utilizzati sono UTP con 4 coppie, VG significa "Voice Grade", cioè cavi di tipo telefonico. Infatti si possono usare cavi di Categoria 3. I frame trasportati possono essere sia di tipo Ethernet, sia di tipo Token Ring (IEEE 802.5), il MAC utilizzato non è CSMA/CD, ma un metodo di "priorità alla richiesta" (demand priority), più adatto di CSMA/CD per le trasmissioni di segnali realtime, dato che permette di definire un tempo massimo che il pacchetto impiegherà per arrivare a destinazione. Grazie al demand priority è possibile ottenere un'efficienza del 96% nell'utilizzazione della rete, contro il massimo teorico del 70-80% delle reti CSMA/CD. Questo tipo di rete a 100 Mbit/s è stato usato nel momento della transizione fra 10 e 100 Mbit/s ed ora non è più usato.

## Reti a dorsale collassata (Collapsed Backbone)

### 1.2.1 Gigabit Ethernet

Gigabit Internet è una realtà da pochi anni. Il comitato IEEE 802.3 ha elaborato diversi i primi standard per 1000 Mbit/s utilizzano diversi mezzi di trasmissione:

1000BaseSX fibra ottica multimodale di diametro 850 nm. Distanza massima 500 m.

1000BaseLX fibra ottica multimodale o monomodale di diametro 1300 nm. Distanza massima fra 500 m (multimodale) e 2 km.

1000BaseCX STP "twinax" (cavo per terminali veloci IBM) su corte distanze.

1000BaseT UTP di categoria 5. Distanza: 25 m inizialmente, in futuro 100 m.

Se il mezzo di trasmissione è la fibra ottica, la tecnica di trasmissione (signalling method) è quella del Fibre Channel, uno standard preesistente per trasmissioni su fibra ottica a larga banda.

Le specifiche per UTP inizialmente prevedevano cavi di categoria 5, poi è stata normalizzata una categoria 5e (enhanced), che è meglio utilizzare per tratte corte di Gigabit Ethernet. Per tratte più lunghe o per avere maggiore sicurezza della qualità del mezzo di trasmissione è meglio fare un cablaggio in categoria 6 (la 7 è in arrivo).

Gigabit Ethernet su rame usa tutte le quattro coppie contemporaneamente in entrambe le direzioni. Dunque è chiaro che non ci può essere collisione e che i concentratori debbano essere necessariamente degli switch.

### 1.2.2 10 Giga Ethernet

Prezzi: a inizio 2003 i prezzi per uno switch 10 G Ethernet tipico erano dell'ordine dei 39 mila dollari, alla fine dell'anno erano 11 mila, a fine 2004 6 mila.

## 1.3 Ethernet e real time

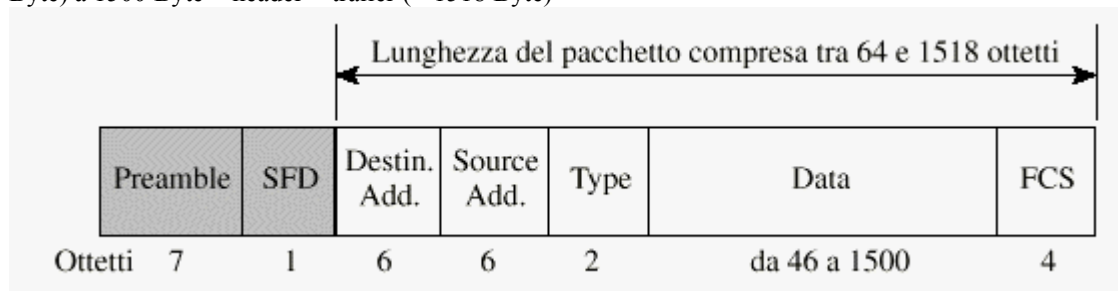
### 1.3.1 Determinismo

### 1.3.2 Ridondanza

### 1.3.3 Sincronizzazione oraria

## 1.4 Frame Ethernet

Il frame Ethernet è molto semplice, contiene solo i campi indispensabili per un protocollo "best effort". Ha lunghezza variabile, in base alle necessità del nodo che trasmette. La sua lunghezza può andare da 46 Byte + header + trailer (= 64 Byte) a 1500 Byte + header + trailer (= 1518 Byte)



Schema : formato del frame Ethernet

Nel formato del frame c'è l'unica differenza fra Ethernet e IEEE 802.3. Il frame è costituito da: un preambolo di 62 bit, con valori di 1 e 0 alternati  
due bit di "start of frame", entrambi a uno

La sequenza iniziale di 64 bit serve per sincronizzare il clock dell'interfaccia ricevente. In trasmissione viene generato automaticamente dal chipset Ethernet, che costituisce il "cuore" di ogni scheda di rete. .

Destination address, di 6 Byte: indirizzo della scheda di destinazione

Source address, di 6 Byte: indirizzo della scheda del mittente

Indirizzi "di scheda" (MAC addresses)

Ogni indirizzo MAC è lungo 48 bit, un numero consistente (256 Tera!), che qualcuno ritiene anche troppo grande, dato che impone un certo overhead alle prestazioni della rete. Ciò è dovuto al fatto che ogni scheda Ethernet prodotta al mondo ha un indirizzo MAC diverso e quindi nella numerazione c'è da tener conto di tutte le schede prodotte in passato e di quelle che si produrranno in futuro.

Gli indirizzi MAC sono di solito indicati come numeri esadecimali, con le cifre raggruppate a due a due (per Byte; p.es. 08-00-2B-97-3F-C1). Gli indirizzi vengono trasmessi a Byte, a partire dal più significativo. I bit all'interno di ciascuno dei Byte vengono spediti da quello meno significativo al più significativo.

Per assicurare l'unicità degli indirizzi essi sono divisi in due campi. I primi 3 Byte dell'indirizzo sono un codice univoco "di lotto" assegnato al costruttore dalla IEEE (p.es. un lotto 3Com è 08-00-02). Questo campo viene chiamato OUI: Organization Unique Identifier. Gli altri 3 Byte dell'indirizzo sono numeri univoci che assegna il costruttore, diversi in ogni scheda che produce.

L'indirizzo di destinazione viene scritto dal software di rete. Se esso è costituito da tutti 1 ciò significa che la comunicazione è "broadcast", cioè la trasmissione del pacchetto è diretta a tutte le stazioni della rete.

Il primo bit trasmesso, che è il meno significativo del Byte più significativo, è molto importante. Esso indica se la destinazione del frame è una singola stazione o un insieme di stazioni: se è zero il destinatario è una singola stazione. Quindi, se in un indirizzo di destinazione il primo Byte è dispari quell'indirizzo è di multicast. In pratica il bit meno significativo del primo Byte dell'indirizzo di una scheda reale è sempre a 0.

Se i primi 3 bit dell'indirizzo del mittente sono a zero, il frame è "mappato" da un'altra sottorete, cioè proviene da un bridge. Il bridge tiene traccia della corrispondenza fra gli indirizzi MAC effettivi e quelli con i primi tre bit cancellati.

Il campo "Length or type", di 2 Byte

In questo campo c'è l'unica differenza davvero significativa fra le specifiche Ethernet e 802.3.

Nello standard 802.3 esso è la lunghezza in Byte dei dati trasportati dal pacchetto. Nelle specifiche Ethernet questo campo è un codice che rappresenta il "tipo di pacchetto" (p.es. IP, IPX, AppleTalk; il codice di un pacchetto IP (Internet Protocol) è 800h).

I codici dei tipi sono tutti maggiori di 1500 così non si può confondere la lunghezza del pacchetto con il tipo di protocollo. Questo permette a frame Ethernet e frame 802.3 di circolare "contemporaneamente" sulla stessa rete. Nel caso di 802.3 il tipo di protocollo è definito in strati superiori dell'architettura di rete, e quindi è eventualmente presente in quelli che, a questo livello, sono solo "dati". I software LAN attuali possono riconoscere sia frame Ethernet che 802.3.

Campo dei dati, lungo da 46 a 1500 Byte

è "payload", cioè il "frame" dello strato superiore della rete, passato al MAC per la sua incapsulazione e trasmissione.

FRS "Frame Check Sequence"

Il "trailer" Ethernet, un CRC di 4 Byte, per controllare se il pacchetto "degenera" durante la trasmissione. E' generato dal chipset Ethernet, che, in ricezione provvede anche a controllare la correttezza. Se il protocollo trasportato dal frame è IP questo campo non serve, dato che IP è non affidabile. Per questo alcuni software fanno in modo che la scheda di rete non generi il campo FCS.

Mentre tutte le altre caratteristiche di Ethernet sono cambiate nel passare da 10 Mbit/s a 10 Gbit/s, il formato del frame è rimasto sempre identico.

## 1.5 Livello LLC

Nel protocollo 802.2 il livello Logical Link Control viene detto anche Sub Network Access Protocol (SNAP).

Il "frame" SNAP è il campo dati del frame MAC (è "incapsulato" nel frame MAC). Prima di spedire il frame lo strato MAC aggiunge al frame SNAP gli indirizzi MAC dei dispositivi, le altre informazioni dell'header ed il trailer, per il controllo di correttezza.

Il "frame" SNAP è costituito di un header, di 5 Byte, che identifica il protocollo utilizzato. I primi 3 Byte sono l'identificativo del venditore, lo stesso che viene usato come parte dell'indirizzo MAC del dispositivo. Se i primi 3 Byte sono a zero, ciò è indicazione che il frame è stato mappato da un'altra sottorete, cioè proviene da un bridge o da un router. I successivi 2 Byte sono un codice che identifica il tipo di protocollo utilizzato.

A questi 2 Byte fa seguito il campo dei dati, che è il "frame" dello strato superiore (network) e, fra le altre cose, dovrà contenere gli indirizzi di rete (per esempio gli IP address). Il software dei livelli superiori sa l'indirizzo di rete e può leggere l'indirizzo MAC della stazione trasmittente, ma potrà anche non conoscere l'indirizzo MAC della stazione a cui spedisce il pacchetto, che verrà "tolto" dallo strato LLC.

A seconda di come lo si configura, questo strato può fornire servizi connection oriented con consegna garantita o servizi connectionless a datagramma. Il secondo caso è quello di gran lunga più comune.

### 1.5.1 POE (Power Over Ethernet)

Nel Luglio del 2003 è stata ratificata la norma IEEE 802.3af, che specifica come trasportare, insieme al segnale dati delle reti Ethernet, anche l'alimentazione per le apparecchiature collegate all'hub (od allo switch).

La norma prevede di trasmettere al massimo 15 W di potenza, con tensioni di 48 V. L'alimentazione è dunque più che sufficiente per alimentare telefoni voIP, Webcam, sistemi di acquisizione dati, access point wireless 802.11 o Bluetooth ed altre apparecchiature a basso consumo, ma non basta per esempio per telecamere brandeggiabili da remoto, con motorini per il puntamento, piccoli computer, hard disk .. Per questi ulteriori dispositivi è previsto l'aggiornamento della normativa per portare la potenza erogabile fino a 30 W.

POE può essere utilizzato in tutti i tipi di rete Ethernet, da 10 Mbit/s fino al Gigabit. Nelle reti fino a 100 Mbit/s, nelle quali due delle coppie del cavo (coppie 4-5 e 7-8) non vengono usate per trasportare informazioni, esse possono essere utilizzate per l'alimentazione. E' però anche possibile trasportare l'alimentazione sugli stessi fili che portano l'informazione. Ciò avviene "sommando" il segnale continuo di alimentazione a quello variabile che contiene i dati e disaccoppiandoli a destinazione con sistemi induttivi (con "trasformatori"). Quest'ultima tecnica è obbligatoria se si vuole usare la Gigabit Ethernet, dato che in questo caso si usano per trasmettere le informazioni tutte le coppie del cavo UTP.

La norma specifica che si possa usare una sola delle due alternative illustrate (coppie non usate o segnale "sommato"), per cui non può essere possibile che tutte e quattro le coppie di un cavo UTP portino l'alimentazione.

La norma prevede anche un meccanismo piuttosto complesso di "scoperta" (discovery), che serve per verificare automaticamente, all'accensione dell'apparecchiatura ed ogniqualevolta si mette o toglie un cavo da un connettore, se i dispositivi collegati sono entrambi conformi a POE. Nel caso che il dispositivo POE accerti che è collegato ad un dispositivo non POE, non utilizzerà le funzioni POE; ciò per non danneggiare i dispositivi "normali", che non prevedono tensioni così alte come i dispositivi POE.

Per aggiungere la funzione POE anche ad hub o switch che non ce l'hanno, è possibile acquistare degli hub POE "intermedi" (midspan POE hub), che hanno due connettori RJ 45 per ogni port. Un connettore si collega al port di uscita dell'hub "normale" l'altra si collega al dispositivo da alimentare e porta sul campo il segnale con l'aggiunta delle tensioni di alimentazione.

!!!! da fare !!!!

Disegno: hub intermedio per aggiungere POE ad un hub Ethernet.

### 1.5.2 Ethernet in cablaggi ridondati

Per assicurare la continuità del servizio in reti che devono essere attive 24 ore su 24 è necessario fare cablaggi con link "multipli" ad uno stesso switch, che facciano funzionare la rete anche quando un collegamento non sia attivo per guasto o manutenzione. In questi casi si possono presentare dei problemi "di instradamento", perché le stazioni sono raggiungibili con diversi percorsi.

!!!! da fare !!!!

Figura: configurazione di una rete con anello ridondante di collegamenti

### Broadcast storm e spanning tree

Il broadcast storm ("tempesta" di broadcast) avviene quando c'è un loop nel cablaggio e viene mandato un messaggio in broadcast da una stazione sta sotto ad uno degli switch che ha il doppio collegamento ad un'altra che è nell' medesime condizioni.

Infatti quando lo switch riceve il broadcast lo propaga a tutte le stazioni che ha sotto e, dato che può raggiungere con un altro percorso la stazione che ha mandato il messaggio di broadcast, anche all'altro switch che raggiunge la stazione. Si innesca in questo modo una "retroazione positiva" che fa aumentare indefinitamente il traffico di broadcast in rete, fino a che la rete non si "pianta".

Per ovviare al broadcast storm in configurazioni ridondanti gli switch devono fare un minimo di routing. Di solito essi applicano un algoritmo, detto "spanning tree", che permette di creare un albero dei collegamenti, che permette di raggiungere una singola stazione con uno ed un solo collegamento, mantenendo i collegamenti ridondanti come backup, da usarsi solo in caso di necessità.

## ***1.6 Il software di basso livello per le schede di rete locale***

Il driver della scheda di rete è la parte di software che comunica direttamente con l'hardware. Si dovrà occupare di tutti i problemi tipici dell'I/O: programmazione dei registri del chipset Ethernet, trasferimenti dalla memoria RAM del computer al buffer della scheda, gestione dell'interrupt e/o del DMA. Nei moderni Sistemi Operativi il driver di rete deve essere necessariamente integrato nel sistema stesso, perché le operazioni di I/O devono essere protette. Generalmente il costruttore della scheda fornisce un floppy disc che contiene diversi driver, uno per ogni sistema operativo. Microsoft e Novell hanno sviluppato delle specifiche sui driver di basso livello che permettono di fornire un'interfaccia standard alla parte di S.O. che sovrintende alla rete, in modo che gli stessi moduli del S.O. possano utilizzare driver di basso livello diversi. Queste specifiche si chiamano ODI e NDIS.

Molte schede di rete, soprattutto nel passato, erano compatibili a livello di registri con la scheda di rete prodotta da Novell e venduta con le prime versioni di Netware, che era chiamata NE2000. Se una scheda è compatibile NE2000 i driver scritti per la NE2000 possono funzionare senza modifiche anche su di essa.

### **Curiosità**

#### **Nascita di Ethernet**

Alla fine degli anni 70, nel PARC Center di Palo Alto (CA), Centro di ricerche della Xerox, Robert Metcalfe ed il suo team avevano bisogno di un modo per collegare ad alta velocità i computer innovativi che stavano sviluppando. Per questo svilupparono il primo prototipo di Ethernet (nello stesso Centro in quegli anni fu sviluppato anche che il primo mouse, il primo computer con interfaccia grafica a finestre, il primo linguaggio ad oggetti (Smalltalk)).

Quando Xerox decise di non industrializzare quei prototipi (escludendosi da un immenso mercato) Metcalfe si licenziò e fondò la 3Com, ancora oggi uno dei maggiori produttori di hardware di rete. Nel 1980 un consorzio composto da Xerox - Digital Equipment e Intel pubblicava le prime specifiche Ethernet I.

Il nome "Ether"net è dovuto al fatto che il mezzo di trasmissione trasmette dati contemporaneamente a tutte le stazioni, così come l'etere (ether), se fosse esistita, avrebbe trasportato la "forza elettrica" da una sorgente a tutti i riceventi.

### **Riferimenti**

Marc Runkel (a cura di): "Ethernet FAQ", Summarized from UseNet group comp.dcom.lans.ethernet; <ftp://steph.admin.umass.edu/pub/faqs/ethernet.faq>

IEEE 802 "Standards for Local and Metropolitan Area Networks": recentemente IEEE ha reso disponibili al pubblico generale le norme 802, che si possono trovare in <http://standards.ieee.org/getieee802>

John Wobus (a cura di): "BIG-LAN FAQ"; (<http://web.syr.edu/~jmwobus/lans/>)

Charles Spurgeon: "Quick Reference Guides to 10-Mbps Ethernet"; (in "The Ethernet Page" <http://ethermanage.com>)

Roberto Mazzoni: "Come funziona una rete Ethernet" Parti 1,2, 3 e 4, sulla rivista "PC Professionale" Ed. Mondadori - Ziff Davis - 1997. Ottima serie di articoli, dettagliati e chiari, sul funzionamento hardware e software di reti Ethernet. Si possono trovare nel sito di PC Professionale.