

GIULIO DALL'ANESE

UnbreveTutorialtecnicoperloStandardIEEE802.11b
RetiLocaliRadioad11Mbps.

Architettura
Problematichediinstallazione
Funzionamento

Tuttiimarchiregistratiappartengonoairispettivi proprietari,
questodocumentononvuoleesserelesivodeidirittidell'autoreedellavoroaltri.

1.STRUTTURA DEL TESTO.	3
1.1. COME È STRUTTURATO IL DOCUMENTO .	3
2. LE RETI WIRELESS.	4
2.1. INTRODUZIONE.	4
2.2. LO STANDARD 802.11: ARCHITETTURA GENERALE .	5
2.3. INSTALLAZIONE.	5
2.4. ROAMING.	7
2.5. SICUREZZA.	7
2.6. SUPPORTO PER STREAMING VIDEO .	8
2.7. SERVIZI FUNZIONALI.	8
3. STRA TOMAC.	10
3.1. DISTRIBUTED COORDINATION FUNCTION (DCF).	10
3.2. L'ALGORITMO ESPONENZIALE DI BACK-OFF.	11
3.3. ROAMING.	12
3.4. FRAMMENTAZIONE.	12
3.5. FAST ACK.	13
4. STRA TOPHY.	14
4.1. FREQUENCY HOPPED SPREAD SPECTRUM (FHSS).	14
4.2. DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM (DSSS).	16
4.3. CONFRONTO TRA FHSS E DSSS.	18
4.4. SOTTOSTRATO PLCP.	18
4.5. SCRAMBLER.	20
4.6. SOTTOSTRATO PMD.	22
4.7. BASIC ACCESS RATE.	22
4.8. LA MODULAZIONE COMPLEMENTARY CODE KEYING (CCK).	23
4.9. HIGH RATE CCK@5.5M BPS	24
4.10. HIGH RATE CCK@11M BPS	24
4.11. MODULAZIONE DSSS-PBCC.	25
4.12. CHANNEL AGILITY.	25
4.13. SCHEMA DELLA RADIO 802.11B.	26
5. BIBLIOGRAFIA.	27
6. INDICE ANALITICO E INDICE DEGLI ACRONIMI.	28

1. Struttura del testo.

1.1. Come è strutturato il documento.

Nella sezione 2 si passa in rassegna all'architettura generale della Rete WLAN IEEE 802.11, illustrandone le principali caratteristiche, toccando, se pur qualitativamente, gli aspetti tecnici, economici, logistici che il progettista di sistemi IT si trova ad affrontare nella scelta, progettazione e installazione di una rete wireless. La sezione termina con la trattazione degli strati, in senso OSI, di cui è composto il sistema.

Nella sezione successiva si prende rapidamente in esame lo strato MAC, con particolare attenzione a come funzionano i protocolli di accesso al mezzo, che nelle LAN, non solo wireless, assumono importanza centrale. In particolare si darà una descrizione qualitativa e quantitativa dell'algoritmo CSMA-CA.

Segue una sezione dedicata completamente allo strato fisico, la quale vuole essere un'introduzione al concetto di CDMA, per poi applicare i risultati ai diversi tipi di codifiche che sono usate nello standard. Particolare interesse è stato prestato alla modalità 11 Mbps che consente la massima bit rate al sistema. Sono inoltre presentate alcune alternative di implementazione così come sono state suggerite dallo standard. La sezione termina con un esempio di implementazione del sistema tratto da un'applicazione notata della Intersil Corporation.

2. Le reti Wireless.

2.1. Introduzione.

Le reti locali (LAN) hanno avuto un'ampia diffusione negli ultimi decenni, questo successo è sicuramente dovuto alla possibilità di *distribuire* le risorse di calcolo e memorizzazione su più macchine e renderle disponibili a tutti gli utenti. Tuttavia l'accesso alla LAN rimane legato ad una postazione fissa, collegata alla rete attraverso un cavo coassiale. Per questo lo standard IEEE 802.11 si propone di fornire alle reti locali un mezzo wireless, via radio in infrarossi, dandole la possibilità di utilizzare i mobili per accedere alla rete direttamente dall'orologio, senza bisogno di cavi e con prestazioni paragonabili ad Ethernet. Inoltre in molti casi non è possibile installare una LAN tradizionale o pure non è conveniente, basti pensare ad antichi edifici storici in cui questo compito sarebbe un onere economico insostenibile. Per questi e altri motivi il mercato delle reti wireless è in forte ascesa: dai 300 M\$ del 1998 si prevedono 1.6 G\$ nel 2005, per questo tutti i grandi nomi nel campo delle reti (3Com, IBM, Fujitsu, Intel, Lucent, Nokia...) stanno presentando i loro prodotti.

In breve le Wireless LAN (WLAN) hanno sei vantaggi rispetto a quelle tradizionali:

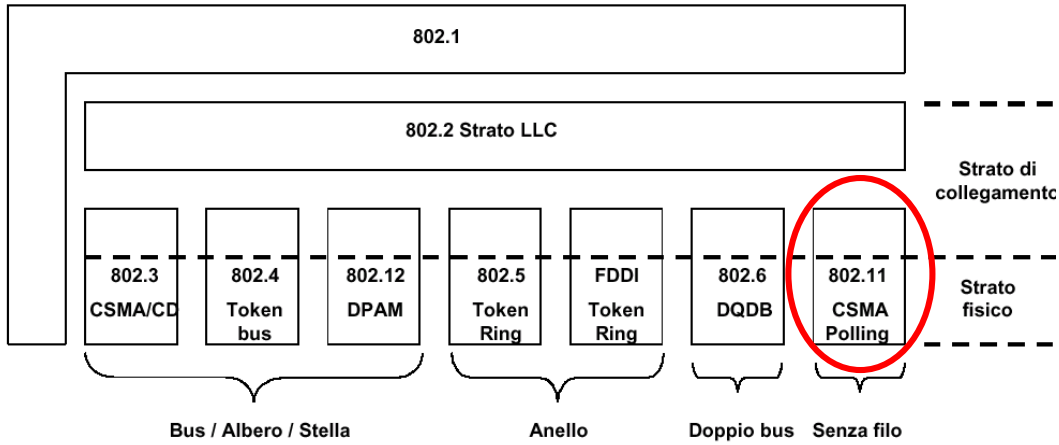
1. Mobilità dei terminali e conseguente aumento della produttività.
2. Minori costi di installazione e siti "difficili da cablare".
3. Minore Total Cost of Ownership perché gli aggiornamenti a future tecnologie sono semplici.

Ipotesi di utilizzatori di queste tecnologie sono ad esempio:

1. *Medici; per immediato accesso al database del paziente direttamente dalla camera.*
2. *Consulenti e Revisori; accesso alla rete della società di consulenza in tempo reale.*
3. *Gestori di magazzino e cantieri; il database può essere consultato e gestito on-site.*
4. *Venditori al dettaglio; accesso istantaneo al profilo del cliente per una sua maggiore qualità del servizio.*

2.2. Lostandard802.11:Architetturagenerale.

Lanecessitàdiunostandardnascedal fattochetalidispositividevonospessoconestereall'interno dellastessarete locale.



ComediconsuetoperretiLAN,ilsistemacondivideconlealtreLANdiIEEElostratoLLC (funzionidicontrolloerrore,flusso,creazione delcircuitovirtuale,ecc...)perpoidifferenziarsinellostratoMAC enellostratofisico.

AdifferenzadellealtreretiWLANpossonousarediversimezziwireless:

1. Canaleradio inbanda2.4GHz.

Stati Uniti	2.400-2.4835GHz
Europa	2.400-2.4835GHz
Giappone	2.471-2.497GHz
Francia	2.465-2.4835GHz
Spagna	2.445-2.475GHz

2. Infrarossi.300 -428THz

LebitRate supportate dall'interfacciaradio dallostandardIEEE802.11bsono:

DataRate	Modulazione	SymbolRate
1MBps	BPSK	1MSps
2MBps	QPSK	1MSps
5.5MBps	BPSK	1.375MSps
11MBps	QPSK	1.375MSps

L'usodicanaliradiomobiliocomunquediambientewirelessapreunaseriediproblematichenon incontratefinoranelletradizionaliLAN,EtherneteToken Ring.

2.3. Installazione.

Sonopossibiliduediverseconfigurazioniperlereti802.11:

1. **Ad-HocnetworkoBasicServiceSet (BSS oIBSS)** . Tutte le stazioni (STA) della rete accedono alla risorsa fisica. Non ci sono collegamenti o ponti verso altre reti. Tutti i nodi sono in grado di comunicare con gli altri *peer to peer*. E' di facile installazione, la trasmissione è peer-to-peer e si è data da un *master* che ha funzioni particolari nel protocollo. Si adatta molto bene alle grandi aziende e ai alberghi o ad uffici in cui operano diversi impiegati appartenenti alle sottogruppi di lavoro.

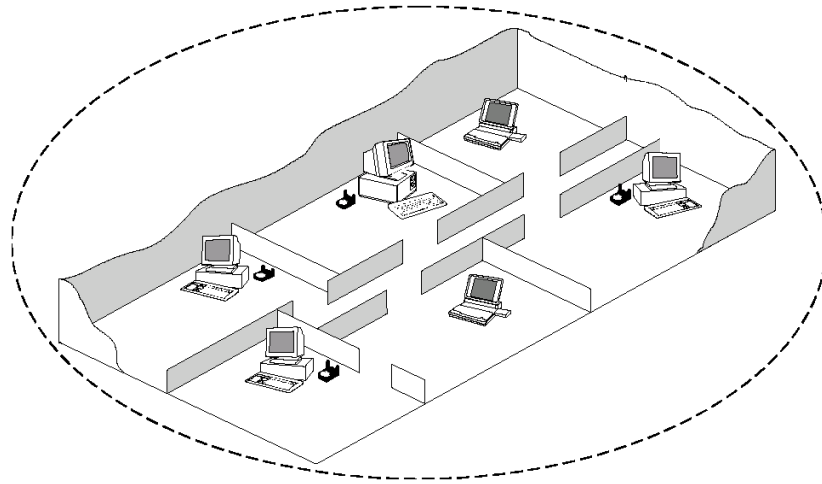


Figura 2. Ad-Hoc mode BSS

2. **Infrastruttura Modeo Extended Service Set (ESS)** . Esiste un'azione particolare l'Access point (AP) che ha il compito di bridgere tra WLAN e rete locale dell'edificio, è l'equivalente della base transceiver station nelle installazioni cellulari. AP non è assolutamente un organo

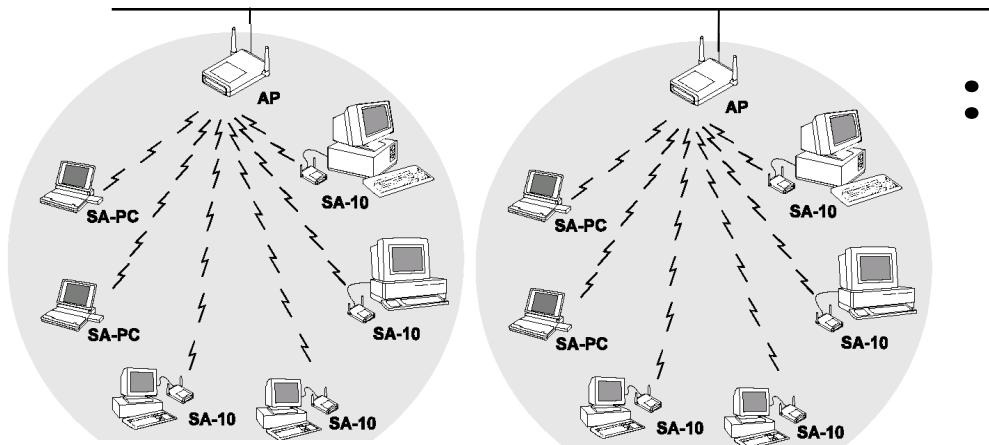


Figura 1. Infrastruttura mode ESS

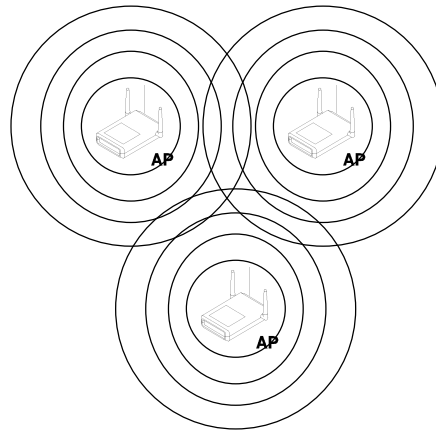
mobile, fa parte di tutti gli effetti della LAN backbone, tutti i pacchetti da e per la rete fissa sono inoltrati all'AP. Per questo tipo di reti è cruciale il piazzamento degli AP, il Power Budget è effettuato con i criteri usati per il canale radiomobile: cioè considerano il rapporto segnale rumore in ricezione:

$$\frac{P_R}{P_T} \approx G_T G_R \frac{h_T h_R}{d^4} \quad (\text{per ambiente indoor}) \quad (2.3.1)$$

cuibisognaaggiungereil *marginidiSloweFastfading* pergarantiregliobiettivipostisulla qualitàdiricezioneinambienteradiomobile . L'alimentazione degli AP può essere fornita attraverso icavi della rete Ethernet, usandounpiccolo alimentatore DC che ha come uscita il connettore, la tensione continua viene applicata ai capi dei due cavi inutilizzati.

2.4. Roaming .

Nel modo ESS può succedere che le celle della BSS si sovrappongono in alcune zone. Quando una stazione accede alla rete è il suo strato MAC che deve decidere a quale AP accedere, tale scelta è fatta in base al Bit Error Ratio. In caso di mobilità della stazione o in condizioni di carico eccessivo della BSS locale sarà necessario cambiare AP. Questo è un vero e proprio handover (vedi par. 3.3 pag. 12), con la differenza che non può avvenire mentre è attivo il trasferimento dei dati ed è chi a- matori associazione .



Per garantire copertura di ampia zona, ad esempio un campus universitario, è necessario il concetto di *riuso delle frequenze*, che è supportato da questo standard. In modalità DSSS ci sono solo 3 canali di 24 MHz che non si sovrappongono e che possono essere riutilizzati a telescopio. (Vedi par. per lo spettro pure pag. 49 di IEEE 802.11b)

2.5. Sicurezza .

Il canale radiomobile essendo un mezzo a conduzione di onde elettromagnetiche, l'intercettazione delle informazioni. Per evitare ciò è stato proposto un *algoritmo di scrambling*, che ha lo scopo di rendere la rete wireless sicura almeno quanto una LAN tradizionale (Wired Equivalent Privacy - WEP), viene usata tale proposta un generatore di numeri pseudocasuali PRNG (Pseudo Random Number Generator) a partire da una chiave condivisa di 40 bit; l'algoritmo (vedi par. 4.5) ha le seguenti proprietà:

1. ragionevolmente robusto
2. è difficile attaccarlo con misurazione dei picchi della correlazione perché ad ogni pacchetto il generatore è reinizializzato
3. Il sincronismo è automatico. È necessario perché lo strato lavora senza connessione, quindi è necessario sincronizzarsi ad ogni pacchetto.
4. Molto efficiente dal punto di vista computazionale

Inoltre è prevista una *procedura di autenticazione* prima dell'accesso alla rete, l'utente wireless deve conoscere la chiave di 40 bit del PRNG proprio dell'AP cui vuole accedere (WLAN Service Area ID o ESSID) in alternativa l'AP mantiene un elenco di indirizzi di 12 byte ciascuno che identifica univocamente la scheda di rete che si connette all'accesso locale.

Naturalmente questo è l'apparato di sicurezza degli strati 1 e 2, nulla vieta di aggiungere agli strati superiori gli algoritmi di software di sicurezza già usati nelle altre LAN come IPsec.

2.6. Supporto per stream voce e video

Queste segnalazioni richiedono che i pacchetti di dati siano consegnati con una buona trasparenza temporale per questo lo strato MAC implementa la Point Coordination Function (PCF) in cui è usato solo l'AP che controlla l'accesso al mezzo. Quando è attivata la modalità alcuni slot temporali vengono usati per il PCF mode, negli altri si vigela regola consueta Distributed Coordination Function (DCF). Gli slot temporali riservati al PCF vengono gestiti in modo da garantire che la banda sia divisa equamente:

1. Una stazione può trasmettere quando è nello stato di *polling*.
2. L'AP attiva il polling in una stazione, dopo un tempo prestabilito passa ad un'altra.
3. Tutte le stazioni possono ricevere dati quando sono nello stato di polling.

Questo algoritmo diventa molto oneroso nel caso siano presenti molte stazioni nella BSS.

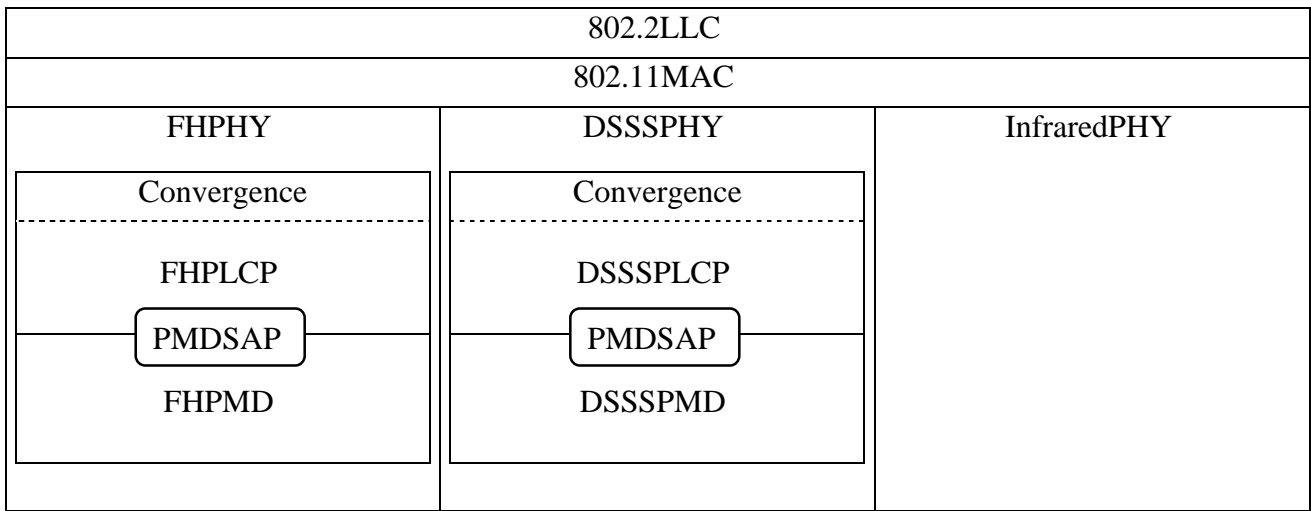
2.7. Strati Funzionali

802.11b è una estensione allo standard 802.11, è stata fatta per supportare le due nuove bit rate di 5.5 Mbps e 11 Mbps. La sua architettura dovrà consentire la compatibilità verso il basso con i sistemi 802.11; è composta da

1. **Strato fisico**. La sua unità di dati è il bit, svincolato dagli strati superiori dagli aspetti legati al mezzo trasmissivo. Siccome lo standard prevede 3 diverse modalità sarà un sottostrato più basso Physical Medium Dependent (PMD) che si occupa della modulazione e della modalità richiesta, mentre Infrared a banda infrarossa, DSSS e Frequency Hopping (FH) differiscono per la modalità di dispersione spettrale ma usano lo stesso canale radio a 2.4 GHz; ovviamente non possono coesistere le due modalità nella stessa BSS. PMD consiste nel risultato al PMD - Service Access Point (PMD -SAP), cioè che sta al di sopra non è più dipendente dalla modulazione usata ed al mezzo trasmissivo. Il sottostrato Physical Layer Convergence Procedure (PLCP) serve per adattare le peculiarità dei diversi mezzi di trasmissione alle funzioni dello strato

MACsvoltedallostratosuperiore:quivengonoimplementatiglialgoritmidicrittografia,Inoltreèpossibileeffettuareuncontrollo di errore;neglistandardchefannousodicavi(es.Ethernet)nonènecessarioperchéilcanalehaunaprobabilitàdierroremoltobassa.

2. **Strato MediumAccessControl (MAC)**. Quivengonoeseguitiglialgoritmi percontrollare l'accessoalmezzo:èstatoimplementatoatalepropositoilCSMA-CD(CarrierSensitiveMultipleAccess-CollisionDetection)perminimizzareilnumerodicollisionitralediversesazioni chevoglionoaccedereallarisorsacondivisa.Inoltrevengonosupportatefunzionibaseperlariassociazione(handovertracelle)evengonosegmentateleMAC-ServiceDataUnit(MAC-SDU)perconsegnarleallostratosottostante.Oravediamoindettagliolefunzioni.



3. StratoMAC .

Nello standard MAC802.11 l'asset temporale è suddiviso in slot, la cui dimensione è stata scelta in modo da rendere possibile il rilevamento delle collisioni, cioè se una stazione ascolta il canale al termine dello slot è in grado di stabilire se qualcuno ha cominciato a trasmettere all'inizio dello slot.

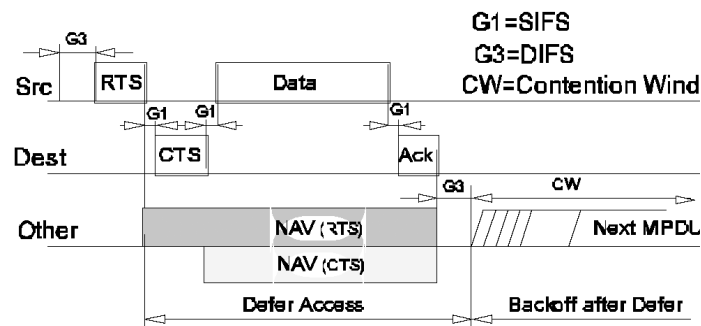
Definisce due diverse modalità di funzionamento: Distributed Coordination Function (DCF) e Point Coordination Function (PCF). La modalità principale è la DCF, riguardo alla PCF si è già accennato al par. 2.6 di pag. 8.

3.1. Distributed Coordination Function (DCF).

Il protocollo lavora come una CSMA-CD, una stazione che deve trasmettere

1. controlla che altre stazioni non stiano ancora o volt trasmettendo. Se il canale è libero comincia la trasmissione.

In Ambiente Wireless però potrebbe verificarsi il caso in cui una stazione rivela che il canale è libero ma in realtà un'altra sta trasmettendo ma il suo segnale non viene ricevuto; in questo caso si dice che è presente un *nodonascosto*, allora il protocollo opera così:



Algoritmo di Collision avoidance. Figura 3.

2. Una stazione che desidera iniziare la trasmissione aspetta che il mezzo è libero. Quando il mezzo è libero lascia trascorrere il Distributed Inter Frame Space (DIFS) poi invia il pacchetto di controllo Request to Send (RTS) che include i campi di Indirizzo Sorgente, Indirizzo Destinazione, durata della trasmissione.
3. Se il mezzo è libero riceve la primitiva di conferma di avvenuta trasmissione, che garantisce però che la stazione cui è indirizzato il messaggio abbia ricevuto (lo strato MAC è senza connessione).
4. La stazione in ricezione controlla la bit di parità, se la trasmissione di RTS ha avuto buon fine non conclude che non c'è stata collisione, quindi lascia trascorrere il tempo Short Inter Frame Space (SIFS) poi invia al mittente il pacchetto Clear To Send (CTS) in cui viene confermata la durata della trasmissione.

5. Tutte le stazioni della rete che riescono a ricevere almeno un nodo e i pacchetti CTS o RTS e
 trano in un stato che impedisce loro di accedere al mezzo ponendo il flag Virtual Carrier
 Sense Indicator (VCSI) ad On per tutta la durata della connessione (zona ombra
 figurata precedente). n- ggiata in
6. Il trasmettitore lascia passare il tempo SIFS e attiva la trasmissione. La stazione riceve nte
 attenderà nuovamente SIFS per l'invio del riscontro. Se il trasmettitore non riceve il risco n-
 to conclude che c'è stata collisione, non ritrasmette i dati subito, (altrimenti il protocollo
 stallerebbe perché le due stazioni andate in collisione continuerebbero a trasmettere ind e-
 finitamente) ma attende un tempo calcolato attraverso l'algoritmo esponenziale di back -off.

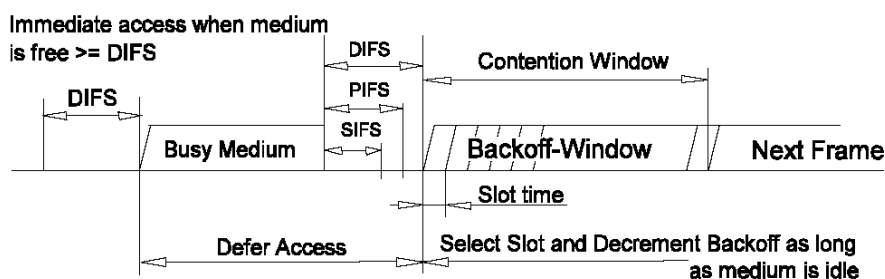
Questi meccanismi riducono la probabilità di collisione al solo momento in cui viene inviato il
 RTS, inoltre il CTS è protetto da collisione perché è preceduto da RTS che pone i VCSI di tu-
 te le stazioni ad on.

In caso di rete molto carica questo algoritmo non dà alcuna garanzia di trasparenza temporale,
 cioè non si può stabilire a priori quando si potrà accedere al mezzo.

L'algoritmo appena descritto non evita del tutto le collisioni, è infatti possibile che una stazi-
 one che vuole trasmettere il pacchetto RTS "veda" il canale libero ma in realtà un'altra stazio-
 ne ha già cominciato a trasmettere e non di più, seconda fase nello stesso slot, in cui il tempo di
 propagazione del campo tra le due stazioni, in questo caso la collisione è inevitabile, il prot-
 collo quindi deve prevedere un sistema che riduca al minimo il tempo della collisione, in o-
 E-
 thernet il meccanismo è implementato con ulteriori procedure di controllo di portante, tuttavia in m-
 ambiente wireless non è opportuno trasportare tali algoritmi:

1. perché sarebbe necessario implementare un'interfaccia radio full duplex, che avrebbe
 un impatto eccessivo sui costi.
2. perché in ambiente wireless viene meno l'uso delle ipotesi fondamentali della Collision
 detection, cioè che le stazioni si "sentono" l'una con l'altra.

3.2. L'algoritmo esponenziale di back-off.



Estrae un numero casuale $x \in [0,1]$. Aspetta un numero di slot pari a $\lceil \lambda \cdot x \rceil$ in cui λ è un numero
 che cresce esponenzialmente con il numero di collisioni consecutive avvenute.

Viene eseguito in sequenza:

1. Se il mezzo è occupato prima della trasmissione del primo pacchetto.
2. dopo ciascuna trasmissione dovuta a collisioni.
3. dopo l'ultimo pacchetto di una trasmissione terminata con successo. (*fairness*)

Non viene eseguito nell'unico caso:

1. prima della trasmissione del primo pacchetto il mezzo è stato libero per un tempo maggiore di DIFS.

Lo standard definisce 4 tipi di Intervalli di tempo di cui alcuni già visti:

1. Short Inter Frame Space . (SIFS). Lungo $28 \mu s$. Separa le trasmissioni appartenenti ad un stesso dialogo, è abbastanza lungo da permettere alla stazione ricevente di passare dal modo di trasmissione a quella di ricezione.
2. Point coordination IFS . (PIFS). Lungo $SIFS + 1 \text{ Time slot}$. Usato dall'AP per avere accesso al mezzo prima di qualunque altra stazione in modalità PIFS.
3. Distributed IFS . (DIFS). Lungo $PIFS + 1 \text{ Time Slot}$. Usato da una stazione che vuole iniziare una nuova trasmissione.
4. Extended IFS . (EIFS). È il più lungo IFS usato da una stazione che ha ricevuto un pacchetto corrotto. È usato per evitare che la stazione che non riesce a decodificare l'informazione per il Virtual Carrier Sense vada in collisione con un altro pacchetto che appartiene al dialogo corrente.

3.3. Roaming .

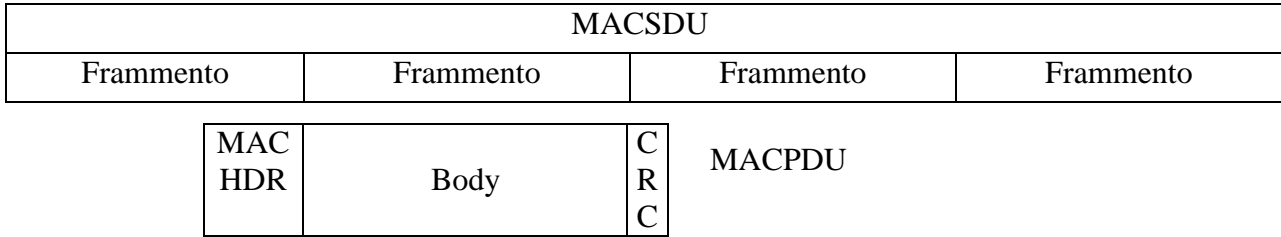
Lo standard definisce solo le primitive base per il supporto a tale caratteristica, lasciando ai singoli costruttori libertà di implementare i protocolli in maniera differente. Per colmare il vuoto sono disponibili software prodotti da terzi (Aironet, Lucent, Digital Ocean). Tali protocolli sono eseguiti nei seguenti casi:

1. Load Balancing . Il carico di una BSS è eccessivo, quindi le MS che possono essere associate ad altre BSS vengono tolte dalla cella.
2. Per minimizzare la probabilità di errore. Ci sono due modi per scegliere la BSS con migliore SNR in ricezione:
 - 2.1 Active Scanning . La stazione interroga l'AP inviando il pacchetto Probe Request Frame (PRF) e attende la risposta Probe Response (PR).
 - 2.2 Passive Scanning . La stazione aspetta la ricezione del segnale in cronismo che l'AP periodicamente invia.

3.4. Frammentazione.

Al contrario delle altre LAN non è una buona idea trasmettere unità informative molto lunghe, per i seguenti motivi:

- 1. La probabilità di avere un errore nel pacchetto aumenta esponenzialmente al variare della lunghezza del pacchetto. n-
 - 2. In modalità Freq. Hopping la probabilità che la trasmissione si anticipa a causa di un hop ping è più piccola. p-
- Comunque per garantire che lo standard sia compatibile con le altre LAN le unità informative vengono frammentate per consentire anche alla WLAN di supportare la massima lunghezza di pacchetto 1528 bytes, la MAC SDU viene così frammentata. n-



3.5. FastACK .

Lo standard prevede che anche la possibilità di inviare un ACK di dimensioni minimali per ridurre al massimo l'header relativo a ciascun pacchetto. In questo senso anche lo strato fisico 802.11b prevede dei pacchetti di dimensioni ridotte (vedi pag. 20).

4. StratoPHY.

Lostratofisicolarainduemodalità: -FrequencyHoppedSpreadSpectrum(FHSS) -DirectSequenceSpreadSpectrum(DSSS)oCodeDivisionMultiplexing(CDMA),grazieaquest'ultimaè possibile raggiungere le bit rate più alte, per questo è al centro del paragrafo 4.4 seguenti.

4.1. FrequencyHoppedSpreadSpectrum (FHSS).

In questamodalità lamodulazione scelta è la Differential Gaussian Minimum Shift Keying (D-GMSK). Per stimare l'occupazione in banda, procediamo in modo approssimativo e,

$$\begin{cases} x(t) = I(t)\cos(2\pi f_c t) - Q(t)\sin(2\pi f_c t) \\ I(t) = A\sqrt{2}\sum_n \xi_{2n}g(t - 2nT) \text{ e } Q(t) = A\sqrt{2}\sum_n \xi_{2n+1}g(t - (2n + 1)T) \end{cases} \quad (4.1.1)$$

dove $\xi_n = (2b_{n-1})e^{j\psi_n}$ può assumere soltanto i valori $\{0, \pi\}$. GMSK ha un'occupazione in banda minore a parità di rapporto segnale rumore in trasmissione rispetto a MSK, l'unica differenza nell'implementazione delle due modulazioni sta nel fatto che differiscono per la funzione $g(t)$ quindi per la forma che ha l'impulso in banda base. Per la MSK si ha:

$$g(t) = u(t) * \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} \cdot B \cdot e^{-\frac{2\pi^2 B^2}{\ln 2} t^2} \text{ cont } \in [0, LT] \quad (4.1.2)$$

In cui $u(t)$ è un NRZ stream di ampiezza unitaria. Essendo

$$G(f) = U(f) \cdot \mathcal{F} \left\{ \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} \cdot B \cdot e^{-\frac{2\pi^2 B^2}{\ln 2} t^2} \right\} \quad (4.1.3)$$

Si ha che la banda del segnale modulato è data da B. Ora, gli enti preposti (ETSI per l'Europa, FCC per gli Stati Uniti...) hanno assegnato le seguenti Indicidi modulazione

2GMSK	1Mbps
1	0,16
0	0,16
4GFSK	2Mbps
10	0,216
11	0,072
01	0,072
00	0,216

Inoltre hanno stabilito che l'occupazione in banda per tale segnale non può superare 1 MHz per ogni canale, per avere un'idea riguardo all'occupazione in banda, supponiamo di usare la 2 -MSK anziché la 2 -GMSK e supponiamo di fissare la bit rate a 1 Mbps; quindi il tempo di simbolo è

$$T = 1/2B = 500 \text{ ns}$$

D'altra parte la MSK può essere vista come una FSK le cui frequenze di shift sono

$$f_1 = f_c + \frac{1}{4T} \text{ e } f_2 = f_c - \frac{1}{4T} \tag{4.1.4}$$

incui $f_c = 2.4\text{GHz}$; quindi lo shift in frequenza vale

$$\frac{1}{2T} = 1\text{MHz}$$

Se quindi si assume la MSK, per la regola di Carson si avrebbe

$$f_D \approx 2(0.16 + 1) \cdot 1\text{MHz} = 2.32\text{MHz};$$

non sarebbe possibile entrare nello slot di frequenza assegnato (Figura 3). Nella Realtà questo è possibile grazie alla GMSK e perché la regola di Carson è una approssimazione molto grossolana,

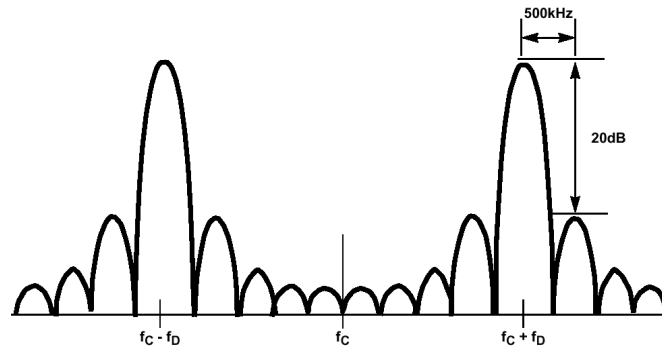


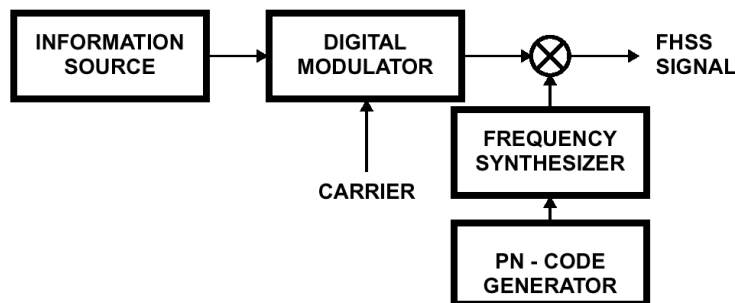
Figura 3

ma con restrizioni rigorose riguardo all'indice di modulazione non è possibile salire ulteriormente con la bitrate, quindi si è deciso di usare una modulazione alternativa per raggiungere i 5.5 e 11 Mbps.

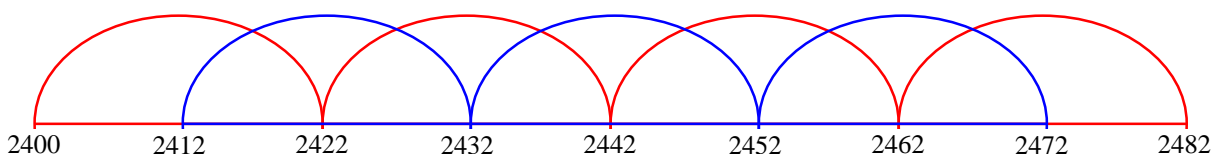
Come succede anche nel GSM, per evitare che il fading del canale radiomobile lo renda inutilizzabile per tempi inaccettabili si usa il Frequency Hopping che consiste nel cambiare la portante di modulazione ogni 400ms. La trasmissione di un pacchetto di 400 bytes @ 1 Mbps richiede:

$$3.2\text{ms} + 128 \mu\text{s}(\text{Header}) = 3.33\text{ms}$$

Siccome il sistema stazionario nello stesso slot per 400ms possono essere trasmesse circa 124 Unità informative prima di cambiare slot.



Sono disponibili 7 canali che si sovrappongono a 2,2 MHz, talmente vicini da non essere suddivisi in tre insieme non sovrappoventisi, ciascuno da assegnare ad AP adiacenti per evitare l'interferenza di canale.



Laproceduradihopping èditipopseudo casuale,perl'Europaè:

```

f'x (i) = f'x (i) for 1 =f'x (i) =13;
f'x (i) = null for f'x (i) < 1 and f'x (i) > 13;
f'x (i) = 2 × Int [(b(i) + x) mod (79) +2} - 6) / 10] - 1;
    
```

Talealgoritmovieneeseguitoogni400mspercalcolarelafrequenzadellaport ante.

4.2. DirectSequenceSpreadSpectrum (DSSS).

Siosserviilmodulatore di Figura 4:IlPNGeneratorgeneraunasequenzadinumeripseudocasuali (chip),chesivannoasommare(XOR)aibitprovenientida llasorgente,talesequenzamodulaatutti glieffettiibitintrasmisione.Talesegnaledovràessererimossoinr icezione.

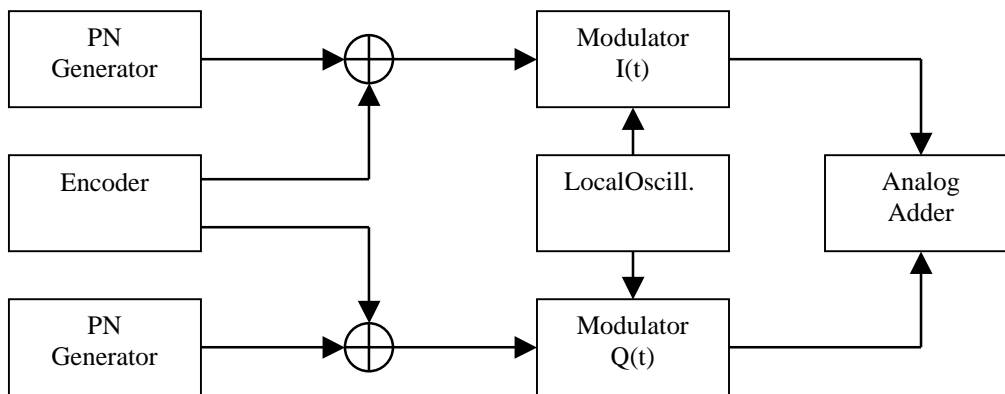


Figura 4

Neicasicomequestoincuilas equenzasisommadirettamentealsegnalesonochiamatidirectse- quence,generalmentelabitrateducuivienegeneratoilrumoreèmoltomaggioredellabitratedii n- formazione,inquestomodoilsegnaleavalledelmodulatoreoccupaunabandamoltopiùampia di quantononfarebbesefossemodulatoconunasemplicemodulazioneangolare.sia:

R=Bitrateoncuil'informazioneentranelE n- $T_c = W^{-1}$ Periododichip.
 coder $T_B = R^{-1}$ Periododelbitdiinformazione.
 W=bandadisponibiledelcanale.

Unafiguradi meritop eresprimerequantoè "sparpagliato"ilsegnaleèilfattorediespansione :

$$B_E = T_B / T_C = W / R$$

Cheingenerèunintero,edesprimeilnumerodiscorrimentidifasechesubisceilsegnaleinun periododibit.Sommareilchip ilsegnaleequivaleadunprodottotralerispettiveondePAMin bandabaseinfatti:

$$I(t) = A\sqrt{2} \sum_i A_{(a_i \oplus b_i)} g(t - 2iT_C) = A\sqrt{2} \sum_i (2a_i - 1)(2b_i - 1)g(t - 2iT_C) \tag{4.2.1}$$

ora, considerando che in ingresso all'encoder il segnale a_i arriva con periodo T_B , ed essendo T_C multiplo di T_B la funzione $g(t-2iT_C)$ sarà nulla dove è non nulla la $g(t-2iT_B)$ quindi si può scrivere

$$A\sqrt{2} \sum_i ((2a_i - 1)g(t - 2iT_B)) \cdot ((2b_i - 1)g(t - 2iT_C)) \equiv A\sqrt{2} \sum_i p_i(t) \cdot c_i(t) \quad (4.2.2)$$

in cui sono definiti i segnali $p_i(t)$ e $c_i(t)$ che rappresentano rispettivamente il segnale e il chip; la precedente evidenza ci mostra la funzione che va in ingresso al modulatore è il prodotto dell'onda PAM di a_i e dei chip di b_i che formano il segnale. Siccome i due processi $p_i(t)$ e $c_i(t)$ sono incorrelati statisticamente indipendenti, lo spettro di densità di potenza sarà la convoluzione dei due spettri

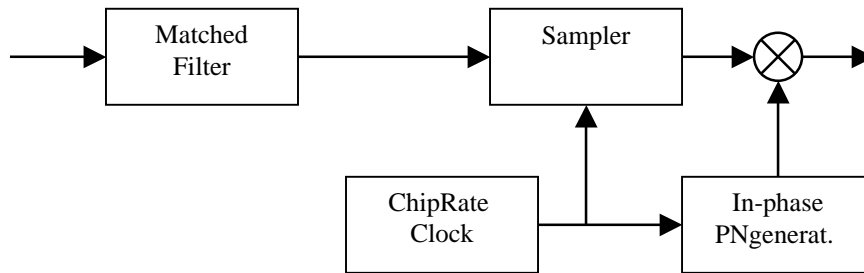


Figura 4

tridei due processori, con il risultato che la potenza del segnale viene *sparpagliata* dal rumore o realmenoin tutta la banda W .

In ricezione si sommerà il rumore AWGN $z(t)$:

$$r(t) = p_i(t) \cdot c_i(t) + z(t) \quad (4.2.3)$$

per prima cosa è necessario far passare in segnale attraverso un correlatore, o equivalentemente un filtro matched (Figura 4), l'uscita del correlatore sarà:

$$(2a_i - 1)(2b_i - 1) + \zeta \quad (4.2.4)$$

a questo punto non resta che sommare modulo 2 il rumore, siccome $(2b_i - 1)^2 = 1$ si ritrova il segnale originale, ma questo avviene alla sola condizione che le sequenze di rumore generate dal PN in ricezione siano sincronizzate con quelle in trasmissione.

Il problema consiste nel sincronizzarsi sul primo simbolo, perché per quanto riguarda quella successivisarà il clock del sistema che dovrà essere progettato in modo da essere stabile ed accurato.

All'inizio di ogni unità informativa viene inviata una **sequenza pseudocasuale nota** sia al trasmettitore che al ricevitore, il ricevitore è sempre nel modo "ricerca" e attende tale sequenza per stabilire la connessione.

Supponiamo che il pacchetto arrivi con incertezza T_u , e in oltre supponiamo che, una volta agganziata una sequenza sia necessario rimandare la sincronizzazione per un periodo pari a $T_d = N \cdot T_c$, al fine di testare il corretto funzionamento, anche in presenza di rumore.

Il ricevitore comincia a cercare nell'intervallo T_u a passi temporali lunghi $T_c/2$; quindi il tempo necessario per stabilire un collegamento è

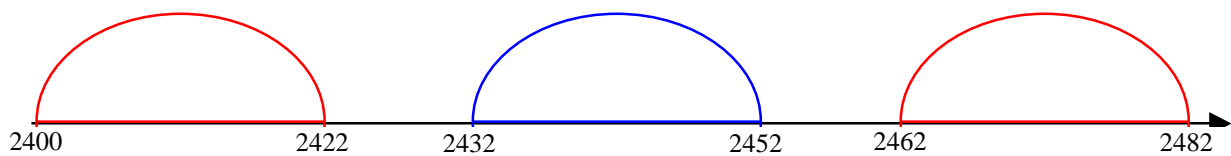
$$T_{init} = T_u / (T_c/2) \cdot N T_c = 2NT_u$$

Quindi la sequenza nota deve essere lunga almeno $2NT_u$. Ci sono due metodi per raggiungere il sincronismo:

1. Un correlatore con un filtro matched sulla sequenza pseudocasuale nota. Quando l'uscita di tale sistema ha un picco si è raggiunto il sincronismo.
2. Un correlatore esteso ad un intervallo lungo T_d , se al termine dell'intervallo l'uscita non supera un certo soglia il circuito compie uno shift circolare ampio $T_d/2$ della sequenza PN in memoria e ricomincia la correlazione finché non si raggiunge il sincronismo.

Rimane da precisare che se un'interferenza si somma alle segnali che si viene sparpagliata¹ dalla sequenza di chip in tutta la banda disponibile, e il rapporto tra il rumore e il segnale è basso B_E . Quindi la resistenza alle interferenze sarà tanto migliore quanto è basso B_E .

Anche per il DSSS sono definiti 3 canali al fine di coprire vaste aree minimizzando l'interferenza tra canali adiacenti.



4.3. Confronto tra FHSS e DSSS.

Sono entrambi metodi di accesso multiplo al mezzo di trasmissione con le peculiarità:

	Frequency Hopping	Direct Sequence
MAX rate	2 Mbps	11 Mbps
Costo	Basso	Alto, Ricevitore coerenti, clock stabile...
Potenza	Bassa, trasmette in una banda stretta	Alta
Interferenza	Buona resistenza	Ottima resistenza
Copertura	Area medio piccole	Area medio vaste

Indefinito l'IT manager è chiamato a fare un trade-off: per sistemi che non hanno grandi richieste interminabili di banda la scelta vincente va al FHSS per la sua semplicità e il basso costo, DSSS è migliore quando non è necessaria la prestazione paragonabile a quella di Ethernet 10 Mbps in ambiente wireless, ma questo richiede maggiori investimenti.

4.4. Sottostrato PLCP.

Tra i protocolli MAC standard prevede un sottostrato PLCP che definisce i metodi per mappare le SDU provenienti dallo strato MAC in un formato che sia adatto al tipo di trasmissione voluta; allo stesso tempo definisce i sottostanti indipendenti dal tipo di modulazione impiegata in modo che essi possano condividere lo strato MAC. Questo paragrafo si occupa del PLCP per la modulazione High Rate (5.5; 11 Mbps) DSSS.

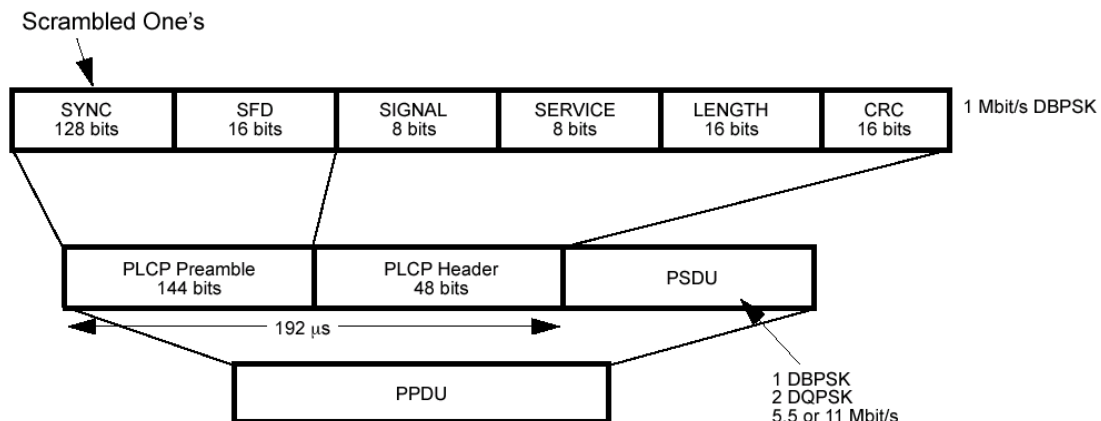
¹ Si tenga conto che per giustificare la seguente affermazione è necessario modificare il ricevitore di proposito in confronto a Proakis - Digital Communications 2nd edition - McGraw-Hill pag. 732.

Figura 4, atalpr o-

Lo strato può lavorare in due modalità:

1. *Long Preamble and Header*, che fornisce PLCP -SDU compatibile con le modalità DSSS a 1 e 2 Mbps. L'implementazione di tale modalità è obbligatoria.
2. *Short Preamble and Header*. È una PCI ridotta che diminuisce l'overhead e quindi aumenta l'efficienza della rete. La sua implementazione è opzionale.

Long PLCP PDU format.



È formato da un Preambolo di 144 bit che contiene:

1. SYNC. 128 bit. Campo che permette al ricevitore di sincronizzare la sua sequenza di chip. È una sequenza generata con lo scambler a 2⁷ stati a partire dallo stato iniziale [1101100]. Campo di 7 bit. La sequenza totale è 1111001110100000.
2. Start Frame Delimitier (SFD). 16 bit. Delimita i parametri dipendenti dallo strato fisico. È la sequenza 1111001110100000.

L'Header di 64 bit contiene:

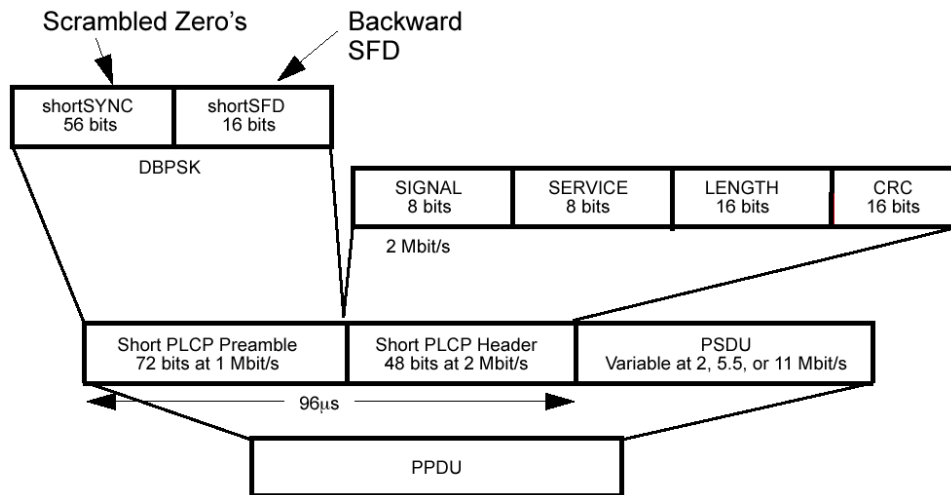
3. Signal. 8 bit. Bitrate misurato in unità da 100 Kbps. Ad esempio 11 Mbps = 110 x 100 Kbps = h6E.
4. Service. 8 bit. È un campo di bit:
 - a. b2=1. Se la portante e il clock dei simboli non provengono dallo stesso oscillatore.
 - b. b3=0. Se la modulazione è di tipo CCK (vedi par.) altrimenti è di tipo PBCC (vedi par.).
 - c. b7=1. Estende il campo length.
5. Length. 16 bit integer unsigned. Numero di microsecondi richiesti per trasmettere la PSDU. Siccome c'è un'ambiguità quando si trasmette a 11 Mbps il campo di 7 bit è di bit meno significativo di questo campo. (cioè di peso 2⁻¹).
6. CRC. 16 bit. Tutti i campi dell'header sono protetti da errori attraverso un codice ciclico generato dal polinomio irriducibile

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad (4.4.1)$$

La costruzione di questo header deve essere fatta a monte dell'eventuale scrambling, inoltre **l'header del preambolo sono sempre trasmessi alla velocità di 1 Mbps con modulazione DBPSK**. Questo per motivi di interoperabilità tra schemi di modulazione diversi.

ShortPLCPPDU format.

I Short long PCI differiscono per la lunghezza della sequenza di sincronismo e per la velocità di trasmissione dell'header che in questo caso è 2Mbps.



È formato da un Preambolo di 72 bit che contiene:

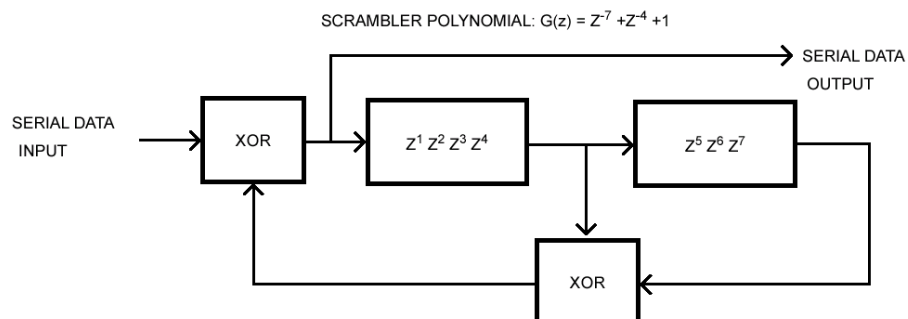
1. ShortSYNC. 56 bit. Ottenuta dallo scrambler a partire dallo stato iniziale [0011011]
2. ShortSFD. 16 bit. Stessa funzione di SFD, sequenza diversa: 0000010111001111

Segue l'header di 48 bit che contiene:

3. Signal. 8 bit. Niente di nuovo qui.
4. Service. 8 bit. Niente di nuovo qui.
5. Length. 16 bit. Niente di nuovo qui.
6. CRC. 16 bit. Niente di nuovo qui.

4.5. Scrambler.

Tutti i dati devono essere crittati prima della trasmissione. Per questo è usato un generatore di



numerici pseudocasuali, lo scrambler. Tale generatore è usato per generare la sequenza nota di sincronismo per il pacchetto iniziale e poi tutti i campi della SDU vengono inviati all'ingresso del sistema. Per questo motivo si dice che l'algoritmo è autosincronizzante. Inoltre lo scrambler genera dei bit di padding uniformi e ha quindi il vantaggio di aggiungere i simboli del segnale di trasmissione.

tereincorrelati (quindi dallo spettro densi tà dipotenzabianco) ed eliminare una eventuale componente continua.

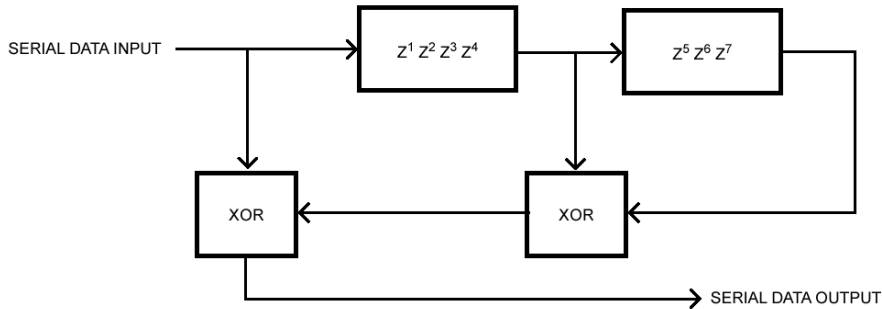
Supponiamo di porre l'ingresso dello scrambler a 0 ed iniziarlo ad una delle due sequenze viste. Il sistema genera in un shift register che ha 2⁷ possibili stati, quindi ciascuna sequenza generata si ripeterà ogni 2⁷-1. Si può dimostrare che le sequenze prodotte dal registro scorrono in to ha nno le seguenti proprietà:

1. La sequenza è periodica con periodo 2⁷-1
2. La sequenza contiene 2⁶ simboli 1 e 2⁶-1 simboli 0. Quindi ha media 0.503937...
3. l'autocorrelazione periodica con $j \in [0, 2^7-1]$ della sequenza vale

$$\phi_{zz}(j) = \begin{cases} 2^7 - 1 & j = 0 \\ -1 & \text{Altrove} \end{cases} \tag{4.5.1}$$

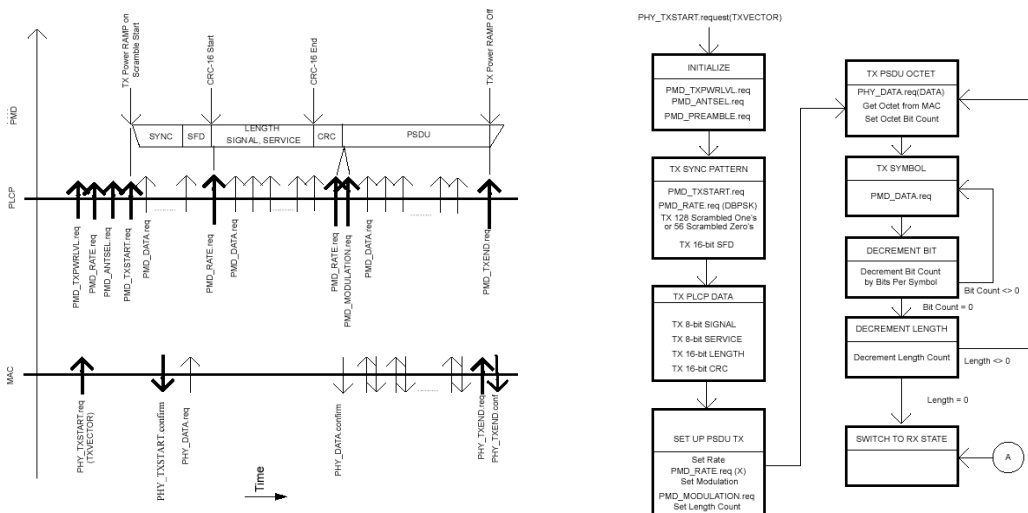
Queste tre proprietà rendono la sequenza un'ottima approssimazione di un rumore bianco, perché è stato usato per crittare i dati, semplicemente moltiplicando per la sequenza in ingresso.

L'operazione inversa è svolta attraverso il descrambler :



In questo caso il segnale ricevuto è inviato all'ingresso dello shift register, che quindi evolverà negli stessi stati dello scrambler in trasmissione grazie al fatto che all'inizio di ogni pacchetto lo scrambler è iniziato da un noto stato iniziale. L'uscita dello shift viene sommata al segnale crittato per riottenere il segnale iniziale.

Nel grafico seguente sono evidenziate, a titolo di esempio, le primitive del servizio PLCP nel caso



di un' trasmissione.

4.6. SottostratoPMD.

Questo sottostrato è dipendente dalla singola modulazione usata, ed essendo uno strato fisico non comprende solo descrizioni procedurali ma anche funzionali, elettriche, meccaniche. Le funzioni di questo strato consegnano allo strato superiore un servizio che contiene il flusso dei dati, le informazioni riguardo ai tempi e i parametri associati al segnale ricevuto.

La primitiva che governa il trasferimento delle informazioni è chiamata PM_DATA, nel caso di trasmissione PLD chiamerà *request*, nel caso di ricezione è PMD chiamare *indication*, trasmissione che inizia o termina con PMD_TXSTART e TXEND.

Queste primitive selezionano la modalità di accesso al mezzo.

PLD_MODULATION seleziona il tipo di trasmissione,
 PMD_RATE la bitrate,
 PLD_PREAMBLE seleziona il tipo di preambolo breve o lungo,

Queste primitive regolano il VCSI

PMD_RSSI indica e comunica allo strato sovrastante la potenza del segnale ricevuto
 PMD_CD indica allo strato PLCP che il ricevitore ha agganciato la sequenza di chip, il quale provvederà a comunicare allo strato MAC che il mezzo è occupato.
 PMD_ED indica/request Rivelasec'è energia in banda RF, se affermativo conclude che il mezzo è occupato da una stazione che non trasmette in high rate.

4.7. BasicAccessRate.

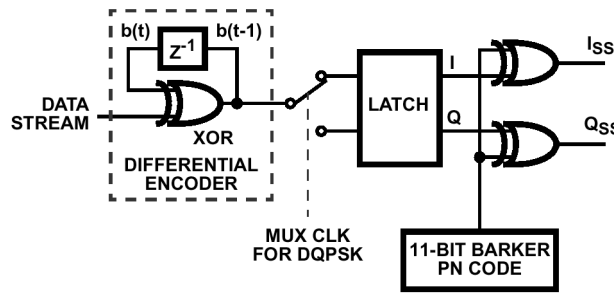
Tutte le schede IEEE 802.11 DSSS compatibili devono almeno supportare le due modulazioni del Basic Access Rate (BAR):

BitRate (Mbps)	Modulazione
1	DBPSK
2	DQPSK

Per entrambi le sequenze di chip è data dalla Barker sequence:

+,-,+,+,-,+,+,+,-,-

La modulazione è PSK differenziale, alternativamente binaria in quadratura. Nella figura sottostante è presentata una possibile implementazione del modulatore differenziale con sequenza di Barker.

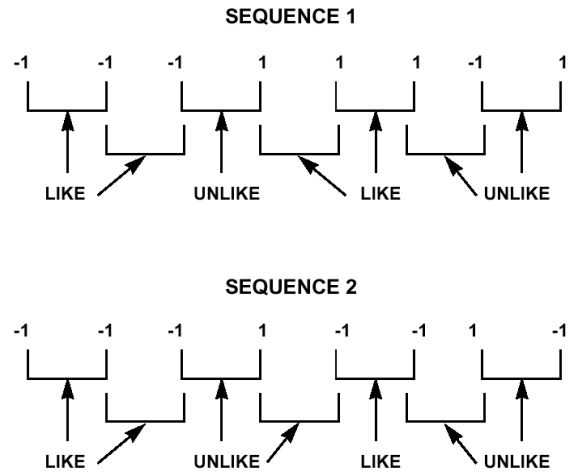


4.8. Lamodulazione Complementary Code Keying (CCK).

Anziché usare la codifica di Barker per raggiungere gli 11 Mbps si sfruttano le proprietà dei codici complementari.

Si dicono complementari due sequenze $\{a_i\}$ e $\{b_i\}$ se per ogni i si ha $a_i b_i = 1$ (come) o $a_i b_i = -1$ (non come) separatamente per ogni bit. In altre parole, per ogni bit i , a_i e b_i sono entrambi uguali o entrambi opposti.

La sequenza 1 della figura a lato, ad esempio, ha 4 coppie di elementi concordi con separazione 1 e 3 coppie di elementi discordi con separazione 1. La sequenza 2 ha invece 4 coppie di elementi discordi con separazione 1 e 3 coppie di elementi concordi con separazione 1.



Le sequenze complementari hanno quindi delle interessanti proprietà di simmetria che sono utili nella nostra modulazione. Si può dimostrare che le sequenze complementari hanno la seguente proprietà:

Dato un'sequenza complementare la funzione di autocorrelazione per definizione è:

$$c_j = \sum_{i=1}^{n-j} a_i a_{i+j} \quad d_j = \sum_{i=1}^{n-j} b_i b_{i+j} \tag{4.8.1}$$

Le sequenze sono complementari se e solo se vale la

$$c_j + d_j = 0 \Leftrightarrow j \neq 0 \tag{4.8.2}$$

L'autocorrelazione delle sequenze è invece:

j	0	1	2	3	4	5	6	7
c_j	8	0	0	-4	0	-4	0	0
d_j	8	0	0	+4	0	+4	0	0

La modulazione CCK anziché usare simboli binari usa simboli complessi, tali sequenze hanno inoltre la proprietà di avere un ottimo comportamento in presenza di canale multipath.

Il codice che viene usato nella CCK ha lunghezza 8 chip, e la frequenza con cui questi otto bit vengono inviati al modulatore DPSK è 11 Mchip/s. Un simbolo è costituito dal blocco formato da 8 valori complessi, il quale sarà ottenuto applicando le trasformazioni che vedremo 8 bit in un'informazione in ingresso. In definitiva tale schema ha la stessa occupazione in banda del DSSS ottenuto con la sequenza di Barker. Quindi la rate dei simboli all'uscita del modulatore CCK sarà 1.375 MSym/s.

rate di informazione in ingresso al modulatore sarà 1.375 MByte/s. La formula per calcolare il simbolo complesso è:

$$c = \{ e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3+\varphi_4)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_3+\varphi_4)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_4)}, -e^{j(\varphi_1+\varphi_4)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_3)}, -e^{j(\varphi_1+\varphi_2)}, e^{j\varphi_1} \} \quad (4.8.3)$$

Si potrebbe già osservare che φ_1 compare in tutti gli elementi del vettore.

4.9. High rate CCK @ 5.5 Mbps

Alla rate di 5.5 Mbps ciascuno simbolo contiene 4 bit di informazione: supponiamo di voler trasmettere il pattern (d0, d1, d2, d3), il vettore da trasmettere in funzione degli ultimi due bit d2 d3 sarà:

(d2,d3)	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
00	1j	1	1j	-1	1j	1	-1j	1
01	-1j	-1	-1j	1	1j	1	-1j	1
10	-1j	1	-1j	-1	-1j	1	1j	1
11	1j	-1	1j	1	-1j	1	1j	1

In fine il vettore dovrà essere ruotato in funzione dei primi due bit d0, d1 così:

1. se il simbolo è pari $\pi/2 * (d0d1)$
2. se il simbolo è dispari: $\pi/2 * (d0d1) + \pi$

4.10. High rate CCK @ 11 Mbps

Questo vettore ciascuno simbolo contiene 8 bit di informazione, codificati così:

(d _{i+1} , d _i)	Phase
00	0
01	π
10	$\pi/2$
11	$-\pi/2$

La coppia (d1, d0) codifica φ_1 , la coppia (d3, d2) codifica φ_2 , e così via... ad esempio

(d7, ..., d0) = 10110101 allora dalla tabella si ha:

(d1, d0) = 01 $\Rightarrow \varphi_1 = \pi$; analogamente $\varphi_2 = \pi$; $\varphi_3 = -\pi/2$; $\varphi_4 = \pi/2$.

Sostituendo nella (4.8.3) si ha

$$c = \{ 1, -1, j, j, -j, j, -1, 1 \} \quad (4.10.1)$$

L'implementazione del modulatore sfrutta la proprietà che φ_1 compare in tutti gli elementi del vettore, quindi non c'è bisogno di metterlo in romba bastasse sommare il suo contributo al monted del modulatore DPS K, in ingresso il flusso di dati è seriale alla velocità di 1.375 MByte/s, 6 bit in uscita al selettore selezionano in una apposta ROM il simbolo complesso corrispondente, mentre gli altri due bit, che rappresentano φ_4 vengono inviati direttamente al DPS K e provvederanno a ruotare il

simbolo come visto in precedenza. Per demodulare il segnale ricevuto occorre implementare un

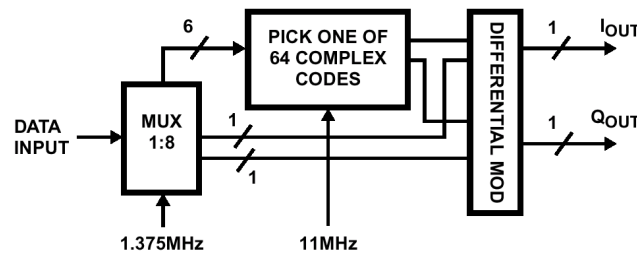


Figura 4

blocco Fast Walsh Transform (FWT) che consiste in 64 correlatori e seguiti da circuiti rivelatori di picco che determinano i 6 bit meno significativi del codice, gli altri 2 bit sono determinati dalla fase del segnale ricevuto.

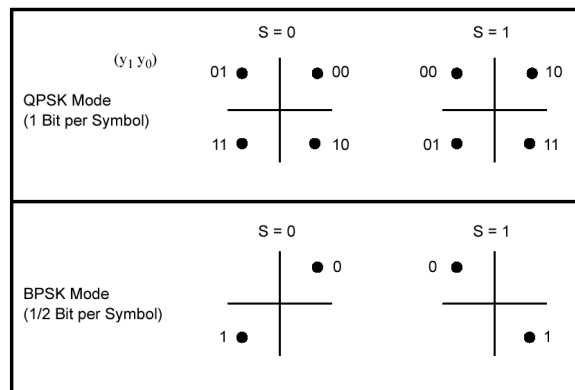
4.11. Modulazione DSSS/BCC

Tale schema opzionale fa uso di un Binary Convolutional Code (BCC) a 64 stati il cui generatore è:

$$G = [D^6 + D^4 + D^3 + D + 1, D^6 + D^5 + D^4 + D^3 + D^2 + D^2 + 1]$$

Il codificatore deve partire e arrivare ad un stato noto per questo devono essere aggiunti 6 bit di tail a 0 in coda al codificatore convoluzionale, questo è ottenuto aggiungendo un ottetto di tutti 0 alla fine della PPDU. In uscita si invia ad un modulatore BPSK (5.5 Mbps) e QPSK (11 Mbps).

Per proteggere i dati da eventuali intercettazioni il codice dei simboli della QPSK viene fatto variare in funzione di una sequenza PN generata a partire dal valore 0xD1CC; questa chiave è la base per una sequenza PN lunga 256 bit.



4.12. Channel Agility.

Questa opzione permette di assegnare i canali BSS adiacenti dinamicamente, per evitare le difficoltà di assegnamento statico dei canali. Tuttavia per non pesare troppo sul costo delle schede economiche, tale modalità è facoltativa. In oltre tale modalità consente ai sistemi DSSS di interoperare con i sistemi FHSS. Attraverso delle funzioni pseudocasuali la frequenza della portante del canale su cui viene modulato il segnale viene shiftata in modo da consentire l'interoperatività dei sistemi. Nel caso di infrastrutture BSS, gli AP dovranno prevedere che le due possibili modalità di

accessocoop erino:FHSS eDSSS mandano il oro segnali, AP, dal cantosuodeve essere formata da due AP log iche con dividono l'interfaccia radio.

4.13. Schemadellaradio802.11b.

Questoschematico appartiene al modello PRISM II ,della Intersil corporation.

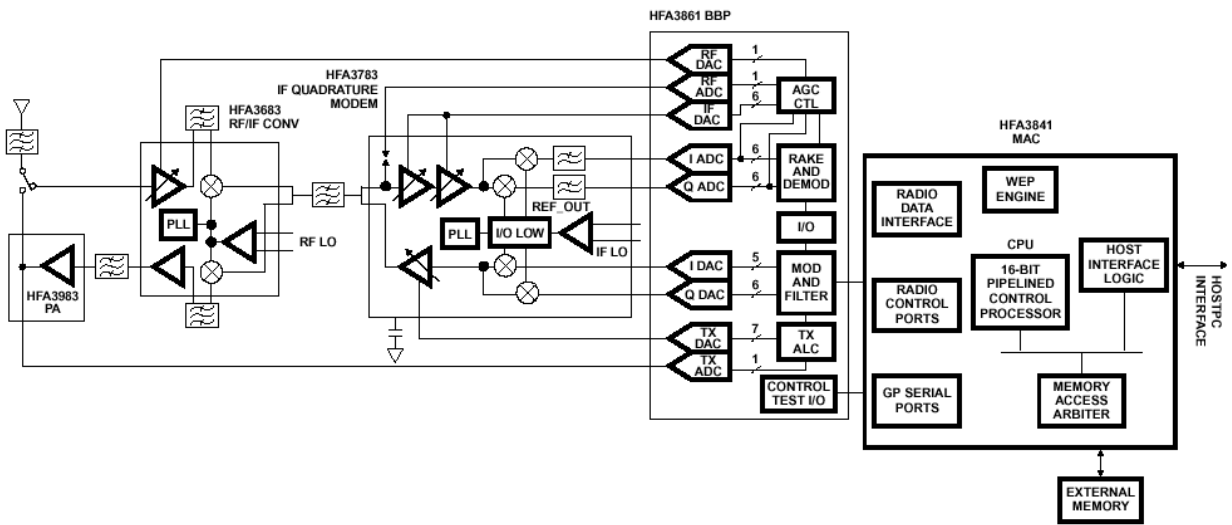


FIGURE 3. PRISM II RADIO BLOCK DIAGRAM

5. Bibliografia.

- [1] Supplemento IEEE standard for Information Technology. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layers specifications. Approvato il 16 Settembre 1999.
- [2] John G. Proakis – Digital Communications 2nd edition. McGraw Hill, Boston.
- [3] Application note AN9820.1 Intersil Corporation – A condensed Review of Spread Spectrum techniques for ISM Band System.
- [4] Application note AN9850.1 Intersil Corporation – Complementary Code Keying made simple.
- [5] Danil L. Loughrea – A short Tutorial on Wireless LANs and IEEE
- [6] J. Zyren, A. Petrick – IEEE 802.11 Tutorial
- [7] Breeze COM Tech. – Appenix D. IEEE 802.11 Technical Tutorial.
- [8] 3COM Tech. – What's New in Wireless LANs: The IEEE 802.11 Standard.
- [9] Jim Geier – Spread Spectrum: Frequency Hopping vs Direct Sequence.
- [10] IEEE 802.11 Unapproved Draft – Direct Sequence Spread Spectrum.

6. Indice analitico e indice degli acronimi.

λ	11	HighRate	19
Accesspoint	6	Highrate CCK	24
ActiveScanning	12	Indicidimoulazione	14
Ad-Hoc	6	Infrastrucure	6
AP	<i>Vedi</i> Accesspoint	interferenzacocanale	15
autenticazione	8	IPSec	8
back-off	11	LAN	<i>Vedi</i> retilocali
BAR	<i>Vedi</i> BasicAccessRate	Lenght	19;20
Barkersequence	22	like	23
BasicAccessRate	22	LoadBalancing	12
BasicServiceSet	6	LongPreamble anHeader	19
BCC	<i>Vedi</i> BinaryConvolutional Code	MAC	10. <i>Vedi</i> StratoMediumAccessControl
BinaryConvolutionalCode	25	MAC-SDU	<i>Vedi</i> MAC -ServiceDataUnit
bitRate	5	MAC-ServiceDataUnit	9
BSS	<i>Vedi</i> Ad -Hoc	<i>master</i>	6
Canaleradio	5	mercato	4
canali	15	modulatoreCCK	24
CarrierSensitiveMultipleAccess -Collision		<i>ModulazioneDSSSPBCC</i>	25
Detection	9	nodonascosto	10
Carson	15	PassiveScanning	12
chip	16;17	PCF	<i>Vedi</i> PointCoordinationFuntion
ClearToSend	10	PhysicalLayerConvergenceProcedure	8
CRC	19	PhysicalMediumDependent	8
CRC	20	PIFS	<i>Vedi</i> PointcoordinationIFS
CSMA-CD	<i>Vedi</i> CarrierSensitiveMultipleAccess - CollisionDetection	PLCP	<i>Vedi</i> PhysicalLayerConvergenceProcedure
CTS	<i>Vedi</i> ClearToSend	PLD_Modulation	22
DCF	<i>Vedi</i> DistributedCoordinationFunction. <i>Vedi</i> DistrubuedCoorinationFunction	PLD_preamble	22
descrambler	21	PM_DATA	22
D-GMSK	<i>Vedi</i> DifferentialGaussianMinimumShift Keying	PMD	<i>Vedi</i> PhysicalMediumDependent
DifferentialGaussianMinimumShiftKeying	14	PMD_CD	22
DIFS	<i>Vedi</i> Distributed IFS . <i>Vedi</i> DistributedInter FrameSpace	PMD_ED	22
<i>DirectSequenceSpreadSpectrum</i>	16	PMD_RATE	22
DistributedIFS	12	PMD_RSSI	22
DistributedInterFrameSpace	10	PMD-SAP	<i>Vedi</i> PMD -ServiceAccessPoint
DistributedCoordinationFunction	10	PMD-ServiceAccessPoint	8
DistrubuedCoorinationFunction	8	PointCoordinationFuntion	8
DSSS	<i>Vedi DirectSequenceSpreadSpectrum</i>	PointcoordinationIFS	12
EIFS	<i>Vedi</i> ExtendedIFS	polling	8
ESS	<i>Vedi</i> Infrastrucure	PowerBudget	6
ESSID	<i>Vedi</i> WLANserveiceareaID	PRISMII	26
ExtendedIFS	12	PRNG	<i>Vedi</i> PseudoRandomNumberGenerator
ExtendedServiceSet	6	proceduradihopping	16
<i>FastACK</i>	13	PseudoRandomNumberGener ator	7
FastWalshTrasform	25	pseudocasuali	16;20
fattorediespansione	16	PSKdifferenziale	22
FH	<i>Vedi</i> FrequencyHopping	RequesttoSend	10
FHSS	<i>Vedi</i> FrequencyHoppedSpreadSpectrum	retilocali	4
<i>FrequencyHoppedS preadSpectrum</i>	14	riassociazione	7
FrequencyHopping	8	Roaming	7;12
FWT	<i>Vedi</i> FastWalshTrasform	RTS	<i>Vedi</i> RequesttoSend
handover	7	schematico	26
		scrambler	21
		<i>scrambling</i>	7
		sequenzecomplementari	23
		Service	19;20

SFD.....	<i>VediStartFrameDelimitier</i>	
ShortInterFrameSpace	10;12	
ShortPLCPPDU	20	
ShortPreambleandHeader	19	
ShortSFD	20	
ShortSYNC	20	
Sicurezza	7	
SIFS.....	10. <i>VediShortInterFrameSpace</i>	
Signal.....	19;20	
STA	<i>Vedistazioni</i>	
StartFrameDelimitier	19	
stazioni	6	
StratiFunzionali	8	
Stratofisico	8	
stratoLLC	5	
stratoMAC	5	
StratoMediumAccessControl	9	
streamvoceevideo	8	
SYNC	19	
tempodipropagazione	11	
unlike	23	
utilizzatori	4	
VCSI.....	<i>VediVirtualCarrierSenseIndicator</i>	
VirtualCarrierSenseIndicator	11	
WEP.....	<i>VediWiredEquivalentPrivacy</i>	
WiredEquivalentPrivacy	7	
WirelessLAN	4	
WLAN	<i>VediWirelessLAN</i>	
WLANServiceareaID	8	