

2.3 Requisiti di una rete per soddisfare le applicazioni multimediali

La tendenza attuale è di integrare su una sola rete diversi tipi di applicazioni. Ciò per ridurre i costi di mantenimento di reti separate per il telefono, i dati e le recenti applicazioni multimediali quali ad es. la videoconferenza. Però i servizi forniti da queste reti hanno necessità diverse: è indispensabile che una rete integrata possa soddisfare contemporaneamente tutte le diverse necessità. Sono quindi necessarie alcune caratteristiche essenziali:

- sufficiente banda trasmissiva
- qualità del servizio
- consegna multipunto dei pacchetti

2.3.1 Banda

La trasmissione di un segnale video è quella che richiede la banda più larga: essa dipende dalle dimensioni dei frame, dalla loro frequenza e dalla qualità dell'immagine trasmessa. Il tutto dipende poi dal tipo di codifica utilizzato.

La tabella 2 esemplifica le necessità delle più note applicazioni multimediali.

14.4 Kbps	telefono qualità bassa
32-64 Kbps	video qualità bassa
64 Kbps	telefono qualità standard
100 Kbps	applicazioni condivise
128Kbps -1Mbps	videoconferenza
1.54 Mbps	video MPEG
8-100 Mbps	immagini qualità alta
>100 Mbps	realtà virtuale

Tabella 2: Banda richiesta dalle applicazioni multimediali

2.3.2 Qualità del servizio

Le varie applicazioni hanno sensibilità diverse rispetto alla qualità del servizio (in termini di perdita di pacchetti, ritardo e fluttuazione) fornita da una infrastruttura di rete. Le applicazioni che trasmettono flussi preregistrati non sono sensibili al ritardo, mentre quelle che implicano l'interattività lo sono. La trasmissione di audio è sensibile alla fluttuazione che può impedire la corretta riproduzione. Anche la trasmissione di video lo è ma in misura minore. La perdita di pacchetti che è critica per le applicazioni dati lo è invece in misura minore per la trasmissione di audio e ancor meno per il video.

Le reti a pacchetto per essere in grado di far fronte alle necessità delle applicazioni più esigenti quali la trasmissione di flussi audio (e video) in tempo reale, oltre ad avere la banda sufficiente, devono fornire la qualità del servizio richiesta. Devono quindi avere dei metodi per:

- minimizzare la fluttuazione, utilizzando ad es. meccanismi di accodamento con priorità differenziate e/o protocolli di prenotazione della banda;
- contenere la latenza usando dispositivi di rete veloci e tecniche di inoltro che riducano al minimo il ritardo di elaborazione.

Da parte delle applicazioni, nella parte ricevente, possono essere efficacemente adottate tecniche di “assorbimento” delle fluttuazioni basate ad es. su una bufferizzazione prima della riproduzione. Per una corretta riproduzione di un flusso audio o video è necessario che i pacchetti contengano un timestamp relativo.

2.3.3 Consegna multipunto

Alcune applicazioni multimediali hanno la necessità di coinvolgere contemporaneamente più partecipanti. L'esempio migliore è il desktop conferencing. Occorre quindi una trasmissione dei dati multipunto per assicurare che ciò che viene inviato da una sorgente arrivi a tutti i riceventi.

A seconda della tecnologia della rete che si ha a disposizione è possibile ottenere ciò in tre modi:

Unicast. I dati inviati dalla sorgente devono essere copiati per ogni ricevente. È evidente lo spreco di banda e la non applicabilità su larga scala. Vedi figura 1.

Broadcast. I dati vengono inviati a tutti i computer sulla rete senza distinzione. È efficiente su una rete locale. L'utilizzo su una rete geografica provocherebbe un grande spreco di banda per la propagazione dei pacchetti su tutti i link.

Multicast. I dati sono inviati dalla sorgente ad un indirizzo che include tutti i possibili riceventi e la rete si occupa di replicare i pacchetti dove è necessario. Vedi figura 2.

La tecnologia multicast è efficiente ma richiede che i dispositivi di rete sappiano quali computer devono ricevere quali flussi di traffico e siano in grado di configurare dinamicamente i cammini più efficienti per instradare tali flussi. Le reti locali in genere dispongono di un indirizzamento multicast che può essere utilizzato a questo scopo. Vedi 3.1.

2.4 Infrastruttura di rete

2.4.1 LAN

Le varie tecnologie di LAN esistenti si prestano, con alcuni accorgimenti, al trasporto del traffico generato da applicazioni multimediali. Le reti locali comunemente utilizzate negli uffici (Ethernet o Token Ring) hanno una banda effettiva di qualche Mbps. Quando ad ogni singolo spezzone di LAN sono connessi un numero limitato di hosts (qualche decina) la banda offerta dalla LAN consente ad essi l'utilizzo di semplici applicazioni multimediali come audio-conferenza, applicazioni condivise e una limitata videoconferenza. La limitazione del numero di hosts connessi è particolarmente importante nel caso della tecnologia più diffusa, Ethernet, a causa del decadimento della banda utile

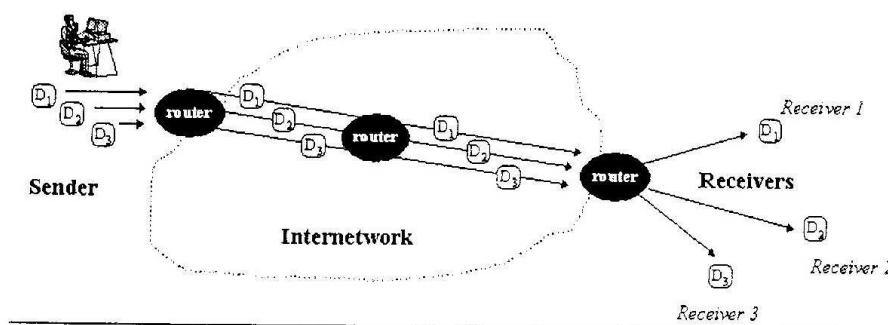


Figura 1: Trasmissione unicast

Tre copie dello stesso pacchetto dati (D) sono inviate come D1, D2 and D3 ai riceventi 1, 2, and 3 da una applicazione di conferenza. Ogni copia viene trasmessa in modalità unicast che utilizza una comunicazione punto-a-punto dalla sorgente ad ogni singolo ricevente.

all'aumentare del numero di utenti. Quindi quando le applicazioni multimediali sono tra utenti della stessa LAN è semplice ed economico segmentare la LAN per ridurre il numero di utenti che condividono lo stesso spezzone.

Per applicazioni più esigenti e/o con molti flussi contemporanei occorre migliorare la banda aggregata della LAN utilizzando dei LAN switch oppure è necessario disporre di una infrastruttura locale migliore quale ad es. CDDI, Fast-Ethernet, ATM.

Quando la diffusione deve essere su tutta la rete aziendale è indispensabile disporre di una dorsale veloce quale ad es. FDDI o ATM.

2.4.2 WAN (ISDN, ATM, Internet)

Se le applicazioni multimediali devono essere distribuite geograficamente è necessario disporre di connessioni remote veloci. Può essere economicamente svantaggioso disporre di una dorsale veloce privata calibrata sulle esigenze di applicazioni multimediali saltuarie. Spetta allora ai provider fornire l'accesso ad una dorsale geografica ad alte prestazioni condivisa tra più utenze.

ISDN¹⁷. La rete ISDN ha una buona qualità di servizio e fornisce una banda sufficiente per le applicazioni meno esigenti ma pone dei limiti alla trasmissione contemporanea di più sessioni o alle applicazioni che utilizzano audio e video di alta qualità.

ATM. ATM è una tecnologia in grado di integrare flussi di traffico con caratteristiche differenti, e necessità di banda elevate, sulla stessa infrastruttura. Però è improbabile che la tecnologia ATM, come ogni singola tecnologia, sia disponibile ovunque è necessario. D'altronde solo potendo usare ATM in tutti i nodi di

¹⁷<http://alumni.caltech.edu/~dank/isdn/index.html>

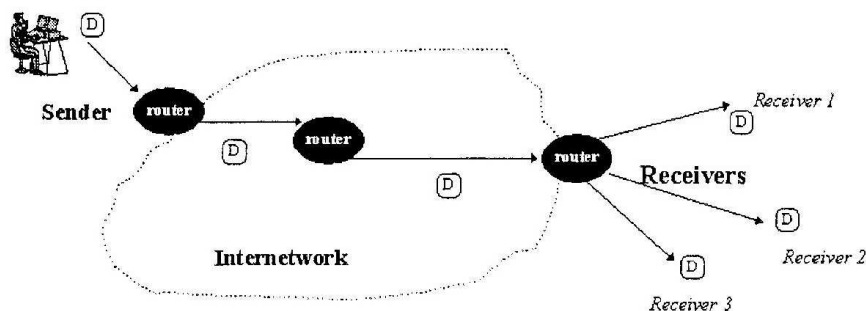


Figura 2: Trasmissione multicast

Una copia dello stesso pacchetto dati (D) è inviata in modalità multicast ai riceventi 1, 2, and 3 da una applicazione di conferenza. Il risparmio di banda è sia locale che attraverso la rete ed è maggiore all'aumento del numero dei riceventi.

rete intermedi tra sorgente e ricevente di un flusso audio o video se ne potrebbero sfruttare appieno i vantaggi. Ma è irrealistico pensare ad una riconversione di tutte le reti locali esistenti in poco tempo. Inoltre la standardizzazione di ATM riguardo al controllo di flusso e alla congestione non è ancora completa.

Le applicazioni multimediali dovrebbero essere scritte specificatamente per ATM per poterne utilizzare i parametri della qualità di servizio. Al contrario la maggior parte delle applicazioni sono scritte per una generica interfaccia di rete. È infatti troppo vincolante legare strettamente le applicazioni ad una specifica tecnologia di rete per fornire loro la qualità del servizio necessaria.

Internet. Per isolare le applicazioni dalla tecnologia di rete sono stati con successo usati dei protocolli indipendenti dalle specifiche tecnologie dei quali il più popolare è TCP/IP. Attualmente il maggior uso di ATM, anche nel caso di flussi audio e video è fatto attraverso pacchetti IP. L'integrazione tra il routing IP e lo switching ATM non è però efficiente specialmente nel caso di trasmissioni multipunto. Una soluzione possibile è utilizzare le nuove tecnologie che sfruttano le alte prestazioni di commutazione di ATM e la flessibilità di configurazione dei router IP quali ad es. IP switching¹⁸, Tag switching¹⁹, ecc. In questo modo si può implementare un servizio di multicast *nativo* anche su ATM;

Utilizzando TCP/IP rimane il problema di sfruttare le tecniche di controllo della qualità di servizio offerte dalle tecnologie di rete, come ad es. ATM. Occorre un protocollo che usi le tecniche specifiche di ogni tipo di tecnologia di trasporto localmente disponibile (ad es. ATM, FDDI, Frame Relay) assicurando così la qualità del servizio end-to-end. Il protocollo Resource Reservation Protocol (RSVP) definito dall'Internet Engineering Task Force (IETF)²⁰ è in grado di svolgere tale compito basandosi sul trasporto di pacchetti fornito da TCP/IP.

Internet, la rete mondiale basata sui protocolli TCP/IP, ha una sua "sot-

¹⁸<http://www.ipsilon.com/technology/>

¹⁹<http://www.cisco.com/tag/>

²⁰<http://www.ietf.org>

torete virtuale" con copertura mondiale, chiamata Mbone (Multicast backbone), che serve come testbed per lo sviluppo della tecnologia del multicasting e delle applicazioni multimediali su larga scala.

Questa tecnologia si basa su un insieme di protocolli per il supporto di applicazioni multimediali su Internet, sviluppati dai gruppi di lavoro dell'IETF²¹. Essi permettono alle attuali reti IP di trasportare voce e video oltre alle tradizionali applicazioni intermittenti. La componente più importante che è alla base delle altre perché permette il trasporto dei pacchetti è IP multicast.

3 Architettura IP Multicast

La caratteristica principale del multicast è che un pacchetto indirizzato ad un indirizzo multicast (indirizzi di gruppo) arriva a tutte le macchine facenti parte di questo gruppo. Questo metodo è proprio adatto per le nuove applicazioni che richiedono una comunicazione "one-to-many" o "many-to-many" dove uno o più sorgenti trasmettono a destinatari multipli. In termini di utilizzo della banda questo tipo di trasmissione porta un grande risparmio. IP Multicast è "receiver-based": gli host con funzionalità multicast per ricevere il traffico di loro interesse devono *associarsi* al gruppo multicast relativo; il traffico a tutti i membri del gruppo viene consegnato dall'infrastruttura di rete. I pacchetti vengono instradati dai router multicast utilizzando un protocollo di instradamento (routing) multicast. Solo una copia di ogni pacchetto passerà su ogni linea e verrà duplicata dai router solo quando i percorsi divergono. IP multicast non è "connection-oriented" ma si basa sulla trasmissione di IP multicast datagram che vengono consegnati con la stessa affidabilità *best-effort* degli usuali unicast datagrams.

La versione attuale del protocollo IP (IP versione 4) prevede 3 tipi di indirizzamento: unicast, broadcast e multicast. Un indirizzo unicast permette di trasmettere un pacchetto verso una singola destinazione: l'host che ha quel particolare indirizzo. Gli indirizzi broadcast consentono di trasmettere un pacchetto contemporaneamente a tutti gli host connessi ad una sottorete IP. Gli indirizzi multicast invece permettono la consegna di un pacchetto all'insieme degli host appartenenti allo stesso gruppo multicast dispersi su reti differenti e distanti. L'unica differenza tra un pacchetto unicast ed uno multicast sta nella presenza di un indirizzo di gruppo nel campo destination address dello header IP. I pacchetti unicast utilizzando indirizzi di classe A, B e C (da 0.0.0.0 a 223.255.255.255), mentre i pacchetti multicast utilizzano indirizzi di classe D. Essi hanno i primi quattro bit a 1110 e occupano lo spazio da 224.0.0.0 a 239.255.255.255 (o 224.0.0.0/4).

Una parte di questi indirizzi, chiamati permanenti, vengono assegnati da IANA e sono riservati per:

- i protocolli di instradamento (link local scope) nel range 224.0.0.0 - 224.0.0.255
- le applicazioni, sessioni permanenti o esperimenti

Essi sono elencati dentro STD2 (attualmente RFC1700) nella sezione Internet Multicast Addresses. Comunque la tabella più aggiornata delle assegnazioni di questi indirizzi si trova nel documento

²¹<http://www.ietf.org/html.charters/wg-dir.html>

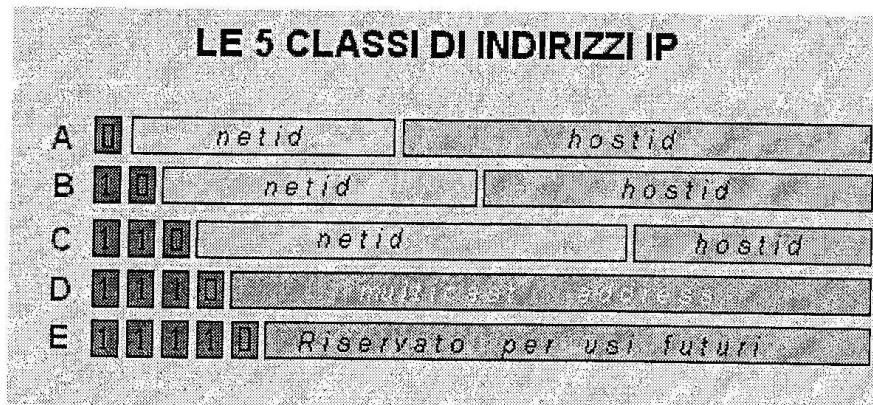


Figura 3: Le classi di indirizzi IP

<ftp://ftp.isi.edu/in-notes/iana/assignments/multicast-addresses>

Gli indirizzi nel range 224.2.0.0 - 224.2.127.253 sono temporanei, vengono dinamicamente assegnati ai gruppi e esistono finchè esistono i membri del gruppo.

Gli indirizzi nel range 239.0.0.0 - 239.255.255.255 sono invece usati in ambito limitato (vedi 3.4.3).

3.1 Estensioni IP multicast per host

Nel 1989 Steve Deering ha descritto il supporto necessario agli host IP per trasmettere e ricevere i datagram multicast (RFC1112). L'IP multicast è definito come estensione del protocollo di rete IP standard secondo il modello a livelli come è rappresentato nella figura 4.

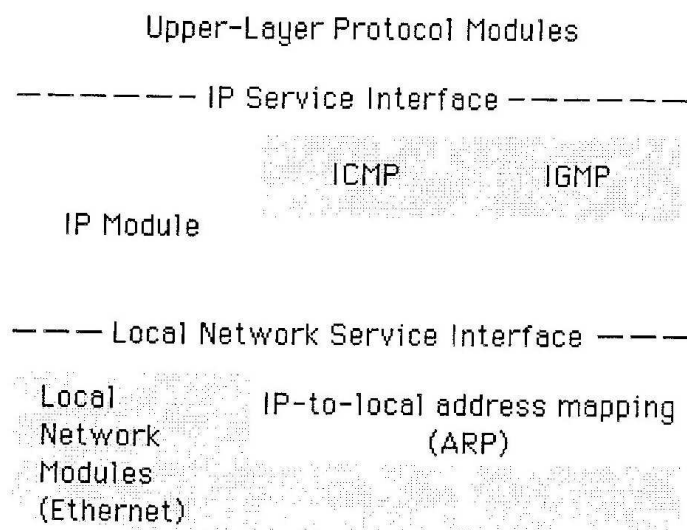


Figura 4: Modello di implementazione IP

Nel documento di Deering le estensioni di ogni modulo sono descritte sia quando un pacchetto viene mandato sia quando viene ricevuto dall'host. Una

parte importante è dedicata alle estensioni relative al Ethernet Local Network Module (dato che la maggior parte delle LAN si basa su questa tecnologia) , ovvero su come i pacchetti multicast vengono trasmessi su Ethernet.

Ricordiamo che lo standard Ethernet/802.3, che definisce il livello due del Modello ISO delle LAN, prevede che ogni frame trasmesso abbia un indirizzo di destinazione e uno di sorgente. Questo è necessario perché ogni stazione sulla LAN "ascolta" ogni pacchetto inviato.

Gli indirizzi Ethernet sono così standardizzati:

- la loro lunghezza è fissata su 6 byte/48 bit e
- è assicurata la loro globale unicità.

L'unicità degli indirizzi, che permette ad esempio la connessione ad una LAN con il principio "plug and play", è gestita da un'autorità globale, IEEE, che assegna a ogni produttore di schede dei blocchi di indirizzi di 24 bit. Ciò significa che i primi tre byte di ogni indirizzo sono fissi (si chiamano codice del produttore), mentre i restanti tre byte vengono assegnati dal produttore ad ogni singola scheda prodotta.

I primi tre byte sono in realtà ancora strutturati

Dobbiamo notare però che il bit più significativo dell'indirizzo ha un significato speciale: indica se l'indirizzo è di gruppo o individuale. Se ha valore 0 l'indirizzo si riferisce ad una singola macchina. Se invece è 1 l'indirizzo si riferisce ad un gruppo logico di stazioni ed è detto multicast. Un caso particolare di indirizzo multicast è quello con tutti 1, detto broadcast; un pacchetto con questo indirizzo è destinato a tutte le stazioni sulla LAN.

Quando un pacchetto IP multicast deve essere inviato su una LAN è necessario "inserirlo" in un frame Ethernet. Idealmente, ogni indirizzo IP multicast andrebbe mappato in un distinto indirizzo Ethernet. Questo permetterebbe un efficace filtraggio dei pacchetti effettuato dall'hardware. Ma il range degli indirizzi IP multicast (classe D) per un mapping uno a uno necessiterebbe di 28 bit.

Quindi bisognerebbe ottenere 16 consecutivi blocchi (di vendor code) per dare alla comunità IP multicast 28 bit. Questa richiesta non è né politicamente né economicamente realizzabile. Economicamente perché un blocco assegnato ha un costo di 1000\$. Politicamente perché IEEE è contrario alle richieste di assegnazione di più blocchi consecutivi. Per questo all'intera comunità IP multicast è stato assegnato un solo blocco di indirizzi. Il blocco inizia con 01-00-5E (hex). Metà di esso è riservato per scopi futuri. Quindi restano solo 23 bit utilizzabili per il mapping degli indirizzi IP multicast. Questo porta ovviamente ad una sovrapposizione di indirizzi: in un indirizzo multicast ethernet vengono mappati 32 indirizzi IP multicast.

3.2 IGMP e CGMP

Il protocollo IGMP (Internet Group Management Protocol) viene utilizzato per la comunicazione fra hosts e multicast router. Gli host, tramite i meccanismi di questo protocollo, informano il loro router locale che vogliono associarsi ad un specifico gruppo multicast per riceverne il traffico. I router, da parte loro, periodicamente mandano *query* e, ascoltando i *report* sulla LAN, determinano se i membri di un gruppo sono sempre presenti. Se su una LAN risiedono più

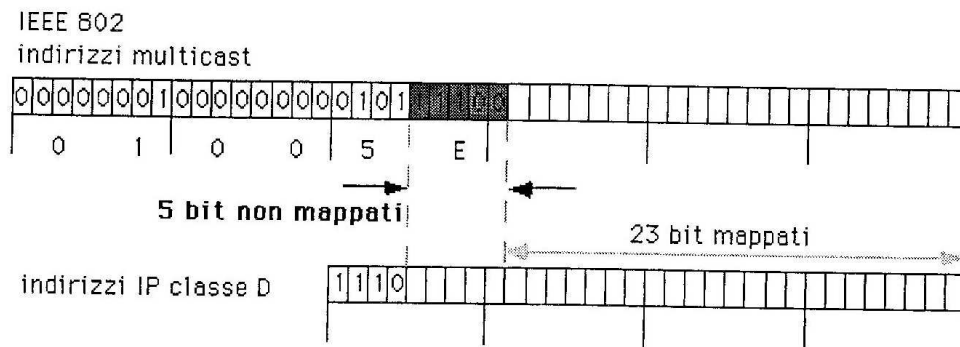


Figura 5: Mapping degli indirizzi IP multicast su Ethernet

router multicast uno di loro viene eletto *querier* e si assume la responsabilità di *monitorare* la LAN. Sulla base di questa informazione, il router è in grado di determinare quale traffico multicast deve essere mandato su ognuna delle sue interfacce di rete.

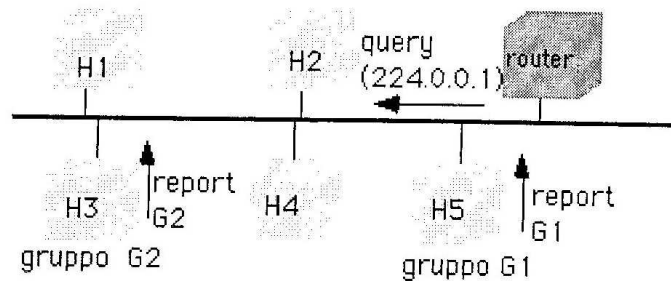


Figura 6: messaggi query e report IGMP

Secondo la specifica della versione 1 di IGMP (RFC1112), il router periodicamente deve trasmettere i messaggi *host membership query* per determinare la presenza di membri dei gruppi multicast su ogni LAN a cui è direttamente connesso. I messaggi vengono mandati sull'indirizzo multicast su ogni LAN a cui è direttamente connesso (all hosts group) con il TTL=1. Il significato di TTL (Time To Live) è uguale a quello dei pacchetti unicast, quindi questi messaggi raggiungono tutte le macchine sulle LAN ma non vengono mai inoltrati oltre la LAN da nessun altro router. Quando un host riceve una query risponde con un report per ogni gruppo a cui appartiene. Ma in realtà ogni host ritarda l'invio del proprio report di un tempo scelto a caso. Il report viene mandato sull'indirizzo multicast del gruppo così che gli altri membri dello stesso gruppo sulla LAN lo ricevano e facciano ripartire il proprio timer. Ciò ha l'effetto di minimizzare il numero di report inviati. I router non hanno bisogno di mantenere la lista dei membri di un gruppo ma soltanto l'informazione sulla presenza di almeno un membro del gruppo su ognuna delle interfacce di rete. Se dopo un numero predefinito di query il router non riceve, attraverso una delle sue interfacce, alcun report dai membri

del gruppo, assume che su quella LAN quel gruppo non ha più membri presenti. Se la LAN è una *rete foglia* essa viene eliminata dall'albero di distribuzione multicast per quel gruppo. Non appena un host si associa ad un gruppo manda un report, senza attendere la ricezione di una query. Questo serve per ridurre i tempi di ritardo per i primi membri di un gruppo su una determinata rete.

La versione 2 (vedi A.2) del protocollo definisce la procedura per l'elezione di *querier* su una rete con più di un multicast router. Il router con l'indirizzo IP più basso viene dichiarato querier. Con la V.1 questa decisione veniva fatta dal protocollo di instradamento ma era un potenziale problema su una rete multi-protocollo. In questa versione troviamo anche due nuovi messaggi: *group-specific query* e *leave group*. Il primo permette ai router di mandare query per un gruppo multicast specifico invece che a tutti. Il secondo ha lo scopo di ridurre i tempi di ritardo nel determinare che anche l'ultimo membro ha lasciato un gruppo su una rete. Questo messaggio viene mandato all'indirizzo *all-routers* e fa scattare sul router la trasmissione di *group-specific query*. Se la risposta non arriva il router effettua le azioni come già descritto. La versione 2 di IGMP è stata distribuita insieme con IP multicast package - versioni 3.3 - 3.8.

La versione 3 (vedi A.2) introduce il supporto per il messaggio *Group-Source report* che permette a un ricevente di scegliere la sorgente del traffico multicast. Il messaggio *Inclusion* permette ad un host di specificare le sorgenti dalle quali vuole ricevere traffico, mentre *Exclusion* permette ad un host di escludere esplicitamente le sorgenti da cui non vuole ricevere traffico. A questi messaggi si è aggiunto anche *Group-Source Leave* che permette ad un host di scegliere di dissociarsi da tutto il gruppo o solo da certe sorgenti. Questa versione aiuterà a risparmiare la banda trasmissiva ancora di più.

Il protocollo CGMP (Cisco Group Management Protocol) è stato sviluppato da Cisco per un problema specifico: molte LAN oggi giorno vengono potenziate usando la tecnologia degli switch. Il loro scopo è di ottenere, senza aumentare la banda trasmissiva della rete, un maggiore traffico aggregato (throughput). Ma, quando gli switch funzionano in modo standard non si ottiene alcun beneficio per il traffico IP multicast. Infatti, i frame multicast (in cui vengono mappati i pacchetti IP multicast) vengono trattati esattamente come quelli broadcast: quando sono ricevuti su una porta vengono inviati su tutte le altre porte dello switch. Il protocollo CGMP permette agli switch di inoltrare meno ciecamente i frame multicast: l'inoltro avviene in base alle informazioni IGMP comunicate allo switch dai router. Il risultato è che i pacchetti IP multicast vengono mandati solo sulle porte dello switch sulle quali sono presenti i membri di un certo gruppo multicast. È importante notare che la soluzione basata su CGMP non ha un effetto negativo sulle prestazioni di inoltro dello switch, a differenza di alcune soluzioni che richiedono allo switch, che opera solo a livello II, di esaminare le informazioni del livello IP. Per la precisione occorre notare che, a causa della corrispondenza non biunivoca tra indirizzi IP multicast e indirizzi Ethernet, rimane la probabilità che alcuni pacchetti multicast siano inviati dallo switch inutilmente su alcune porte.

3.3 Algoritmi e tecniche di inoltro dei pacchetti multicast

Come spiegato nel paragrafo precedente, IGMP implementa solo l'*ultimo passo* nella consegna dei pacchetti multicast: dal router ai membri di un gruppo

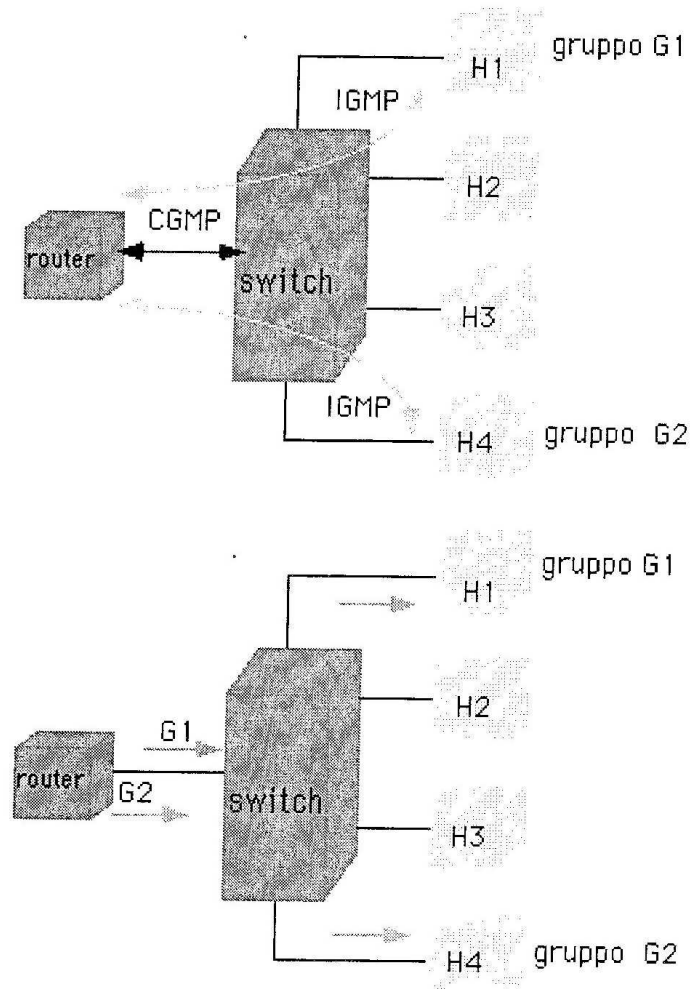


Figura 7: Funzionamento del protocollo CGMP

sulle LAN a esso direttamente connesse. Nel più vasto ambiente internetwork il corretto instradamento dei pacchetti è possibile grazie ai protocolli di instradamento multicast. Essi sono responsabili della costruzione dei *rami di consegna* multicast e per l'inoltro (forwarding) dei pacchetti. In questo paragrafo vengono descritte diverse tecniche di inoltro usate dai protocolli di instradamento.

3.3.1 Il Flooding

Il flooding è la più semplice tecnica di inoltro. Ogni pacchetto multicast ricevuto viene inoltrato su tutte le altre interfacce del router tranne quella di provenienza. In questa maniera ogni pacchetto multicast che arriva è reinstradato verso tutti i router adiacenti. Per evitare la replicazione incontrollata dei pacchetti, ogni router deve essere in grado di capire se ha già ricevuto un dato pacchetto e quindi scartarlo. Il flooding è facile da implementare ma non è scalabile per reti grandi e/o Internet perché:

- genera un grande numero di pacchetti duplicati;

- usa tutti i percorsi possibili, anche quelli inutili;
- fa un uso inefficiente delle risorse del router.

Una soluzione più efficiente del flooding è quella di selezionare un sottoinsieme di collegamenti che formano un *albero di copertura* dove esiste un unico percorso attivo tra qualsiasi coppia di router nella rete. È importante ricordare che esiste sia un percorso di andata che uno di ritorno: essi vengono determinati tramite i protocolli di routing unicast e devono essere simmetrici. Questo metodo è utilizzato da tutti gli algoritmi di inoltro descritti in seguito.

3.3.2 Spanning Tree

Seleziona un sottoinsieme di collegamenti che formano un albero di copertura. Una volta formato l'albero, il router semplicemente inoltra i pacchetti su ogni ramo (che sono loop-free) che con grande probabilità raggiungeranno ogni router in rete. Questa tecnica è facile da implementare data la grande esperienza nelle implementazioni basate su algoritmi spanning tree utilizzate dai bridge. Gli svantaggi di questa tecnica risiedono nel fatto che gli alberi di copertura portano a concentrare il traffico su un piccolo numero di link che non deve essere il migliore percorso tra sorgente e membri di gruppo. Inoltre, nel caso di una rete grande e complessa, l'esecuzione dell'algoritmo richiede molta potenza di calcolo e capacità di memoria per gli stati da mantenere sui router.

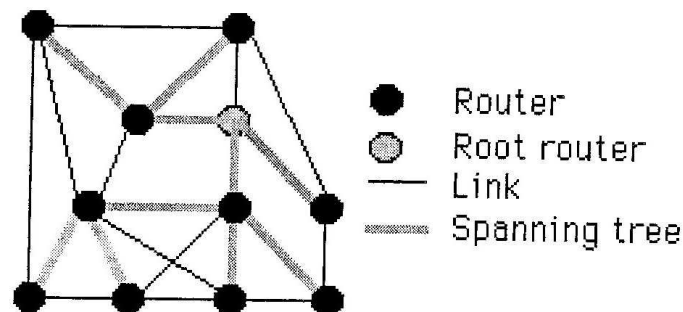


Figura 8: Spanning Tree

Tutte le tecniche di inoltro, descritte in seguito, creano alberi di copertura specifici per la sorgente. Si distinguono per l'efficienza nella costruzione dell'albero e la quantità di banda e di risorse richieste ai router.

3.3.3 Reverse Path Broadcasting (RPB)

Una soluzione ancora più efficiente di costruire un albero di copertura unico consiste nel costruire alberi di copertura specifici per la sorgente e per il gruppo multicast. Tutti questi alberi hanno la radice centrata sulla sorgente del traffico multicast. L'algoritmo, noto come RPB, è molto semplice.

Il principio di questo algoritmo è di effettuare prima di inoltrare ogni singolo pacchetto un controllo, detto *RPF check* per minimizzare i duplicati e evitare i loop. Ogni router deve determinare, per ogni pacchetto che riceve, la propria posizione nel flusso identificato dalla coppia [sorgente, gruppo]. Ciò viene fatto designando per quel flusso quale è la propria interfaccia *a monte*. Per questo

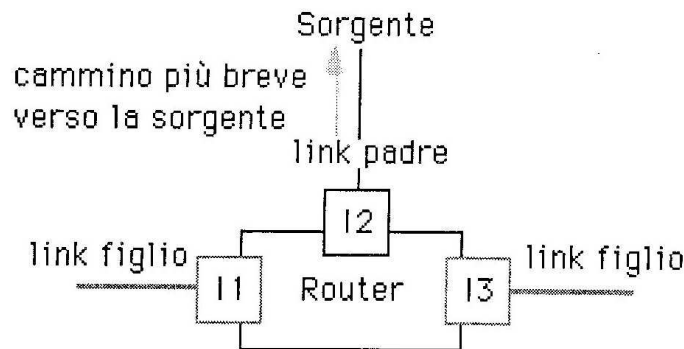


Figura 9: Il Reverse Path Broadcasting, link padre e figlio

dobbiamo supporre che ogni router abbia una conoscenza delle route unicast della rete su cui lavora e tramite esse sia in grado di determinare, per ogni coppia [sorgente, gruppo], il router successivo nel cammino più breve verso l'indirizzo del sorgente. Un datagram arrivato sull'interfaccia a monte, quella che il router considera la via più breve verso la sorgente del pacchetto di quel dato gruppo, ha superato il controllo. In caso contrario il pacchetto viene scartato.

L'algoritmo RPB semplicemente replica il datagram su tutte le interfacce tranne quella di provenienza. La connessione attraverso la quale arriva il datagram è detta *link padre*, mentre quelle su cui vengono inoltrati i pacchetti sono *link figli*. In questa maniera si costruisce un albero specifico per ogni sorgente e gruppo multicast. Questo algoritmo di base può essere migliorato per ridurre il numero di pacchetti duplicati. Infatti in presenza di percorsi multipli da una sorgente (a ognuna delle sue possibili destinazioni) è facile che un router invii un pacchetto ad un altro router che poi lo scarnerà perché non avrà passato il controllo RPF. Ciò può essere evitato se i router sono in grado di scegliere, per ogni coppia [sorgente, gruppo], tra i router limitrofi e *a valle* (downstream), quelli a cui inviare il datagram: il datagram va inviato solo ai router che considerano il router locale *a monte* cioè sul percorso più breve verso l'indirizzo della sorgente. Tale scelta è possibile utilizzando il database topologico per la rete che ogni router multicast mantiene.

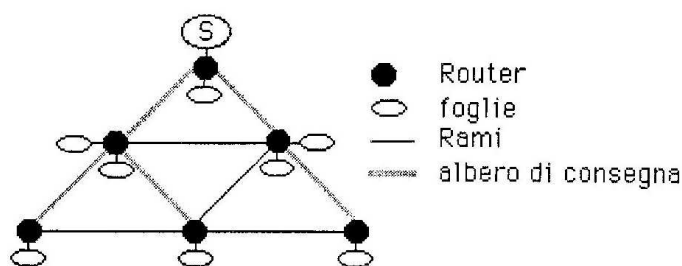


Figura 10: Il Reverse Path Broadcasting, albero di consegna

Il Reverse Path Broadcasting è efficiente e facile da implementare. Il suo beneficio principale è che i pacchetti, fra la sorgente e il gruppo, seguono sempre la strada più corta e quindi il traffico non viene concentrato su pochi link di rete. Il limite di questo algoritmo sta nel fatto che costruendo l'albero di distribuzione

non prende in considerazione l'appartenenza ad un certo gruppo. Per questa ragione può succedere che datagram di gruppi multicast siano inviati lungo rami dell'albero che non hanno ascoltatori attivi di quei gruppi.

3.3.4 Truncated Reverse Path Broadcasting (TRPB)

Il Truncated Reverse Path Broadcasting pone rimedio ai limiti di RPB. Usando IGMP, un router può determinare le appartenenze ai gruppi su ogni rete foglia evitando così di mandare i pacchetti di un gruppo su reti che non contengono ascoltatori attivi di quel gruppo.

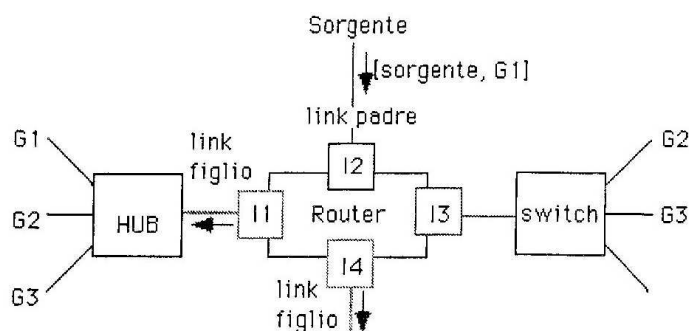


Figura 11: Il Truncated Reverse Path Broadcasting

La figura 11 illustra il funzionamento del TRPB. Dalla sorgente (S) arriva un datagram per il gruppo G1 sull'interfaccia *padre* (I2). Questo viene inoltrato all'interfaccia I1 che ha un membro del gruppo G1 ma non all'interfaccia I3 dato che al di là di essa non esistono ascoltatori per quel gruppo. Il datagram viene inviato all'interfaccia I4 solamente se un router *a valle* la considera il collegamento padre per la coppia (sorgente, G1). Il beneficio apportato da TRPB rispetto a RPB, è limitato all'eliminazione del traffico inutile sulle reti foglia, con il conseguente risparmio di banda fatto sulle reti locali dove generalmente questa risorsa non è critica.

3.3.5 Reverse Path Multicasting (RPM).

Il Reverse Path Multicasting, descritta nel draft di DVMRP versione 3 (vedi A.2), è un miglioramento del Reverse Path Broadcasting. L'RPM costruisce un albero di consegna che copre solamente:

- Le sottoreti che hanno membri del gruppo
- I router e i collegamenti sul cammino più breve verso sottoreti con membri del gruppo

RPM permette di *potare* (prune) i rami dell'albero di copertura quando è necessario, cosicché i datagram sono inoltrati solamente verso i rami che portano a membri dei gruppi di destinazione.

I router che sono al limite della rete di distribuzione multicast per un dato gruppo sono denominati *nodì foglia* (leaf). Quando un router riceve un datagram

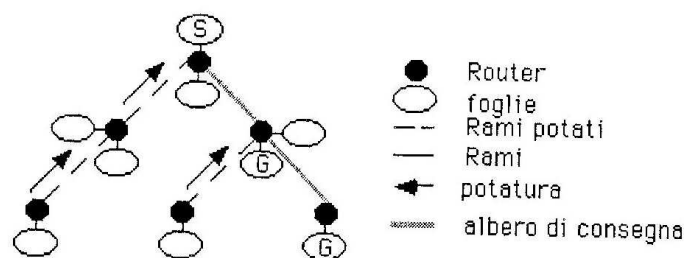


Figura 12: Il Reverse Path Multicasting

multicast, lo invia utilizzando l'algoritmo TRPB a tutti i router a lui prossimi. Questo garantisce che il messaggio arrivi a ogni nodo foglia dell'albero e venga consegnato su ogni rete foglia avente membri del gruppo (noti basandosi sui report IGMP). Se un nodo foglia non ha ascoltatori per quel gruppo su nessuna delle sue interfacce (reti foglia), può inviare un messaggio prune al suo router a monte dicendogli di non inoltrare più pacchetti diretti a quel dato flusso [sorgente, gruppo] su quella interfaccia. I messaggi prune sono inviati solamente al router a monte (uno hop solo) che deve mantenere questa informazione in memoria. Se a sua volta il router a monte riceve messaggi prune da ogni router a valle (a cui aveva inviato messaggi multicast), vuol dire che non ha più necessità di ricevere altri pacchetti per quella coppia [sorgente, gruppo]. Quindi può esso stesso generare il proprio messaggio prune sul link padre verso il suo router a monte; questa *cascata* di messaggi prune verso la sorgente ridimensiona l'albero di consegna eliminando tutti i rami inutili. Le informazioni di *pruning* mantenute sui router devono essere periodicamente rinnovate a causa della variabilità della topologia e dei partecipanti ai gruppi multicast. A periodi regolari queste informazioni vengono cancellate dalla memoria, così che ogni nuovo datagram [sorgente, gruppo] viene inoltrato a tutti i router a valle. Di conseguenza saranno nuovamente trasmessi messaggi prune per eliminare i rami inutili. Nonostante i miglioramenti anche questo algoritmo ha problemi di scalabilità:

- i pacchetti multicast devono essere periodicamente trasmessi all'intera rete facendo spreco di banda (flooding); Ciò è particolarmente svantaggioso sui link a bassa velocità.
- ogni router deve mantenere in memoria le informazioni per ogni gruppo e ogni sorgente esistente (forwarding o prune entry).

Le tecniche Shared Tree tentano di risolvere questi problemi di scalabilità.

3.3.6 Core Based Trees (CBT).

A differenza dei precedenti algoritmi che costruiscono un albero specifico per ogni coppia [sorgente, gruppo], il CBT costruisce un unico albero condiviso da tutti gli appartenenti ad un dato gruppo: tutto il traffico multicast di un gruppo viene sia trasmesso che ricevuto lungo lo stesso albero indipendentemente dalla sorgente. L'albero condiviso deve coinvolgere uno o più router detti *core*. Essi sono predefiniti e tipicamente scelti sulla base della loro posizione nella topologia della rete.

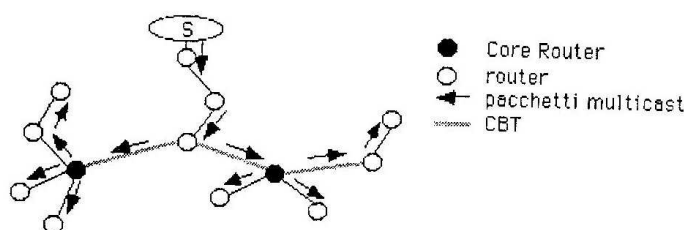


Figura 13: Il Core Based Trees

Per ogni stazione che vuole ricevere i pacchetti di un certo gruppo multicast, il router a cui essa è direttamente connessa deve mandare un *messaggio di adesione* (join) al core router di quel gruppo multicast. Lungo il percorso tutti i router intermedi identificano l'interfaccia da utilizzare per costruire il nuovo ramo di consegna - quella da cui è stato ricevuto il *join*. Con questa procedura ogni router crea il ramo più corto fra se stesso e il core router. Una stazione che vuole trasmettere pacchetti ad un gruppo multicast se è anche ricevente ha già aderito al gruppo e quindi li inoltra lungo l'albero già creato verso il core router. Se viceversa non è anche ricevente (come per tutti gli altri algoritmi anche CBT non richiede che la sorgente dei pacchetti multicast appartenga al gruppo stesso) i suoi datagram viaggiano incapsulati in modalità unicast fino al Core Router; spetta al router ad essa limitrofo il compito dell'incapsulamento.

I vantaggi di questo algoritmo rispetto al Reverse Path Multicasting (RPM) sono notevoli. I router mantengono informazioni solamente sullo stato di ogni gruppo e non sulla coppia (gruppo, sorgente): ciò porta ad una riduzione delle tabelle di inoltro con relativo grande risparmio di memoria. In più il CBT risparmia banda in quanto non richiede inondazioni periodiche. Gli svantaggi di questa tecnica risiedono nel fatto che il traffico tende a concentrarsi tutto nei collegamenti attorno ai core-router. In più un singolo albero di consegna dei pacchetti multicast può non essere ottimale e creare dei ritardi significativi.

3.4 Propagazione dei pacchetti multicast

Per limitare la propagazione dei pacchetti multicast ad un territorio geografico oppure ad una rete esistono tre meccanismi di base:

1. TTL - ad ogni pacchetto viene assegnato un valore di TTL che determina quanti salti il pacchetto può fare - in altre parole quanti router multicast può attraversare il pacchetto prima che un router rifiuti di inoltrarlo.
2. Soglia minima (TTL threshold) - è una funzionalità dei router multicast. Questo parametro, se configurato su una interfaccia fisica o virtuale del router, blocca la propagazione dei pacchetti multicast se il loro TTL è più basso del valore di TTL threshold.
3. Indirizzi IP multicast nel range 239.0.0.0 - 239.255.255.255 detti "limitati" (scoped). Questi indirizzi possono essere considerati come indirizzi multicast locali (o privati). I pacchetti, indirizzati a questo range, vengono bloccati dai router multicast che fanno da "frontiera" per una regione multicast.