

Università degli Studi di Trento - Facoltà di Scienze

# Gestione di QoS nelle Reti Wireless IEEE 802.11

Michele Zanolli, Renato Lo Cigno<sup>1</sup>

Aggiornato a luglio 2004

## Sommario

In questo documento verranno presentate le principali innovazioni proposte dal gruppo di lavoro IEEE 802.11e per l'introduzione dei meccanismi di gestione della *Quality of Service* (QoS) nelle reti locali wireless (WLAN). In particolare verrà descritto il funzionamento delle due funzioni di coordinamento a livello MAC *Enhanced Distributed Coordination Function* (EDCF) e *Hybrid Coordination Function* (HCF), che presto andranno a costituire lo standard IEEE 802.11e.

---

<sup>1</sup>Queste dispense sono il frutto del progetto di esame sviluppato nell'AA 2004/2005 da Michele Zanolli, a cui va ascritto l'intero lavoro. La funzione di Renato Lo Cigno è stata solamente di revisione e controllo dei contenuti e della forma.

# Indice

<b>Acronimi e Abbreviazioni</b>	<b>2</b>
<b>1 Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2 QoS in Internet</b>	<b>4</b>
2.1 Interazione tra QoS in Internet e QoS su interfaccia IEEE 802.11	5
<b>3 DCF e suoi limiti</b>	<b>6</b>
<b>4 Supporto alla QoS con IEEE 802.11e</b>	<b>7</b>
4.1 Enhanced Distributed Coordination Function . . . . .	8
4.2 Hybrid Coordination Function . . . . .	11
4.2.1 HCF Controlled Contention . . . . .	12
4.3 Caratteristiche opzionali IEEE 802.11e . . . . .	13
4.3.1 Contention-Free Bursts . . . . .	13
4.3.2 Block Acknowledgements . . . . .	13
4.3.3 Direct Link Protocol . . . . .	14
4.3.4 Automatic Power Save Delivery . . . . .	15
<b>5 Conclusioni</b>	<b>15</b>
<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>16</b>

## Elenco delle figure

1	Struttura di rete end-to-end con QoS . . . . .	6
2	Meccanismo base di accesso DCF . . . . .	7
3	Quattro categorie d'accesso (AC) per EDCF . . . . .	9
4	Meccanismo base di accesso EDCF . . . . .	10
5	Esempio di superframe IEEE 802.11e. Polled TXOP si trovano sia nella fase CP che nella fase CFP . . . . .	11
6	Meccanismo Block ACK immediato . . . . .	14
7	Meccanismo Block ACK ritardato . . . . .	14
8	Meccanismo DLP per creare una connessione diretta . . . . .	15

## Acronimi e Abbreviazioni

AC	Access Category
ACK	Acknowledgement
AIFS	Arbitration InterFrame Space
AP	Access Point
APSD	Automatic Power Save Delivery
BP	BackOff
CA	Collision Avoidance
CD	Collision Detection
CFB	Contention-Free Burst
CFP	Contention-Free Period
CP	Contention Period
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CW	Contention Window
CW <sub>max</sub>	Contention Window Maximum
CW <sub>min</sub>	Contention Window Minimum
DCF	Distributed Coordination Function
DIFS	Distributed InterFrame Space
DLP	Direct Link Protocol
EDCF	Enhanced Distributed Coordination Function
HC	Hybrid Coordinator
HCF	Hybrid Coordination Function
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
MSDU	MAC Service Data Unit
PC	Point Coordinator
PCF	Point Coordination Function
QAP	QoS Access Point
QBSS	QoS Basic Service Set
QoS	Quality of Service
QSTA	QoS Enhanced Station
RSVP	Resource ReSerVation Protocol
TCID	Traffic Category Identification
TXOP	Transmission Opportunity
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network

# 1 Introduzione

Le tecnologie per la comunicazione “senza fili” (*wireless*) si stanno diffondendo rapidamente in tutto il mondo. Esse sono utilizzate sia per realizzare reti locali (LAN) di computer mobili, sia per la comunicazione tra dispositivi di uso comune come telefoni, macchine fotografiche, ecc.

Le reti locali senza fili sono dette *Wireless Local Area Network* (WLAN) e vengono utilizzate per fornire connettività ad utenti mobili con l’obiettivo di raggiungere prestazioni paragonabili alle soluzioni via cavo che si trovano sul mercato. Le principali tecnologie wireless si basano sulle specifiche del protocollo *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) 802.11.

Una WLAN è costituita da un canale di comunicazione wireless condiviso in grado di trasferire informazioni fra tutte le stazioni in una determinata area in grado di riceverle. Le principali caratteristiche richieste di una WLAN sono semplicità, scalabilità e robustezza di fronte al frequente verificarsi di errori di trasmissione, dovuti essenzialmente alla natura senza fili del canale stesso.

Le reti wireless IEEE 802.11 possono essere configurate in due differenti modi: *ad hoc* o *infrastruttura*. Nella modalità *ad hoc*, tutte le stazioni wireless all’interno di una stessa area hanno la medesima importanza e possono comunicare direttamente l’una con l’altra, mentre nel caso di un’infrastruttura è necessaria la presenza di un dispositivo centrale fisso detto *Access Point* (AP) con il compito di fornire la connessione a tutte le altre stazioni. In questo caso ciascuna stazione può comunicare con le altre solo passando attraverso l’AP.

IEEE 802.11 attualmente include una famiglia di standard. Quello originale [1] consente velocità di trasmissione fino a 2Mb/s sulla frequenza ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) di 2.4 GHz. Tra gli altri che si sono susseguiti nel tempo ricordiamo IEEE 802.11b [2], che estende la velocità di trasmissione fino a 11 Mb/s sempre sulla frequenza ISM e IEEE 802.11a [3], una versione ad alta velocità che opera sulla frequenza UNII (*Unlicensed National Information Infrastructure*) di 5 GHz. Quest’ultimo standard può raggiungere velocità di trasmissione fino a 54 Mb/s ma non è compatibile con la versione più diffusa 802.11b.

L’architettura dello standard IEEE 802.11 include la definizione del livello MAC (*Medium Access Control*) e del livello fisico (PHY). Per quanto riguarda il livello MAC sono stati definiti due meccanismi di accesso al canale, detti funzioni di coordinamento: *Distributed Coordination Function* (DCF) e *Point Coordination Function* (PCF). Essi determinano i momenti in cui una stazione può trasmettere o deve essere pronta per ricevere dati.

DCF è il meccanismo obbligatorio e quindi il più usato, è conosciuto anche come servizio *best effort* e si basa sulla tecnica CSMA (*Carrier Sense*

*Multiple Access*). La regola base di CSMA è *listen-before-talk*; attraverso le informazioni provenienti dal livello fisico, una stazione è in grado di accorgersi se il canale è libero e può quindi decidere di trasmettere dati. A differenza delle reti cablate, che implementano *Collision Detection* (CSMA/CD), la natura del canale wireless preclude la possibilità di utilizzare meccanismi affidabili di rilevamento di collisioni. Per questo nelle WLAN si utilizza un meccanismo detto *Collision Avoidance* (CSMA/CA), per ridurre al minimo la probabilità che si verifichino collisioni. Per una spiegazione dettagliata del meccanismo DCF ed i suoi limiti si rimanda alla sezione 3.

PCF è una funzione opzionale che definisce regole di accesso al canale differenti, basate sul *polling* delle stazioni da parte di un *Point Coordinator* (PC) che risiede sull'AP. In questo caso è l'AP che mantiene il controllo della rete e decide periodicamente a quale stazione assegnare il canale in base alla sua *polling list*. Poiché PCF è un meccanismo opzionale e poco implementato nella realtà, in questo documento non verrà approfondito ulteriormente.

## 2 QoS in Internet

Negli ultimi anni sono aumentate enormemente sia la diffusione che la larghezza di banda delle reti IP. Questa disponibilità di risorse ha favorito l'incremento della richiesta di applicazioni distribuite multimediali in diversi ambiti, come ad esempio l'intrattenimento, l'istruzione ed il telelavoro. Anche strumenti di uso comune come il telefono stanno migrando verso reti IP a commutazione di pacchetto.

La trasmissione di segnali vocali e video, che devono essere riprodotti immediatamente dall'applicazione ricevente, è molto sensibile alla perdita di pacchetti e richiede che vengano rispettati precisi vincoli temporali. Nella maggior parte delle reti IP attualmente utilizzate non viene fatta distinzione tra dati in transito e non c'è modo di garantire la consegna secondo i vincoli richiesti del traffico multimediale.

Per quanto riguarda la letteratura, al giorno d'oggi sono documentati alcuni meccanismi per differenziare il trattamento dei dati che viaggiano in Internet e quindi per supportare traffico sensibile alla QoS. Le due soluzioni più importanti sono *Integrated Services* (IntServ) e *Differentiated Services* (DiffServ). IntServ fornisce garanzie di servizio a singoli flussi di traffico, individuati dall'insieme di pacchetti che presentano lo stesso mittente e lo stesso destinatario. Si basa sul protocollo di segnalazione RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*) per allocare risorse su ogni *hop* (router IP) prima che avvenga la trasmissione di dati. DiffServ, al contrario, non si basa su segnalazioni di singoli flussi e quindi non necessita l'allocazione a priori di risorse

di rete. Questo approccio definisce differenti livelli di servizio da assegnare a differenti gruppi di utenti, distribuendo così tutto il traffico in classi fisse con parametri differenti di QoS. Ciascun pacchetto che viaggia all'interno di un dominio DiffServ è marcato come appartenente ad una particolare classe di servizio e sarà quindi trattato con il livello di priorità che gli spetta.

Anche per quanto riguarda le WLAN si sta assistendo all'aumento progressivo e continuo del loro utilizzo in diversi ambiti quali quello privato (nelle case), le aziende e le università e anche in questo caso è sorta la necessità di gestire nuove caratteristiche quali il supporto di QoS. A questo proposito un gruppo di lavoro all'interno di IEEE 802.11 sta lavorando per pubblicare a breve un nuovo standard, denominato IEEE 802.11e, con l'obiettivo di estendere il livello MAC originale al supporto di traffico con QoS.

## 2.1 Interazione tra QoS in Internet e QoS su interfaccia IEEE 802.11

Da un punto di vista della rete ad alto livello, fornire QoS significa essere in grado di controllare il traffico in modo da permettere il corretto funzionamento delle applicazioni che richiedono garanzia di determinati parametri, quali *throughput*, *delay*, *loss* e *jitter*. Tali parametri di traffico sono specificati a livello end-to-end; poiché i dati, durante il loro percorso tra due punti, possono attraversare segmenti di rete costituiti da architetture differenti con gestioni di QoS differenti, ognuna di esse dovrà trattare in maniera opportuna le richieste di QoS. Il problema principale da risolvere è quindi quello di tradurre in maniera efficace e funzionale i parametri di QoS tra le varie architetture. Un esempio tipico che può verificarsi è rappresentato in Figura 1: una stazione wireless collegata alla rete fissa tramite un AP comunica con un Server collegato ad Internet, generando del traffico appartenente ad una particolare classe di DiffServ. I principali segmenti di rete attraversati sono i seguenti:

- *WLAN*: interfaccia radio tra Stazione e AP con meccanismo di QoS definito da IEEE 802.11e;
- *LAN Ethernet*: protocollo Ethernet tra AP e Gateway con meccanismo di QoS definito da IEEE 802.1D/Q;
- *WAN*: connessione del Gateway con il Server mediante accesso ad Internet via Service Provider. In questo caso i router IP attraversati dai dati applicano direttamente i parametri di DiffServ.

Le tecnologie IEEE 802.11e ed IEEE 802.1D/Q non sono domini DiffServ poiché gestiscono la QoS a livello MAC. È necessario introdurre quindi una

metodologia per tradurre DiffServ anche a livello di LAN e WLAN [6], ma finché le differenti tecniche di QoS non saranno coordinate da specifiche comuni, non si sarà mai in grado di gestire in maniera opportuna ambienti di QoS end-to-end.

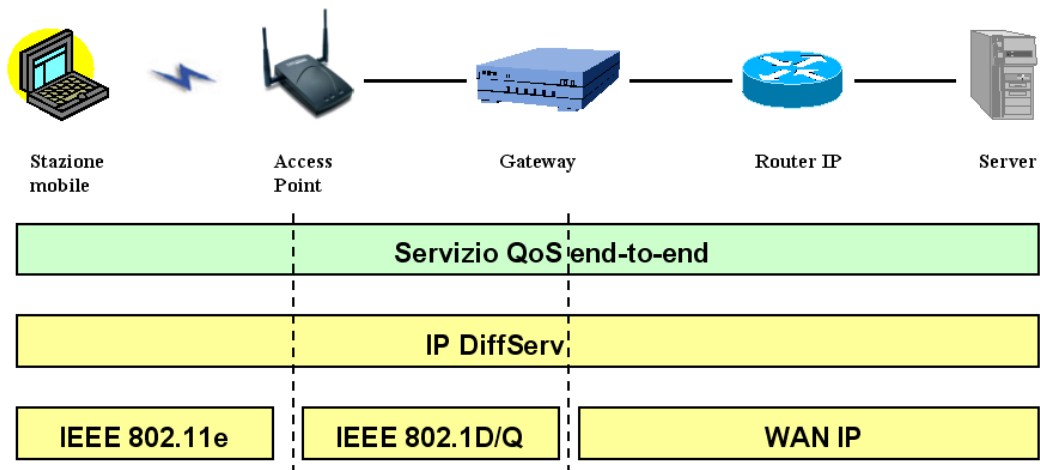


Figura 1: Struttura di rete end-to-end con QoS

### 3 DCF e suoi limiti

DCF è il meccanismo base del protocollo MAC IEEE 802.11 che si basa, come detto, su CSMA/CA. Ciascuna stazione può inviare pacchetti detti *MAC Service Data Unit* (MSDU) dopo aver verificato che sul canale wireless non vi siano altre trasmissioni in corso. Tuttavia, se due stazioni cominciano a trasmettere nello stesso istante perché entrambe avevano trovato il canale libero, avviene una collisione. IEEE 802.11 introduce il meccanismo *Collision Avoidance* (CA) per ridurre la probabilità che si verifichino collisioni, detto procedura di *backoff*. Quando una MSDU esce dalla coda deve attendere finché non si libera il canale e successivamente aspettare per un intervallo di tempo fissato per evitare potenziali collisioni con altri nodi di rete. Questo tempo di attesa fissato è detto *Distributed InterFrame Space* (DIFS). Quando il canale rimane libero per il tempo DIFS, viene iniziato un conto alla rovescia di durata casuale detto backoff (BO), al termine del quale viene trasmesso il pacchetto. Se durante il conto alla rovescia il canale diventa nuovamente occupato, viene sospeso temporaneamente il BO, che riprende dall'ultimo valore calcolato quando il canale ritorna libero per un tempo maggiore di

DIFS. In questo modo stazioni che avevano scelto un BO più lungo di altre, col passare del tempo si vedono aumentare la priorità di accedere al canale.

Ogni dispositivo che utilizza il canale wireless possiede un valore chiamato *Contention Window* (CW), utilizzato per la scelta del BO. Il valore iniziale del BO è assegnato scegliendo in modo pseudo-casuale un numero intero nell'intervallo  $[0, CW]$ . Se il pacchetto non viene trasmesso con successo viene calcolato un nuovo BO utilizzando il valore di CW aumentato, per diminuire la probabilità di collisione con altre stazioni. Il valore iniziale di CW è indicato come  $CW_{min}$ , mentre il limite massimo che può assumere in caso di insuccessi è definito da  $CW_{max}$ . Nel caso in cui un pacchetto arriva in una coda vuota e il canale è libero da un tempo maggiore di DIFS, il pacchetto viene inviato immediatamente. Il meccanismo del controllo di accesso del canale è schematizzato in Figura 2.

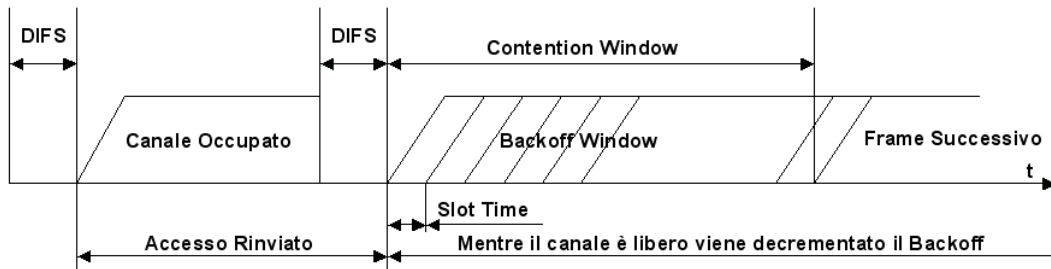


Figura 2: Meccanismo base di accesso DCF

Come si può intuire dal suo funzionamento, DCF non possiede alcun meccanismo per supportare la QoS. Tutto il traffico è trattato in maniera *best-effort* e tutte le stazioni che si contendono il canale sono trattate con la stessa priorità. Questo causa asimmetria tra le quantità di traffico in *uplink* e *downlink*, in quanto l'AP ha la stessa priorità delle altre stazioni, sebbene la sua richiesta di *throughput* sia molto più elevata. Non vi è inoltre alcuna differenziazione di flussi di dati e più aumenta il numero di stazioni più aumenta la probabilità di collisioni, con conseguenti frequenti ritrasmissioni e disponibilità del canale sempre minore per tutti, indistintamente.

## 4 Supporto alla QoS con IEEE 802.11e

Con IEEE 802.11e vengono riviste le funzioni di coordinamento originali e vengono introdotte nuove funzionalità a livello MAC e nuove terminologie: una stazione e un AP che operano con il protocollo IEEE 802.11e vengono detti, rispettivamente, *QoS Enhanced Station* (QSTA) e *QoS Access*

*Point* (QAP). QSTA e QAP operano all'interno di un *QoS Basic Service Set* (QBSS).

Le due funzioni di coordinamento originali, DCF e PCF vengono sostituite con una unica funzione detta *Hybrid Coordination Function* (HCF), la quale però mantiene compatibilità all'indietro. HCF include in un unico protocollo due meccanismi differenti di accesso al canale: uno basato sulla contesa e uno controllato senza contesa basato sul *polling*. All'interno di uno stesso QBSS è necessaria inoltre la presenza di un controllore centralizzato per tutte le altre stazioni, detto *Hybrid Coordinator* (HC), che normalmente risiede nel QAP. Un HC ha il compito di suddividere il tempo in due fasi, che si alternano continuamente, dette *Contention Period* (CP), in cui le stazioni che vogliono trasmettere si contendono il canale e *Contention-Free Period* (CFP), in cui l'HC stabilisce chi può utilizzare il canale e per quanto tempo.

## 4.1 Enhanced Distributed Coordination Function

L'*Enhanced Distributed Coordination Function* (EDCF) è una parte costituente di HCF che fornisce accesso differenziato e distribuito al canale basato sulla contesa. Come si può intuire dal nome stesso, si tratta di un'evoluzione del meccanismo originale CSMA/CA DCF, con l'aggiunta del supporto alla QoS.

EDCF è disegnato per gestire frame con otto possibili differenti priorità, le stesse definite da IEEE 802.1D. Ciascun frame che giunge al livello MAC da un livello superiore presenta un proprio identificativo di priorità (da 0 a 7), detto *Traffic Category Identification* (TCID). IEEE 802.11e, da parte sua, prevede la memorizzazione dell'informazione di QoS anche nell'*header* MAC di ciascun frame e prevede, per ogni stazione, quattro categorie d'accesso al canale, dette AC. Ciascuna AC corrisponde ad una singola coda FIFO di trasmissione DCF (come mostrato in Figura 3), con priorità differente di accesso al canale, in base ai meccanismi che verranno discussi in seguito. Ciascun frame che arriva al livello MAC con un proprio TCID viene quindi marcato con una AC (da 0 a 3), secondo le regole mostrate in Tabella 1 e inserito nella coda corrispondente.

Ad una AC con maggiore priorità è assegnata una CW più corta, in modo da assicurare che nella maggior parte dei casi le AC con maggior priorità trasmettano prima delle altre. Questo viene fatto fissando i valori limite  $CW_{min}[AC]$  e  $CW_{max}[AC]$  e calcolando  $CW[AC]$  per ciascuna differente AC.

priorità TCID	categoria d'accesso	designazione traffico
0	0	Best effort
1	0	Best effort
2	0	Best effort
3	1	Video probe
4	2	Video
5	2	Video
6	3	Voce
7	3	Voce

Tabella 1: Mapping tra priorità di traffico e categorie d'accesso

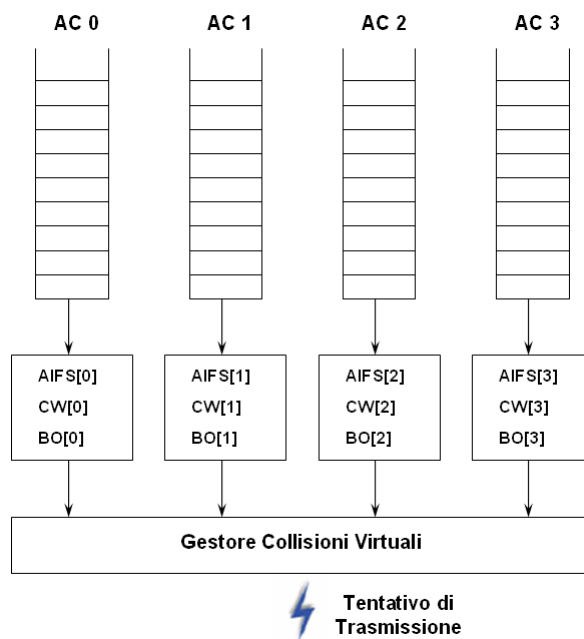


Figura 3: Quattro categorie d'accesso (AC) per EDCA

Per introdurre un'ulteriore differenziazione, gli intervalli di tempo di attesa DIFS, utilizzati da DCF alla fine di ogni trasmissione, vengono sostituiti con degli *Arbitration InterFrame Space* (AIFS). Ciascun AIFS è lungo almeno quanto DIFS e la sua durata dipende dalla AC alla quale fa riferimento. Non appena il canale è libero, prima di iniziare la procedura di backoff, ciascuna stazione deve quindi attendere un periodo pari ad AIFS[AC], anziché solo DIFS.

Ciascuna AC all'interno di una stessa stazione si comporta come se fosse una stazione virtuale: si contende il canale assieme alle altre ed effettua la procedura di backoff indipendentemente dalle altre utilizzando i propri parametri AIFS[AC] e CW[AC] (vedi Figura 3). Le collisioni tra AC interne ad una stessa stazione vengono risolte in maniera virtuale: l'accesso al canale viene consentito a quella con priorità maggiore, mentre le altre sono obbligate a comportarsi come se fosse avvenuta una normale collisione esterna (incremento della CW[AC] e ricalcolo BO). Le relazioni temporali per EDCF sono schematizzate in Figura 4.

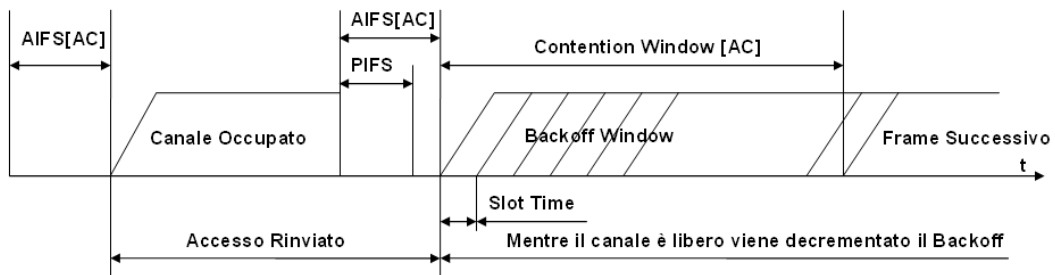


Figura 4: Meccanismo base di accesso EDCF

Un ulteriore miglioramento introdotto con EDCF rispetto al meccanismo standard riguarda il concetto di opportunità di trasmissione (*Transmission Opportunity - TXOP*). Una TXOP rappresenta l'intervallo di tempo in cui una stazione ha il diritto di trasmettere, definita da un istante di partenza e una durata massima. Quando invece una stazione ottiene accesso al canale tramite contesa si parla di *EDCF-TXOP*; in questo caso l'istante di partenza è rappresentato dalla vittoria della contesa stessa, mentre la durata di trasmissione non può superare il limite specificato nel *beacon frame*, inviato periodicamente dall'HC (QAP) a tutte le stazioni. Quando l'accesso al canale è assegnato direttamente dall'HC tramite il meccanismo di *polling* si parla di *polled-TXOP*; in questo caso la durata della trasmissione è specificata all'interno del *poll frame*. Maggiori dettagli riguardo quest'ultima procedura verranno forniti nella prossima sottosezione.

## 4.2 Hybrid Coordination Function

In questa sezione verranno presentate le regole previste da HCF che integrano i meccanismi già descritti definiti da EDCF.

L'HC può allocare delle TXOP per se stesso ogni volta che deve trasmettere delle MSDU. Questo può farlo tuttavia solo dopo aver determinato il canale libero per una durata di tempo più breve rispetto a DIFS, detta *Point coordination InterFrame Space* (PIFS) (vedi Figura 4). In questo modo l'HC gode di massimpriorità rispetto a tutte le altre stazioni.

Come già menzionato nella sezione 4, il tempo viene suddiviso in un periodo senza contesa (CFP) e un periodo con contesa (CP), che si susseguono ciclicamente. Ciascuna coppia CFP - CP definisce un *Superframe periodico IEEE 802.11e*, un modello del quale è rappresentato in Figura 5.

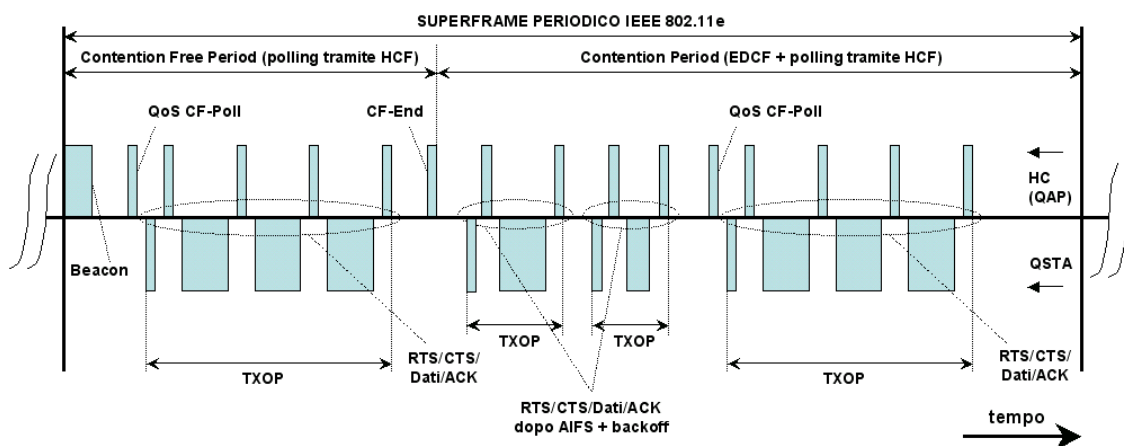


Figura 5: Esempio di superframe IEEE 802.11e. Polled TXOP si trovano sia nella fase CP che nella fase CFP

Durante un CP, ciascuna opportunità di trasmissione TXOP viene determinata in due differenti modi: o attraverso le regole fornite da EDCF (canale libero + AIFS + BO), o attraverso uno speciale *poll frame*, detto *QoS CF-Poll*, inviato dall'HC ad una particolare stazione. Questo frame speciale può essere inviato solo se il canale rimane libero per un periodo PIFS, senza bisogno di una procedura di backoff. In questo modo, anche durante un CP, l'HC può decidere temporaneamente di dare priorità ad un determinato traffico.

Durante un CFP, il tempo d'inizio e la durata massima di ciascuna TXOP sono specificati dall'HC, ancora una volta mediante i frame speciali QoS CF-Poll. In questa fase quindi le stazioni non hanno diritto di accedere al canale se non sono "richiamate" dall'HC. Un CFP termina dopo che è trascorso il

tempo specificato nel beacon frame o con l'arrivo di un frame *CF-End* inviato dall'HC.

Poiché il QoS CF-Poll frame è un'innovazione introdotta con IEEE 802.11e, per mantenere compatibilità all'indietro è stato progettato in modo tale che le stazioni "tradizionali", quando lo ricevono, settano il loro *Network Allocation Vector* (NAV) per tutta la durata della TXOP specificata nel frame stesso. In questo modo anche le stazioni tradizionali possono funzionare in regime HCF, ma con grosse limitazioni, in quanto possono operare solo durante i CP mentre rimangono inattive durante i CFP.

IEEE 802.11e definisce inoltre dei nuovi formati di frame per ottimizzare l'utilizzo delle risorse messe a disposizione dal canale. L'HC infatti è in grado di inviare ad ogni stazione una qualsiasi combinazione fra dati, polling e acknowledgement in un unico frame.

#### 4.2.1 HCF Controlled Contention

Il meccanismo di accesso basato sulla contesa è influenzato dal grado di occupazione del canale. Se il canale è sovraccarico aumentano le collisioni, le CW e i backoff si dilatano e di conseguenza le prestazioni dell'intero canale degradano notevolmente. Se si vuole garantire QoS queste situazioni si devono evitare il più possibile, per questo viene introdotta una tecnica detta *Controlled Contention* che deve essere implementata obbligatoriamente dal QAP. Il QAP è un nodo critico in un QBSS, in quanto è responsabile dello *scheduling* del traffico, è colui che può decidere in un qualsiasi momento a quale stazione assegnare il canale. Per fare questo ha bisogno di informazioni da aggiornare continuamente riguardo a quali stazioni hanno bisogno di trasmettere dati, in quale momento e per quanto tempo.

Controlled Contention è un meccanismo che permette alle stazioni di comunicare al QAP la necessità di allocazione di polled-TXOP, tramite una richiesta di risorse che non necessita di contesa del canale. Controlled Contention consiste in un periodo di tempo, stabilito da un frame speciale inviato dal QAP, suddiviso in brevi intervalli separati da SIFS detti *opportunità*. Ciascuna stazione che presenta del traffico in attesa di essere inviato sceglie una opportunità e trasmette un frame di richiesta di risorse, senza alcuna previa procedura di backoff, specificando la AC e la durata della TXOP desiderate. Per risolvere eventuali collisioni il QAP genera degli acknowledgement alle richieste ricevute, consentendo così alle stazioni di accorgersi di eventuali collisioni avvenute durante il periodo di Controlled Contention. Successivamente il QAP verifica se vi sono sufficienti risorse per soddisfare le richieste e in caso affermativo programma l'assegnazione del canale (IEEE 802.11e non specifica però come deve essere svolto questo compito). Infine risponde a

ciascuna stazione accettando o negando per intero le richieste o proponendo un'alternativa basata su parametri di QoS con meno priorità.

### 4.3 Caratteristiche opzionali IEEE 802.11e

Le specifiche di IEEE 802.11e prevedono una serie di caratteristiche opzionali che possono essere utilizzate per ottimizzare ulteriormente il funzionamento di un QBSS. Per ciascuna di esse verrà fornita, in questa sottosezione, una breve descrizione.

#### 4.3.1 Contention-Free Bursts

*Contention-Free Bursts* (CFBs) è una funzionalità che una QSTA o un QAP possono scegliere di adottare per incrementare l'efficienza di trasmissione, riducendo i periodi di contesa del canale. CFBs consiste in un insieme di slot di tempo libero all'interno di una TXOP che possono essere utilizzati quando un dispositivo ha terminato di trasmettere i dati per i quali gli era stata concessa la TXOP, ma dispone ancora di tempo e di nuovi dati da trasmettere. Invece di rimanere inattivo fino al termine della TXOP per poi iniziare una nuova contesa per i nuovi dati, con IEEE 802.11e il dispositivo può decidere di continuare a trasmettere subito dopo un ritardo pari a SIFS sfruttando i CFBs. L'importante è che la trasmissione (compresi gli eventuali acknowledgement) non oltrepassi il limite massimo della TXOP.

#### 4.3.2 Block Acknowledgements

Lo standard originale IEEE 802.11 prevede che per ogni frame ricevuto venga inviato in risposta un frame di acknowledgement (*ACK*). *Block ACK* è un meccanismo che consente di trasmettere più frame di dati in successione separati da SIFS, prima ancora di ricevere alcun ACK, incrementando l'efficienza del canale. Block ACK necessita di un processo di negoziazione e setup tra QSTA e QAP per accordarsi sulle modalità di utilizzo. IEEE 802.11e definisce due meccanismi di Block ACK: *immediato* e *ritardato*. Nel primo caso chi trasmette invia in sequenza un certo numero di frame di dati separati da SIFS all'interno di una TXOP, seguiti da un frame *Block ACK Request*. A questo punto il ricevente deve immediatamente rispondere all'interno della stessa TXOP con un frame Block ACK contenente l'acknowledgement relativo al blocco di frame inviato precedentemente. In Figura 6 è rappresentato questo meccanismo.

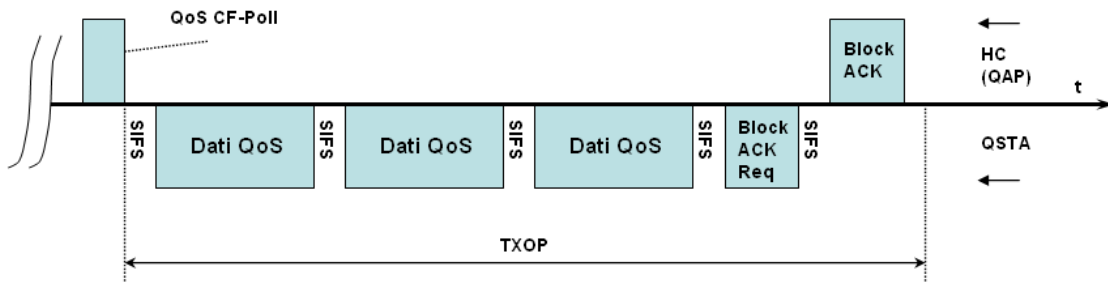


Figura 6: Meccanismo Block ACK immediato

Nel secondo caso l'invio di frame multipli avviene sempre nello stesso modo, quello che cambia è la procedura di acknowledgement. Il ricevente invia un frame di ACK standard in risposta alla Block ACK Request all'interno della stessa TXOP, indicando che il frame Block ACK sarà inviato successivamente in un'altra TXOP (vedi Figura 7). Questo secondo meccanismo incrementa la latenza, è fornito per supportare implementazioni con basse performance che non sono in grado di calcolare immediatamente l'ACK.

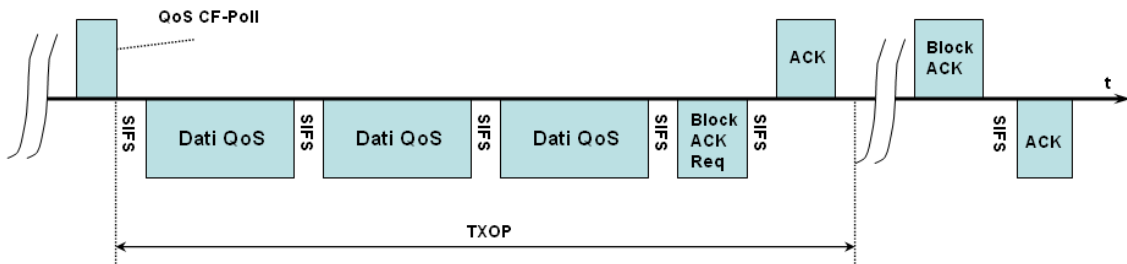


Figura 7: Meccanismo Block ACK ritardato

### 4.3.3 Direct Link Protocol

*Direct Link Protocol* (DLP) riferisce alla possibilità di effettuare scambi di dati all'interno di un QBSS direttamente tra due QSTA, senza dover passare attraverso il QAP. Secondo lo standard originale IEEE 802.11, quando una stazione vuole inviare dei frame ad un'altra stazione all'interno di uno stesso BSS, è costretta a consegnarli all'AP. Questo meccanismo assicura che la comunicazione possa avvenire attraverso tutte le stazioni, anche tra quelle che non si "vedono" l'una con l'altra, con lo svantaggio di incrementare notevolmente il traffico sul canale. DLP funziona in questo modo (Figura 8): la stazione che vuole iniziare un collegamento diretto con un'altra stazione invia un frame di richiesta DLP al QAP (1). Il QAP inoltra la richiesta alla

seconda stazione (2), la quale a sua volta risponde positivamente al QAP con un frame di risposta DLP (3). Il QAP inoltra questa risposta alla prima stazione (4) e a questo punto può iniziare la comunicazione diretta (5). Per terminare in maniera esplicita una sessione DLP, una delle due stazioni può inviare un frame *DLP teardown*. Se una sessione DLP rimane inattiva per troppo tempo, questa viene automaticamente disattivata tramite un meccanismo di timeout.

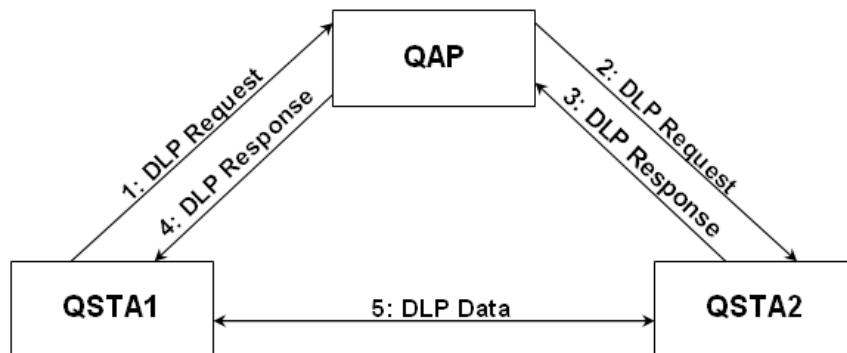


Figura 8: Meccanismo DLP per creare una connessione diretta

#### 4.3.4 Automatic Power Save Delivery

*Automatic Power Save Delivery* (APSD) è un'evoluzione del preesistente meccanismo *Power Save* di IEEE 802.11. APSD consente ad una stazione di programmare l'invio/ricezione dei frame in determinati istanti e di rimanere inattiva per il resto del tempo. Il riferimento ai periodi di inattività viene fatto attraverso i beacon frame. Ciascuna QSTA informa il QAP riguardo a ogni quanti beacon frame decide di attivarsi; in questo modo il QAP, se deve inviare dei dati ad una QSTA che implementa APSD, mantiene tali dati in memoria per inviarglieli solo al suo prossimo risveglio. APSD è particolarmente utile nel caso di dispositivi con ridotte capacità di autonomia, che necessitano di rimanere inattive per la maggior parte del tempo, mantenendo un basso ma ragionevole ritardo nella comunicazione con il QAP.

## 5 Conclusioni

In questo documento è stata descritta l'architettura proposta da IEEE 802.11e per il supporto di QoS nelle WLAN. Sono stati evidenziati i limiti dello standard IEEE 802.11 nella la gestione di traffico con differenti priorità e sono

stati descritti i meccanismi per superarli. Una volta completato, lo standard IEEE 802.11e renderà molto più pratico il trasporto nelle WLAN di dati video e multimediali, così come telefonia su IP. Questo probabilmente aprirà le porte per studiare nuovi servizi utente sempre più evoluti e complessi.

## Riferimenti bibliografici

- [1] IEEE, “Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications,” IEEE Std. 802.11, 1999.
- [2] IEEE, “Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band,” IEEE Std. 802.11b, 1999.
- [3] IEEE, “Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band,” IEEE Std. 802.11a, 1999.
- [4] IEEE, “Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Medium Access Control Enhancements for Quality of Service (QoS),” IEEE Std. 802.11e, Draft 5.0, Luglio 2003.
- [5] Daqing Gu, Jinyun Zhang, “QoS Enhancement in IEEE802.11 Wireless Local Area Networks,” *IEEE Communications Magazine*, Vol n. 41, pagine 120-124, Giugno 2003.
- [6] Seyong Park, Kyungtae Kim, Doug C. Kim, Sunghyun Choi, Sanjin Hong, “Collaborative QoS Architecture between DiffServ and 802.11e Wireless LAN,” atti della conf. *IEEE Vehicular Technology*, Aprile 2003.
- [7] Stefan Mangold, Sunghyun Choi, Peter May, Ole Klein, Guido Hiertz, Lothar Stibor, “IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service,” atti della conf. *European Wireless '02*, Firenze, Italia, Febbraio 2002.
- [8] Tim Godfrey, “Inside 802.11e: Making QoS a Reality over WLAN Connections,”  
<http://www.commsdesign.com/showArticle.jhtml?articleID=17000388>,  
Dicembre 2003.
- [9] Simon Chung, Kamila Piechota, “Understanding the MAC impact of 802.11e,”  
[http://www.commsdesign.com/design\\_corner/OEG20031029S0009](http://www.commsdesign.com/design_corner/OEG20031029S0009),  
Ottobre 2003.