



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

M286 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE

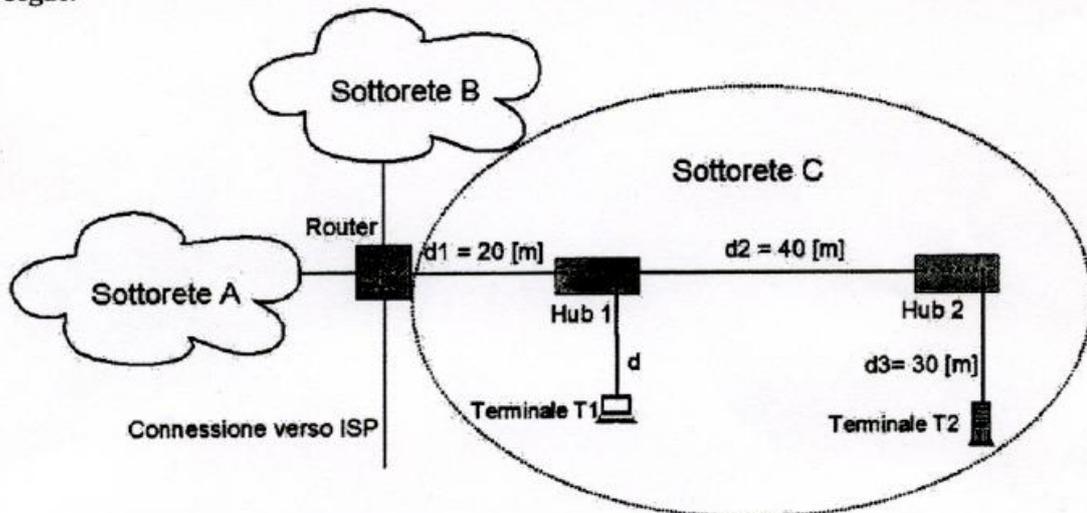
CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: TELECOMUNICAZIONI E PROGETTAZIONE
TELECOMUNICAZIONI

(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i progetti sperimentali assistiti)

Una rete aziendale è suddivisa in tre sottoreti come descritto dallo schema di massima che segue.



Oltre a quanto indicato, valgono le seguenti condizioni:

- la sottorete A è costituita da 200 host;
- la sottorete B è costituita da 80 host;
- la sottorete C funziona secondo lo standard Ethernet (802.3) alla velocità di 100 [Mbps], è costituita da 25 host di cui una parte collegata a Hub1 e una parte a Hub2; la velocità di propagazione dei segnali sulle linee può essere ritenuta di $2 \cdot 10^8$ [m/s] e il ritardo di propagazione attraverso ciascun hub è stimabile in 1 [μ s];
- lo scambio dei dati avviene usando protocolli che prevedono l'aggiunta di un header di 20 [byte] sia a livello trasporto, sia a livello rete; solo il livello trasporto è confermato e il controllo di flusso avviene con procedura stop and wait.

Il candidato, formulata ogni ipotesi aggiuntiva che ritiene opportuna, produca quanto segue.



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

M286 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE

CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: TELECOMUNICAZIONI E PROGETTAZIONE
TELECOMUNICAZIONI

(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i progetti sperimentali assistiti)

1. Descriva gli aspetti fondamentali dello standard di funzionamento della sottorete C esaminando, in particolare, quali conseguenze comporti l'uso dei due hub connessi in cascata.
2. Sapendo che T_1 e T_2 sono i terminali più lontani dal rispettivo Hub, calcoli il massimo valore che può assumere la distanza "d" tra T_1 e Hub1, nell'ipotesi che le trame trasmesse abbiano una lunghezza minima di 64 [byte].
3. Individui e illustri una soluzione che permetta di aumentare la distanza tra terminale T_1 e Hub1 senza alterare la struttura della sottorete C.
4. Sapendo che l'Internet Service Provider può assegnare indirizzi IP di classe C contigui da 192.220.15.0, proponga un piano di indirizzamento che minimizzi il numero di indirizzi da richiedere all'ISP e lasci il minor numero di indirizzi inutilizzati in ciascuna delle sottoreti.
5. Riguardo alla comunicazione tra due terminali della sottorete C, stimi la massima velocità di trasmissione dell'informazione vista sopra il livello trasporto e spieghi come possa essere incrementata senza aumentare la velocità di trasmissione a livello fisico.

SOLUZIONE
A cura del Prof. Ing. Onelio Bertazioli

Materiali consigliati:

libro di testo (da cui sono tratte le figure e i rimandi):

Onelio Bertazioli – Telecomunicazioni vol. B 2a - ed. Zanichelli

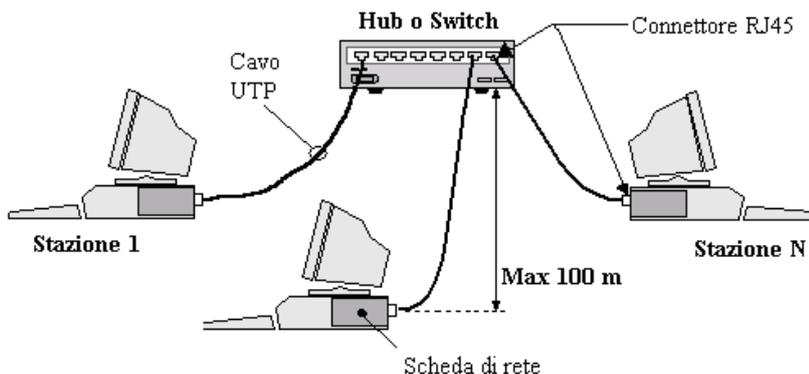
(In particolare i capitoli 9, 10, 11 e l'esercitazione N. 6 (pag. 601) come guida pratica alla realizzazione della rete).

La simulazione di tema d'esame N. 1; la soluzione del tema d'esame del 2000, traccia 2, scaricabili dal sito www.zanichelli.it/materiali/telecomunicazioni

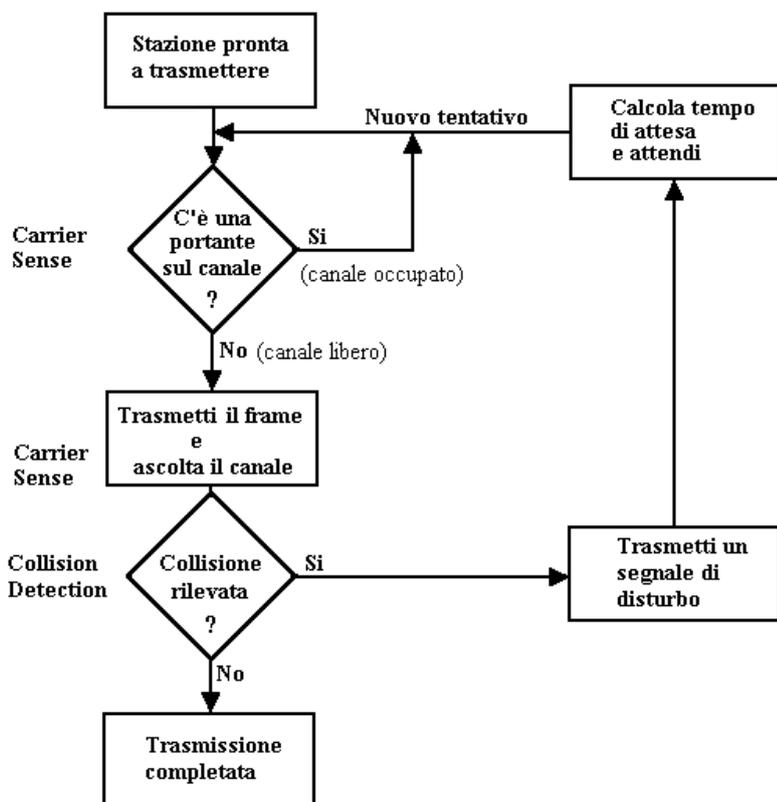
1. Descriva gli aspetti fondamentali dello standard di funzionamento della sottorete C esaminando, in particolare, quali conseguenze comporti l'uso dei due hub connessi in cascata.

Per rispondere alla prima richiesta del punto 1. si illustrano i principi generali delle LAN Ethernet Trattati nell'Unità 11. In particolare si possono citare o descrivere con più o meno dettaglio (non è necessario fare tutto):

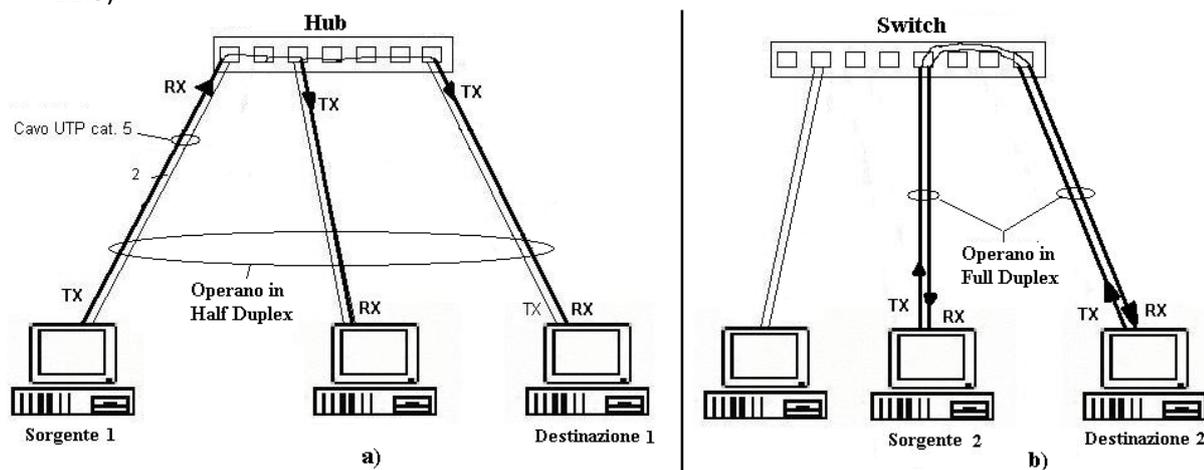
- a) mezzi trasmissivi: cavi a coppie simmetriche (UTP, ecc.);
- b) topologia di rete a stella (par. 11.4): le stazioni (terminali) sono connesse a un hub (nel passato) o a uno switch (attualmente) tramite cavi a coppie simmetriche (UTP, ecc.); se il numero di porte che ha un hub o uno switch non è sufficiente si utilizzano più hub (switch) con una topologia di rete a stella estesa, ecc.



- c) si sintetizza il principio di funzionamento del metodo di accesso multiplo CSMA/CD: una sola stazione alla volta può trasmettere, per cui in una rete con hub si opera in half duplex; prima di iniziare a trasmettere una stazione deve verificare che sulla coppia di ricezione (RX) non vi sia segnale (Carrier Sense); quando una stazione inizia a trasmettere continua a verificare che sulla coppia di ricezione non vi sia un segnale trasmesso da qualche altra stazione (CD, Collision Detection), il che viene indicato con il termine collisione; quando una stazione rileva una collisione interrompe l'invio di informazioni e trasmette un segnale di disturbo che comunica a tutti l'avvenuta collisione; le stazioni che hanno rilevato la collisione interrompono ogni trasmissione e attendono un tempo calcolato in modo pseudo casuale prima di ritentare. A pag. 317 si riporta il diagramma di flusso che descrive il funzionamento del CSMA/CD



d) nel par. 11.7 si trova anche la descrizione del principio di funzionamento degli hub: un hub ritrasmette su tutte le sue porte il segnale che riceve su una porta e quindi si comporta come se fosse un bus (fig. 11.3):



e) si sottolineano i difetti degli hub: operano solo in half duplex, nella rete si determinano collisioni che aumentano all'aumentare del numero di host, e quindi di hub, collegati in rete e dei ritardi; si può sottolineare che il problema delle collisioni determina una diminuzione dell'effettiva velocità di trasferimento di informazioni all'aumentare del numero di host nella rete (formula a pag. 317); si può indicare che la soluzione al problema è sostituire gli hub con gli switch;

f) è inoltre possibile, ma non indispensabile:

- dimensionare la rete indicando il numero di porte che devono avere gli hub, per esempio 16;
- illustrare la standardizzazione delle LAN fatta con il progetto IEEE 802 (par.11.9) ;
- disegnare e commentare la struttura di un frame Ethernet e/o 802.3 (Pag. 332 e 337); essa verrà utilizzata per i calcoli del punto 5;
- specificare ed eventualmente descrivere il modello OSI, come modello di riferimento (U. 9 par. 9.2), il fatto che le LAN Ethernet forniscono i primi due strati OSI, che gli strati superiori sono forniti dalla suite TCP/IP (magari descrivendola, U. 9 Par. 9.4). Senza i protocolli TCP/IP la rete non funziona!

- evidenziare le tendenze evolutive della tecnologia Ethernet (switch, VLAN, ecc.)

Seconda richiesta del punto 1.

L'interconnessione di più hub in cascata aumenta il ritardo complessivo (ciascun hub introduce un proprio ritardo) il che aumenta la probabilità di avere collisioni in quanto è più probabile che due stazioni lontane inizino a trasmettere contemporaneamente, in quanto il segnale inviato da una di esse arriva con un ritardo maggiore all'altra estremità per cui l'ultima stazione pensa che la rete sia disponibile per la trasmissione quando invece c'è già un'altra stazione che sta trasmettendo e si crea una collisione: maggiore è il ritardo e più probabile è avere delle collisioni (per inciso esiste una regola detta 5-4-3 per cui, in una rete con hub, tra due terminali (host) si possono avere al massimo 5 segmenti di cavo, 4 hub, 3 segmenti di LAN con collegati degli host);

2. Sapendo che T_1 e T_2 sono i terminali più lontani dal rispettivo Hub, calcoli il massimo valore che può assumere la distanza "d" tra T_1 e Hub1, nell'ipotesi che le trame trasmesse abbiano una lunghezza minima di 64 [byte].

Nelle reti Ethernet basate sul metodo di accesso multiplo CSMA/CD è necessario definire un ritardo massimo ammissibile nel trasferimento dei segnali da un host all'altro, in quanto all'aumentare del ritardo aumenta la probabilità di avere collisioni.

Il ritardo massimo limita quindi la distanza totale massima che si può avere tra i due host più lontani.

Gli standard Ethernet 802.3 prescrivono che il ritardo massimo sia quello corrispondente alla trasmissione di un frame di 64 byte.

Per rispondere al quesito 2. si deve quindi fare un bilancio dei ritardi che devono essere ripartiti tra:

- ritardo introdotto dalle linee,
- ritardo introdotto dagli hub (bisognerebbe considerare anche i ritardi di elaborazione delle schede Ethernet)

Il ritardo totale tra andata e ritorno (round trip delay, RTD) del segnale tra i due terminali più lontani non deve superare il tempo necessario per trasmettere un frame di 64 byte (entrambe le stazioni devono rilevare la collisione entro i 64 byte trasmessi).

Si opera quindi nel seguente modo:

- a) si determina il ritardo massimo ammesso in una direzione calcolando il tempo di trasmissione di un frame di 64 byte e dividendolo per 2:

$$\text{numero di bit da trasmettere } N_{bit} = 64 \cdot 8 = 512$$

velocità di trasmissione: 100 Mbit/s

durata della trasmissione = ritardo massimo ammesso nelle due direzioni (round trip

$$\text{delay): } RTD = \frac{512}{100 \cdot 10^6} = 5,12 \text{ } \mu\text{s}$$

$$\text{ritardo massimo ammesso in una direzione} = t_{r \max} = \frac{RTD}{2} = \frac{5,12 \mu\text{s}}{2} = 2,56 \text{ } \mu\text{s}$$

- b) Siccome tra i due terminali più lontani sono interposti: cavo 3, Hub2, cavo 2, Hub1 e cavo di lunghezza d incognita, ognuno dei quali introduce un proprio ritardo, si può scrivere il bilancio dei ritardi con la seguente relazione:

$$t_{r \max} \leq (tr_{-3} + tr_{Hub2} + tr_{-2} + tr_{Hub1} + tr_{-x})$$

Calcolando i ritardi noti si trova il ritardo incognito determinato dal cavo di lunghezza d:

$$t_{r_{-3}} = \frac{30 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 0,15 \text{ } \mu\text{s}; \quad t_{r_{Hub2}} = 1 \text{ } \mu\text{s}; \quad t_{r_{-2}} = \frac{40 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 0,2 \text{ } \mu\text{s}; \quad t_{r_{Hub1}} = 1 \text{ } \mu\text{s}$$

$$tr_{-x} = t_{r \max} - (tr_{-3} + tr_{Hub2} + tr_{-2} + tr_{Hub1}) = 2,56 - (0,15 + 0,2 + 2) = 0,21 \text{ } \mu\text{s}$$

La lunghezza massima del cavo tra T1 e Hub1 non potrebbe quindi essere superiore a

$$d_{\max} = 2 \cdot 10^8 \cdot 0,21 \cdot 10^{-6} = 42 \text{ m}$$

3. Individui e illustri una soluzione che permetta di aumentare la distanza tra terminale T₁ e Hub1 senza alterare la struttura della sottorete C.

Introducendo degli switch al posto degli hub si evita il problema delle collisioni e quindi si estende la distanza tra T₁ e Hub1 fino a un massimo di 100 m (come prescritto dagli standard Ethernet su coppia simmetrica); la topologia rimane a stella per cui la struttura della sottorete si può ritenere inalterata. Si può illustrare il principio di funzionamento degli switch (U. 11) e i benefici che si ottengono (i terminali possono operare in full duplex, ecc.).

4. Sapendo che l'Internet Service Provider può assegnare indirizzi IP di classe C contigui da 192.220.15.0, proponga un piano di indirizzamento che minimizzi il numero di indirizzi da richiedere all'ISP e lasci il minor numero di indirizzi inutilizzati in ciascuna delle sottoreti.

Si faccia riferimento all'Unità 10 per la trattazione del metodo del subnetting.

E' possibile, ma non indispensabile, descrivere prima la suite TCP/IP, il formato degli indirizzi IP, il metodo delle classi, il subnetting e il metodo classless (da pag. 269 in poi).

Si fa notare che gli indirizzi proposti sono **indirizzi IP pubblici**, che quindi non devono essere sprecati.

Per limitare gli sprechi si utilizza il subnetting e il metodo classless.

Si vedano gli esempi 10.4 come linee guida per la definizione di un piano di indirizzamento ottimizzato.

Per definire un piano di indirizzamento ottimizzato che minimizzi lo spreco di indirizzi IP si opera nel seguente modo (U.10 par. 10.5):

- a) La sottorete A è composta da 200 host per cui necessita di un intero indirizzo di rete in classe C per cui
- alla sottorete si può assegnare l'indirizzo di rete 192.220.15.0, con subnet mask 255.255.255.0;
 - si assegna il primo indirizzo, in modo statico, all'interfaccia del router che funge da gateway: 192.220.15.1
 - se si suppone di utilizzare degli switch amministrabili (per esempio a 24 porte; 9 switch) si assegneranno a essi in modo statico, per esempio, gli indirizzi da 192.220.15.2 a 192.220.15.10;
 - si definisce un range di indirizzi per i PC (host) da configurare in modo dinamico via DHCP (per esempio da 192.220.15.30 a 192.220.15.230);
 - se si prevede, come normalmente avviene, che nella rete ci sia almeno un server si assegna in maniera statica a esso l'ultimo indirizzo 192.220.15.254.
 - per tutti la subnet mask è 255.255.255.0, il gateway è 192.220.15.1, si definisce almeno un indirizzo IP di un DNS, meglio 2, per esempio 208.67.220.220; 208.67.222.222 (openDNS)
- b) Per le sottoreti B e C è possibile effettuare un subnetting su un indirizzo IP in classe C adiacente, per esempio il 192.220.16.0; il subnetting (figura 1) limita lo spreco di indirizzi IP operando nel seguente modo:
- La sottorete B è composta da 80 host per la cui numerazione sono sufficienti 7 bit; è così possibile assegnare alla sottorete B l'indirizzo 192.220.16.0 con subnet mask 255.255.255.128; per la numerazione degli host sono così a disposizione gli ultimi 7 bit; gli indirizzi IP assegnabili agli host vanno da 192.220.16.1 a 192.220.16.126; l'indirizzo 192.220.16.127 è quello di broadcast; l'assegnazione degli indirizzi segue i criteri elencati al punto a); si assegna all'interfaccia del router il primo indirizzo ed esso sarà il gateway predefinito per tutti i PC; l'indirizzo dei DNS può essere lo stesso del punto a);
 - la sottorete C è composta da 25 host per la cui numerazione sono sufficienti 5 bit; la porzione degli indirizzi IP lasciata libera dalla sottorete B può quindi essere divisa in 4 parti utilizzando la subnet mask 255.255.255.224; si ha così che l'indirizzo IP della sottorete C è 192.220.16.128 con subnet mask 255.255.255.224; per gli host sono disponibili gli indirizzi IP che vanno da 192.220.16.129 a 192.220.16.158; l'indirizzo di broadcast è 192.220.16.159; si assegna il primo indirizzo all'interfaccia del router (192.220.16.129) che funge da gateway per tutti i PC;

per tutti gli host la subnet mask è 255.255.255.224; si assegnano i DNS che possono essere gli stessi, ecc.

All'ISP si richiedono solo i blocchi di indirizzi IP così determinati.

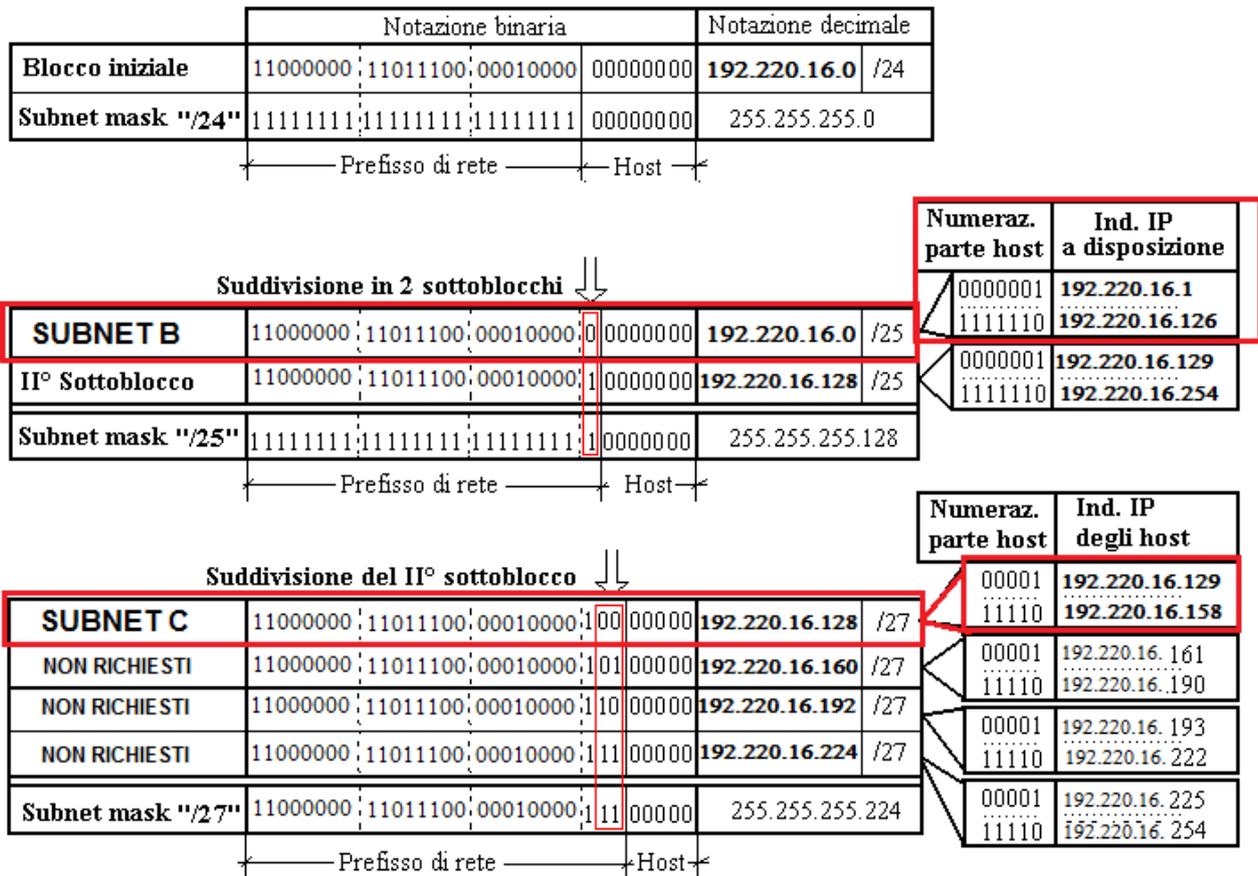


Figura 1. Subnetting per il piano di indirizzamento delle sottoreti (subnet) B e C.

E' necessario però notare che l'uso degli indirizzi IP pubblici nelle reti private **non è conforme agli standard**. Inoltre gli indirizzi proposti sono già utilizzati come si può rilevare con il comando ping:

```

C:\Documents and Settings\onelio>ping -a 192.220.15.1
Esecuzione di Ping www.lundene.com [192.220.15.1] con 32 byte di dati:
Risposta da 192.220.15.1: byte=32 durata=122ms TTL=115
Risposta da 192.220.15.1: byte=32 durata=141ms TTL=115
Risposta da 192.220.15.1: byte=32 durata=138ms TTL=115
Risposta da 192.220.15.1: byte=32 durata=123ms TTL=115

Statistiche Ping per 192.220.15.1:
    Pacchetti: Trasmessi = 4, Ricevuti = 4, Persi = 0 (0% persi),
    Tempo approssimativo percorsi andata/ritorno in millisecondi:
        Minimo = 122ms, Massimo = 141ms, Medio = 131ms

I:\Documents and Settings\onelio>
    
```

Sarebbe stato meglio utilizzare nelle tre sottoreti indirizzi IP privati (per esempio 192.168.15.0/24, 192.168.16.0/24, 192.168.17.0/24) e utilizzare la funzione NAT dei router (U. 10 par. 10.5.3) per tradurre gli indirizzi IP privati in indirizzi IP pubblici da utilizzare nell'accesso a Internet.

In questo modo il numero di indirizzi IP pubblici da richiedere all'ISP sarebbe limitato a quello degli eventuali server web dell'azienda esposti su Internet e ai pochi indirizzi IP (anche solo 1 per ogni sottorete) da far condividere ai PC, tramite NAT, per l'accesso a Internet.

Con gli indirizzi privati, se non vi sono particolari esigenze di sicurezza, non serve l'ottimizzazione degli indirizzi per cui si può utilizzare un indirizzo di rete in classe C, diverso, per ogni sottorete utilizzando la subnet mask classica 255.255.255.0 (/24).

5. Riguardo alla comunicazione tra due terminali della sottorete C, stimi la massima velocità di trasmissione dell'informazione vista sopra il livello trasporto e spieghi come possa essere incrementata senza aumentare la velocità di trasmissione a livello fisico.

Per la soluzione di questo punto è utile ricordare il concetto di incapsulamento delle PDU visto nell'ambito del modello OSI e della suite TCP/IP (Unità 9).

Se lo si desidera si possono descrivere le tecniche di correzione degli errori basate su ritrasmissione di tipo ARQ (Unità 6 par. 6.3) e il metodo stop and wait. E' anche possibile indicare che il protocollo di trasporto utilizzato nella pratica, con la suite TCP/IP, è il protocollo TCP (U. 9 par. 9.5). Si può far notare che il protocollo TCP è un protocollo a finestra di trasmissione che non impiega il metodo stop and wait per le ritrasmissione ma si basa su un timeout (se non arriva una conferma di corretta ricezione, o ACK, entro un tempo prestabilito il protocollo TCP sorgente ritrasmette i blocchi, denominati *segmenti*, non confermati). Nel rispondere al primo quesito si suppone che operando su una rete locale non vi siano errori che determinano ritrasmissioni.

In questo contesto la velocità di trasmissione di 100 Mbit/s comprende l'invio sia di dati sia di header dei protocolli coinvolti (figura 2).

Se si operasse **senza correzione d'errore né controllo di flusso**, cioè con un'emissione continua di frame, come avviene nel caso del protocollo di trasporto UDP (Cap. 9 par. 9.5.2), la velocità di informazione a livello di applicazione si può valutare nel seguente modo.

Si può illustrare la struttura di un frame Ethernet o 802.3 (pag. 332 e pag 337) che è composto da un numero di byte pari a:

$$8 \text{ (preambolo)} + 6 \text{ (ind. MAC dest.)} + 6 \text{ (ind. MAC sorg.)} + 2 \text{ (Protocol type)} + 1500 \text{ (max info)} + 4 \text{ (FCS)} = 1526 \text{ byte}$$

I bit totali trasmessi con un frame sono pari a $N_{\text{bit_frame}} = 1526 * 8 = 12208 \text{ bit/frame}$

Sapendo che i protocolli degli strati 3 e 4 introducono ciascuno 20 byte di header si ha che in un frame i byte utili per il trasporto di informazioni sopra il livello di trasporto sono pari a $N_u = 1500 - 40 = 1460 \text{ byte}$ corrispondenti a $N_{u_bit} = 1460 * 8 = 11680 \text{ bit/frame}$

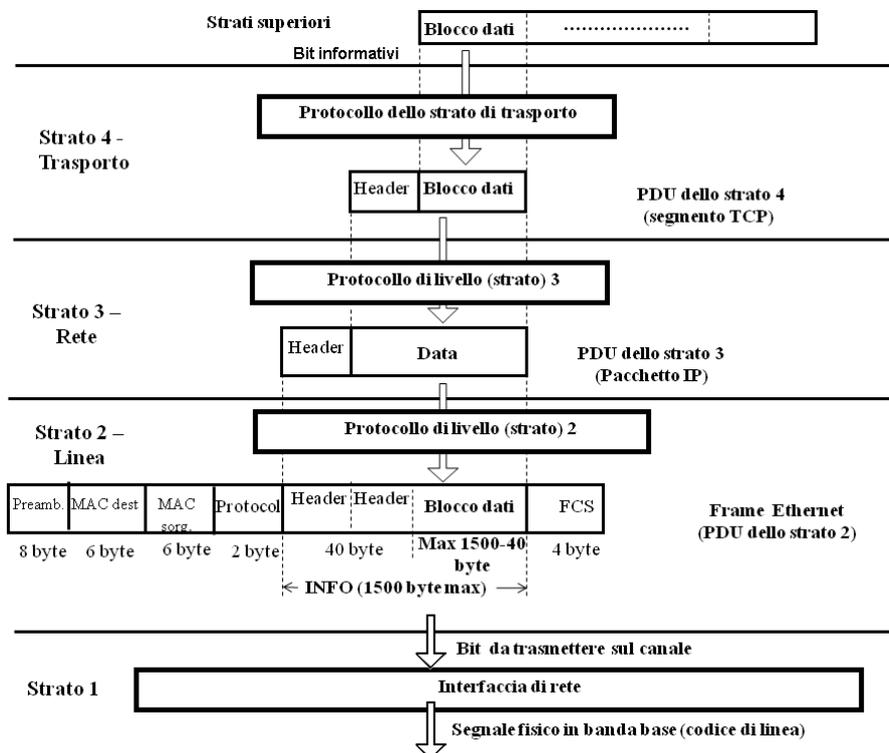


Figura 2. Incapsulamento dei blocchi di dati (bit informativi sopra il livello di trasporto).

A 100 Mbit/s il numero di frame/s trasmessi è pari a:

$$N_{frame} = \frac{100 \cdot 10^6}{12208} = 8191,35 \text{ Frame/s}$$

Il numero di bit/s informativi trasferiti, cioè il bit rate supportato sopra il livello di trasporto, è così pari a

$$R_s = 8191,35 \text{ Frame/s} \cdot 11680 \text{ bit_u_frame} = 95,7 \text{ Mbit/s}$$

(Si noti che in realtà la velocità è inferiore in quanto tra due frame Ethernet vi è un piccolo intervallo di tempo, detto intergap framing, in cui non si trasmette nulla)

Se si introduce la correzione d'errore per ritrasmissione e il controllo di flusso la velocità effettiva di informazione, denominata *throughput*, vista dal livello di applicazione diminuisce in quanto vi sono delle elaborazioni e dei tempi di attesa che non vi erano nel primo caso per gestire il fatto che i segmenti che giungono al protocollo di trasporto con errori causati da rumore e distorsioni, o che non vi giungono affatto per un qualsiasi motivo, vanno ritrasmessi. Le ritrasmissioni diminuiscono ulteriormente il *throughput*. In un ambiente poco soggetto a rumore come è normalmente quello delle reti locali conviene operare con la massima dimensione possibile per un blocco che viene denominata MSS (Maximum Segment Size), che utilizzando come protocollo dello strato 2 Ethernet è pari a 1460 byte.

In particolare se si operasse con il metodo *stop and wait* (**non utilizzato** nella pratica a livello di trasporto) il protocollo di trasporto sorgente dovrebbe:

- a) bufferizzare i dati inviati dall'applicazione e segmentarli in blocchi aventi la dimensione massima consentita dal campo info del protocollo dello strato 2 (MSS=1460 byte nel nostro caso);
- b) aggiungere a ciascun blocco il proprio header creando così una PDU del protocollo di trasporto, denominata **segmento**;
- c) emettere un segmento; si fa notare che nel terminale sorgente l'emissione di un segmento comporta le seguenti operazioni:
 - il protocollo di trasporto passa il segmento al protocollo dello strato di rete, il protocollo IP nel nostro caso, che aggiunge il proprio header e crea un pacchetto IP contenente l'indirizzo IP della sorgente e della destinazione;
 - il protocollo IP passa il pacchetto al protocollo dello strato 2 (Ethernet, che risiede nella scheda di rete) che crea il frame e lo passa allo strato 1 per la trasmissione sul canale a disposizione;
- d) attendere la risposta dal protocollo di trasporto di destinazione (*stop and wait*);
- e) se la risposta che riceve è positiva (ACK), cioè il segmento è arrivato a destinazione senza errori, il protocollo di trasporto sorgente passa a trasmettere il segmento successivo;
- f) se la risposta che riceve è negativa (NACK), cioè il segmento è arrivato a destinazione con errori (o non è arrivato) il protocollo di trasporto sorgente ritrasmette lo stesso segmento;

Si fa notare che nel terminale destinazione si devono eseguire le operazioni fatte in trasmissione in ordine inverso: la scheda di rete del terminale destinazione riceve i bit, individua il frame, effettua una prima rivelazione d'errore attraverso il campo FCS (Frame Check Sequence), se si rivelano errori il frame viene scartato, se non si rivelano errori si estrae il pacchetto dal frame e lo si passa al protocollo IP, il protocollo IP fa una seconda verifica sugli errori, attraverso il campo checksum del pacchetto, se non vi sono errori estrae il segmento e lo passa al protocollo di trasporto il quale fa una terza rivelazione d'errore e decide se inviare l'ACK oppure no.

Inoltre se si opera con una rete locale realizzata con gli hub bisogna tener conto del fatto che vi possono essere delle collisioni: la trasmissione effettiva di un frame contenente bit informativi dell'applicazione avviene solo quando non vi sono collisioni.

Per questi motivi ritengo che al punto 5. si possa rispondere in due modi:

1. si può far presente che il metodo *stop and wait* non è adatto all'impiego nel protocollo di trasporto, in quanto nel caso avvengano errori in linea molto probabilmente il protocollo dello strato 2 (Ethernet) ne rivela la presenza nel frame, per cui il frame verrebbe scartato; si può ipotizzare che al protocollo di trasporto non giunga nulla in caso di errori per cui quest'ultimo rimarrebbe in uno stato di incertezza, a meno di non implementare un metodo basato sui timeout (dopo un certo tempo si trasmette un NACK); in questo caso, supponendo che non vi siano collisioni né errori e che si utilizzi il protocollo TCP, il quale può trasmettere più segmenti in successione (finestra di trasmissione) che possono essere confermati tutti insieme anche da un segmento che trasporta dati nella direzione opposta (trasmissione bidirezionale), il rallentamento della velocità di informazione è essenzialmente dovuto ai tempi necessari per le elaborazioni per cui la velocità di informazione effettiva (*throughput*) non si discosta moltissimo da quella trovata in precedenza;
2. si può fare un calcolo di massima per determinare molto qualitativamente quanto inciderebbe sulla velocità di informazione effettiva (*throughput*) il metodo *stop and wait*, per esempio facendo le seguenti osservazioni:
 - trascuriamo per semplicità i ritardi causati dalle elaborazioni;
 - ipotizziamo che non vi siano né errori né collisioni;
 - ipotizziamo che la conferma di corretta ricezione (ACK) venga inviata con un frame avente la dimensione minima consentita, la cui durata è determinata al punto 2.;
 - trascuriamo l'intergap framing
 - consideriamo uno scambio dati tra i due terminali più lontani che determina un ritardo in una direzione pari a quello trovato al punto 2 ;
 - sotto queste ipotesi il tempo che intercorre tra l'emissione di due segmenti successivi, e quindi di due frame successive, è aumentato di un tempo pari al il round trip delay (ritardo tra andata e ritorno) più il tempo di emissione del frame contenente l'ACK (calcolati al punto 2).

$$\Delta t = 5,12_{\mu s} + 5,12_{\mu s} = 10,24 \mu s$$

Quindi è come se invece di trasmettere un frame e quindi un segmento ogni

$$t_{\text{frame}} = \frac{12208}{100 \cdot 10^6} = 122,08 \mu s$$

Si trasmettesse un frame e quindi un segmento ogni

$$t'_{\text{frame}} = 122,08 \mu s + 10,24 = 132,32 \mu s$$

Quindi poiché un segmento contiene $1460 \cdot 8 = 11680$ bit la velocità di informazione effettiva è qualitativamente stimabile in circa

$$R_s = \frac{11680}{132,32 \cdot 10^{-6}} \cong 88 \text{ Mbit/s}$$

Per tutti i fattori sopra citati la velocità effettiva sarà inferiore.

Il secondo quesito può essere affrontato nel seguente modo.

Si ribadisce che si deve utilizzare una correzione d'errore e un controllo di flusso basati sulle finestre di trasmissione, in modo da poter inviare più segmenti in successione senza attendere il riscontro, che si inviano sono le conferme di corretta ricezione (ACK) anche in frame contenenti informazioni inviate nella

direzione opposta nel caso in cui la comunicazione sia full duplex, che le ritrasmissioni sono gestite autonomamente dal protocollo di trasporto (TCP) sorgente attraverso il meccanismo del timeout (se un segmento non riceve una conferma di corretta ricezione entro un tempo prestabilito viene ritrasmesso).

Ritengo poi utile far presente che per poter aumentare la velocità di informazione (bit rate R_s , bit/s) senza aumentare la velocità di trasmissione a livello di segnale fisico (espressa in baud o simboli/s), cioè la velocità di modulazione, si può anche ricorrere a una codifica di canale multistato (multilivello), si veda l'Unità 6.

Indicando con M il numero di stati (livelli) utili al trasferimento di informazioni che può assumere il segnale trasmesso in linea e con V_m la velocità di modulazione, o symbol rate, si ha infatti:

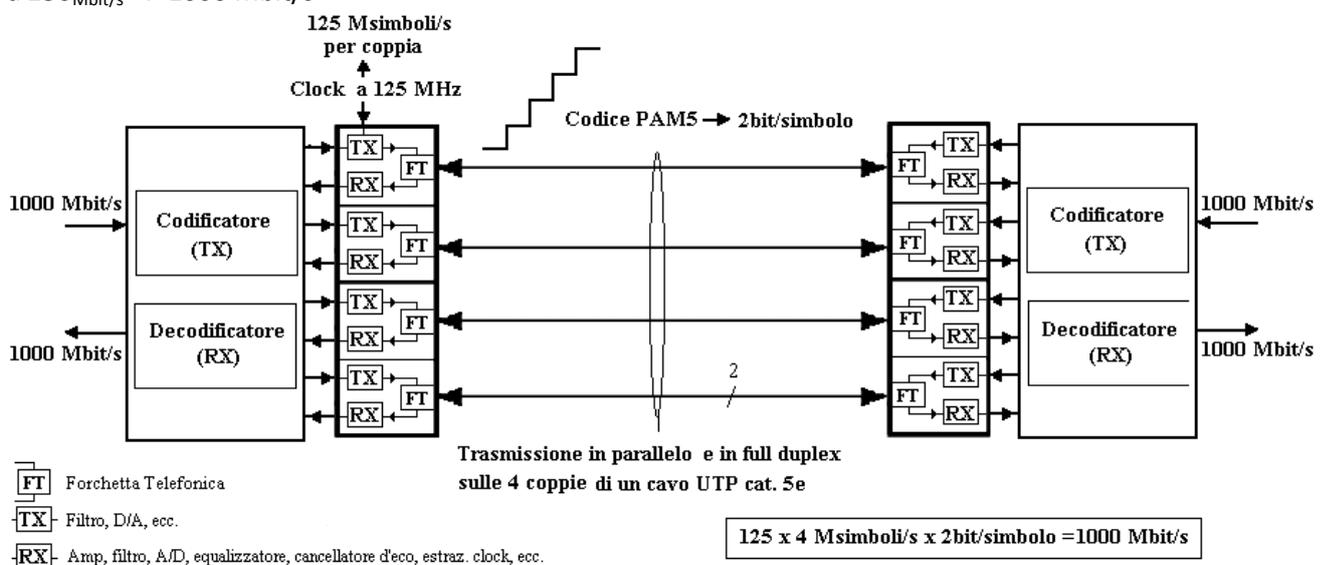
$$R_s = V_{m[baud]} \cdot \log_2 M \quad \text{bit / s}$$

La tecnologia Ethernet utilizza la trasmissione in banda base con un opportuno codice di linea (Unità 7). Se si utilizza un codice di linea a 2 livelli utili (come il Manchester utilizzato nelle 10 BASE T o l'MLT-3 utilizzato nelle Fast Ethernet 100 BASE TX) allora un simbolo (livello) emesso ha associato un solo bit, per cui la velocità di trasmissione lorda (in bit/s) coincide con la velocità di modulazione del segnale fisico (simboli/s).

Se si utilizza un codice di linea a 4 livelli utili ($M=4$) allora la velocità di trasmissione in termini di bit/s raddoppia a parità di velocità di modulazione (simboli/s)

Se lo si desidera si può quindi fare come esempio il passaggio da Fast Ethernet 100BASE-TX a Gigabit Ethernet 1000BASE-T su cablaggio in categoria 5e, in cui la velocità di trasmissione viene aumentata da 100 Mbit/s a 1000 Mbit/s senza aumentare la velocità di trasmissione a livello di segnale fisico in linea, operando nel seguente modo (U.11 par. 11.7.2):

- 100 BASE TX trasmette in realtà a 125 Mbaud con codice di linea MLT-3 (U.7) che associa un bit a ciascuno stato per cui la velocità lorda è 125 Mbit/s su ciascuna coppia;
- si sostituisce il codice MLT-3 con il codice PAM5 che ha un numero di stati utili pari a $M=4$ per cui la il bit rate in linea è pari a 250 Mbit/s;
- si utilizzano le 4 coppie di un cavo Ethernet (UTP, ecc.) in parallelo portando il bit rate lordo supportato a $250_{\text{Mbit/s}} * 4 = 1000 \text{ Mbit/s}$



COMMENTO AL TEMA

A mio parere il tema ha come aspetto **molto positivo** il fatto di proporre una tematica, quella delle reti in tecnologia Ethernet, che è **importantissima** nelle telecomunicazioni assieme a quella dei protocolli della **suite TCP/IP**, in quanto non solo è presente nelle reti locali (LAN) ma si sta affermando anche nelle reti metropolitane (MAN) e nelle reti di nuova generazione basate sul protocollo IP (NGN, Next

generation Network) sia cablate sia wireless che costituiscono le moderne reti di telecomunicazioni, in grado di supportare audio (VoIP), video (IPTV) e dati (accessi a Internet a larga banda) realizzando di fatto quelli che erano gli obiettivi della B-ISDN (Broadband Integrated Service Digital Network).

Gli aspetti negativi sono invece:

- l'eccessivo dettaglio delle richieste su apparati obsoleti e non più utilizzati come gli hub; il calcolo richiesto al punto 2 non è più necessario in quanto gli standard Ethernet attuali prescrivono già una distanza massima pari a 100 m;
- non si lascia ampio spazio all'esposizione di nozioni sulle reti Ethernet attuali e sulla loro evoluzione;
- si contraddice la norma che richiede di utilizzare indirizzi IP privati nelle reti private;
- si propone di valutare gli effetti di un metodo di correzione d'errore per ritrasmissione non adatto a operare a livello di trasporto, che è stato sviluppato in passato per operare sullo strato data link OSI (strato 2).

Prof. Ing. Onelio Bertazioli