

## Ethernet: trent'anni ben portati

Dalla prima versione su cavo coassiale alle recenti versioni da 10 Gigabit su fibra ottica, la crescente diffusione di Ethernet si sta estendendo anche alle applicazioni industriali

MASSIMO GUISSANI

**E**thernet nasce ufficialmente il 22 maggio 1973, data in cui Bob Metcalfe, ricercatore presso il Palo Alto Research Center (PARC) di Xerox, descrisse in un memo una tecnologia di scambio dati inizialmente pensata per la comunicazione tra calcolatori e stampanti di produzione Xerox. Ma le origini di questa tecnologia risalgono ad alcuni anni addietro e per l'esattezza al 1967, con il lavoro pionieristico di Norman Abramson e la rete radio Aloha che ha introdotto il concetto di trasmissione

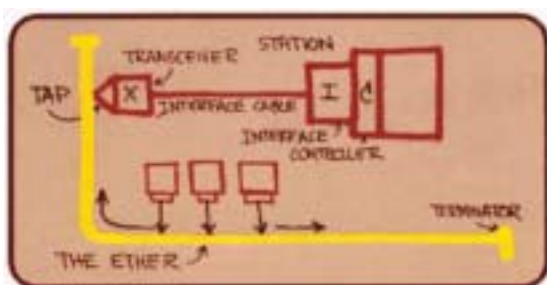
C S M A / C D (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection). Metcalfe sfruttò quest'idea qualche anno più tardi, nel 1972, per realizzare una rete cablata, la Alto Aloha Network, che

metteva a disposizione una banda di circa 3 Mb/s. La successiva standardizzazione di Ethernet ha visto un'evoluzione all'inseguimento delle esigenze di banda degli utilizzatori, al punto che dopo la recente ratificazione dello standard a 10 Gb già si pensa a un futuro a 40 o a 100 Gb/s. Diversi dettagli sono stati necessariamente modificati per poter consentire l'incremento di prestazioni e difficilmente si riuscirebbe a riconoscere la prima Ethernet con le moderne versioni su fibra ottica; la tecnologia ha tuttavia saputo mantenere invariate quelle caratteristiche di semplicità ed

economicità che ne hanno decretato il successo e la diffusione. Ad oggi l'85% delle LAN utilizza Ethernet e i tempi sono maturi affinché questa tecnologia possa essere impiegata anche come sostituto ai bus di campo nei sistemi di automazione industriale.

### Dal coassiale alla fibra ottica

Il termine Ethernet viene utilizzato per denotare una raccolta di specifiche che si collocano ai primi due livelli dello standard Iso OSI (ossia il livello fisico e quello di scambio dati) e che indicano in che modo effettuare il cablaggio, codificare i segnali elettrici e ottici e gestire l'invio e la ricezione dei dati in seno a una rete locale. La flessibilità che deriva dalla libertà di scegliere come meglio si crede i livelli superiori, e in particolare quello di trasporto dati, è una delle ragioni che ha maggiormente contribuito all'affermazione di questo standard. Risulta infatti possibile non solo appoggiarsi a protocolli aperti come la suite TCP/IP, ma anche utilizzare soluzioni proprietarie realizzate su misura per la specifica applicazione, evenienza tutt'altro che remota nel settore industriale. La prima specifica Ethernet, nota anche con il nome di DIX, venne stilata nel 1980 da DEC, Intel e Xerox; nello stesso anno prese il via la standardizzazione da parte di Ieee che avrebbe portato alle specifiche 802.3 che sono tuttora in continua evoluzione e rappresentano un punto di riferimento per i progettisti di componenti Ethernet di tutto il mondo. Nonostante la definizione dello standard Ieee, la versione DIX di Ethernet proseguì per la propria strada portando a quella che all'epoca venne battezzata Ethernet II, ma alla quale ci riferiremo con la sola dizione DIX. Questa versione, nata nel 1982, è tuttora impiegata in diverse reti e appoggiata anche dal protocollo TCP/IP e presenta una piccola differenza nelle trame dei

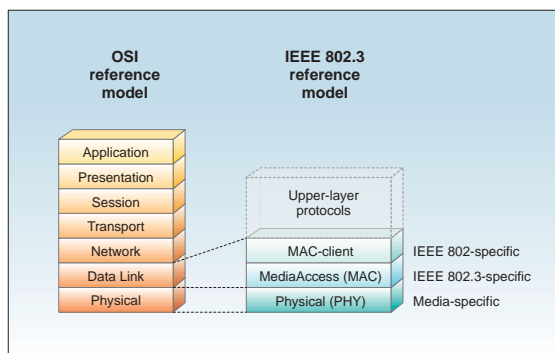


Un disegno storico: la concezione di Ethernet secondo Bob Metcalfe

messaggi rispetto a quanto previsto dalle specifiche IEEE. In entrambi i casi i dati da trasferire sono racchiusi in 'pacchetti' che prevedono un'intestazione con una serie di informazioni relative alla sincronizzazione delle trasmissioni, agli indirizzi di origine e destinazione, e al controllo dell'integrità dei dati. Ethernet ha subito mutazioni anche per quanto riguarda il supporto fisico: c'è stata un'evoluzione dal cavo coassiale spesso (Thick Ethernet), a quello sottile (Thin Ethernet) che è successivamente stato sostituito dal doppino intrecciato sia schermato (STP, Shielded Twisted Pair) che non (UTP, Unshielded Twisted Pair), molto diffuso nelle LAN a livello di ufficio, e che sta gradualmente vedendo una crescente diffusione dei collegamenti in fibra ottica. La topologia delle reti e le modalità di gestione del traffico si sono evolute di conseguenza: e così dalle prime versioni a bus seriale si è passati alla topologia a stella, con gli hub che funzionano da centri di smistamento per messaggi, e successivamente alle reti commutate che permettono di limitare il traffico alle sole tratte interessate dallo scambio dati. Anche la modalità di trasmissione che in principio era di tipo half-duplex è stata estesa con la modalità full-duplex. Ad oggi sono comuni le LAN in topologia a stella commutata con trasmissione full duplex, che poco assomigliano alle prime reti thick Ethernet con i connettori BNC e lo spesso cavo coassiale giallo che richiedeva dei terminatori per evitare echi nelle trasmissioni. Ma procediamo con ordine.

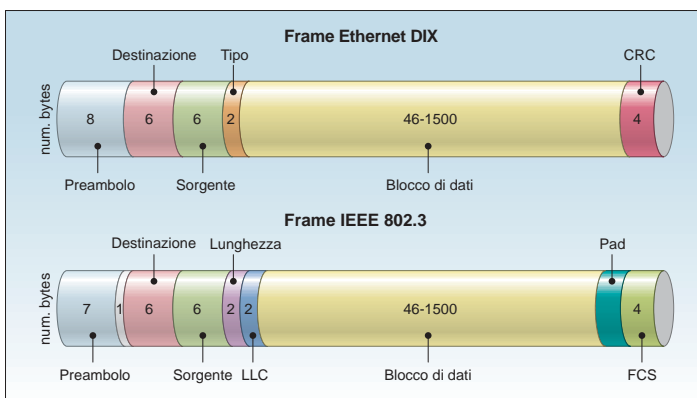
## Il funzionamento Half Duplex

Le prime versioni utilizzano una topologia a bus lineare di tipo daisy-chain in cui tutti i nodi sono connessi a una dorsale comune per mezzo di cosiddette 'prese-vampiro' mentre la comunicazione si basa totalmente sul protocollo CSMA/CD in modalità half-duplex. Ogni nodo dispone di un indirizzo MAC (Media Access Control) che lo identifica univocamente all'interno della rete: risulta così possibile inviare messaggi a nodi specifici, anche se il protocollo prevede la possibilità di trasmissioni broadcast o multicast. A prescindere da questo la contesa del canale viene risolta come segue: ogni nodo, prima di iniziare a trasmettere verifica (CS, Carrier Sense) che il canale ad accesso multiplo (MA, Multiple Access) sia libero. Tutti i nodi sono all'ascolto sul canale per eventuali messaggi a loro destinati e durante un evento di trasmissione verificano, misurando i livelli di segnale, che non vi siano sovrapposizioni o collisioni (CD, Collision Detect) dovuti a messaggi inviati prima che lo stato di occupazione del canale si propagasse fino all'ulteriore nodo trasmittente. Se due o più nodi si trovano a trasmettere simultaneamente le trasmissioni vengono sospese per essere riprese dopo un intervallo di tempo casuale, dopo aver nuovamente verificato la disponibilità del canale. Il processo viene eventualmente ripetuto incrementando la durata della fase di attesa, fino a quando uno dei nodi non riesce a trasmettere il proprio messaggio senza interruzioni. L'estensione della rete è limitata dal ritardo di propagazione del segnale lungo il suo massimo diametro e dalla lunghezza massima di ogni tratta di cavo coassiale che



**Ethernet si colloca ai due più bassi livelli della pila Iso Osi: quelli che dipendono dal mezzo fisico di trasmissione**

è approssimativamente di 500 metri per lo standard 10Base5 (Thick Ethernet) e di 185 metri per il 10Base2 (Thin Ethernet). Per ampliare una LAN in una di queste tecnologie si può far ricorso ai ripetitori, che replicano tutti i segnali sui segmenti che vi afferiscono, e ai ponti (bridge), che scelgono quali dati fare passare da un segmento all'altro limitando il carico della rete alle sole porzioni interessate. La regola di base per l'estensione della rete è nota come '5-4-3': si possono avere al massimo cinque segmenti con un massimo di quattro ripetitori tra loro, e solo tre segmenti possono supportare i dispositivi in numero di trenta o cento ciascuno, a seconda che si tratti di Thick o di Thin Ethernet.



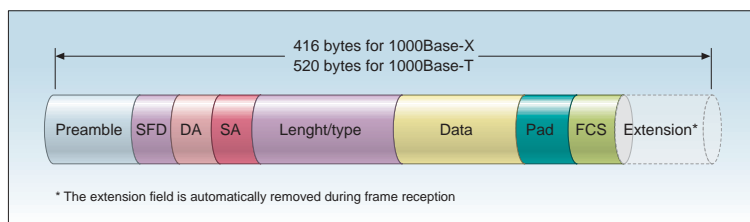
**Diversa struttura dei pacchetti DIX e IEEE: si osservino i due byte per la specifica del protocollo superiore nella trama DIX e quelli per la lunghezza del pacchetto nella trama IEEE nonché i diversi dati di controllo di integrità (Cyclic Redundancy Check e Frame Check Sequence, rispettivamente)**

## Hub e Switch nelle topologie a stella

Un importante passo avanti è stato fatto con l'introduzione delle reti Ethernet su doppino intrecciato e su fibra ottica: in questo caso la topologia è di tipo a stella con degli appositi dispositivi, gli hub, che si occupano di replicare i messaggi su tutti i nodi ad essi connessi. Si tratta di un modo poco efficiente di dirottare il traffico, che viene tuttavia adottato per via della semplicità di realizzazione e del basso costo di

questi dispositivi. Inoltre, un altro vantaggio rispetto alla topologia a bus lineare è che non sono necessari terminatori e che l'interruzione di un cavo o la disconnessione di un dispositivo non comporta la messa fuori servizio dell'intera rete. Un'ulteriore importante evoluzione si è avuta con l'introduzione dei commutatori (switch) che hanno permesso di ottenere connessioni del tipo punto-punto commutate. Grazie agli switch è possibile inviare i messaggi solo a quelle parti della rete che portano al nodo di destinazione, senza sovraccaricare inutilmente gli altri rami. A fronte di un costo superiore e di una maggior complessità realizzativa e di configurazione, gli switch offrono un enorme vantaggio rispetto agli hub: permettono di assegnare la massima banda disponibile alla connessione tra due nodi. Ogni

Mb/s. L'incremento di velocità è essenzialmente dovuto alla riduzione dei tempi di trasmissione dei singoli bit la cui codifica, a differenza della versioni più lente, non è più di tipo Manchester ma 4B/5B o 8B/6T con eventuali modifiche alla forme d'onda del segnale per limitare la potenza alle alte frequenze e mantenersi nei limiti previsti dalla specifiche FCC sulla compatibilità elettromagnetica. Il rovescio della medaglia di questo incremento di prestazioni è che per poter rilevare le collisioni su una rete dieci volte più veloce è stato necessario ridurre la massima estensione della rete a un decimo di quella precedentemente consentita: si passa così da reti in grado di coprire oltre 2.500 metri a reti con un diametro massimo di poco più di 200 metri. La tecnologia Fast Ethernet è in grado di negoziare automaticamente il giusto protocollo consentendo a schede di rete più lente di funzionare all'interno di una rete veloce: il transceiver di ogni scheda emette dei segnali che possono essere impiegati per desumere la velocità e l'eventuale modalità full-duplex; i commutatori conformi alle specifiche Fast Ethernet utilizzeranno le informazioni acquisite per ottimizzare il traffico della rete.



**L'incremento della velocità di trasmissione con le versioni di Ethernet da 1 Gigabit e oltre ha comportato la necessità di estendere il frame portando la lunghezza minima da 64 a 520 byte per 1000BaseT (416 nel caso di 1000BaseX)**

nodo fa ancora uso del protocollo CSMA/CD per contendersi il canale con gli altri nodi che cercano di comunicare con esso ma, a meno di latenze dovute alla commutazione, non risente dei ritardi dovuti alla gestione delle collisioni con i messaggi di altre coppie di nodi. Dal punto di vista del cablaggio le reti su rame fanno uso di un doppino intrecciato tipicamente non schermato (UTP) e di connettori di tipo telefonico RJ45; le reti ottiche utilizzano fibra mono o multimodale e connettori di svariati tipi. Gli standard principali associati ai due differenti mezzi, 10BaseT e 10BaseF (quest'ultimo utilizza due fibre separate, una per trasmettere e una per ricevere), sono caratterizzati da una banda di 10 Mb/s e da una lunghezza massima di tratta di 100 metri e 2 km, rispettivamente.

## Il funzionamento Full Duplex e le reti veloci

Una volta ridotto il rischio di collisioni alle sole coppie di nodi che si devono passare il messaggio, si è pensato di rimuovere anche quest'ultimo ostacolo rendendo le comunicazioni full-duplex. Dato che ogni nodo può ricevere e trasmettere allo stesso tempo, il problema della contesa del mezzo risulta praticamente risolto e risultano pertanto allentati i vincoli sulla lunghezza minima dei pacchetti e sui tempi minimi di attesa prima di inviare i dati. Le versioni full-duplex consentono di utilizzare tratte di lunghezza maggiore rispetto a quelle half-duplex con la stessa banda. Le tecnologie 100BaseT4, 100BaseTx e 100BaseFx inaugurano nel 1995 l'era di Ethernet 'veloce' (o Fast Ethernet) mettendo a disposizione degli utenti una banda di 100

Mb/s. L'incremento di velocità è essenzialmente dovuto alla riduzione dei tempi di trasmissione dei singoli bit la cui codifica, a differenza della versioni più lente, non è più di tipo Manchester ma 4B/5B o 8B/6T con eventuali modifiche alla forme d'onda del segnale per limitare la potenza alle alte frequenze e mantenersi nei limiti previsti dalla specifiche FCC sulla compatibilità elettromagnetica. Il rovescio della medaglia di questo incremento di prestazioni è che per poter rilevare le collisioni su una rete dieci volte più veloce è stato necessario ridurre la massima estensione della rete a un decimo di quella precedentemente consentita: si passa così da reti in grado di coprire oltre 2.500 metri a reti con un diametro massimo di poco più di 200 metri. La tecnologia Fast Ethernet è in grado di negoziare automaticamente il giusto protocollo consentendo a schede di rete più lente di funzionare all'interno di una rete veloce: il transceiver di ogni scheda emette dei segnali che possono essere impiegati per desumere la velocità e l'eventuale modalità full-duplex; i commutatori conformi alle specifiche Fast Ethernet utilizzeranno le informazioni acquisite per ottimizzare il traffico della rete.

## Nella Terra dei Gigabit

Un ulteriore incremento della velocità ha avuto luogo con l'introduzione degli standard Gigabit e 10Gigabit Ethernet, ratificate rispettivamente con

gli standard Ieee 802.3ab, 802.3z (1 Gb/s su rame e su fibra) e 802.3ae (10 Gb/s su fibra). La versione a 1 Gb opera tanto in full-duplex quanto in half-duplex mentre quella a 10 Gb può funzionare solo in full-duplex per garantire la massima banda disponibile. Tutte queste versioni dispongono inoltre di un controllo di flusso Xon/Xoff in modalità full-duplex che consente di inibire le trasmissioni di un nodo per un determinato periodo di tempo e fanno uso di diverse tecniche di codifica e di condizionamento del segnale per garantire uno spettro di potenza conforme agli standard imposti da FCC. Il frame standard è stato esteso per incrementare la lunghezza minima del pacchetto da 64 a 416 o 520 byte al fine di consentire il rilevamento delle eventuali collisioni anche a queste velocità: solo dopo aver trasmesso tale numero di byte è possibile cessare di 'ascoltare' il canale per eventuali sovrapposizioni e considerare la trasmissione corretta. L'estensione viene rimossa all'atto della ricezione del pacchetto e risulta quindi trasparente agli strati successivi. La versione su rame può viaggiare al massimo a 1 Gb/s e supporta tratte di lunghezza massima di 25 m (1000Base-Cx, usato in pratica per le connessioni all'interno degli armadi) o 100 m (1000BaseT) di cavo UTP di categoria 5 o superiore in grado di trasmettere fino a 1250 Mb/s; queste reti consentono l'uso di un solo ripetitore, portando il diametro massimo della rete a 200 metri. L'uso della fibra, monomodale o multimodale, con luce di lunghezza d'onda di 850 o 1.310 nm, consente di incrementare la distanza tra i nodi, portandola a 275, 500, 550 o 5.000 metri nel caso delle diverse versioni di Gigabit Ethernet e a 65, 3.000 e 10.000 metri per le versioni a 10 Gb. In quest'ultimo caso

il ricorso a laser con una lunghezza d'onda di 1.550 nm può portare la lunghezza di tratta al ragguardevole valore di 40 km. Il traguardo dei 10 Gb è comunque solo temporaneo. Già ora, ricorrendo alla tecnica dell'aggregamento dei collegamenti (link aggregation, oggetto delle specifiche 802.3ad) è possibile realizzare reti che supportino una banda di 40 Gb/s se non addirittura superiore. E già si guarda alle nuove versioni di Ethernet a 100 Gb/s per le quali tuttavia il mercato pare non avere alcuna fretta visto che ancora la diffusione delle reti a 1 e 10 Gb è limitata.

### **La questione del determinismo nelle applicazioni industriali**

Le applicazioni in ambito industriale rappresentano un esempio in cui le prestazioni puramente velocistiche delle reti Ethernet non costituiscono l'interesse primario. Ben più importante è la questione del determinismo della rete e della sua robustezza nei confronti delle sollecitazioni ambientali e di eventuali guasti. Il ricorso alla tecnologia full-duplex in una topologia a stella commutata permette di costituire, grazie all'impiego di bridge e switch, dei domini di collisione ben delimitati. Il risultato è una rete il cui traffico viene mantenuto a livelli tali da soddisfare le esigenze di determinismo delle principali applicazioni di automazione industriale e controllo di processo. La Ieee ha inoltre ratificato altri standard nell'ambito del progetto 802 (e per la precisione 802.1p) che consentono di attribuire delle priorità ai messaggi che contengono dati di importanza critica per il funzionamento del sistema. Altre specifiche Ieee si occupano di definire in che modo creare collegamenti ridondanti in modo da incrementare la robustezza della rete: questi sono aspetti trattati dalle specifiche 802.1d, 802.1s e 802.1w. Essendo poi Ethernet una tecnologia di basso livello, gli utilizzatori sono liberi di scegliere i protocolli di livello superiore che garantiscano un trasferimento efficiente dei dati: risulta così possibile inviare attraverso la rete pochi byte per volta, ad esempio originati da allarmi o sensori, senza contribuire sensibilmente al traffico totale.

### **Sopravvivere negli ambienti severi**

Indubbiamente uno dei maggiori ostacoli alla diffusione di Ethernet nelle applicazioni industriali è rappresentato dalla inerente fragilità del cablaggio e dei dispositivi nati per applicazioni nell'ambito dell'ufficio. E' necessario valutare attentamente la resistenza meccanica e termica di cavi e connettori, gli effetti delle interferenze elettromagnetiche causate dalle macchine elettriche sul piano di fabbrica (si pensi ad esempio a una stazione di saldatura) e le problematiche inerenti l'alimentazione dei dispositivi. Per quanto riguarda la resistenza meccanica e chimica dei cavi in rame, pare che il ricorso a cavi UTP di qualità con guaine rinforzate possa costituire un buon compromesso tra costi e resistenza. L'impiego di canaline e un cablaggio che eviti le zone maggiormente esposte alle sollecitazioni può evitare i problemi dovuti alle interferenze elettromagnetiche. Quando la loro entità non può più essere trascurata il ricor-

so alla fibra ottica si fa obbligatorio: a fronte del suo maggior costo affianca anche una promessa di scalabilità futura. Il cablaggio su rame presenta tuttavia la possibilità di portare l'alimentazione ai dispositivi con lo stesso cavo che porta il segnale, sfruttando gli eventuali conduttori liberi del cavo UTP oppure sovrapponendo la tensione di alimentazione a quella di segnale.

Lo standard Ieee 802.3af, nato pensando alle applicazioni di telefonia, si occupa appunto di definire le modalità con cui provvedere a questo tipo di alimentazione, rendendo Ethernet un po' più simile ai bus di campo tradizionali. I connettori rappresentano un altro elemento critico nelle installazioni industriali; sono possibili due soluzioni: il ricorso a connettori proprietari (come quelli utilizzati dai bus di campo), che purtroppo impedisce il ricorso agli economici componenti standard, o l'inclusione dei connettori standard, ad esempio RJ45, in appositi gusci in grado di garantire un sufficiente grado di protezione. Se possibile gli elementi attivi della rete possono essere racchiusi in appositi armadi che li isolino dall'ambiente esterno, rendendo superfluo il ricorso a costosi componenti espressamente progettati per l'industria. Sensori e attuatori fanno ovviamente eccezione e richiedono transceiver e connettori in grado di sopportare le sollecitazioni pesanti del piano di fabbrica. ■