

# 11

## EVOLUZIONI DELLE LAN\*

---

### 11.1 INTRODUZIONE

I costruttori di reti locali sono alla continua ricerca di soluzioni tecnologiche che consentano di ottenere reti locali più veloci, meno costose e più affidabili. Varie sono le proposte di evoluzioni, la più importante delle quali è senza dubbio l'adozione della tecnica ATM. Considerata l'importanza che avrà ATM nel futuro, non solo per le LAN, ma anche per le WAN, essa verrà trattata separatamente nei capitoli 19, 20 e 21. Tuttavia molte altre novità sono appena apparse sul mercato e le più significative verranno descritte in questo capitolo.

Gli sviluppi principali cui si sta assistendo hanno due obiettivi: migliorare le reti locali già esistenti, in particolare quelle di derivazione Ethernet, e creare reti locali wireless, cioè senza fili.

L'evoluzione verso il primo obiettivo ha portato alla disponibilità di una serie di prodotti che vengono presentati con vari nomi commerciali: Ethernet switch, Ethernet dedicato, Ethernet a 100 Mb/s (100BaseT e 100VG AnyLAN). Essi mirano a migliorare la più diffusa rete locale (Ethernet) fornendo a ciascun posto di lavoro 10 Mb/s dedicati oppure 100 Mb/s condivisi o dedicati.

La necessità di incrementare la velocità del singolo posto di lavoro è giustificata dalla crescente richiesta di applicazioni multimediali, le quali devono trasferire non solo dati, ma anche voce ed immagini; l'attenzione verso lo standard Ethernet è invece giustificata da considerazioni di mercato: si stima che nel

---

\* Alla stesura di questo capitolo hanno dato un valido contributo Marco Foschiano e Federico Micheletti, studenti del corso di Impianti di Elaborazione presso il Corso di Laurea in Ingegneria Informatica del Politecnico di Torino, ai quali vanno i più sentiti ringraziamenti degli autori per la preziosa collaborazione.

periodo 1984-1993 siano stati venduti 20.000.000 di nodi e che altrettanti ne saranno venduti nel periodo 1994-1996, dalle oltre 200 aziende produttrici.

Le reti wireless si pongono invece obiettivi diversi. Esse non sono nate con lo scopo di sostituire le reti cablate in quanto, almeno per ora, forniscono prestazioni nettamente inferiori, in alcuni casi anche di un ordine di grandezza, ma si pongono come un valido complemento ad esse fornendo all'utenza maggiore mobilità. Le reti di tipo wireless sono fortemente sinergiche con i calcolatori portatili tipo notebook e laptop in quanto consentono di veicolare i dati ovunque gli utenti si trovino: in ufficio, a casa o presso i clienti.

I fattori che spingono verso la realizzazione di reti locali wireless sono:

- la riduzione dei costi e delle dimensioni dei calcolatori portatili, unitamente all'incremento delle prestazioni, della capacità di memoria (centrale e di massa) e dell'autonomia;
- il desiderio, da parte degli utilizzatori di strumenti di calcolo portatili, di poter usufruire degli stessi servizi di networking a disposizione degli utenti di sistemi fissi.

Esiste infine un terzo fattore, molto sentito in Italia, che è l'elevato costo di realizzazione dei sistemi di cablaggio in particolari edifici, ad esempio quelli storici, soggetti alla tutela del Ministero dei Beni Culturali.

La fattibilità delle reti locali wireless è oggi giorno possibile grazie ai forti progressi nei settori delle tecnologie dei semiconduttori (chip all'arseniuro di gallio), delle alte frequenze (microonde) e ottiche (infrarossi).

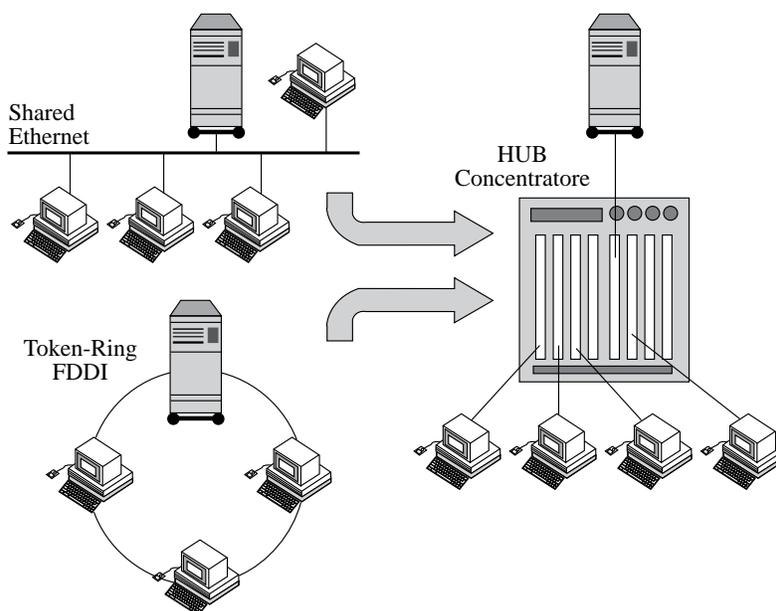
Le reti per trasmissione dati non cablate si possono classificare in due diverse categorie, a seconda delle loro dimensioni e dei servizi ed applicazioni offerti all'utenza, esattamente come nel caso delle loro controparti cablate:

- wide area wireless data network o *wireless WAN*, progettate per la trasmissione di dati su base metropolitana o nazionale, con velocità nel range 2.4 - 19.2 Kb/s;
- local area wireless data network o *wireless LAN*, progettate per l'utilizzo in ambienti di dimensioni ridotte all'interno di edifici, con velocità da 230 Kb/s a 10 Mb/s.

## 11.2 EVOLUZIONE DELLE LAN CABLATE

La definizione di rete locale data nel paragrafo 5.1 prevede l'esistenza di un unico mezzo trasmissivo ad alta velocità e basso tasso di errore la cui capacità

trasmissiva sia condivisa da tutte le stazioni collegate, in modo simile a quanto schematizzato nella parte sinistra di figura 11.1. Tale modello rispecchia fedelmente la struttura di una rete Ethernet cablata con cavo coassiale o quella di una rete Token Ring cablata su un concentratore passivo.



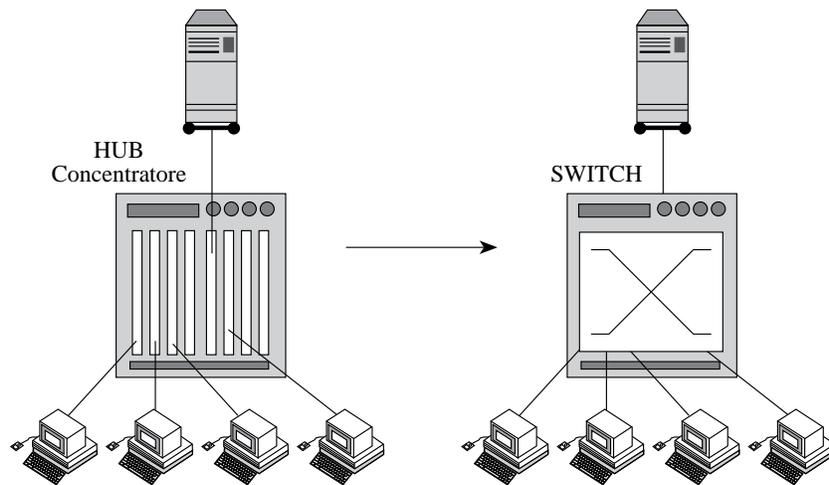
**Fig. 11.1** - Evoluzione delle LAN cablate.

Abbiamo altresì visto nel capitolo 4 come gli standard relativi al cablaggio strutturato degli edifici abbiano ricondotto tutte le LAN ad una topologia sostanzialmente stellare, in cui i cavi collegano le stazioni a dei concentratori (HUB) che fungono da centro stella, come schematizzato nella parte destra di figura 11.1.

La topologia stellare non introduce benefici in termini di capacità trasmissiva globale della rete se i concentratori si comportano come ripetitori (nel caso di Ethernet) o semplici centro stella (nel caso di reti ad anello): infatti in tali casi il concentratore continua ad avere una capacità trasmissiva totale pari a quella del singolo cavo.

Nella topologia stellare è però possibile sostituire i concentratori con commutatori di trame di livello MAC, comunemente detti switch (figura 11.2), caratterizzati da una capacità trasmissiva globale molto superiore a quella dei singoli cavi: uno switch, infatti, è in grado di permettere la trasmissione contemporanea di più pacchetti se i mittenti e i destinatari sono diversi.

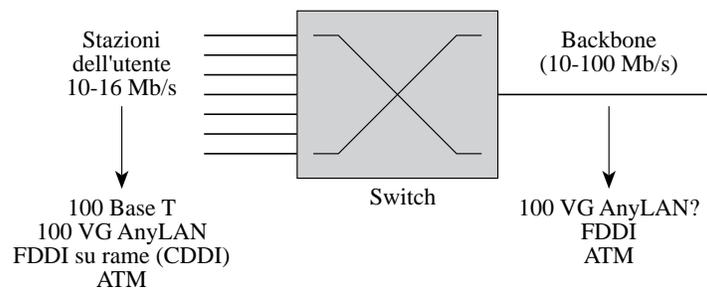
Se, per esempio, lo switch ha una capacità trasmissiva di 160 Mb/s e il numero di stazioni collegate è 32 allora i 10 Mb/s di Ethernet diventano effettivamente disponibili per ciascuna singola stazione: 10 Mb/s per ognuna delle 16 possibili coppie. Il 10BaseT si trasforma in un protocollo punto-punto tra stazione e switch e ogni singolo cavo stazione-switch diviene un dominio di collisione separato.



**Fig. 11.2** - Dal concentratore allo switch.

Se si ritiene che i 10 Mb/s disponibili per ogni stazione siano insufficienti, oppure si vogliono fornire prestazioni molto elevate anche quando le stazioni siano collegate su switch diversi, è indispensabile ricorrere a protocolli a più elevate prestazioni, sia per i collegamenti tra stazione e switch, sia per i collegamenti di dorsale, cioè tra switch e switch.

Uno schema delle evoluzioni possibili è mostrato in figura 11.3.



**Fig. 11.3** - Evoluzione dei collegamenti.

Per quanto concerne i collegamenti tra stazioni e switch la scelta più semplice consiste nell'adottare una rete locale a 100 Mb/s. Le scelte possibili sono tre: 100BaseT, 100VG AnyLAN e FDDI su rame (anche detto CDDI o, più propriamente TP-PMD). Nessuna di queste tre reti implica cambiamenti a livello di gestione dei protocolli rispetto al 10BaseT in quanto sono tutte perfettamente inserite nel progetto IEEE 802. Le prime due (100BaseT e 100VG AnyLAN), inoltre, sono anche in grado di operare sugli stessi cavi di categoria 3 (si veda il capitolo 3) impiegati per 10BaseT, mentre CDDI richiede necessariamente un cablaggio in categoria 5.

L'adozione di ATM per il collegamento tra stazioni e switch, oltre a richiedere un cablaggio in fibra ottica o in cavo di rame di categoria 5, pone ulteriori problemi in quanto ATM non è inserito nel progetto IEEE 802 e quindi le funzionalità tipiche delle LAN devono essere emulate tramite opportuno software.

Diverso è il discorso per i collegamenti di dorsale, dove 100BaseT risulta inadatto per problemi di lunghezza massima dei collegamenti. 100VG AnyLAN è invece teoricamente utilizzabile, anche se le uniche due architetture ampiamente diffuse sono FDDI e ATM.

FDDI ha il vantaggio di essere inserito nel progetto IEEE 802, di avere standard consolidati da tempo e ottima interoperabilità in ambiente multivendor, anche se le prestazioni massime sono limitate a 100 Mb/s (200 Mb/s nel caso di FDDI full duplex).

ATM ha il vantaggio di poter crescere sino a 2.4 Gb/s e oltre, non avendo limiti significativi di banda sulle fibre ottiche delle dorsali, ma soffre ancora di problemi di "gioventù" (scarsa interoperabilità multivendor) e richiede comunque una estensione per emulare le funzionalità delle reti locali.

Nel seguito di questo capitolo verranno descritte le possibili evoluzioni della rete Ethernet 10BaseT e gli standard 100BaseT e 100VG AnyLAN, mentre per FDDI si rimanda il lettore al capitolo 8 e per ATM ai capitoli 19, 20 e 21.

### 11.3 ETHERNET SWITCHING

Il termine *Ethernet switching* indica una rete Ethernet in cui sono presenti degli switch in luogo dei concentratori. Gli Ethernet switch sono a tutti gli effetti dei bridge (si veda il capitolo 10) con una porta dedicata verso ogni stazione e un buon rapporto prestazioni/prezzo. In funzione del fornitore e della politica commerciale a volte possono essere sprovvisti della possibilità di impostare entry statiche nel filtering database o dell'algoritmo di spanning tree (non indispensabile in quanto lavorano tipicamente su topologie stellari).

Il primo prodotto Ethernet switching a comparire sul mercato è il prodotto

Kalpana integrato anche negli hub della SynOptics. Questo prodotto, quando opera in ambiente omogeneo Ethernet a 10 Mb/s, introduce una variante significativa all'algoritmo di bridging. Infatti, quando riceve una trama MAC (per semplicità detta pacchetto nel seguito) esamina immediatamente l'indirizzo di destinazione, consulta le sue tabelle di instradamento per determinare la porta di destinazione e, se questa è libera, inizia a ritrasmettere il pacchetto mentre lo sta ancora ricevendo (modalità *cut-through*).

Uno switch, quando opera in modalità *cut-through*, non può verificare e ricalcolare la FCS prima di aver iniziato la ritrasmissione della trama (poiché la FCS è posizionata in coda al pacchetto) e quindi, contrariamente ai bridge, non può evitare di inoltrare sulla rete il singolo pacchetto corrotto; può tuttavia effettuare misure statistiche al fine di disabilitare la modalità *cut-through* sulle porte con elevato tasso di errore.

Esistono altre quattro condizioni che inibiscono il *cut-through* e impongono allo switch di operare in modalità *store-and-forward* come i bridge:

- quando uno switch opera tra due reti locali appartenenti a due standard diversi (per esempio Ethernet e FDDI);
- quando uno switch opera tra due reti identiche, ma a velocità diverse (per esempio Token Ring a 4 e 16 Mb/s);
- quando la porta di destinazione è occupata;
- quando il pacchetto ha un indirizzo di destinazione multicast o broadcast.

Inoltre, quando la trama è corta, il vantaggio di tale tecnica è trascurabile rispetto allo *store-and-forward*.

Il vantaggio principale nell'evitare uno *store and forward* dell'intero pacchetto risiede nella riduzione del tempo di latenza rispetto ai bridge; lo svantaggio è quello di ritrasmettere eventuali pacchetti corrotti.

Questo approccio è stato utilizzato dalla SynOptics nel modulo 3328 (*Ethernet switching engine module*) che è dotato di 6 porte, di cui una si collega a uno dei canali sul bus dell'hub e cinque sono porte esterne RJ45.

Con 6 porte ci possono essere, ad un dato istante, al massimo 3 trasmissioni in corso, per cui la capacità trasmissiva totale massima è di 30 Mb/s.

Anche la Chipcom propone un prodotto analogo con il modulo 5106I-S (*Ethernet switching module*), senza però utilizzare la tecnologia Kalpana. Questo modulo, illustrato in figura 11.4, ha un *filtering rate* globale di 90.000 pps (pacchetti per secondo) e un *forwarding rate* aggregato di 42.000 pps. La gestione avviene tramite una porta di console RS-232 o tramite protocolli SNMP/MIB II. La Chipcom rende disponibili anche i moduli 5106I-B e 5106I-R che sono simili,

ma dotati rispettivamente di software di bridging o di routing.

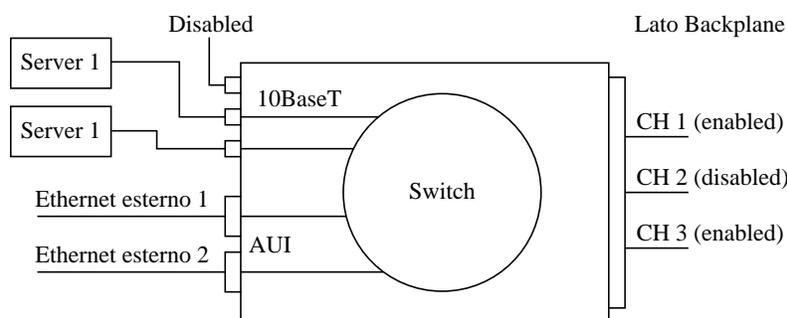
Questi moduli hanno in totale 8 porte, di cui:

- 3 dal lato backplane, che possono essere connesse ai 3 canali Ethernet dell'hub;
- 5 esterne, di cui 3 con RJ45 e 2 con AUI.

Sono attivabili contemporaneamente soltanto 6 porte, per cui ci possono essere al massimo 3 trasmissioni in corso, quindi la capacità trasmissiva totale massima è di 30 Mb/s, come nel caso precedente.

La soluzione Chipcom ricalca molto più l'architettura dei bridge di quella SynOptics: infatti il modulo Chipcom realizza uno store and forward completo del pacchetto, con controllo ed eventuale ricalcolo della FCS. Questo permette di operare in modo più affidabile anche tra reti con MAC diversi, ma aumenta di conseguenza il tempo di latenza specialmente per i pacchetti lunghi, in cui il tempo di store-and-forward è dominante sul tempo necessario per decidere dove ritrasmettere il pacchetto.

La possibilità di utilizzare la tecnologia switching è stata introdotta anche per FDDI: Digital Equipment Corp. ha immesso sul mercato un apparato FDDI switching detto Gigaswitch che ha un funzionamento molto simile a quella degli Ethernet switch.



**Fig. 11.4** - Chipcom 5106I-S: esempio di switch Ethernet.

#### 11.4 ETHERNET DEDICATO

La connessione punto-punto tra stazioni e schede Ethernet switching su hub è una soluzione valida in attesa di tecnologie più veloci e assume molto spesso il nome di Ethernet dedicato o *personal Ethernet*. Il vantaggio risiede nella disponibilità di una capacità trasmissiva dedicata di 10 Mb/s, molto spesso più che sufficiente per la maggior parte delle applicazioni, a costi ragionevoli.

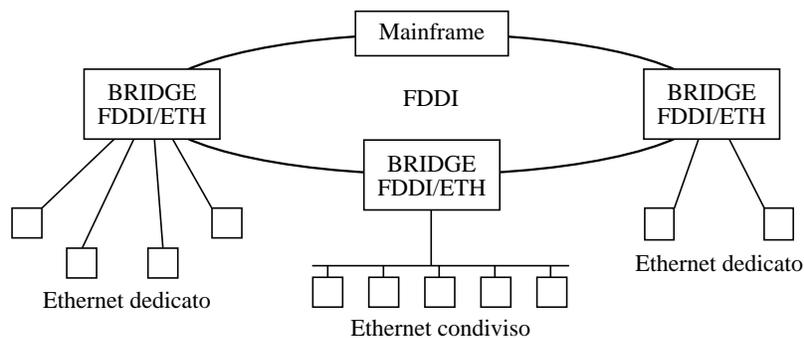
Occorre qui ricordare che i collegamenti Ethernet punto-punto sono per loro natura half-duplex, cioè non sono in grado di consentire la trasmissione contemporanea nelle due direzioni. In tali collegamenti le collisioni si possono verificare solo tra la stazione e lo switch e servono appunto a gestire la natura half-duplex del collegamento.

I primi moduli Ethernet switching erano stand-alone e quindi confinavano la tecnica switching all'interno di un singolo hub: per distribuirla su più hub è necessario che il trasporto sulla tratta hub-hub abbia prestazioni superiori (ad esempio usando FDDI).

All'inizio del 1992 è apparsa sul mercato una prima soluzione con il sistema FX 8610 della Fibronix, che è praticamente un bridge FDDI-Ethernet multiporta a basso costo, comprendente da 2 a 12 porte Ethernet full speed.

I moduli Ethernet hanno 2 porte e possono essere 10BaseT o 10Base2 (al massimo 4 nodi per cavo coassiale). Una connessione ad una porta 10BaseT viene considerata collision-free (priva di collisioni), quella ad una porta 10Base2 collision-less (con bassa probabilità di collisione).

Questa soluzione, illustrata in figura 11.5, ha tempi di latenza di 0.2 ms tra due porte Ethernet dello stesso bridge e di 0.5 ms tra due porte Ethernet di bridge diversi.



**Fig. 11.5** - Ethernet dedicato.

Verso la fine del 1993 la Chipcom ha proposto un'interessante soluzione con due prodotti facenti parte di una medesima famiglia: lo StarBridge Turbo Switch ed il Galactica Network Switching Hub, che sono di fatto dei bridge multiporta di tipo full-speed, che si differenziano tra loro per la differente flessibilità e costo (figura 11.6).

Lo StarBridge Turbo Switch ha una capacità trasmissiva di 40 Mb/s (molto spesso i costruttori indicano la capacità complessiva di I/O che è pari al doppio della capacità

trasmissiva, in questo caso 80 Mb/s) ed è composto da 8 porte Ethernet. Esso può essere interconnesso ad un altro bridge della stessa famiglia con due link a 10 Mb/s configurati in modo da lavorare l'uno soltanto in trasmissione ed l'altro solo in ricezione (modalità full-duplex, si veda il paragrafo 11.4.1). In questa modalità si ottiene un collegamento a 20 Mb/s.

Il prodotto Galactica ha una capacità trasmissiva di 160 Mb/s e le configurazioni massime ammesse sono:

- 32 porte (impiegando 4 moduli da 8 porte);
- 24 porte Ethernet ed una porta FDDI (impiegando 3 moduli Ethernet da 8 porte e un modulo FDDI).

Questo prodotto, oltre a poter disporre di una dorsale FDDI per il trasporto hub-to-hub (figura 11.7), offre le seguenti caratteristiche:

- ogni porta può avere fino a 1024 nodi connessi;
- le porte possono essere raggruppate in domini (reti locali virtuali);
- è previsto in futuro un utilizzo di ATM in alternativa a FDDI.

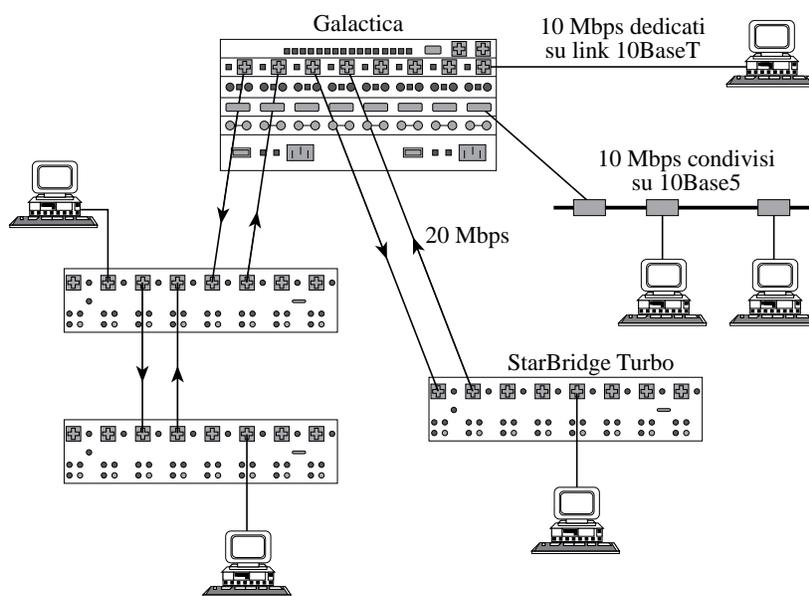


Fig. 11.6 - Connessione tra Galactica e StarBridge.

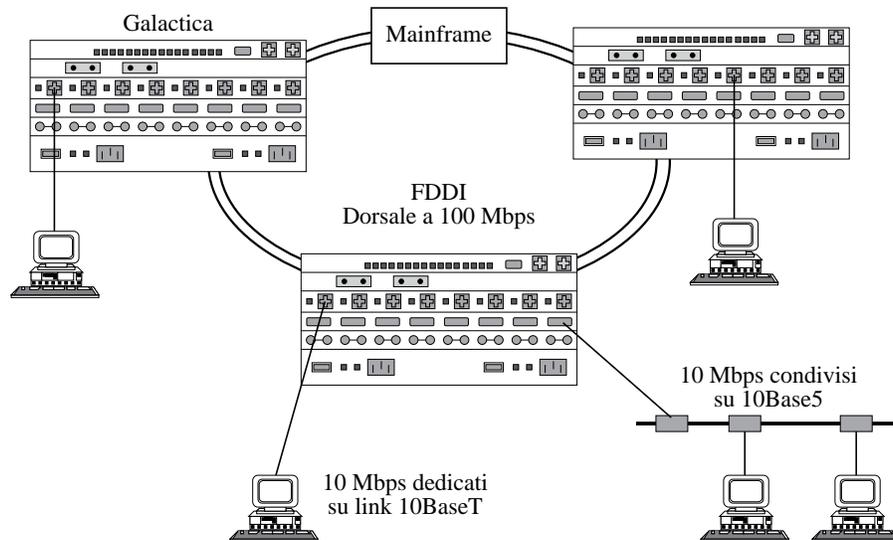


Fig. 11.7 - Dorsale FDDI con i Bridge Galactica.

#### 11.4.1 Ethernet dedicato full-duplex

Per la comunicazione punto-punto tra due bridge o due switch è possibile utilizzare due canali Ethernet classici (half-duplex) in parallelo, ciascuno in modo monodirezionale, ottenendo un canale Ethernet dedicato full-duplex. Questi sono dei canali molto particolari in quanto non soggetti a collisione (in ogni direzione c'è una sola stazione che può trasmettere e quindi per definizione non può collidere con nessun'altra) e quindi i limiti di distanza non sono più dettati dal livello MAC, ma solo dal livello Fisico. La soluzione full-duplex è utilizzabile sia in associazione allo standard 10BaseT che al 100BaseT. Le distanze massime ammesse sono tipicamente di 100 m su cavo UTP, 2 Km su fibra ottica multimodale e 50 Km su fibra ottica monomodale.

### 11.5 RETI LOCALI VIRTUALI

La tecnologia delle reti locali virtuali (*Virtual LAN* o VLAN) fa riferimento alla capacità offerta dagli switch e dai router di configurare più reti logiche sopra un'unica rete locale fisica. Ogni Virtual LAN è costituita da un insieme di segmenti di rete locale che possono comprendere una singola stazione (segmenti punto-

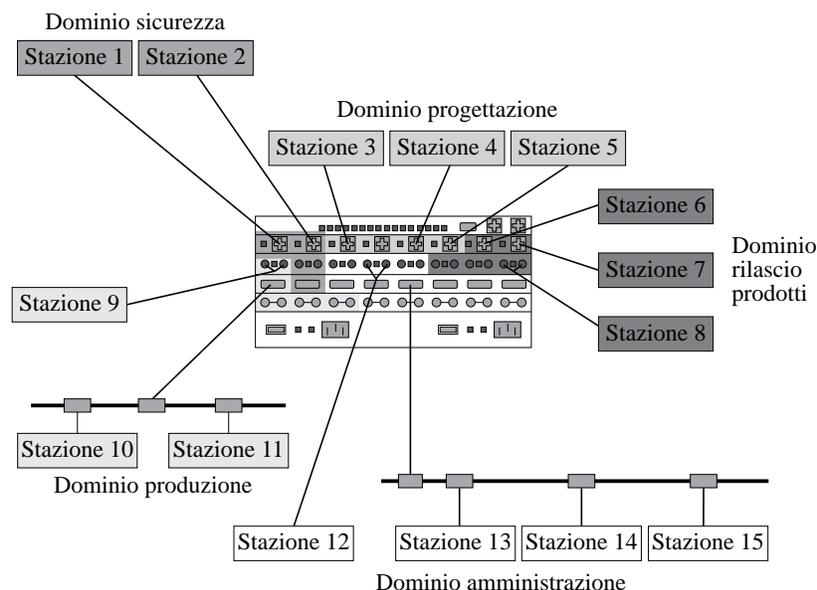
punto) o un gruppo di stazioni (segmenti condivisi). Le stazioni appartenenti ad una VLAN sono logicamente interconnesse a livello Data Link, anche se fisicamente sono collegate su segmenti diversi. Operando unicamente a livello di centro di gestione della rete è possibile creare più domini, cioè più reti locali virtuali, su una infrastruttura trasmissiva comune senza alcun intervento a livello Fisico.

La possibilità di creare reti locali virtuali da assegnare ai vari gruppi di lavoro permette un'elevata flessibilità in quanto non è necessario che i componenti di un gruppo occupino spazi fisicamente contigui. I vantaggi principali che si ottengono da tale assegnazione derivano dall'isolamento del traffico dei vari gruppi di lavoro al livello Data Link. Questo non solo è importante per ragioni di sicurezza e riservatezza dei dati, ma anche perchè consente di mantenere separato il traffico di multicast/broadcast delle diverse reti virtuali.

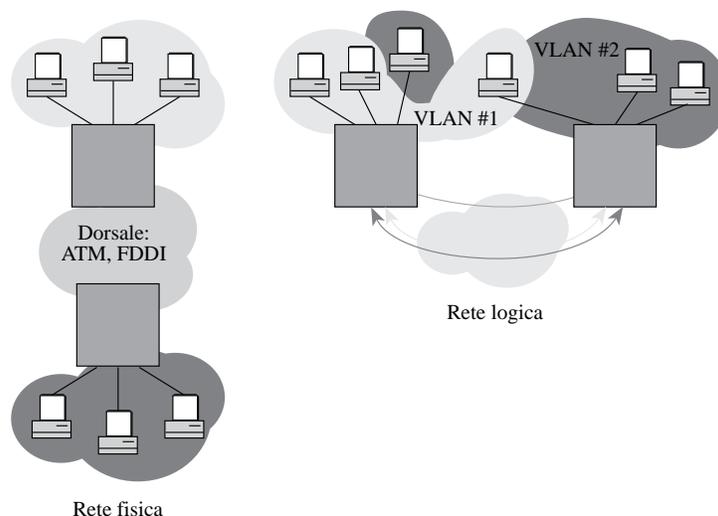
L'interoperabilità tra le reti virtuali è garantita da una unità di internetworking esterna, normalmente un router.

La figura 11.8 mostra un esempio di creazione di domini.

Molti costruttori propongono sui loro hub di fascia alta la possibilità di creare e gestire più domini separati: tale capacità è spesso limitata ad un solo hub e quindi non molto utile. Per rendere veramente utile il concetto di rete locale virtuale occorre permettere che un dominio possa includere porte appartenenti ad hub diversi (figura 11.9), i quali naturalmente devono essere interconnessi da una dorsale ad alta velocità.



**Fig. 11.8** - Creazione dei domini su un singolo hub.



**Fig. 11.9** - Creazione dei domini su più hub interconnessi.

Soluzioni di questo tipo iniziano ora ad essere presenti sul mercato: ciò che è ancora carente è la possibilità di avere interoperabilità multivendor, cioè di disporre di una modalità standard per identificare a livello di dorsale l'appartenenza dei pacchetti alle diverse reti locali virtuali.

La Cisco System Inc. adotta per la sua famiglia Catalyst lo standard IEEE 802.10 (SDE: Secure Data Exchange) per marcare i pacchetti appartenenti ai vari domini prima di trasmetterli sulla dorsale FDDI. Tale standard si occupa di problemi legati alla sicurezza nelle LAN e nelle MAN, problemi derivanti in primo luogo dalla trasmissione in broadcast (fisicamente sui bus, logicamente sugli anelli) dei pacchetti. Qualsiasi stazione può ascoltare il traffico altrui, alterarlo, o generarne di illecito. Tra i vari problemi esiste anche quello dell'identificazione sicura di una stazione e del riconoscimento di essa come appartenente ad un gruppo (sottorete) all'interno del quale è ammesso lo scambio di pacchetti. Lo standard IEEE 802.10 fornisce a livello di SDE-PDU un meccanismo per identificare pacchetti appartenenti a sottoreti diverse tramite un campo di 4 byte detto "VLAN ID" nell'header del pacchetto 802.10. Quando una trama MAC deve essere inoltrata sul backbone, acquisisce un header 802.10 contenente il VLAN ID del segmento che lo ha generato. Lo switch o il router che riceve il pacchetto dal backbone verifica il VLAN ID e quindi invia la trama, privata dell'header 802.10, alle porte che appartengono alla stessa VLAN.

Quando il prodotto Catalyst è adottato in associazione ad un backbone ATM

non si usa lo standard IEEE 802.10, bensì il supporto per le Virtual LAN che è previsto nello standard ATM Forum LAN Emulation, descritto nel capitolo 20.

## 11.6 ETHERNET A 100 Mb/s

Sviluppata ormai 20 anni fa, Ethernet è una delle tecnologie di rete più standard e assestate esistenti sul mercato. L'idea di avere una rete Ethernet a 100 Mb/s è da lungo tempo vagheggiata e non realizzata in quanto nel MAC di Ethernet (e di IEEE 802.3) la velocità non è un parametro indipendente, ma è legato indissolubilmente ad altri due: la lunghezza minima del pacchetto e il round trip delay (si veda il paragrafo 6.5.2). Il round trip delay determina l'estensione del dominio di collisione e quindi la lunghezza massima della rete.

Se si vuole realizzare una rete Ethernet a 100 Mb/s bisogna modificare la velocità unitamente ad almeno uno degli altri due parametri: poiché la velocità sale di un fattore 10, uno degli altri due parametri deve modificarsi analogamente di un fattore 10. Una possibile alternativa è quella di cambiare l'algoritmo del MAC, con i vantaggi e gli svantaggi che questa rilevante modifica comporta.

Nel 1992 sono state presentate due proposte per Ethernet a 100 Mb/s: Grand Junction Networks ha messo in campo la sua tecnologia basata su CSMA/CD e HP e AT&T le hanno risposto con la loro tecnologia basata su un nuovo metodo di accesso detto Demand Priority. Alla fine del '92 le due proposte sono state portate all'attenzione dell'IEEE per concorrere a diventare lo standard ufficiale per "Fast Ethernet". Tuttavia, vista la loro totale inconciliabilità, l'IEEE non è riuscita a decidersi e nel luglio '93 ha affidato le due tecnologie a due comitati di standardizzazione differenti: la proposta di HP e AT&T, nota anche come 100BaseVG (Voice Grade), è stata affidata al comitato 802.12, mentre quella CSMA/CD, conosciuta come 100BaseX, è stata affidata al sottocomitato 802.3u.

Poco dopo IBM si è alleata con HP per fornire la sua collaborazione nelle fasi di sviluppo e promozione di uno standard congiunto e, quindi, ha annunciato alla stampa il supporto di Token Ring da parte di 100BaseVG che da quel momento ha preso il nome di 100VG AnyLAN.

In quello stesso periodo sono state create dai due fronti opposti la Fast Ethernet Alliance (FEA) e il 100VG AnyLAN Forum (VGF) per sveltire il processo di standardizzazione delle rispettive tecnologie. Mentre i membri del VGF crescevano in numero e in importanza (seguendo l'esempio di IBM, anche Cisco nel novembre '94 si è unita alla cordata guidata da HP), i concorrenti appartenenti alla FEA rilasciarono lo standard per Fast Ethernet con il nome di 100BaseT. In esso era stata aggiunta alla bozza originale una variante dal nome prima di 4T+ e poi di

T4, basata su UTP di categoria 3 a quattro coppie, ed era stata definita la Media Independent Interface (MII), ossia una AUI (Attachment Unit interface) aggiornata per i 100 Mb/s. Per coordinare i test di interoperabilità tra i prodotti 100BaseT, i membri della FEA hanno poi fondato il Technology Research Interoperability Lab.

La situazione all'inizio del 1995 vede nel novero dei sostenitori di 100BaseT: 3Com Corp., Intel Corp., Digital Equipment Corp., Bay Networks, Grand Junction Networks, Cabletron Systems, National Semiconductor, Sun Microsystems, Standard Microsystems Corp., Hitachi Cable, Asanté Technologies; in tutto una sessantina di costruttori.

Tra i sostenitori di 100VG AnyLAN spiccano: Hewlett-Packard Co., AT&T Microelectronics, IBM Corp., Cisco, Proteon, Ungermann-Bass, Thomas-Conrad.

Occorre ancora sottolineare che la situazione è attualmente tutt'altro che stabile: 3Com, per esempio, ha presentato all'inizio del '95 una tecnologia, nota come PACE (Priority Access Control Enabled), che permette di superare i problemi di temporizzazione di Ethernet, riuscendo a dedicare a una connessione una larghezza di banda costante definibile dall'utente.

### 11.6.1 100Base-T

100BaseT o IEEE 802.3u è l'unica LAN che possa definirsi "Ethernet a 100 Mb/s", poiché mantiene inalterato il classico algoritmo CSMA/CD implementato su 10BaseT, operando però a 100 Mb/s. La dimensione minima del pacchetto non è stata alterata e si è quindi dovuto ridurre di un fattore 10 il round trip delay e quindi il diametro della rete. Questo ha imposto la revisione di numerosi parametri ad esso collegati.

In 100BaseT i valori fissati per i principali parametri sono:

- velocità trasmissiva 100 Mb/s;
- bit time 10 ns;
- Inter Packet Gap (IPG) 0.96  $\mu$ s;
- slot time 512 bit, cioè 5.12  $\mu$ s.

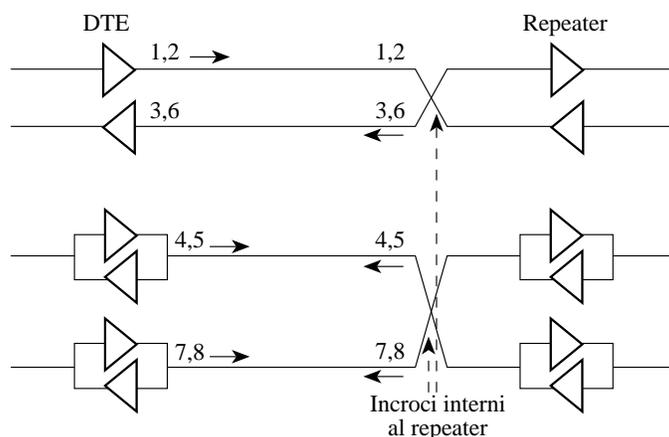
100BaseT usa l'interfaccia esistente del livello MAC IEEE 802.3 e la connette attraverso uno strato chiamato *Media Independent Interface* (MII) a una famiglia di sublayer fisici che comprende: 100BaseT4 PHY, 100BaseTX PHY e 100BaseFX PHY.

Il duo TX/FX (anche chiamato 100BaseX) si basa sul substrato physical medium dependent di FDDI (si veda il paragrafo 8.6.4) e trasmette, con la codifica 4B5B a 125 Mb/s, su 2 coppie UTP di categoria 5 o su 2 coppie STP type 1 (variante

TX), oppure su due fibre multimodali (variante FX).

100BaseT4, invece, usa un nuovo livello fisico per la trasmissione su doppino a 4 coppie di categoria 3 o superiore. Il collegamento tra stazione e repeater usa, delle quattro coppie, due in modalità half duplex, cioè alternativamente in trasmissione o in ricezione, una sempre in trasmissione ed una sempre in ricezione (figura 11.10). La trasmissione avviene quindi su tre coppie contemporaneamente. La quarta coppia, in ricezione, serve per permettere all'interfaccia fisica di rilevare la presenza di collisioni senza dover introdurre complicazioni aggiuntive al protocollo MAC rispetto allo standard IEEE 802.3.

Per trasmettere i pacchetti su 3 coppie si utilizza una codifica di tipo 8B6T (paragrafo 3.1.3). Essa suddivide un flusso binario a 100 Mb/s in tre flussi da 25 Mbaud (simboli, in questo caso ternari, al secondo). Infatti, trasmettere 100 Mb/s divisi su tre canali significa trasmettere  $100/3 = 33.\bar{3}$  Mb/s su ogni canale, e trasformare ogni otetto in sei simboli ternari significa associare ad ogni simbolo un'informazione pari ad  $8/6$  di bit; quindi su ogni canale è necessario trasmettere  $33.\bar{3} \cdot (8/6) = 25$  Mbaud. Nel caso peggiore, relativamente alla massima frequenza di trasmissione, si ottiene una sequenza alternata di simboli "+" e "-", che dà luogo ad una frequenza fondamentale di 12.5 MHz.



**Fig. 11.10** - 100BaseT4: uso delle coppie.

In questo schema trasmissivo partendo da 8 bit, che consentono 256 possibili combinazioni diverse di valori, si codificano 6 simboli ternari, che consentono di rappresentare 729 valori, e questo permette l'introduzione di informazioni aggiuntive per la sincronizzazione del flusso trasmissivo e per il controllo degli errori.

Nelle prime bozze di standard la mappa delle varianti di 100BaseT si presentava come in figura 11.11 (in cui sono state riportate anche 100VG AnyLAN e FDDI per confronto) in cui si nota che 100BaseX comprende i sottostrati TP-PMD e PMD su fibra di FDDI.

La necessità di uno standard più omogeneo ha portato il comitato 802.3u a definire nelle bozze conclusive una architettura più compatta, come appare nelle figure 11.12 e 11.13.

Il *Reconciliation Sublayer* (RS) fornisce la funzione di traduzione dei segnali a livello MII in primitive di servizio PLS (*Physical Layer Signaling*). Il PLS è un sottostrato del Physical Layer del modello OSI ed è responsabile della codifica/decodifica dei dati in fase di trasmissione e di ricezione. In 10BaseT è collocato tra la AUI e il MAC (figura 6.24) e usa la codifica Manchester.

La Medium Independent Interface (MII) fornisce un'interconnessione semplice ed economica tra il MAC e i diversi sottostrati fisici (PHY) e tra i PHY e le entità di *STation management* (STA). Essa è in grado di funzionare sia a 10 Mb/s che a 100 Mb/s attraverso canali di ampiezza pari a 4 bit (nibble wide). Sun Microsystems è stato uno dei primi costruttori a presentare una scheda basata sulla soluzione MII più MAU esterna.

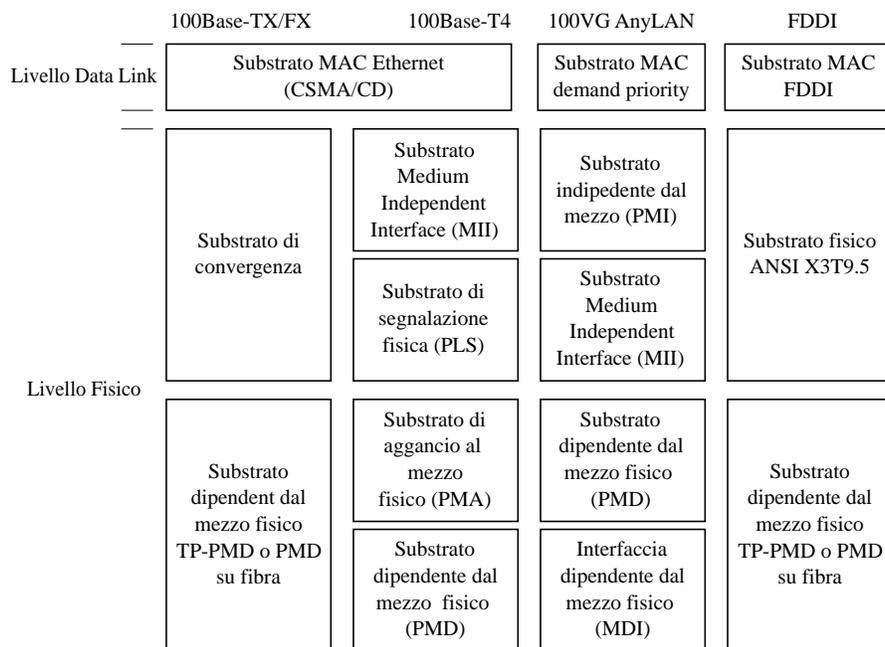


Fig. 11.11 - Schema a blocchi delle varianti 100BaseT.

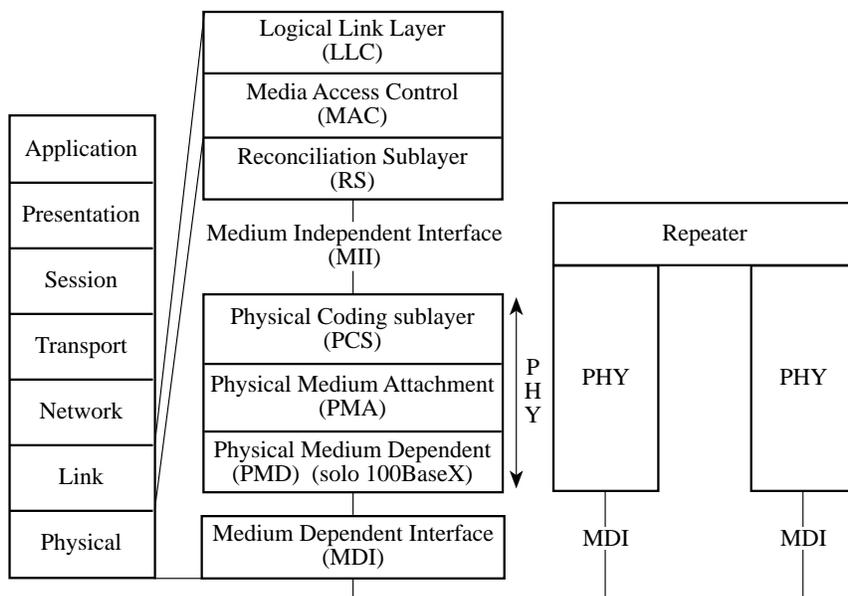


Fig. 11.12 - 100BaseT: relazione con il modello di riferimento ISO OSI.

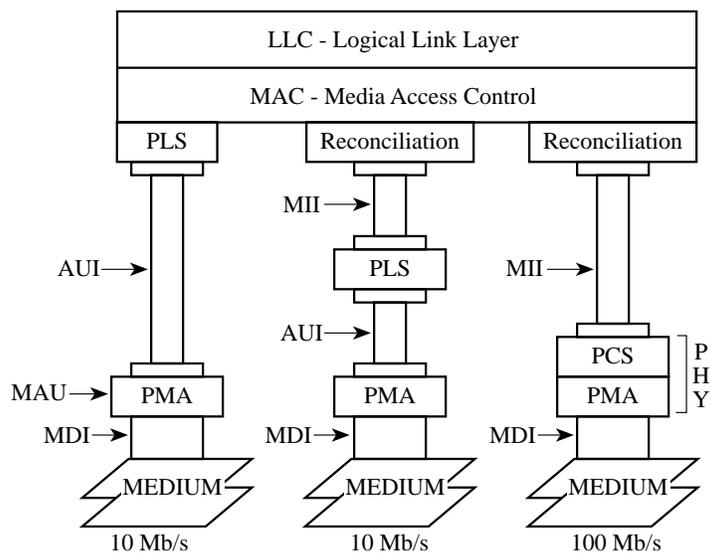


Fig. 11.13 - Architettura di 100BaseT.

Il sottolivello *Physical Layer Device* (PHY) è la porzione del livello fisico tra l'MDI (Medium Dependent Interface) e la MII che comprende i sottostrati *Physical Coding Sublayer* (PCS), *Physical Medium Attachment* (PMA) e, se presente, *Physical Medium Dependent* (PMD).

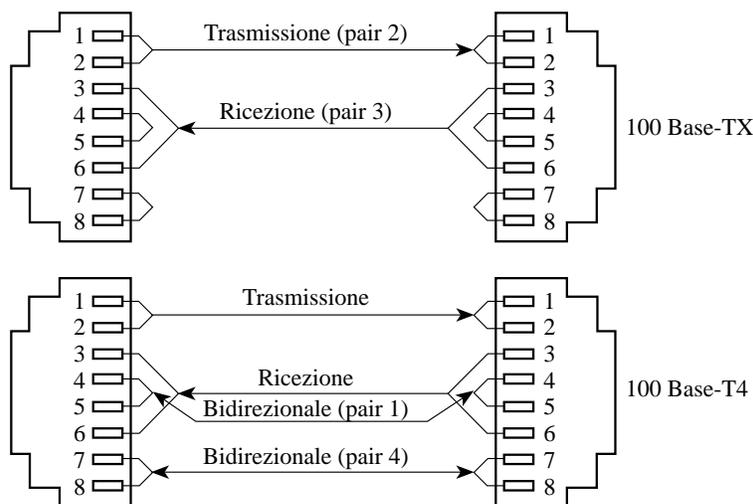
Il PCS è usato in 100BaseT per accoppiare la MII con il PMA. Il PCS contiene le funzioni per codificare i bit di dati in *code groups* (insiemi di sei simboli ternari per la variante T4; insiemi di cinque bit di codice per le varianti TX e FX) che possono essere trasmessi sul mezzo fisico. Sono definite due strutture PCS per 100BaseT: una per 100BaseX che usa la codifica 4B5B per generare un flusso full-duplex a 125 Mb/s, e una per 100BaseT4 che codifica i nibble di dati ricevuti dalla MII in "code groups" di tipo 6T usando uno schema di codifica 8B6T.

Il sottolivello PMA è la porzione del livello fisico che contiene le funzioni per la trasmissione, ricezione, clock recovery e skew alignment.

Il sottolivello *Physical Medium Dependent* (PMD) è la porzione del livello fisico responsabile dell'interfaccia con il mezzo trasmissivo.

La *Medium Dependent Interface* (MDI) è l'interfaccia meccanica ed elettrica tra il mezzo trasmissivo e il PMA.

Lo schema dell'utilizzo delle coppie 100BaseTX e 100BaseT4 è mostrato in figura 11.14.



**Fig. 11.14** - Utilizzo delle coppie nelle due varianti TX e T4.

Le possibili modalità di funzionamento di una scheda 100BaseT previste nello

standard sono: 100BaseT4, 100BaseX full o half duplex, 10BaseT full o half duplex. La modalità full duplex è interessante per il collegamento tra switch in quanto consente di realizzare collegamenti dedicati a 20 o 200 Mb/s.

I prodotti attualmente in commercio sono in grado di funzionare secondo quasi tutte queste modalità; in più gli hub offrono sia porte condivise sia porte dedicate, sulle quali, come già detto, non si verificano collisioni. Un'altra caratteristica importante è la possibilità di impostare, tramite un registro di controllo, il duplex mode, il power consumption state e la gestione della velocità trasmissiva. Quest'ultima può essere negoziata e quindi impostata a 10 o 100 Mb/s a seconda che il dispositivo all'altro capo del link sia di tipo 10BaseT o 100BaseT, permettendo una notevole scalabilità e flessibilità di configurazione.

La capacità di un dispositivo di commutare automaticamente tra le due modalità di funzionamento 10BaseT e 100BaseT è legata a due possibili meccanismi noti come *NWay Auto-Negotiation* e *Auto Sensing*. Sia l'*NWay Auto-Negotiation* che l'*Auto Sensing* sono compatibili con gli standard IEEE e permettono a un adattatore 10/100 (cioè con possibilità di funzionamento a 10 e a 100 Mb/s) di funzionare in modalità 10BaseT se connesso a un hub o switch 10BaseT, o in modalità 100BaseT se connesso a un hub o switch 100BaseT. Lo standard IEEE 802.3u descrive la funzione di *NWay Auto-Negotiation*, opzionale, di cui viene però raccomandata l'implementazione.

Il vantaggio maggiore di un dispositivo che usa l'*NWay Auto-Negotiation* rispetto a uno che usa l'*Auto-Sensing* risiede nelle capacità di network management e nella capacità di notifica della modalità di funzionamento full duplex. Per esempio, se una scheda 10BaseT preesistente viene connessa a un hub che funziona solo in modalità 100BaseT, non è possibile alcuna comunicazione tra i due dispositivi dal momento che l'hub 100BaseT non è in grado di funzionare come 10BaseT. L'*NWay Auto-Negotiation*, tuttavia, avvisa l'applicazione di network management che la connessione non è valida perché l'end node è un dispositivo 10BaseT. Un dispositivo di tipo *Auto-Sensing* non è invece in grado di indicare all'applicazione di management il motivo per cui la connessione non è valida. Inoltre, l'*NWay Auto-Negotiation* diventerà il metodo opzionale, standard IEEE, di comunicare la capacità di funzionamento half o full duplex. Attualmente, gli switch 10BaseT che supportano connessioni full duplex usano metodi proprietari di comunicazione tra adattatore e switch. Per essere conformi allo standard le schede e le porte di tali switch dovrebbero usare l'*NWay*.

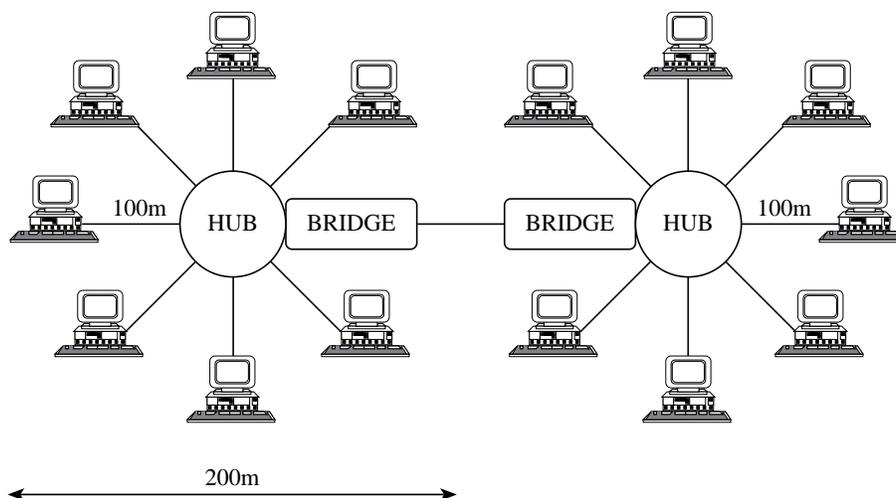
L'*Auto-Negotiation* è effettuata fuori banda usando una sequenza modificata dei segnali di test del collegamento detti link integrity test pulses usati in 10BaseT. L'informazione è trasmessa all'interno di un burst di link integrity test pulse vicini

chiamato un *Fast Link Pulse* (FLP), che viene generato all'accensione, impostato attraverso il network management o attivato mediante l'intervento manuale. I dati estratti dall'FLP informano la stazione ricevente delle capacità del trasmettitore all'altro capo del segmento. Se vengono rilevati degli FLP, l'algoritmo di auto-negoziante determina il modo di funzionamento con le massime performance comuni, e aggiorna entrambe le estremità del link. Se una delle due estremità del segmento è di tipo 10BaseT, ma non è in grado di generare Fast Link Pulses (come tutte le schede e gli hub 10BaseT esistenti), allora il segmento opererà in modalità 10BaseT. Si possono anche usare le funzionalità offerte dal network management per forzare il modo di funzionamento del segmento a 10BaseT anche quando sarebbe possibile una comunicazione di tipo 100BaseT.

L'Auto-Sensing è un meccanismo più statico: una scheda con l'Auto-Sensing tenta di determinare la velocità dell'hub all'altra estremità del segmento osservando il tipo di Link Integrity Pulses che vengono generati. Una scheda 10/100 con Auto-Sensing invia dei Normal Link Pulses di tipo Fast Ethernet e controlla la risposta da parte dell'altro adattatore. Se all'altro capo del segmento c'è un dispositivo 10BaseT che invia Normal Link Pulses di tipo 10BaseT, allora l'adattatore con Auto-Sensing passerà automaticamente a quella modalità di funzionamento. Se, invece, l'altra estremità del segmento sta generando Fast Ethernet Normal Link Pulses o Fast Link Pulses, allora l'adattatore con Auto-Sensing se ne accorgerà e passerà automaticamente a funzionare come 100BaseT. L'Auto-Sensing è standard ed è in grado di interoperare con qualsiasi dispositivo di tipo sia NWay che non-NWay. Tutte le schede 10/100 comparse per prime sul mercato utilizzano solo l'Auto-Sensing, ma si prevede che in futuro si diffonda l'NWay Auto-Negotiation.

A causa dell'aumento della velocità trasmissiva di un fattore dieci e del mantenimento del protocollo CSMA/CD e del formato dei pacchetti IEEE 802.3, la massima distanza ammessa tra due end node si riduce a circa 210 m (limite comprensivo del ritardo introdotto dal repeater). Questo consente comunque di cablare 100BaseT attorno ad un hub con 100 m di raggio, e quindi 200 m di diametro, e di avere il 5% di tolleranza. Pertanto, 100BaseT è compatibile con gli standard per il cablaggio strutturato.

In figura 11.15 è schematizzata una LAN 100BaseT realizzata su un cablaggio stellare. Ad ogni hub è associato un dominio di collisione di diametro massimo 200 m e i vari hub sono interconnessi mediante bridge o router. L'hub ha funzionalità di multiport repeater e, nel caso di hub modulari, è permesso un intermediate repeater link lungo fino a 10 m per il collegamento dei diversi moduli.



**Fig. 11.15** - 100BaseT.

L'obiettivo di 100BaseT è mantenere a livello di schede la compatibilità con 802.3 usando esattamente lo stesso formato di pacchetto, e di avere un posizionamento economico molto interessante: i prodotti 100BaseT dovrebbero costare inizialmente solo il 50% in più degli analoghi prodotti 10BaseT.

### 11.6.2 100VG AnyLAN

Lo standard 802.12 è anche detto 100VG AnyLAN: "VG" perché è in grado di trasmettere anche su 4 coppie di doppino non schermato di categoria 3, ossia di tipo telefonico o "Voice Grade", "AnyLAN" perché combina la trasmissione di pacchetti Ethernet e Token Ring in un'unica tecnologia. La compatibilità con cavi di categoria 3 è motivata dal fatto che, sebbene tutte le installazioni più recenti siano realizzate con doppino di categoria 5, il doppino "telefonico" è ancora abbastanza diffuso, specialmente nel cablaggio a 25 coppie.

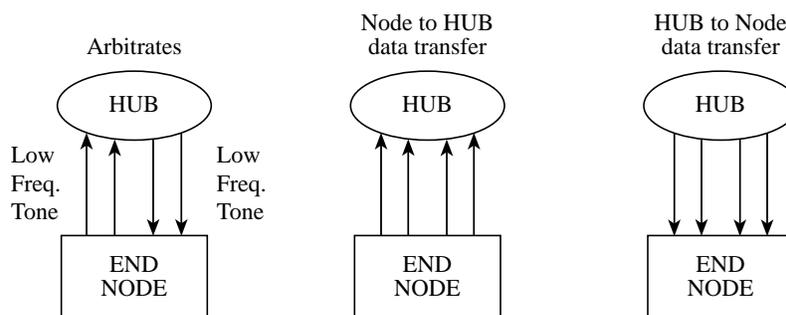
Rispetto ai proponenti il 100BaseT, HP e i suoi alleati hanno creato qualcosa di effettivamente diverso: 100VG AnyLAN mantiene solo il formato del pacchetto 802.3, e sostituisce il MAC a collisione con un MAC *Demand Priority Access Method (DPAM)*. Grazie a tale protocollo ad ogni porta, e quindi ad ogni stazione di lavoro, viene garantita una minima velocità trasmissiva media (la trasmissione è a 100 Mb/s, ma ogni porta può trasmettere soltanto quando abilitata dall'hub) e

un massimo tempo di ritardo nella risposta (cioè intervallo di tempo tra la richiesta di trasmissione e l'abilitazione ad eseguirla); inoltre il protocollo gestisce due livelli di priorità di trasmissione. Analogamente agli hub tradizionali, la capacità trasmissiva totale su un concentratore 100VG AnyLAN non può superare i 100 Mb/s, ma la possibilità di predefinire il tempo massimo che un pacchetto impiegherà per arrivare al destinatario rende questa tecnologia particolarmente adatta alle applicazioni multimediali.

La scelta di utilizzare quattro coppie di un cavo UTP di categoria 3, invece delle classiche due, non comporta modifiche al cablaggio in quanto gli standard prevedono sempre la posa di almeno due cavi, uno dei quali UTP a quattro coppie.

Le coppie vengono usate in modalità half-duplex, cioè trasmettendo dall'hub al nodo o dal nodo all'hub a seconda delle necessità. Questo permette di trasmettere 100 Mb/s suddividendoli su quattro canali da 25 Mb/s.

In figura 11.16 vediamo come vengano utilizzate le quattro coppie, ognuna delle quali può trovarsi in tre stati (trasmissione, ricezione o contrattazione).



**Fig. 11.16** - 100VG AnyLAN: utilizzo di 4 coppie.

La codifica di un pacchetto MAC per la trasmissione sui quattro canali avviene in cinque fasi definite nel sottolivello *Physical Medium Independent* (PMI), qui di seguito descritte e schematizzate nella figura 11.17.

- Nella prima fase, nota come *quintet assembler function*, la sequenza di ottetti di un singolo MAC frame viene suddivisa in quintetti (sequenze di 5 bit). Tale suddivisione può portare ad avere l'ultimo quintetto incompleto, nel qual caso viene completato con bit di valore arbitrario.
- Nella seconda fase, il *quintet streaming*, i quintetti sono assegnati ciclicamente ai quattro canali, iniziando dal primo quintetto, che viene assegnato al canale 0, e terminando quando tutti i quintetti sono stati assegnati.

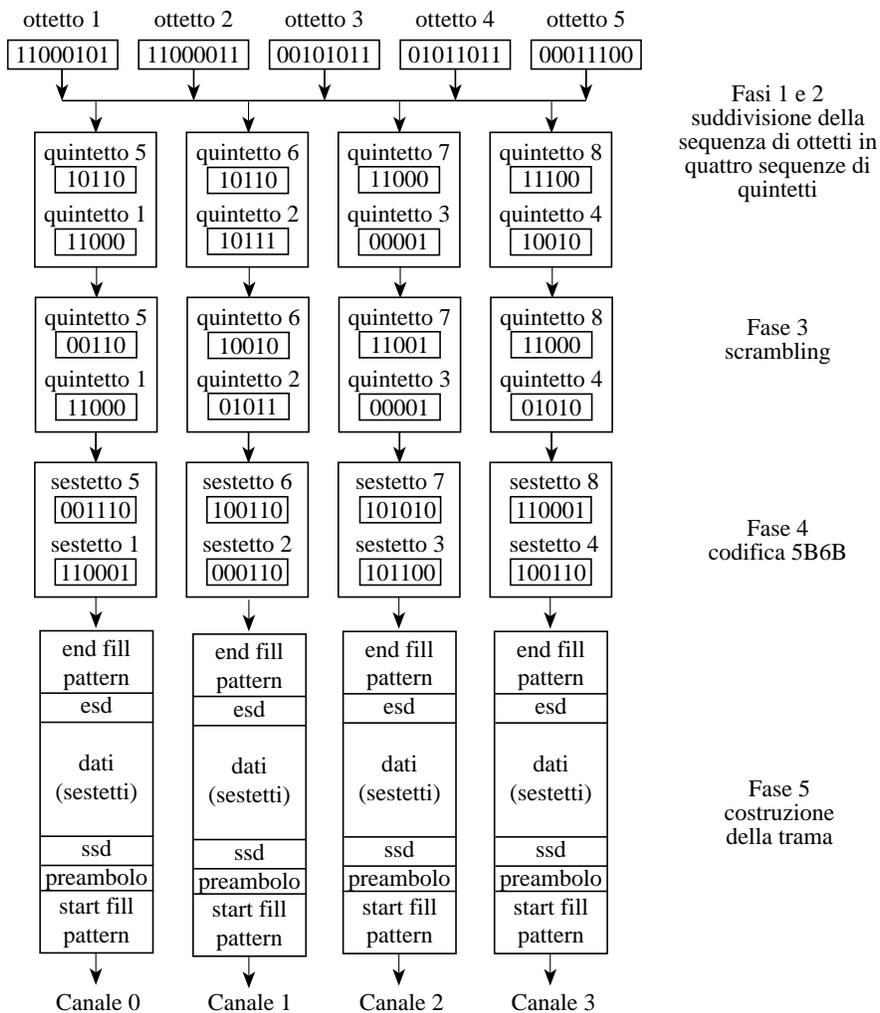


Fig. 11.17 - 100VG AnyLan: codifica fondamentale del segnale.

- Nella terza fase, chiamata *data scrambling* (o *quintet ciphering*), i quintetti assegnati a ciascun canale vengono modificati tramite una funzione di scrambling (paragrafo 3.1.4). Ogni canale applica lo scrambling indipendentemente e con una chiave differente rispetto agli altri; ciò permette di ridurre le emissioni di disturbi elettromagnetici e quindi la diafonia tra le coppie.

- Nella quarta fase, l'*encoding*, avviene la codifica 5B/6B (paragrafo 3.1.3) in cui ogni quintetto viene codificato con sei bit. L'aggiunta di un bit ogni cinque richiede, per mantenere la velocità trasmissiva prevista al livello Data Link (100 Mb/s), un aumento della velocità sul mezzo fisico pari al 20%, e quindi 30 Mb/s su ogni canale.
- La quinta fase, la *delimiter generator function*, crea, con le sequenze di sestetti in ciascun canale, delle vere e proprie trame, con preambolo, *start of stream delimiter* (ssd), ed *end of stream delimiter* (esd). Il preambolo è una sequenza alternata di uni e zeri per 8 sestetti che consente la sincronizzazione del ricevitore. Siccome la trasmissione simultanea sulle quattro coppie di una tale sequenza genererebbe un'elevata emissione elettromagnetica, la trasmissione sui canali 2 e 3 è sfasata nel tempo tramite l'introduzione di tre bit di "riempimento" (*start fill pattern*) prima del preambolo. Questi tre bit, di valore "101", fanno sì che quando su due coppie si trasmettono gli uni del preambolo, sulle altre due si trasmettano gli zeri, riducendo così le emissioni. Per fare in modo che la trasmissione su ciascun canale sia composta da un uguale numero intero di sestetti, dopo l'esd è aggiunto un *end fill pattern* di 3 o 6 bit in ciascun canale, in funzione del numero di quintetti di dato a partire dai quali è stata generata la sequenza.

Lo standard 802.12 prevede tre possibili soluzioni tecniche per il sottolivello *Physical Medium Dependent* (PMD), cioè per la trasmissione sul mezzo fisico dei quattro canali di dati.

La prima, 4-UTP PMD, associa ogni canale ad una coppia di un cavo UTP di categoria 3 o superiore (figura 11.18). Si tratta della tecnica principale di 100VG AnyLan che, come visto, ne ha determinato l'appellativo VG (Voice Grade). Lo standard introduce anche alcune specifiche sulla diafonia massima dei cavi a 25 coppie perché possano essere utilizzati da 100VG AnyLan. La trasmissione avviene con la codifica NRZ (paragrafo 3.1.2), e quindi la frequenza della fondamentale risulta di 15 MHz, soltanto il 50% in più di quella di Ethernet a 10 Mb/s.

La seconda e la terza soluzione, Dual Simplex STP PMD e Dual Simplex Fibre Optic PMD, prevedono l'utilizzo, rispettivamente, di un cavo a 2 coppie STP a 150  $\Omega$  e di una coppia di fibre ottiche. In entrambe si hanno a disposizione due soli canali trasmissivi, uno sempre in trasmissione e uno sempre in ricezione. Per trasmettere i quattro canali provenienti dal PMI è necessaria un'operazione di multiplexing, in cui si alterna la trasmissione dei sestetti provenienti dai quattro canali (figura 11.19), ottenendo un flusso di 120 Mb/s, anche in questo caso codificato in NRZ.

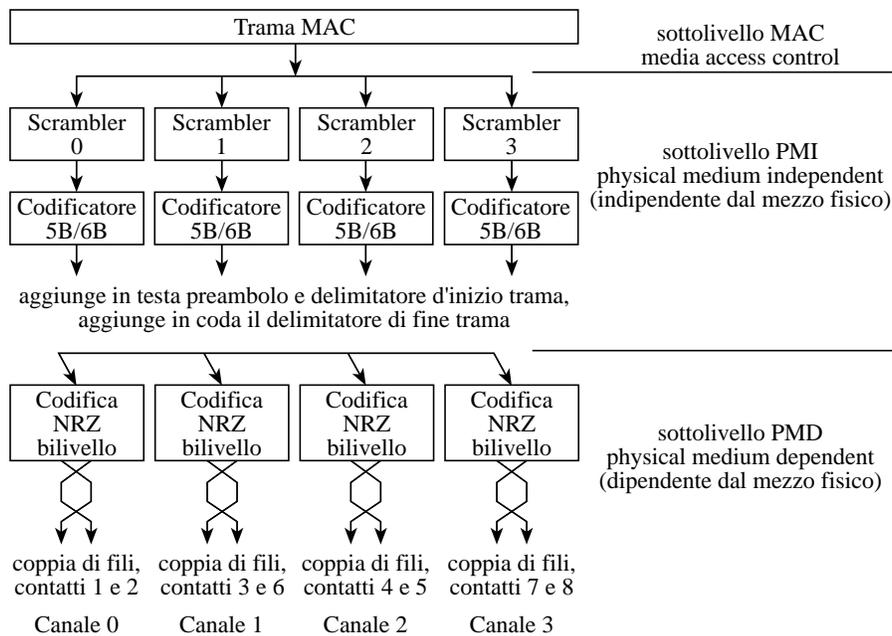


Fig. 11.18 - 100VG AnyLan: 4-UTP PMD.

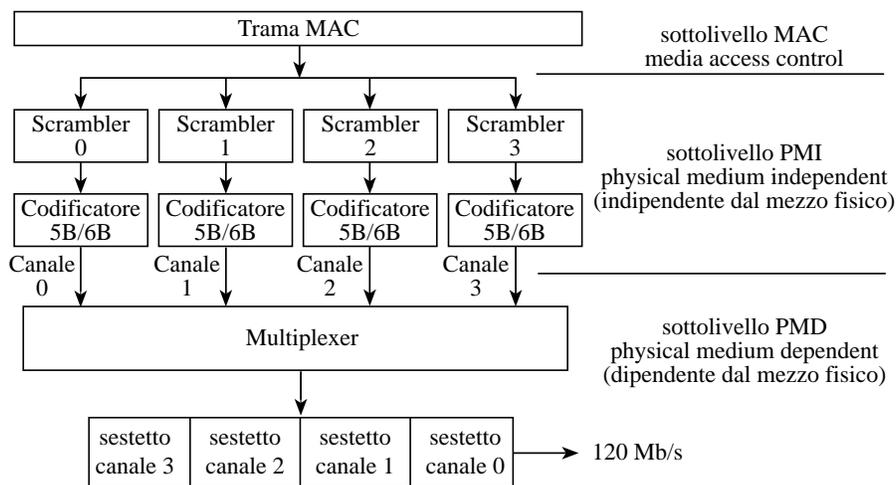
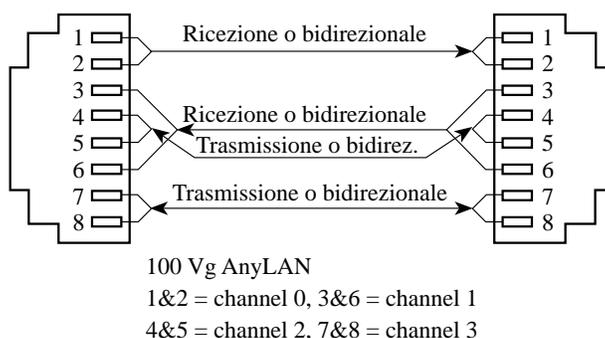


Fig. 11.19 - 100VG AnyLan: Dual Simplex PMD.

La figura 11.20 mostra come una rete 100VG AnyLAN su doppio a 4 coppie di categoria 3 usi la stessa piedinatura sul connettore RJ45 (1/2, 3/6, 4/5, 7/8) di Ethernet e Token Ring, conformemente agli standard EIA/TIA 568 e ISO/IEC 11801. Le informazioni di controllo dall'hub al nodo viaggiano sui canali 0 e 1, quelle dal nodo all'hub sui canali 2 e 3.



**Fig. 11.20** - 100VG AnyLan: schema della configurazione delle coppie.

Il protocollo DPAM previsto dallo standard si basa su un meccanismo di richieste di trasmissione inoltrate dalle stazioni all'hub (o dagli hub) e su autorizzazioni a trasmettere concesse dall'hub ad una stazione alla volta. Per la gestione di tale protocollo sono definiti, nel sottolivello PMI, otto *Transmit Control State* (TCS) e otto *Receive Control State* (RCS). Tali stati assumono significati differenti a seconda che siano associati alle porte dedicate al collegamento in cascata degli hub, alle porte locali degli hub, oppure alle porte delle stazioni. I principali stati, necessari per comprendere il protocollo descritto più avanti, sono riportati in tabella 11.1. Si osservi l'utilizzo dei termini "up" e "down", intesi rispettivamente come trasmissione dalla stazione all'hub o da un hub ad un altro di livello superiore (up), e trasmissione da un hub alle stazioni o agli hub di livello inferiore (down).

Ciascun livello PMD (il 4-UTP e i due dual simplex) codifica tali stati con sequenze regolari di un pari numero di bit a zero e a uno che, una volta trasmesse, possono essere identificate semplicemente in base alla frequenza della fondamentale generata, un sottomultiplo della frequenza di bit (30 o 120 Mb/s). Per esempio, il dual simplex STP PMD codifica lo stato di Idle (001) ripetendo una sequenza di 26 uni e 26 zeri. Alla velocità di 120 Mb/s con codifica NRZ significa generare un ciclo della fondamentale ogni 52 bit, e quindi una frequenza pari a  $120 : 52 = 2.30769$  MHz. I due PMD dual simplex definiscono cinque frequenze diverse per codificare cinque degli otto stati previsti (due sono riservati e quindi non ancora utilizzati), mentre lo

stato di "pronto a ricevere" è codificato con il silenzio. Il 4-UTP PMD, invece, usa le quattro possibili combinazioni di due toni (anche in questo caso frequenze generate mediante sequenze regolari di bit) trasmessi contemporaneamente su due coppie, più il silenzio con cui codifica allo stesso modo i TCS 000 e 111.

Codice del Control State	Significato per il nodo quando riceve	Significato per l'hub quando riceve
000	Trasmissione disabilitata (pronto a ricevere)	Trasmissione disabilitata (pronto a ricevere)
001	Idle-Up	Idle-Down
010	Incoming Data Packet	Normal Priority Request
011	(reserved)	High Priority Request
100	Link Training Request-Up	Link Training Request-Down

**Tab. 11.1** - 100VG AnyLan: principali stati di controllo.

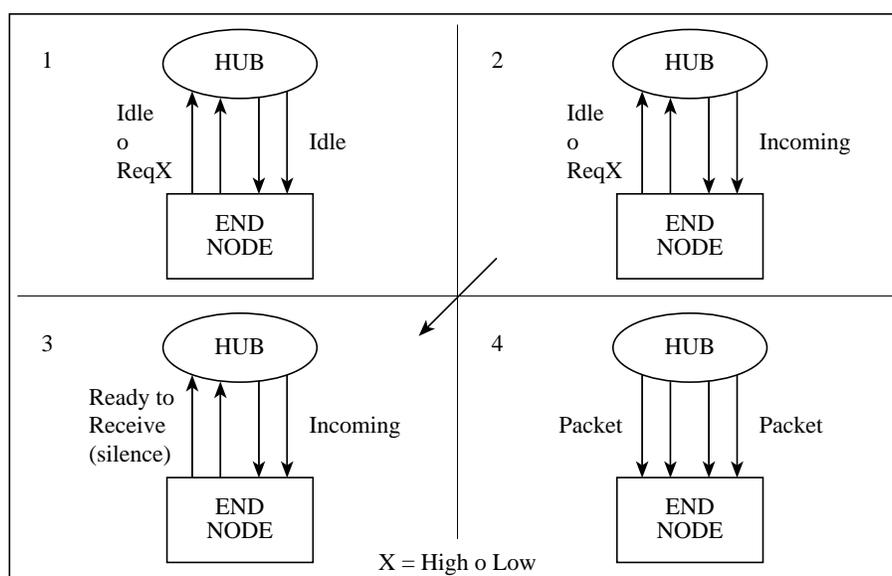
Il significato degli stati di controllo è il seguente:

- *idle*: indica al nodo che l'hub non ha pacchetti in attesa e indica all'hub che non ci sono richieste pendenti;
- *incoming*: indica al nodo che un pacchetto può essere destinato alla sua porta; in questo modo (nel 4-UTP PMD) il nodo viene invitato a interrompere la trasmissione di toni di controllo sui canali 2 e 3 per prepararsi a ricevere il pacchetto;
- *normal priority request*: indica all'hub che il nodo sta richiedendo di trasmettere un pacchetto a priorità normale;
- *high priority request*: indica all'hub che il nodo sta richiedendo di trasmettere un pacchetto ad alta priorità;
- *link training request*: indica al nodo o all'hub che è richiesta l'inizializzazione del link.

Il link training è una procedura di inizializzazione del link in cui l'hub e il nodo si scambiano una serie di pacchetti speciali per eseguire un test funzionale dello stato del cablaggio e una verifica della possibilità di trasmissione senza errori. Inoltre, questa procedura permette all'hub di avere in modo automatico delle informazioni sul dispositivo connesso a ciascuna porta: infatti i pacchetti ricevuti dall'hub provenienti da un nodo che sta eseguendo il training contengono informazioni quali il tipo di dispositivo (concentratore, bridge, router, network test/

monitor equipment, etc.), il modo di funzionamento (normale o monitor), e l'indirizzo della stazione collegata a quella porta. Il link training è iniziato dal nodo quando questo e l'hub vengono accesi, o quando il nodo viene connesso per la prima volta all'hub. Se vengono riscontrate alcune condizioni di errore, può essere necessario che il nodo o l'hub richieda il training del link.

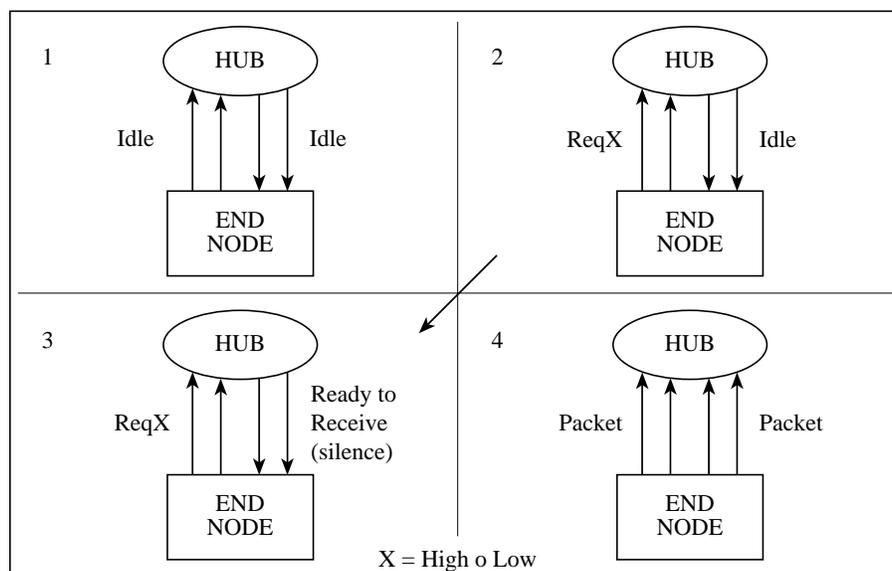
In figura 11.21 è illustrato un possibile schema di ricezione da parte di un end node e in figura 11.22 un possibile schema di trasmissione.



**Fig. 11.21** - 100VG AnyLan: trasmissione da un hub verso un nodo.

Sfruttando la topologia a stella, 100VG AnyLAN usa l'intelligenza insita nell'hub per gestire al meglio l'utilizzazione e il controllo della rete. Questa intelligenza viene resa disponibile da una potente tecnologia frame switching chiamata Demand Priority: essa permette di minimizzare il ritardo della rete e, dato che lo schema di arbitraggio round-robin usato dal Demand Priority è completamente deterministico, di rendere deterministici la latenza massima e quindi il ritardo di un pacchetto.

Grazie al Demand Priority è possibile massimizzare il throughput della rete e ottenere un'efficienza media del 96% (95% con pacchetti di 1500 byte e 98% con quelli di 4500 byte) contro un massimo teorico del 70-80% che è tipico delle reti CSMA/CD.



**Fig. 11.22** - 100VG AnyLan: trasmissione da un nodo verso l'hub.

Inoltre, è possibile definire le porte degli hub in modo che vi vengano inoltrati soltanto i pacchetti broadcast ed i pacchetti multicast o unicast diretti alla stazione collegata. Questa funzionalità, se applicata a tutti gli hub della rete, fornisce un livello di Link Privacy superiore a quello normalmente ottenibile in altre reti. Per scopi di diagnosi, tuttavia, gli amministratori di rete possono attivare la ricezione di tutti i messaggi su singole porte per monitorare tutto il traffico dell'hub.

Demand Priority è un metodo di accesso al mezzo trasmissivo in cui i nodi avanzano una richiesta all'hub tutte le volte che devono inviare un pacchetto sulla rete. Ogni richiesta è caratterizzata da due possibili livelli di priorità: normale (per i normali pacchetti di dati) o alta (ad es., per i pacchetti contenenti dati di applicazioni multimediali). Alle richieste ad alta priorità viene garantito l'accesso alla rete prima di quelle a priorità normale, fornendo in questo modo un metodo appropriato per gestire le applicazioni "time-sensitive". Il livello di priorità dei pacchetti è stabilito dal software applicativo ed è passato come parte dell'informazione del pacchetto al sottostrato MAC.

La gestione delle richieste di trasmissione da parte dei nodi viene effettuata dagli hub mediante una procedura di arbitraggio *round-robin*: le porte vengono ciclicamente osservate secondo un ordine predefinito per individuare le richieste di trasmissione. Le richieste sono soddisfatte (cioè le porte sono abilitate alla

trasmissione di un pacchetto) nello stesso ordine, ma procedendo prima con quelle ad alta priorità, e poi con le altre.

Lo standard 802.12 prevede inoltre il collegamento ad albero degli hub, e quindi le richieste di trasmissione ad una porta di un hub possono provenire da una stazione oppure da un hub di livello inferiore. Nel caso si tratti di un hub, l'abilitazione a trasmettere ricevuta dall'hub di livello superiore attiva un ciclo di trasmissioni, abilitando in ordine tutte le porte con richieste pendenti alla priorità corrente. I nodi singoli quindi possono solo inviare un pacchetto alla volta, mentre un hub di livello inferiore con  $n$  nodi collegati potrà inviare fino a  $n$  pacchetti non appena selezionato durante il ciclo round-robin.

Ogni hub conserva due liste separate per le richieste a bassa e ad alta priorità. Le prime sono servite nell'ordine delle porte da cui provengono fin tanto che non arriva una richiesta ad alta priorità. In questo caso, dopo aver completato la trasmissione del pacchetto corrente, l'hub servirà la richiesta ad alta priorità. Prima che l'hub ritorni a servire la lista a priorità normale, saranno serviti tutti i pacchetti ad alta priorità. Per evitare la starvation delle richieste a bassa priorità durante un eccesso di traffico ad alta priorità, l'hub controlla continuamente i tempi di risposta alle request-to-send dei nodi. Se il ritardo supera un tempo massimo prestabilito, l'hub innalzerà automaticamente la priorità delle richieste da bassa ad alta.

In figura 11.23 viene esemplificato l'utilizzo del round-robin a due livelli di priorità: se, nell'istante  $t = 0$ , tutte le porte hanno richieste pendenti a bassa priorità, l'ordine di servizio dei pacchetti sarà: 1-1, 2-1, 2-3, 2-n, 1-3, 1-n. Se, invece, nell'istante  $t = 0$  i nodi 1-1, 2-3 e 1-3 inviano una richiesta ad alta priorità, l'ordine di servizio dei pacchetti sarà: 1-1, 2-3, 1-3, 2-1, 2-n e 1-n. Si noti che ogni hub include una porta di uplink e  $n$  di downlink: la porta di uplink funziona come una normale porta, ma è riservata per connettere l'hub con un hub di livello superiore. Le  $n$  porte di downlink sono usate per connettere i nodi 100VG AnyLAN, siano essi stazioni o hub di livello inferiore. L'hub posto alla radice dell'albero prende il nome di *root hub*.

100VG AnyLAN permette il collegamento in cascata tra hub, anche con l'uso di vari mezzi trasmissivi, come evidenziato in figura 11.24. È ammessa la presenza di un massimo di 13 hub tra due stazioni (cioè fino a 7 livelli di profondità dell'albero). Se la rete ha solo il root hub la distanza massima tra due nodi è di 6 Km, ogni coppia di hub aggiuntiva riduce il diametro di 1100 m. Con 13 hub il diametro massimo è quindi 500 m.

Ovviamente, ogni singolo cavo è poi soggetto a limiti di lunghezza massima che dipendono dalla tipologia del cavo stesso.

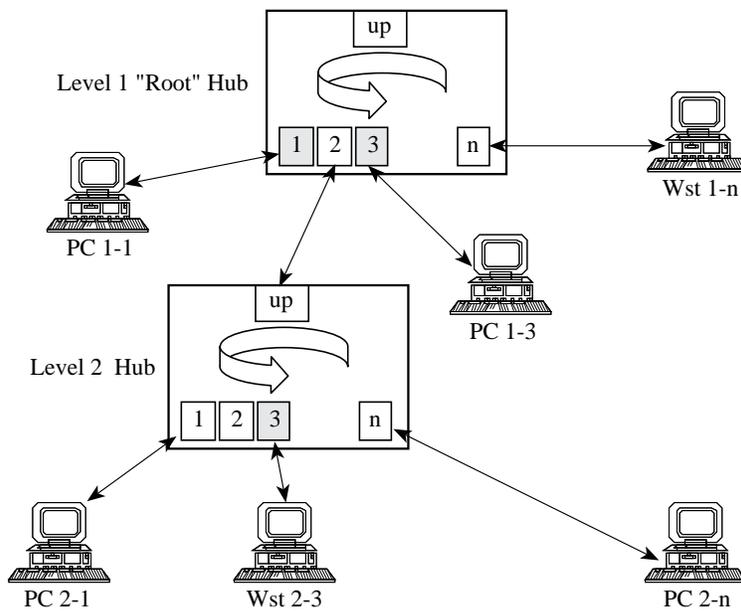


Fig. 11.23 - 100VG AnyLan: protocollo MAC.

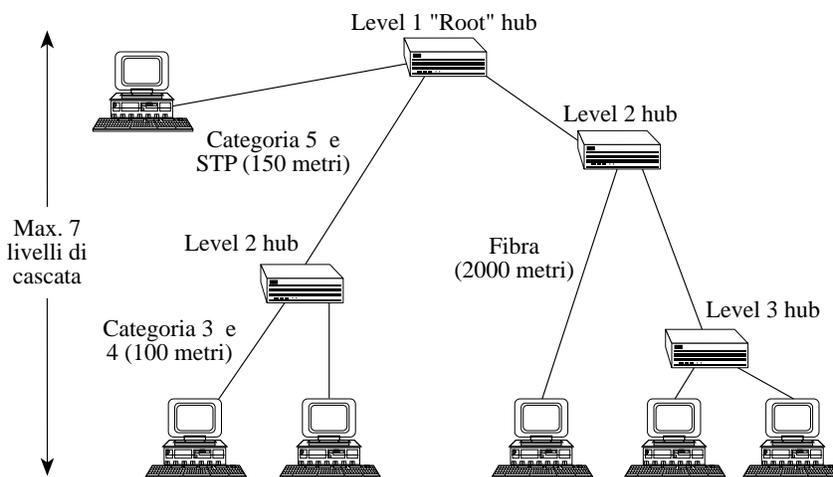


Fig. 11.24 - 100VG AnyLan: distanze e mezzi trasmissivi.

## 11.7 RETI WIRELESS

La rapida evoluzione della tecnologia di trasmissione "via etere" ha dato un nuovo impulso allo sviluppo dei sistemi *wireless* (senza fili), dettato anche dai diversi vantaggi che essi possono avere rispetto alle reti cablate: flessibilità nel posizionamento delle stazioni, facilità di installazione e riconfigurazione, possibilità di avere stazioni mobili.

Si cerca, quindi, di sviluppare sistemi con prestazioni analoghe alle reti *wired* (cablate) e con i vantaggi delle *wireless*, cercando di risolvere i problemi di efficienza, sicurezza e robustezza della trasmissione, che l'assenza del "filo" inevitabilmente porta.

Le reti *wireless* possono essere classificate in base alla copertura geografica e alla tecnologia su cui sono basate.

### 11.7.1 Classificazione in base alla copertura geografica

Le reti *wireless* possono operare in quattro distinti ambienti: *in-building*, *ambiente di campus*, *MAN*, *WAN*.

Quando la collocazione delle stazioni all'interno di un edificio varia molto raramente, si parla di ambiente *in-building tethered*. Questo segmento di mercato copre, ad esempio, i vecchi edifici dove è difficile o troppo costoso installare nuove reti cablate.

Nell'ambiente *in-building non-tethered*, invece, viene sfruttata la caratteristica di mobilità delle reti *wireless*. Si fornisce cioè una connessione tra un computer portatile e i servizi di una LAN, mentre l'utente si può spostare liberamente nell'edificio.

Si parla di ambiente di campus quando vi sono più edifici vicini compresi in un'area limitata. Anche in questo caso le reti *wireless* rispondono alle esigenze di connessione fra gli edifici e di mobilità delle singole stazioni all'interno del campus.

Per quel che riguarda le reti *wireless* a largo raggio (*MAN* e *WAN*) in grado di trasmettere dati in un'area metropolitana o in un'intera nazione, quelle attualmente in funzione sono caratterizzate da una velocità relativamente bassa (da 4.8 a 19.2 Kb/s). I principali tipi di reti *wireless* "wide-area" si basano sulle reti radio pubbliche e private a commutazione di pacchetto e sulle reti cellulari a commutazione di circuito.

### 11.7.2 Classificazione in base alla tecnologia usata

La scelta della tecnologia per la realizzazione di una rete wireless è ovviamente strettamente legata alla topologia e alla tipologia della rete stessa.

Attualmente le tecnologie wireless sono: *powerline*, *ottica*, *radiofrequenze*, *microonde*, *cellulare* e *satellitare*.

#### Powerline

La tecnologia "powerline" fa uso dei comuni fili della corrente all'interno di un edificio per trasmettere il segnale. In assenza di interruzioni (ad esempio trasformatori) nella rete elettrica, è possibile stabilire un link di comunicazione tra chiamante e ricevente mediante onde convogliate. A causa della gran quantità di rumore presente sui fili e del tipo di mezzo usato per trasmettere la corrente, la velocità di trasmissione è generalmente bassa, tra 1.2 e 38.4 Kb/s. Il pregio maggiore di questa tecnologia è che è relativamente economica.

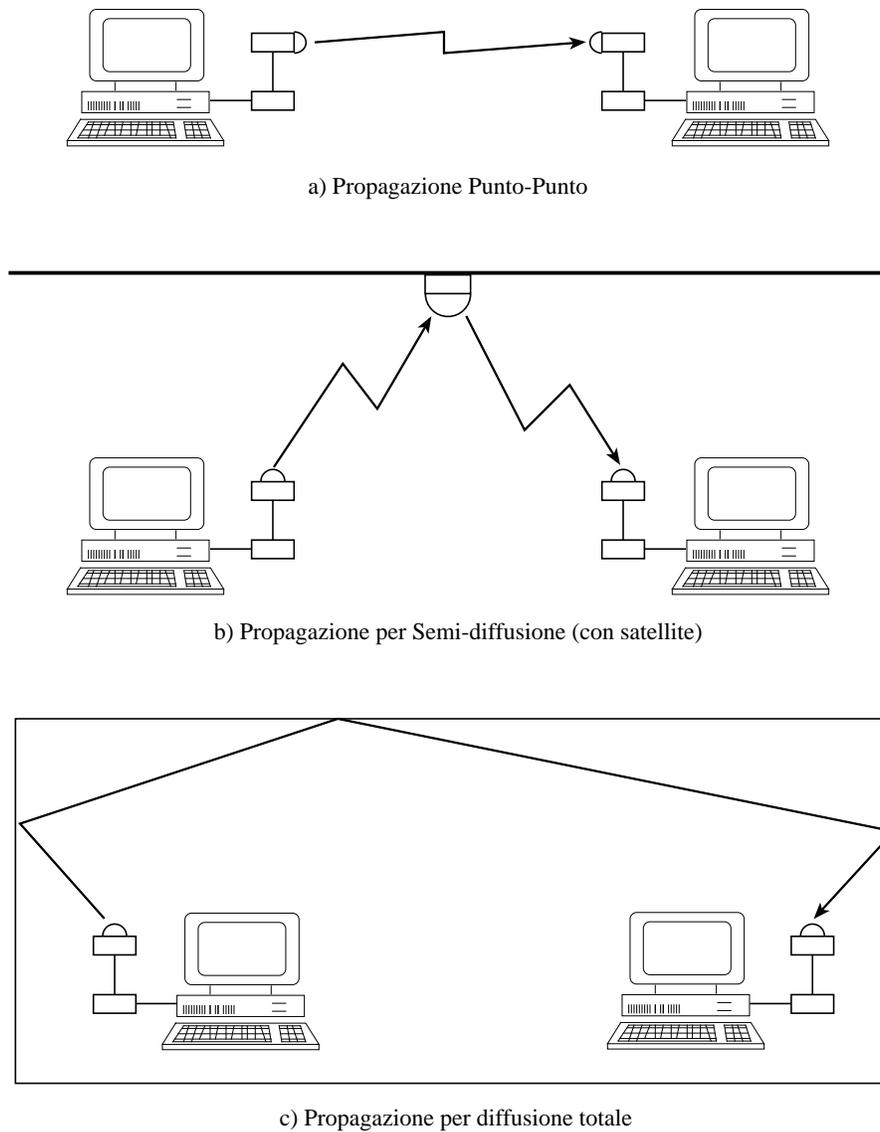
#### Ottica

La tecnologia ottica utilizza le lunghezze d'onda nell'infrarosso per trasmettere l'informazione. In una wireless LAN a raggi infrarossi (IR) ogni stazione è equipaggiata con un *transceiver* dotato per la trasmissione di un LED (*Light Emitting Diode*) che emette luce a raggi infrarossi e, per la ricezione, di un fotodiodo, operanti alla medesima lunghezza d'onda.

Si hanno a disposizione tre modi di radiazione degli IR per l'interscambio di dati tra le stazioni: *punto-punto*, *semi-diffusione* e *diffusione totale* (figura 11.25).

Nella modalità punto-punto, due transceiver devono essere perfettamente allineati per potersi illuminare reciprocamente con un fascio di luce IR. Lo scambio di dati tra le stazioni avviene modulando il fascio di infrarossi. Questa tecnica va bene per la realizzazione di LAN di tipo Token Ring, realizzando l'anello fisico mediante una sequenza circolare di link punto-punto. Con trasmissione laser-IR unidirezionale si possono coprire distanze anche di alcuni Km.

Nella modalità di radiazione per semi-diffusione, il segnale ottico emesso da una stazione viene captato da tutte le altre, realizzando così delle connessioni punto-multipunto o broadcast. Si sfrutta una superficie riflettente sulla quale vanno a collimare i fasci IR provenienti dai transceiver di tutte le stazioni: con questa configurazione, per il principio di diffusione della radiazione luminosa, il raggio proveniente da una stazione verrà riflesso verso tutte le altre rendendo così possibile una comunicazione di tipo broadcast.



**Fig. 11.25** - Modalità di radiazione dei raggi infrarossi.

La superficie riflettente può essere passiva, di solito il soffitto della stanza ove ha sede la LAN, oppure attiva, cioè realizzata mediante un dispositivo, detto *satellite*, che serve ad amplificare e rigenerare il segnale ottico prima di effettuare il broadcast (funziona praticamente come un repeater). La diffusione passiva

richiede più potenza nei trasceiver delle stazioni, ma consente una più facile installazione della rete dal momento che non occorre il posizionamento del satellite.

Nella radiazione per diffusione totale, la potenza ottica emessa da un trasceiver deve essere tale da consentire al raggio di diffondersi per tutto il volume della stanza dopo una serie di riflessioni multiple sui muri. Questo segnale verrà captato da qualunque altra stazione all'interno dello stesso spazio, senza la necessità di alcun particolare orientamento di quest'ultima.

La presenza di riflessioni, tuttavia, limita la massima velocità di trasmissione a causa dell'interferenza dovuta al fenomeno del *multipath* (per cui un segnale può essere ricevuto attraverso più cammini caratterizzati da differenti ritardi).

Le modalità di radiazione per semi-diffusione e diffusione totale, dal momento che consentono una comunicazione broadcast, sono adatte all'implementazione di reti di tipo Ethernet. In particolare, la prima va bene per reti con stazioni fisse (tethered), la seconda permette la realizzazione di reti con stazioni mobili.

Le reti wireless ad IR possono essere installate solo nell'ambito di un'unica stanza, in quanto le stazioni devono trovarsi in linea ottica nel caso di link punto-punto, oppure avere una superficie riflettente comune, nel caso dei link punto-multipunto ottenuti per semi-diffusione, oppure ancora devono essere situate tutte nello stesso volume, se si usa la diffusione totale. È inoltre difficile garantire la compresenza di più network isolate poiché, anche se si possono utilizzare nella trasmissione diverse frequenze portanti, la possibilità di passare da una frequenza ottica ad un'altra è difficile e costosa da ottenere. Nonostante queste limitazioni, gli IR offrono notevoli vantaggi come, ad esempio, l'immunità alle interferenze elettromagnetiche (EMI), l'intrinseca sicurezza della trasmissione (perché in ambiente molto limitato) e l'assenza di licenze da parte delle PTT (in Italia, il Ministero delle Poste e Telecomunicazioni) per le installazioni.

La tecnologia dei raggi infrarossi è sicuramente la più matura tra quelle utilizzate nell'ambito delle reti wireless in quanto è da una ventina d'anni che la trasmissione dati mediante IR è realizzata mediante apparecchiature commerciali (si pensi alle calcolatrici HP degli anni '70).

Photonics e InfraLAN sono due fra le diverse aziende che costruiscono prodotti di networking basati su tecnologia IR.

Photonics presenta due serie di prodotti che utilizzano la trasmissione IR: *Collaborative* e *Cooperative*, destinati rispettivamente al mondo DOS/Windows e al mondo Macintosh. I due sistemi hanno in comune solo il trasceiver ottico, dato che Cooperative lavora in modo nativo con il protocollo Localtalk, a 230 Kb/s, invece Collaborative lavora con trame Ethernet e metodo CSMA/CA, con velocità

di 1 Mb/s. I dati forniti da Photonics indicano che la copertura di un transceiver viene garantita all'interno di stanze di 10 m di lato.

InfraLAN produce un prodotto omonimo, una rete Token Ring composta da Multistation Access Unit (MAU). Ogni MAU supporta fino a sei dispositivi Token Ring. I MAU si attaccano a due transceiver che InfraLAN chiama "nodi ottici": questi nodi forniscono la connessione wireless attraverso cui passa il token. I nodi devono essere posizionati in modo tale che si possano vedere direttamente per comunicare. La velocità è paragonabile a quella di una rete Token Ring tradizionale e la distanza massima a cui possono essere posti i transceiver è circa 30 m.

### Radiofrequenze (RF)

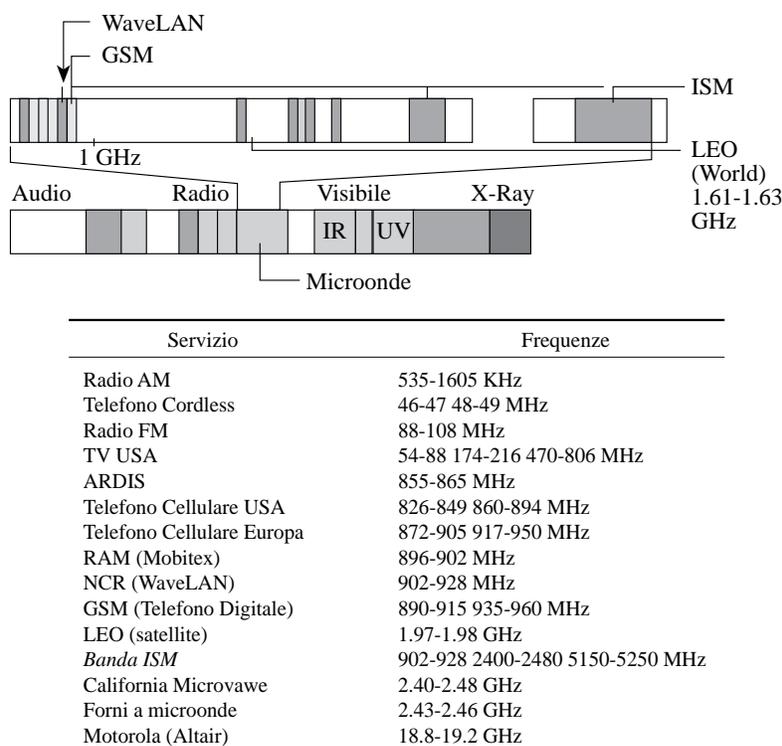
L'utilizzo delle radiofrequenze è ostacolato dal fatto che la complessità dei *radio-transceiver* cresce con il crescere della frequenza di trasmissione, e il costo è in generale più elevato del corrispettivo IR, anche se può essere in parte abbattuto sfruttando la componentistica ad alta diffusione (ad esempio la telefonia cellulare).

Uno dei vantaggi di questa tecnologia risiede nella possibilità di coprire aree estese, che superano i limiti di un singolo ambiente. Con una trasmissione a bassa potenza (<1W) si possono coprire distanze di circa 1 Km all'aperto e 50-100 m al chiuso, a seconda del numero di pareti da attraversare. Un ulteriore vantaggio della trasmissione RF consiste nella possibilità di permettere la compresenza di più network isolate, mediante la variazione della frequenza della portante trasmessa.

La scelta delle frequenze e della modalità di trasmissione è strettamente legata alle esigenze di progetto e alla regolamentazione presente nei diversi Paesi.

Nel 1985 il Federal Communication Committee (FCC) assegnò tre bande di frequenza, nel campo delle microonde, alle trasmissioni senza licenza con potenza massima di 1 W. Queste bande, 902 - 928 MHz, 2400 - 2483 MHz e 5725 - 5850 MHz, erano precedentemente disponibili per applicazioni Industriali, Scientifiche e Mediche, da ciò il nome *bande ISM* (figura 11.26).

Dal 1985, avendo a disposizione le bande ISM, alcuni costruttori di prodotti di networking iniziarono a progettare dei dispositivi per wireless LAN operanti a tali frequenze. Essendo bande piuttosto strette e, non necessitando di licenza, aperte a chiunque volesse utilizzarle (con il solo vincolo della potenza massima di 1 W), si arrivò ben presto ad un livello di interferenza inammissibile e ciò portò l'FCC a imporre l'utilizzo della tecnica di modulazione *Spread Spectrum* (SS) per la trasmissione in banda ISM.



**Fig. 11.26** - Utilizzo dello spettro elettromagnetico per le telecomunicazioni.

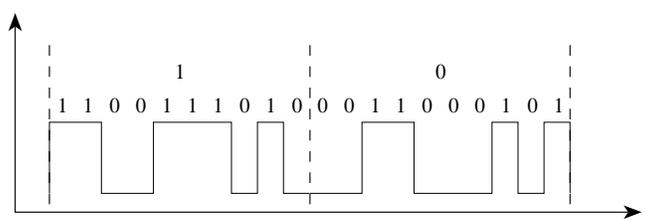
La tecnica di modulazione Spread Spectrum è nata alla fine della Seconda Guerra Mondiale per scopi militari: serviva per prevenire l'interferenza durante il controllo di armi telecomandate. Consiste nel distribuire l'energia di un segnale a banda limitata su di una banda molto più ampia al fine di abbassarne notevolmente la densità spettrale di energia. L'idea è quella di ottenere un segnale con un livello energetico al di sotto di quello del rumore ambientale, che, come è noto, è costante e a banda pressoché illimitata, per renderlo non intercettabile. In ambito civile lo scopo è quello di minimizzare le interferenze che inevitabilmente si hanno tra più segnali che condividono la stessa banda.

Esistono due tecniche per ottenere un segnale Spread Spectrum da uno a banda limitata:

- *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*: il segnale trasmesso è modulato con una sequenza pseudo-casuale binaria (*chipping sequence*, figura 11.27). Per trasmettere un 1 si invia la sequenza di chipping affermata, per trasmettere uno zero la sequenza negata. La velocità relativa tra frequenza pseudo-casuale

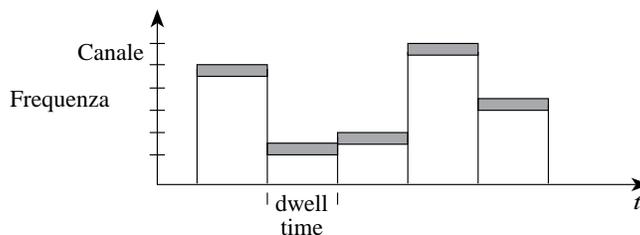
e trasmissione (cioè la lunghezza della sequenza di chipping) è, nel caso commerciale, compresa tra 10 e 100, mentre in quello militare tra 1000 e 10000. Il ricevitore per ricostruire l'informazione esegue l'EXOR tra segnale e sequenza pseudo-casuale: se sono in fase, il risultato è il segnale trasmesso.

Mediante tale tecnica si trasmette ancora con una singola portante a frequenza fissa, come nelle trasmissioni tradizionali, ma, grazie alla sequenza di cipher e allo schema di modulazione usato, la potenza del segnale si distribuisce su uno spettro più ampio.



**Fig. 11.27** - Esempio di trasmissione DSSS.

- *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS): tutta la banda disponibile è divisa in un insieme di canali di uguale larghezza. La trasmissione avviene per un certo periodo di tempo (*dwell time*) su un canale poi passa su un altro seguendo una precisa sequenza (*hopping sequence*, figura 11.28). Tale sequenza può essere predeterminata o trasmessa essa stessa insieme ai dati, comunque deve essere tale da garantire un ugual uso di tutti i canali di trasmissione. Quando il *dwell time* è minore del tempo di bit si parla di *fast-frequency hopping*, mentre quando il *dwell time* è (molto) maggiore del tempo di bit si parla di *slow-frequency hopping*. I sistemi basati sul primo tipo sono più costosi e ad alto consumo, ma, dal momento che ogni bit di dato viene trasmesso su molti canali, offrono il vantaggio di una maggiore tolleranza alla distorsione selettiva in frequenza. Lo *slow-frequency hopping*, invece, permette una maggiore facilità nel sincronismo dell'*hop*.



**Fig. 11.28** - Esempio di trasmissione FHSS.

La scelta della banda in cui operare dipende dalle esigenze di lavoro. In tabella 11.2 è riportato un confronto fra le caratteristiche delle bande ISM. Attualmente la più utilizzata ed affollata è la prima (902-928 MHz), ma l'attenzione si sta spostando velocemente verso la seconda (2.4-2.483 GHz), che presenta vantaggi di ampiezza, di universalità (è utilizzabile senza licenza in tutto il mondo) e di costo (la componentistica può in parte sfruttare la tecnologia al silicio, di basso costo).

	I	II	III
Frequenze	902-928	2.4-2.4835	5.725-5.850
Larghezza di banda	26 MHz	83.5 MHz	125 MHz
Necessità di licenza FCC	No	No	No
Utilizzabilità	USA/Canada	Ovunque	USA/Canada
Costo tecnologia	Basso (Si)	Basso/medio (Si, GAAs)	Alto (GaAs)
Dimensione canali FH	0.5 MHz	1 MHz	1MHz
Numero canali FH (USA)	Elevato	Basso	Quasi nullo
Sorgenti di interferenza (USA)	Utilizzatori primari - molte LAN - molti non-Spread Spectrum	Utilizzatori primari - poche LAN - pochi non-SS - forni a microonde	Utilizzatori primari - pochissime LAN - pochissimi non-SS
Sorgenti di interferenza addizionali (nel mondo)	Telefoni cellulari		Alcuni radar

**Tab. 11.2** - Confronto fra le bande ISM.

Il prodotto di networking più noto basato sulla tecnica di modulazione Spread Spectrum nella banda ISM 902-928 MHz è WaveLAN di NCR Corporation. Esso utilizza la tecnica di trasmissione direct sequence con sequenza di chipping di 11 bit. Consta di una scheda che, oltre alla circuiteria per l'implementazione di Ethernet, ospita un transceiver a microonde da collegare esternamente ad una piccola antenna delle dimensioni di un floppy disk da 5.25", che consente una portata di circa 250 m. Esiste anche un'antenna di dimensioni maggiori per portate fino a circa 3 Km. Il throughput dichiarato è di 2 Mb/s.

Xircom propone due prodotti wireless funzionanti a 2.4 GHz con SS frequency hopping: lo *Xircom credit card adapter* in versione PCMCIA 2.0 tipo II, oppure lo *Xircom pocket netwave adapter* per porta parallela. Inoltre fornisce anche un *punto d'accesso* (AP) per collegamento a Ethernet che permette di creare una rete "infrastructured" con raggio compreso tra i 40 e 60 m. La capacità trasmissiva massima è di 1 Mb/s, tuttavia, dato che un punto di accesso può governare

contemporaneamente diversi canali, il throughput complessivo di un gruppo di lavoro può essere di 10/15 Mb/s.

Anche IBM ha presentato una soluzione wireless basata su trasmissione FHSS a 2.4 GHz con adattatore di rete PCMCIA. La scheda è destinata all'uso su personal computer portatili. Il throughput è di 1 Mb/s, quadruplicabile attraverso una tecnologia di compressione dati. Per il collegamento alla rete cablata è prevista una scheda dalle prestazioni analoghe da inserirsi in un personal computer. Secondo i dati forniti da IBM, il sistema riesce a trasmettere in un'area con il raggio di circa 200 m in spazi aperti.

### Microonde

Alcuni costruttori hanno realizzato dei dispositivi per wireless LAN operanti in bande a loro licenziate. Uno dei più importanti è Motorola, che ha introdotto il sistema *Altair*, una rete Ethernet a microonde operante a 10 Mb/s. Esso si compone di *Altair Plus II*, per applicazioni wireless in-bulding, e *Altair VistaPoint*, bridge wireless per collegare LAN distinte. Entrambi i prodotti sfruttano la speciale tecnologia in radiofrequenza di Motorola che funziona a 18 GHz a basso consumo. Inoltre, *Altair Plus II* offre capacità di network management con l'*Altair Extended MIB* (Management Information Base), che permette il pieno controllo remoto della rete (wireless e non) da una singola stazione. Il sistema *Altair Plus II* fornisce un throughput massimo di 5.7 Mb/s. L'*Altair VistaPoint* è un bridge wireless per collegare LAN cablate o wireless anche tra piani o edifici diversi purché non troppo distanti: permette la comunicazione di segmenti di LAN a una distanza di 15 m oppure, nella versione "long-range", fino a 1.2 Km negli USA e 2.1 Km nella maggior parte degli altri paesi. Entrambi i bridge *VistaPoint* offrono una capacità trasmissiva massima di 5.3 Mb/s.

In Europa è stata presentata da Olivetti Systems & Networks una wireless LAN basata sullo standard Digital European Cordless Telecommunications (DECT), analoga al sistema *Altair*: si tratta di un hub collegato in topologia stellare con dei satelliti mediante link a microonde in modulazione di frequenza. Le frequenze usate sono nell'intorno dei 18 GHz con potenze molto ridotte.

### Cellulare

Dal momento che le frequenze trasmissive sono una risorsa limitata, è meglio riutilizzarle il più possibile. È questa la filosofia che sta alla base della tecnologia cellulare. In pratica si fa in modo che aree geografiche adiacenti (celle) usino insieme di frequenze disgiunti. Le celle non adiacenti possono quindi riutilizzare le stesse frequenze senza interferenza.

Quando ci si sposta (*roaming*) da una cella ad un'altra, automaticamente, in modo trasparente, viene garantito il passaggio all'insieme di frequenze della nuova cella (funzione di *handover*).

Vi possono essere sistemi di trasmissione cellulare dedicati alla trasmissione dati oppure condivisi con la telefonia.

Un esempio di sistema misto è CDPD (*Cellular Digital Packet Data*), sviluppato da IBM, McCaw Cellular Data, Baby Bells ed altri. Esso permette di trasmettere pacchetti di dati saltando da un canale cellulare a un altro per sfruttare i vuoti in mezzo al traffico vocale. Infatti tutte le chiamate cellulari devono avere un periodo di silenzio di 5 ÷ 10 secondi dopo la sconnessione per il reset della linea stessa; in questo intervallo i dati possono essere inviati a una stazione di base e poi al ricevitore. CDPD offre velocità fino a 19.2 Kb/s.

Nel caso di trasferimenti di file lunghi può essere invece utile acquisire un canale cellulare fino al completamento della trasmissione: è questa la via seguita da CSC (*Circuit Switched Data*) di McCaw Cellular Communications.

In via di realizzazione sono i PCS o Personal Communication Services, una serie di servizi che andranno dalla telefonia a pagamento alle sofisticate PCN (Personal Communication Networks), nati non come alternativa ma per coesistere con i sistemi esistenti di tipo cellulare e cablato: le celle sono più piccole di quelle convenzionali e i trasmettitori sono meno potenti, ma offrono una banda maggiore. L'FCC, a seguito di una petizione avanzata da Apple Computer Inc., ha allocato 160 MHz per i PCS nella banda compresa tra 1.85 e 2.2 GHz, 40 MHz per gli utenti senza licenza e 120 MHz per i fornitori di servizi con licenza.

## Satellitare

Le caratteristiche principali delle trasmissioni mediante satellite sono l'estensione della copertura geografica e il funzionamento intrinsecamente broadcast.

I satelliti sono classificati in tre grosse categorie: *geosincroni* (GEO), *big Low Earth Orbit* (big LEO) e *little Low Earth Orbit* (little LEO).

- I sistemi geosincroni includono Inmarsat e OmniTracs, ma essendo i satelliti a 36.000 Km di quota (unica altezza possibile per la geosincronicità) la potenza richiesta al trasmettitore per raggiungerli è troppo elevata per trasmettitori portatili;
- Proposte di "big" LEO includono Aries, Ellipso, Globalstar, Iridium e Odyssey. Ad esempio, *Iridium* di Motorola offrirà comunicazioni telefoniche cellulari mondiali da 77 satelliti collocati in sette orbite polari;
- I "little" LEO includono Leosat, Orbcomm, Starnet e Vitasat.

Negli USA la banda più popolare per la comunicazione satellitare è la "C band": 6 GHz per l'uplink (Terra-satellite) e 4 GHz per il downlink (satellite-Terra). I satelliti più nuovi operano nella "Ku band": 14 GHz per l'uplink e 12 GHz per il downlink.

La tabella 11.3 riassume le principali caratteristiche delle tecnologie analizzate.

Tipo di WLNA	Velocità	Estensione	Vantaggi	Svantaggi
Powerline	da 1.2 a 38,4 Kb/s	da 5 m ad alcuni Km	- Economicità	- Elevato rumore nella trasmissione
Infrarossi	da 230 Kb/s a 16 Mb/s	da 30 m a 200 m	- Flessibilità di installazione, riconfigurazione e manutenzione - Tecnologia consolidata e sicura - Velocità al pari delle reti cablate - Immunità alla interferenze EMI - Assenza di licenza FCC - Buona mobilità	- In alcune implementazioni è indispensabile il perfetto allineamento delle stazioni - LAN confinate in un unico volume - Problemi di interferenza con luce ambientale forte - Difficile compresenza di network isolate
Radio-frequenza	2 Mb/s	da 250 m a 3 Km	- Flessibilità di installazione, riconfigurazione e manutenzione - Penetrazione dei muri portanti - Assenza di licenza FCC - Possibilità di compresenza di network isolate	- Suscettibilità alle interferenze EMI - Velocità ridotta rispetto alla LAN cablate - Esposizione utenti a radiazioni elettromagnetiche - Scarsa mobilità
Microonde	10 Mb/s	80 m	- Flessibilità di installazione, riconfigurazione e manutenzione - Velocità al pari delle reti cablate - Immunità alle interferenze EMI	- Propagazione del segnale limitata - Esposizione utenti a radiazioni elettromagnetiche - Licenza FCC
Cellulare	fino a 19.2 Kb/s	Rete cellulare	- Uso della rete cellulare telefonica preesistente - Tecnologia ad alta diffusione	- Possibili interferenze in radiofrequenza - Ritardi elevati
Satellitare		Migliaia di Km	- Trasmissione broadcast - Ampia copertura del territorio	- Costi iniziali elevati

**Tab. 11.3** - WLAN - Analisi comparata.

## 11.8 STANDARDIZZAZIONE DELLE WIRELESS LAN

Esistono molteplici organizzazioni che si stanno occupando dello sviluppo di standard sulle wireless LAN. Sono coinvolte in tali attività delle entità nazionali, continentali e mondiali. Quella che segue è una panoramica sui lavori svolti dai vari enti di standardizzazione.

### 11.8.1 A livello mondiale

Il Taskgroup 8/1 del *Comité Consultatif International des Radiocommunications* (CCIR), che è una parte dell'*International Communication Union* (ITU), è al lavoro su un progetto denominato *Future Public Land Mobile Telecommunication System* (FPLMTS), il cui scopo è di ottenere una distribuzione valida a livello mondiale delle frequenze per le comunicazioni numeriche radiomobili, sia per fonia sia per i dati, fino a 20 Mb/s.

Nel 1992, durante la Worldwide Administrative Radio Conference (WARC 92), sono state assegnate al progetto FPLMTS due bande di frequenza, 1885 - 2025 MHz e 2110 - 2200 MHz, ed è inoltre stata approvata una risoluzione che stabilisce le linee guida per l'implementazione di sistemi FPLMTS ed invita il CCITT ad implementare tale tecnologia sfruttando le reti attualmente esistenti.

### 11.8.2 Europa

Nel marzo del 1992, il *Technical Committee for Radio Equipment and Systems* (TC RES), una componente dell'*European Telecommunications Standard Institute* (ETSI), ha approvato la versione definitiva del *Digital European Cordless Telecommunications Standard* (DECT). Questo standard è mirato alla telefonia e supporta dieci canali multiplati in frequenza (FDM) sui quali sono instradati 12 canali bidirezionali multiplati nel tempo (TDM) da 32 Kb/s. I canali possono essere usati separatamente per veicolare il traffico vocale, oppure in modo combinato ottenendo un unico canale numerico avente una banda aggregata di 7.68 Mb/s.

Due sottocomitati tecnici dell'ETSI hanno inoltre cominciato a lavorare su progetti concernenti le wireless LAN:

- il comitato RES2 si occupa di uno standard per sistemi di medie prestazioni operanti nella banda ISM intorno ai 2.4 GHz con tecnica di modulazione Spread Spectrum;

- il comitato RES10 sta preparando invece uno standard per High Performance European Radio Local Area Network (HIPERLAN), una wireless LAN ad elevate prestazioni, tra i 10 ed i 20 Mb/s, operante in una banda di 150 MHz allocata nell'intorno dei 5.2 GHz.

### 11.8.3 Giappone

Il *Telecommunications Technology Group* (TTG), un comitato consultivo del *Ministry for Post and Telecommunications* (MPT), che si occupa della regolamentazione e dell'assegnazione delle frequenze, ha raccomandato l'utilizzo delle bande 1215 - 3400 MHz e 17.7 - 21.1 GHz per le applicazioni di tipo wireless LAN. Basandosi sugli orientamenti offerti dal TTG, il *Research and Development Center for Radio Systems* (RCR), un altro organismo del MPT, fra gli obiettivi del quale c'è lo studio delle architetture dei sistemi per le wireless LAN, nel maggio 1992 ha redatto una specifica per LAN a medie prestazioni operanti nella banda 2.4-2.5 GHz con modulazione Spread Spectrum. RCR è anche al lavoro su una specifica per LAN ad elevate prestazioni, 10 Mb/s, nella banda 18-19 GHz.

### 11.8.4 Stati Uniti

Negli Stati Uniti l'organizzazione che si occupa della standardizzazione delle wireless LAN è l'IEEE Working Group for wireless LAN, denominato IEEE 802.11. Al lavoro di questo gruppo è dedicato il paragrafo successivo.

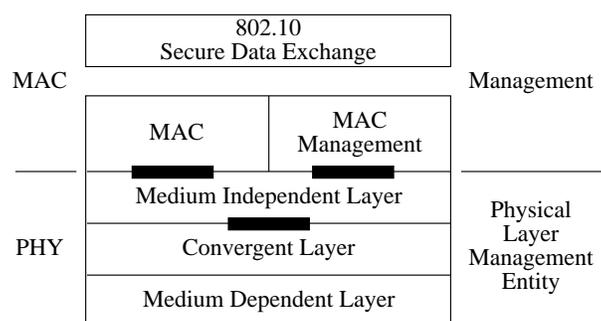
## 11.9 IEEE 802.11: WIRELESS LAN

L'IEEE 802.11 è un gruppo di lavoro che si occupa della standardizzazione del livello MAC e del livello fisico delle reti locali wireless. Il "working group" è suddiviso in due sottogruppi principali: MAC-sub-group e PHY-sub-group. Quest'ultimo è a sua volta suddiviso in "ad hoc groups", ciascuno relativo ad una ben specifica tecnologia.

Nel novembre del 1994 è stata approvata la prima bozza dello standard, ma il completamento dei lavori non è previsto prima della fine del 1996.

Lo studio mira a sviluppare una specifica di Medium Access Control e di Physical Layer per connessioni wireless per stazioni fisse, portatili e in movimento

all'interno di un'area locale (In-Building o Campus) in grado di supportare velocità trasmissive multiple, scelte a seconda dello stato del mezzo e della capacità delle stazioni, e comunque superiori a 1 Mb/s. Uno degli scopi principali del MAC group è di fare in modo che un singolo MAC possa supportare più livelli PHY, anche se questi fanno uso di tecnologie diverse (figura 11.29).



**Fig. 11.29** - Visione globale dei livelli MAC e PHY dell'802.11.

Il wireless MAC supporta sia servizi connectionless a velocità comprese tra 1 e 20 Mb/s, sia servizi di tipo isocrono (*time bounded*) per controllo di processi, voce e video.

### 11.9.1 Livello Fisico

La convergenza tra MAC e lo specifico mezzo fisico è realizzata mediante la *Physical Layer Convergence Procedure* (PLCP). Essa si occupa di tradurre la MPDU (MAC Protocol Data Unit) nel formato opportuno per la trasmissione; ad esempio, inserisce all'inizio del frame il preambolo fisico occorrente.

Il sottolivello *Physical Medium Dependent* (PMD) realizza i meccanismi per l'individuazione del *clear channel* (mezzo trasmissivo libero), per la trasmissione e per la ricezione.

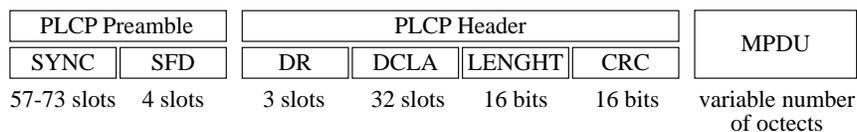
Già dal luglio 1992 il working group ha deciso di standardizzare tre tipi di trasmissione: infrarossi, radiofrequenza Frequency Hopping Spread Spectrum e radiofrequenza Direct Sequence Spread Spectrum. La prima in banda base, le altre nella seconda delle bande ISM (2.4-2.4835 GHz).

### InfraRed PHY

L'InfraRed-PHY incluso nella bozza di Standard dell'802.11 è, come detto, in banda base. Il gruppo che si occupa della sua standardizzazione ha considerato la possibilità di aggiungere un IR-PHY di tipo *carrier-band*: mentre quello in banda base è adatto per piccoli dispositivi e per applicazioni a bassa velocità, quello in banda traslata sarebbe adatto per applicazioni ad alta velocità, dove dimensioni e consumi non sono importanti.

Per ora esiste solo la proposta in banda base per la quale sono previsti un *basic rate* a 1 Mb/s, che usa il 16-PPM (*Pulse Position Modulation*), e un *enhanced rate* a 2 Mb/s, che usa il 4-PPM.

Per quel che riguarda il formato del frame a livello PLCP viene aggiunto un preambolo (figura 11.30), con un campo (SYNC) per la sincronizzazione del ricevitore di lunghezza variabile da 57 a 73 *slot* temporali (250 ns) e con lo *start frame delimiter* (4 slot). Segue l'*header* con indicazioni sul *Data Rate* (DR), un campo della lunghezza di 32 slot (DCLA) per permettere al ricevitore di stabilire il livello DC, un campo indicante il numero di ottetti della MPDU ed infine il CRC. Gli ultimi due elementi dell'*header*, a differenza dei precedenti che hanno lunghezza temporale fissa, sono definiti in bit, quindi la loro trasmissione varia a seconda del data rate.

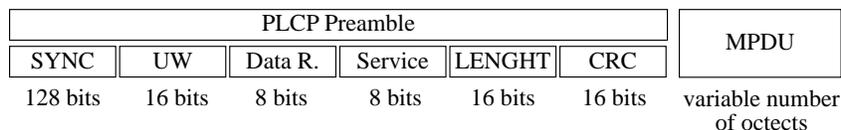


**Fig. 11.30** - IR: PLCP Frame Format.

Per quanto riguarda la trasmissione, il picco di potenza ottica deve essere di  $2W \pm 20\%$ .

### Radiofrequenza DSSS PHY

Il PLCP Frame Format della trasmissione in radiofrequenza Direct Sequence Spread Spectrum prevede un preambolo costituito da 6 campi: 128 bit di sincronizzazione, 16 bit di *Unique Word* (o *Start Frame Delimiter*), 8 bit per indicare il *Data Rate* (ogni bit rappresenta 100 Kb/s), 8 bit riservati per usi futuri, 16 bit per indicare la lunghezza in ottetti della MPDU e, infine, 16 bit di CRC (figura 11.31).



**Fig. 11.31** - DSSS: PLCP Frame Format.

Per il DS-PHY sono specificati un *Basic Access Rate* di 1 Mb/s ottenuto con modulazione DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) e un *enhanced access rate* di 2 Mb/s ottenuto con modulazione DQPSK (*Differential Quaternary Phase Shift Keying*). La sequenza di chipping è lunga 11 chip.

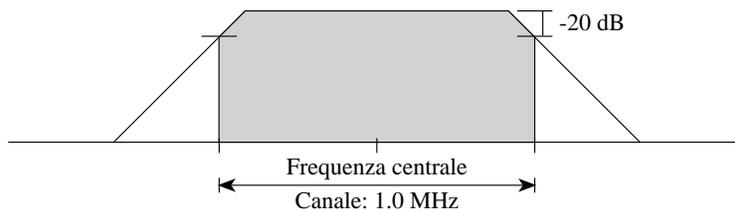
Come banda di trasmissione è stata scelta la banda ISM a 2.4 GHz in cui sono stati definiti 7 canali. Uno è specifico per il Giappone, mentre gli altri, per USA ed Europa, sono raggruppati in 3 coppie di canali, sebbene per l'Europa uno dei canali della prima coppia non possa essere utilizzato. I canali di una coppia possono operare senza interferenza. I canali di tutte e tre le coppie possono essere usati simultaneamente in un sistema tipo cellulare.

La potenza massima di trasmissione è fissata a 1 W in USA e 100 mW in Europa, mentre quella minima non deve essere inferiore ai 10 mW.

#### Radiofrequenza FHSS PHY

Il Frequency Hopping Spread Spectrum ha un data rate di 1 Mb/s con modulazione 2 level GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) e di 2 Mb/s con modulazione 4 level GFSK.

In USA e in Europa il range di frequenze utilizzabili, scelto sempre nella seconda banda ISM (2.4 GHz), va dai 2.402 GHz ai 2.482 GHz ed in esso sono individuati 79 canali per il frequency hopping di 1 MHz di ampiezza. La trasmissione deve essere tale da concentrare il 99% dell'energia all'interno del canale, ed avere la "20 dB bandwidth" inferiore a 1 MHz (figura 11.32).

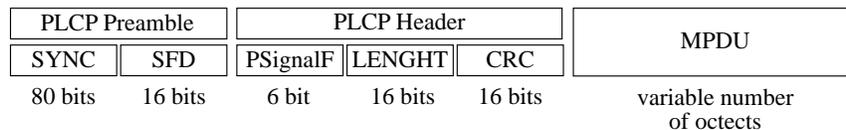


**Fig. 11.32** - Occupazione della banda del singolo canale frequency hopping.

La sequenza di *hop* viene scelta in modo tale da poter collocare diverse reti simili nella stessa area geografica e per migliorare l'efficienza totale e il throughput di ciascuna rete. Sono definiti 3 insiemi di 22 sequenze di hop ciascuno, che rispettano il criterio di un solo canale adiacente che interferisce su ciascun lato del canale desiderato.

La frequenza dell'hop è controllata dai livelli superiori al PMD: dal momento che si deve poter massimizzare l'uso di ogni intervallo di hop e lo sfruttamento dell'intera banda di trasmissione, i livelli superiori devono dire al PMD quando saltare, definendo in questo modo l'hop rate del sistema. Questo preclude la nozione di un hop rate massimo. L'hop rate minimo, invece, è controllato dalle regolamentazioni ufficiali ed è definito dal numero di canali visitati diviso il tempo totale impiegato per completare la sequenza. Per gli USA, l'FCC stabilisce che un PMD deve visitare almeno 75 canali in un periodo di 30 secondi:  $75/30 = 2.5$  hop/s minimi.

A livello PLCP nel formato del frame viene aggiunto un *preamble* e un *header*. Il primo contiene 80 bit di sincronizzazione e 16 bit di Start Frame Delimiter. Il secondo è costituito da 3 campi: 6 bit di segnalazione per usi futuri, 10 bit di indicazione del numero di ottetti della MPDU e 16 bit di CRC (figura 11.33).



**Fig. 11.33** - FHSS: PLCP Frame Format.

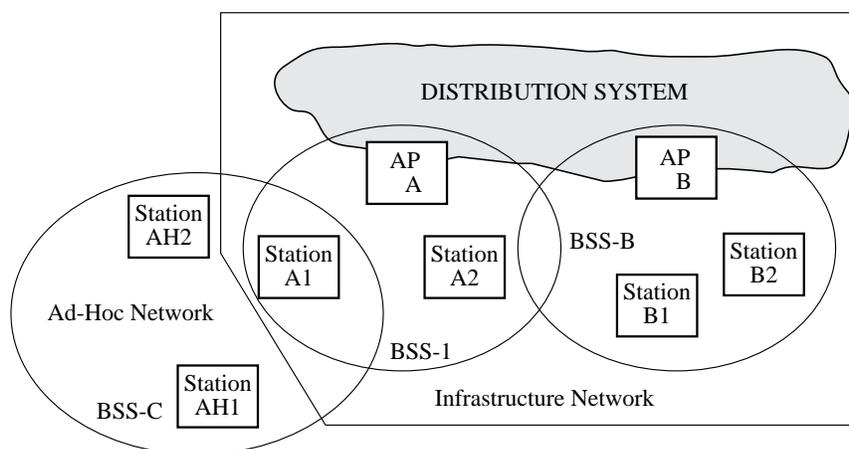
### 11.9.2 Livello MAC

Lo scopo del MAC group dell'IEEE 802.11 è quello di creare un singolo Medium Access Control per i diversi livelli fisici visti in precedenza.

Nasce così il wireless LAN MAC, che pone il suo fondamento nel DFWMAC (*Distributed Foundation Wireless MAC*), una proposta congiunta di NCR/Symbol e XIRCOM. Esso si presenta come supporto a due tipi di reti: *ad hoc LAN*, (piccola) rete di stazioni paritetiche, normalmente distribuite su una zona tale da permettere la trasmissione reciproca senza la presenza di una infrastruttura; *infrastructure network*, rete, anche vasta, caratterizzata dalla presenza di un *Distribution System*

(DS), a sua volta wireless o wired. Al distribution system si accede mediante stazioni apposite dette *Access Point* (AP, figura 11.34).

Ogni insieme di stazioni associate a formare un gruppo in cui comunicano direttamente fra di loro è detto *Basic Service Set* (BSS) caratterizzato da un identificatore, *BSS-ID*. L'insieme di più BSS, interconnessi mediante access point e un distribution system, forma un *Extended Service Set* (ESS), caratterizzato da un identificatore *ESS-ID*.



**Fig. 11.34** - Rete *ad hoc* ed *infrastructure*.

Lo standard 802.11 specifica una serie di servizi propri di ciascuna stazione ed una serie di servizi propri del Distribution System. La tabella 11.4 illustra tali servizi.

Il principale metodo di accesso dell'802.11 MAC è una funzione di coordinamento distribuita (DCF): il *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA). Esso è utilizzato per la trasmissione asincrona, e può essere affiancato da una funzione di coordinamento centralizzata (PCF) a maggior priorità per servizi time-bounded.

Categoria di servizi	Servizio	Scopo
Servizi forniti da ogni stazione	Autenticazione	Utilizzato per verificare l'identità delle stazioni che vogliono stabilire fra loro un link diretto di comunicazione. Non si tratta di autenticazione user-to-user o end-to end. L'802.11 fornisce il supporto e lascia la possibilità di implementare protocolli di autenticazione diversi.
	Associazione	Servizio mediante il quale una stazione entra a far parte di un BSS (deve essere preceduto dall'autenticazione). Nel caso di infrastructure network tale servizio è fornito unicamente dall'Access Point. In tale maniera il Distribution System sa a quale AP far riferimento per trasmettere un frame alla stazione.
	Disassociazione	Servizio mediante il quale si termina una precedente associazione. Non è una richiesta ma è una notifica, quindi non può essere rifiutata.
	Privacy	Utilizzato per stabilire un opportuno algoritmo per criptare i messaggi.
Servizi forniti dal Distribution System	Distribuzione	Servizio mediante il quale, utilizzando le informazioni di associazione, le MSDU vengono distribuite all'interno di un DS. Se ad es. la stazione A1 (figura 11.34) deve trasmettere un messaggio a B1, il percorso seguito è: da A1 all'AP-A, dall'AP-A al DS, dal DS all'AP-B, dall'AP-B a B1. L'AP che passa il messaggio dal BSS al DS viene detto "input AP". L'AP che passa il messaggio dal DS al BSS viene detto "output AP". Se A1 deve trasmettere ad A2, "input AP" e "output AP" coincidono e corrispondono ad A. L'802.11 non specifica la modalità di trasmissione nel DS.
	Integrazione	Permette lo scambio di MSDU tra DS ed una rete esistente. Viene svolto da una stazione particolare detta <i>portal</i> . L'802.11 non ne specifica l'implementazione.
	Riassociazione	Permette il trasferimento di una stazione da un BSS ad un altro (all'interno di un medesimo ESS), mediante il passaggio dall'associazione della stazione con l'AP del vecchio BSS a quella con l'AP del nuovo. Il servizio di riassociazione è quindi necessario per permettere la mobilità delle stazioni al di fuori del BSS.

**Tab. 11.4** - Specifiche dei servizi.

### 11.9.3 MAC: Distributed Coordination Function

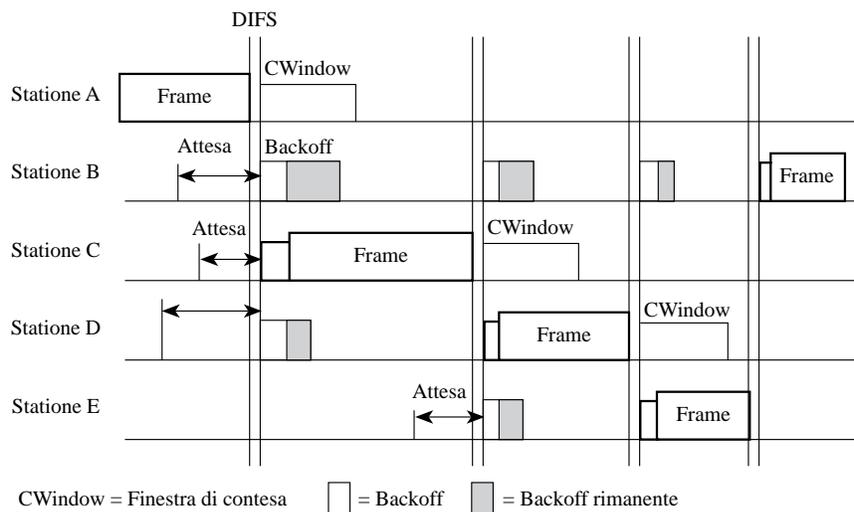
Il mezzo fisico wireless a differenza di quello wired non permette un facile Carrier Sense ed una facile Collision Detection. È possibile ad esempio che due stazioni facenti parte di una medesima infrastructure network riescano a comuni-

care con l'AP senza "sentirsi" fra di loro (problema del terminale nascosto). Il metodo di accesso scelto, il CSMA/CA, cerca una soluzione per tali problemi.

Una qualunque stazione che vuole trasmettere per prima cosa verifica se un'altra stazione sta trasmettendo (Carrier Sense), e se riconosce la presenza di trasmissioni si mette in attesa. Quando il mezzo si libera attende che rimanga tale per un intervallo di tempo minimo (*Distributed InterFrame Space: DIFS*), dopo di che inizia una fase di contesa per l'utilizzo del mezzo (*contention window*): la stazione sceglie un intervallo casuale (*backoff*) al termine del quale, se il mezzo è ancora libero, inizia la trasmissione. L'intervallo di backoff serve a ridurre la probabilità di collisione quando, alla fine di una trasmissione, ci sono molte stazioni in attesa che il mezzo si liberi.

L'intervallo di backoff è scelto tenendo conto di un parametro che oscilla tra un valore massimo ed uno minimo, raddoppiando ogni volta che si deve ripetere la trasmissione di un frame. In questo modo si allunga la finestra di contesa riducendo la probabilità di collisione nel caso di carico elevato della rete.

Quando una stazione, in attesa che termini l'intervallo di backoff, sente che il mezzo non è più libero, congela il tempo di backoff rimasto. Quando poi rileva il mezzo libero per un tempo pari ad un DIFS, non sceglie un nuovo intervallo di attesa, ma termina il precedente (figura 11.35). In questo modo si cerca di evitare la "starvation".



**Fig. 11.35** - Procedura di backoff.

Comunque, il meccanismo di backoff non esclude la possibilità di trasmissioni contemporanee, e quindi di collisioni. Per realizzare la "collision avoidance" lo standard prevede un protocollo *Request To Send (RTS) - Clear To Send (CTS)*. Quando una stazione trova libero il mezzo allo scadere del tempo di backoff, non invia subito il dato, bensì un frame di RTS. Se riceve dal destinatario un frame di risposta CTS, allora procede all'invio del messaggio, altrimenti suppone che si sia verificata una collisione e si mette in attesa per riprovare.

Per evitare che durante i messaggi di protocollo si entri nuovamente in una contention window, il tempo di attesa per i messaggi di risposta e per l'invio dei dati dopo il CTS è più corto del DIFS; tale tempo è detto *Short InterFrame Space (SIFS)*. La stazione destinataria, se la trasmissione ha successo, invia poi un messaggio di ACK. La figura 11.36 illustra la relazione tra DIFS e SIFS in corrispondenza di un ACK.

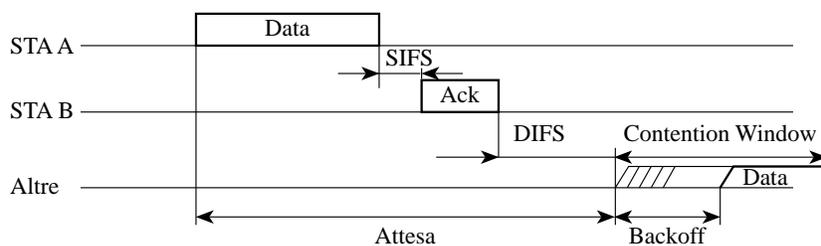


Fig. 11.36 - SIFS e DIFS in una trasmissione DATA-ACK.

Quando è in corso una trasmissione secondo il protocollo RTS/CTS, tutte le stazioni non interessate dovrebbero "sentire" il mezzo occupato. Tuttavia, a causa della bassa affidabilità della trasmissione, una stazione potrebbe non ricevere i messaggi e iniziare una trasmissione generando una collisione. Per prevenire questa eventualità, il protocollo realizza anche un "carrier sense virtuale". I messaggi RTS e CTS contengono informazioni sulla durata della trasmissione successiva, che le stazioni non interessate alla ricezione caricano in un registro detto *Net Allocation Vector (NAV)*. Tale registro viene via via decrementato e ogni stazione ne attenderà l'azzeramento prima di cominciare la procedura di trasmissione (figura 11.37). Dal momento che il CTS è trasmesso dalla stazione di destinazione, le informazioni sulla durata della trasmissione raggiungono sia le stazioni vicine alla destinazione che quelle vicine alla sorgente.



infrastruttura. Una PCF non è in grado di sovrapporsi con un'altra PCF sul medesimo canale trasmissivo.

La PCF usa una struttura a *Superframe* (SF), dove si alternano il periodo di contesa, in cui è attiva la DCF, e il periodo senza contesa (*contention free*), in cui è attiva la PCF (figura 11.38). La lunghezza del Superframe è un parametro che può dipendere dai servizi supportati e dal livello fisico; nel caso di frequency hopping, ad esempio, deve essere un sottomultiplo intero del dwell time. La massima durata del periodo contention free è pari alla lunghezza del Superframe meno la lunghezza minima del contention period, che è pari a quella massima di un frame.

La PCF coesiste con la DCF disabilitandola temporaneamente grazie ad una scelta opportuna dei tempi per cui si deve attendere che il mezzo sia libero per poter trasmettere.

Il point coordinator (PC) dà inizio al periodo di trasmissione senza contesa. Il traffico diretto dal PC ad una stazione associata viene detto *CF-Down* mentre il traffico in direzione opposta viene detto *CF-Up*. Il PC diventa padrone del mezzo trasmissivo mediante un accesso prioritario. Infatti, all'inizio del Superframe, prima di iniziare una trasmissione CF-Down, attende che il mezzo sia libero per un periodo pari a un *Point InterFrame Space (PIFS)*, più grande di un Short IFS ma minore del Distributed IFS. In tale maniera anticipa la normale trasmissione delle stazioni.

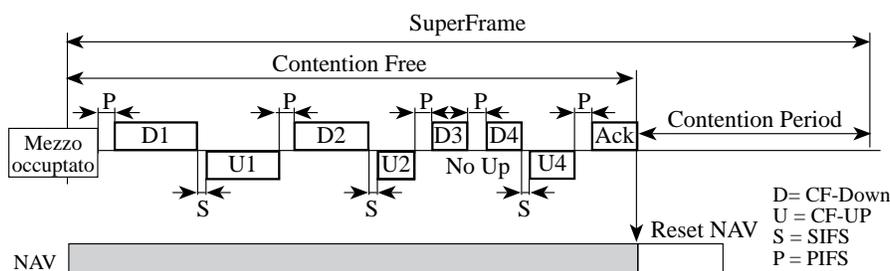


Fig. 11.38 - Struttura a Superframe e protocollo PCF.

Il PC coordina l'accesso al mezzo mediante il *polling*, mantenendo una tabella di quante stazioni ad esso associate hanno fatto richiesta del servizio contention free. Per ognuna di esse esegue un poll ed attende la trasmissione, che deve avvenire dopo un Short IFS altrimenti esegue il poll di un'altra stazione. Quando una stazione non trasmette per un lungo periodo viene cancellata dalla polling list.

Nel periodo contention free non vi sono frame di acknowledge. L'acknowledge è trasmesso settando un bit opportuno nel frame successivo. Ad esempio in figura 11.38 U1 contiene l'ack per D1 e così via.

Per diminuire il rischio di collisione, ad ogni inizio di Superframe ogni stazione carica nel Net Allocation Vector la lunghezza massima del periodo Contention Free. Al termine di questo il Point Coordination resetta il NAV di tutte le stazioni con la trasmissione di un frame opportuno.

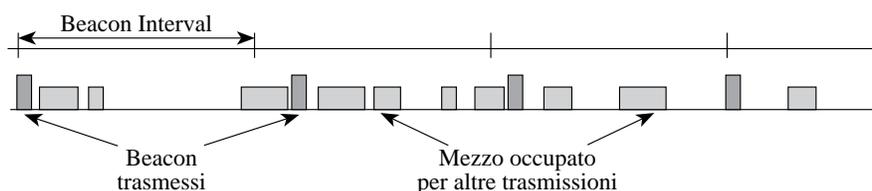
### 11.9.5 MAC: sincronizzazione e power management

È importante che le stazioni di un medesimo BSS siano sincronizzate per permettere operazioni di *power management*, temporizzazione del Superframe, sincronizzazione nel frequency hopping.

Ogni stazione ha un timer interno che conta in microsecondi con modulo pari al valore del parametro TSFTIMERMOD; il timer delle stazioni di uno stesso BSS viene mantenuto sincronizzato mediante la *Time Synchronization Function* (TSF).

Questo non è in contrasto con il metodo di accesso CSMA in quanto non si tratta di protocollo sincrono. La temporizzazione di determinati eventi non implica, in questo caso, lo stabilire il tempo preciso in cui essi avvengono, ma il tempo minimo, in quanto ci possono essere dei ritardi.

Nel caso di reti infrastrutture l'Access Point è il *timing master*. Esso invia periodicamente un frame opportuno di sincronizzazione, detto *beacon*. Ogni beacon contiene, oltre all'ESS-ID e al BSS-ID, il *timestamp* (31 bit) dell'AP all'esatto momento dell'inizio della trasmissione, e la lunghezza dell'intervallo tra due beacon (24 bit). Tale intervallo è fisso, ossia non è misurato relativamente alla trasmissione del beacon precedente: se la trasmissione di un beacon è ritardata perchè il mezzo è occupato, quelli successivi non ne risentono (figura 11.39).



**Fig. 11.39** - Trasmissione di beacon.

Ogni stazione che riceve un beacon assume come proprio il valore del timer dell'AP.

Nel caso di reti "ad hoc", le stazioni di un medesimo BSS che sono sincronizzate hanno un opportuno flag settato. Ogni stazione sincronizzata concorre alla trasmissione dei beacon periodici. La procedura seguita è simile a quella di

backoff: in pratica il beacon viene trasmesso dalla stazione che ha scelto casualmente l'intervallo di attesa di trasmissione più breve.

Nel beacon, oltre al timestamp della stazione trasmittente e alla lunghezza del beacon interval, è contenuto un campo indicante il "peso" della stazione (*weight*). Hanno peso maggiore le stazioni che fanno parte da più tempo del BSS, e sono in grado di sentire un maggior numero di stazioni. Quando una stazione non ancora sincronizzata riceve un beacon, si sincronizza copiando il timestamp. Invece quando una stazione già sincronizzata riceve un beacon calcola la differenza tra il timestamp e il proprio timer. Se è maggiore di una certa soglia allora vuol dire che all'interno del BSS si sono formati due gruppi sincronizzati diversamente ed è, quindi, necessario iniziare una opportuna procedura di riunificazione; altrimenti aggiusta il proprio timer di più o di meno a seconda del peso della stazione che ha trasmesso il beacon.

Una stazione che vuole entrare a far parte di un certo BSS deve sintonizzarsi sul canale opportuno e sincronizzarsi con le altre stazioni appartenenti a quel BSS. Questo è ottenuto mediante lo *scanning* di tutti i canali per un certo periodo di tempo fino a quando non vengono ricevuti messaggi da parte dell'AP o delle altre stazioni.

Sono possibili due tipi di scanning: *passive scanning* e *active scanning*.

Nel *passive scanning* le reti vengono individuate semplicemente mediante l'ascolto. La stazione scandisce tutti i diversi canali rimanendo in ascolto un certo periodo di tempo in ciascuno di essi, in attesa di un beacon. Nel beacon sono contenute le informazioni di BSS-ID e *timestamp* necessarie alla sincronizzazione. Questo metodo di scanning è efficiente se il BEACON\_INTERVAL è relativamente breve e il PHY supporta pochi canali di trasmissione.

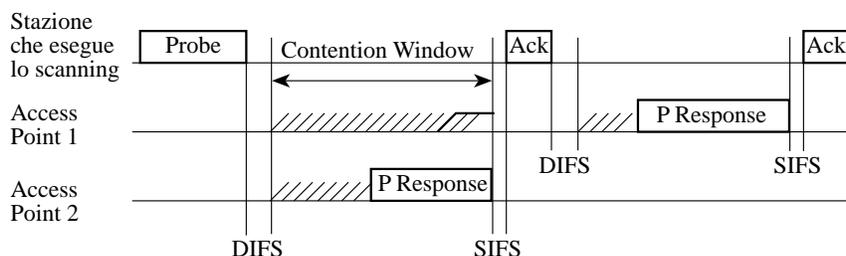
Nell'*active scanning* la stazione manda una *probe request*, cioè un frame broadcast contenente l'identificatore della rete cercata, ossia l'ESS-ID e uno specifico o un qualunque BSS-ID. Rimane poi in attesa per un certo periodo di tempo di un *probe response*. Se non ha avuto risposta passa al canale successivo e così via. È possibile che in un canale siano ricevuti più *probe response*.

Nel caso delle reti infrastructure, è l'AP incaricato di rispondere al *probe request*. Se su un medesimo canale sono in ascolto più AP interessati alla richiesta, tutti manderanno il proprio *probe response* (figura 11.40).

Nel caso di reti "ad hoc" ci si comporta come nella trasmissione del beacon: una sola stazione manderà il *probe response*.

Particolarmente curato nel wireless MAC è l'aspetto riguardante il *power management*: è importante che in una rete wireless, dove molte stazioni possono consistere in computer portatili, i consumi possano essere ridotti. L'idea è quella di permettere di spegnere i transceiver il più a lungo possibile, bufferizzando i frame prima di trasmetterli e avvisando la stazione ricevente della presenza di

traffico in attesa mediante brevi messaggi periodici (*Traffic Indication Map: TIM*). Ai ricevitori è sufficiente ascoltare i TIM fino a che non viene annunciata una trasmissione a loro indirizzata.



**Fig. 11.40** - Active Scanning.

I transceiver delle stazioni possono essere in tre stati differenti: *transmit* (in trasmissione), *awake* (ricevitore in attesa), *doze* (trasmettitore e ricevitore spenti: consumo minimo). Il passaggio tra tali stati è regolato in maniera differente a seconda della modalità di power management scelta dalla stazione.

Nel caso di reti infrastructure particolari funzioni di power management sono svolte dall'AP. Esso mantiene lo stato delle stazioni ad esso associate, invia i TIM e bufferizza i frame diretti alle stazioni in power-save mode, o tutti i frame broadcast e multicast nel caso in cui nel BSS vi siano stazioni in power save mode.

Le stazioni possono essere in quattro *power management mode*:

- *CAM (Continuous Active Mode)*: transceiver sempre attivo; la stazione può trasmettere e ricevere in ogni momento.
- *TAM (Temporary Active Mode)*: come CAM solo per certi periodi.
- *PSP (Power Save Polling)*: la stazione ascolta i TIM, se vi è indicazione di traffico ad essa indirizzato esegue il polling dell'AP per ricevere i frame. Non è necessario che ascolti tutti i TIM.
- *PSNP (Power Save Non Polling)*: la stazione ascolta TIM particolari detti *Delivery TIM*, a seguito dei quali l'AP trasmette tutti i frame diretti alle stazioni PSNP senza bisogno del polling. È quindi necessario che la stazione ascolti tutti i TIM.

I TIM vengono trasmessi ad intervalli fissi in maniera che sia sufficiente alle stazioni in power save mode di passare solo periodicamente dallo stato doze a quello awake (figura 11.41). I TIM sono trasmessi ogni 20-50 ms, mentre i DTIM ogni 50-200 ms.

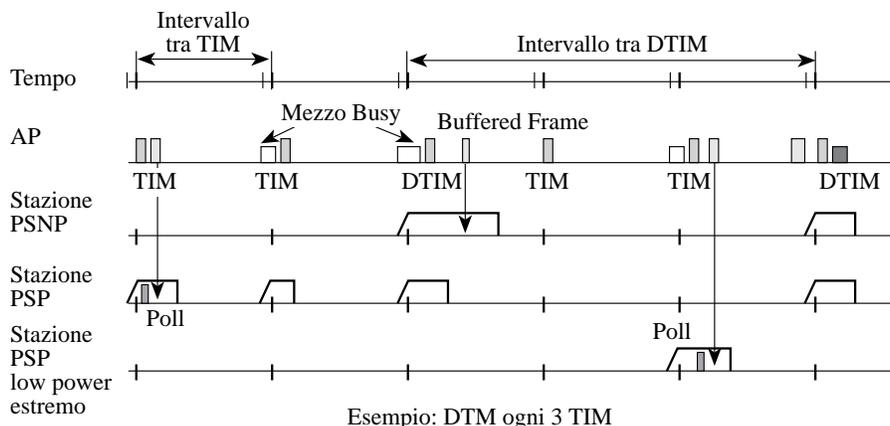


Fig. 11.41 - Power management in una rete infrastructure.

I frame broadcast e multicast sono trasmessi dall'AP immediatamente dopo aver avvisato le stazioni nei DTIM. Se una stazione non vuole perdere la trasmissione broad/multicast è necessario che ascolti tutti i DTIM.

Nel caso di reti "ad hoc" sono possibili solo il Continuous Active Mode e il Power Save Non Polling. Ogni stazione monitorizza lo stato delle altre stazioni. Quando una stazione deve trasmettere ad un'altra in power save mode, la avvisa mediante un "ad hoc" TIM. Gli "ad hoc" TIM vengono trasmessi in un intervallo detto *wake-up window*, in cui tutte le stazioni sono *awake*. La wake-up window si ripete ogni intervallo di beacon (figura 11.42).

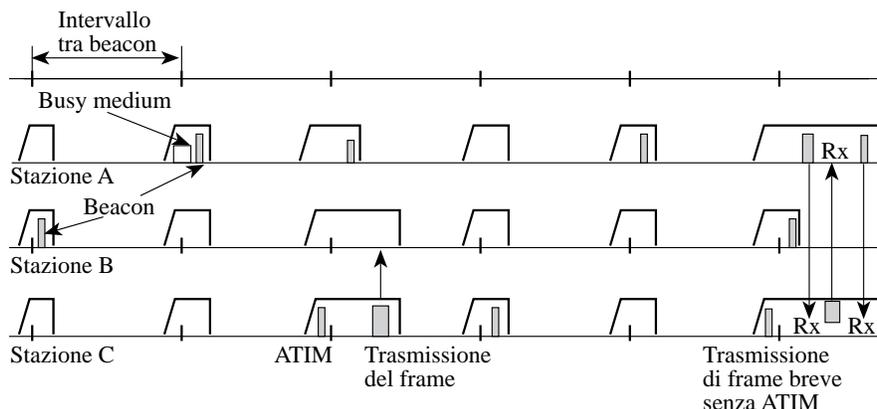


Fig. 11.42 - Power Management in una rete "ad hoc".

## BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Cunningham, M. Spratt, S. Panditi, P. Colon, "Souped-up Ethernet", session at Interop 93, Parigi (F), October 1993.
- [2] Chipcom, "Online Ethernet Interconnection Module", doc. num. 17-00323-1, "StarBridge Turbo Switch", doc. num. 29-00138, "Galactica Network Switching Hub", doc. num. 29-00137, Chipcom Corp., Southborough MA (USA), 1993.
- [3] SynOptics, "Ethernet solutions", P/N BR505-334US-A, "Product overview", P/N BR505-240US-C, SynOptics Communications Inc., Santa Clara, CA (USA), 1993.
- [4] Fibronix, "FX 8610 Workstation Server operation manual", Fibronix International Inc. Hyannis MA (USA), October 1991.
- [5] Nicolas Baran, "Wireless Networking", BYTE, Vol 17, No 4, April 1992.
- [6] John P. Mello Jr. and Peter Wayner, "Wireless Mobile Communications", BYTE, Vol 18 No 2, February 1993.
- [7] Peter Wayner, "Stretching the Ether", BYTE, Vol 18, No 2, February 1993.
- [8] Angela Gunn, "Connecting over the Airwaves", PC Magazine, Vol 12, No 14, August 1993.
- [9] Gary Berline and Ed Perratore, "Wireless LANs", PC Magazine, Vol 11, No 3, February 11 1992.
- [10] Victor Hayes, "Radio-LAN Standardization Efforts", IEEE Proc. on Wireless LAN Implementation, September 17 - 18 1992.
- [11] David F. Bantz and Frédéric J. Bauchot, "Wireless LAN Design Alternatives", IEEE Network, March/April 1994.
- [12] Draft Standard IEEE 802.10.
- [13] P802.11 Draft 20b3, November 1994, DS2972, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Specifications".
- [14] P802.12, D7, December 1994, DS4051, "IEEE Draft Standard for Demand-Priority Access Method, Physical Layer and Repeater Specifications for 100 Mb/s Operation".
- [15] P802.3u/D2, July 1994, DS04127, "MAC Parameters, Physical Layer, Medium Attachment Units and Repeater for 100 Mb/s Operation (version 1.0)".