



UNIVERSITÀ
DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE ED INFORMATICHE
Corso di Laurea in Informatica

Il Livello Data-Link

Parte III : Reti Wireless

RETI DI CALCOLATORI - a.a. 2022/2023

Roberto Alfieri

Il Livello Data-Link: sommario

PARTE I

- ▶ Scopi del livello Data-Link
- ▶ Framing, Rilevazione e correzione degli errori, controllo di flusso
- ▶ Protocolli per reti Punto-punto: PPP.
- ▶ Protocolli per reti MultiAccesso: Aloha, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

PARTE II

- ▶ Gli standard IEEE802
- ▶ Ethernet: Sottoliv. MAC e LLC, tecnologie Ethernet, il Frame, Repeater, Switch, Bridge
- ▶ Spanning Tree Protocol.
- ▶ Lan Virtuali

PARTE III

- ▶ Lan Wireless

RIFERIMENTI

- ▶ *Reti di Calcolatori*, A. Tanenbaum, ed. Pearson
- ▶ *Reti di calcolatori e Internet*, Forouzan , Ed. McGraw-Hill

Reti Wireless

Famiglie di protocolli Wireless IEEE802:

- ▶ 802.11: Wireless LAN (Local Area Network) casa, scuola, ufficio, ... (e.g. WiFi)
- ▶ 802.16: Wireless MAN (Metropolitan Area Network) entro i limiti urbani. (e.g. WiMax)
- ▶ 802.15: Wireless PAN (Personal Area Network) entro i 10 metri (e.g. Bluetooth)

Tecnologie Wireless per l'IoT:

- ▶ Low Power Short Range : RFID
- ▶ Low Power LAN

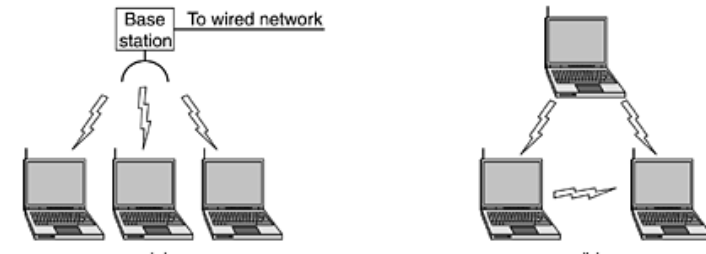
IEEE 802.11: architettura e stack dei protocolli

IEEE802.11 è il principale standard per le LAN wireless.

Wi-Fi Alliance è una organizzazione, composta da industrie leader nel settore, che collabora con IEEE802.11 per guidare l'adozione standardizzata delle diverse tecnologie WiFi.

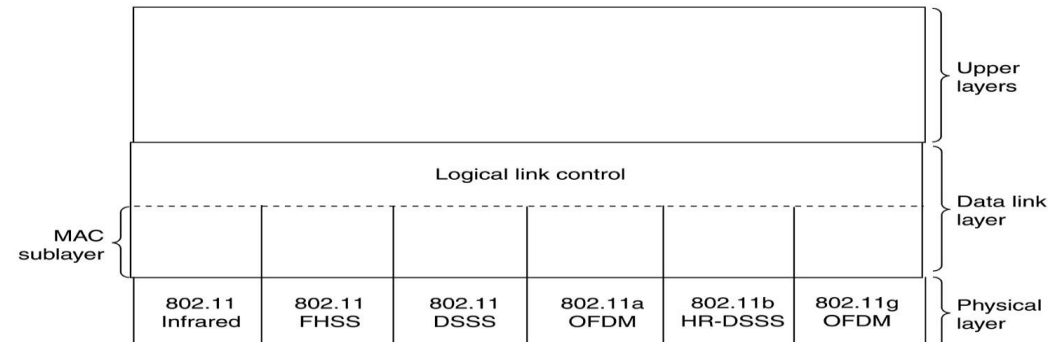
Due modalità di utilizzo:

- con **infrastruttura**: ogni client è associato ad una Stazione Base (Bridge)
- **reti ad hoc**: rete di computer associati tra loro (poco utilizzata)



Lo standard 802.11 si compone di 2 sottostrati:

- **sottostrato MAC 802.11**: si occupa delle problematiche di condivisione del mezzo trasmissivo e fa parte del Data-link layer.
- **sottostrato Fisico 802.11**: si occupa della codifica dei dati. Esistono diverse varianti (es. 802.11a, 802.11b, ecc)



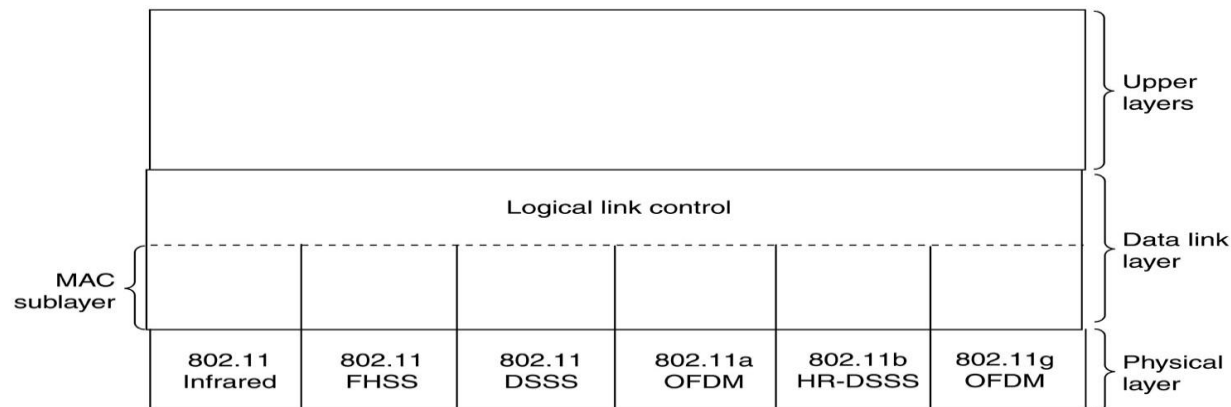
802.11 : Le varianti dello strato fisico

Il sotto-strato fisico può utilizzare 6 diverse tecniche di trasmissione (Infrared, HDSS, DSSS, OFDM, HR-DSSS e OFDM)

Dal 1997 ad oggi sono stati realizzati diversi protocolli che utilizzano queste tecniche, tra cui: 802.11, 802.11a 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac

Tutte le implementazioni (eccetto gli infrarossi in 802.11) operano nelle frequenze ISM: 902-928MHz, 2400-2483MHz e 5727-5850MHz

Il canale è multi-accesso per cui il throughput è condiviso.



Il sottostrato fisico 802.11

802.11 Pubblicato nel 1997 è il protocollo originale.

Aveva una velocità limitata a 1 o 2 Mbps con 3 varianti tecniche:

- ▶ **Infrarosso** ($0.85\mu\text{m}$ o $0.95\mu\text{m}$) Non penetra i muri ed è sensibile alla luce solare.
- ▶ **Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)**
- ▶ **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**

Il sottostato fisico 802.11b

802.11b Pubblicato nel 1999.

Opera a 2.4GHz con la tecnica di modulazione **HR-DSSS** (HighRate DSSS) con uno schema di modulazione denominato Complementary Code Keying (CCK).

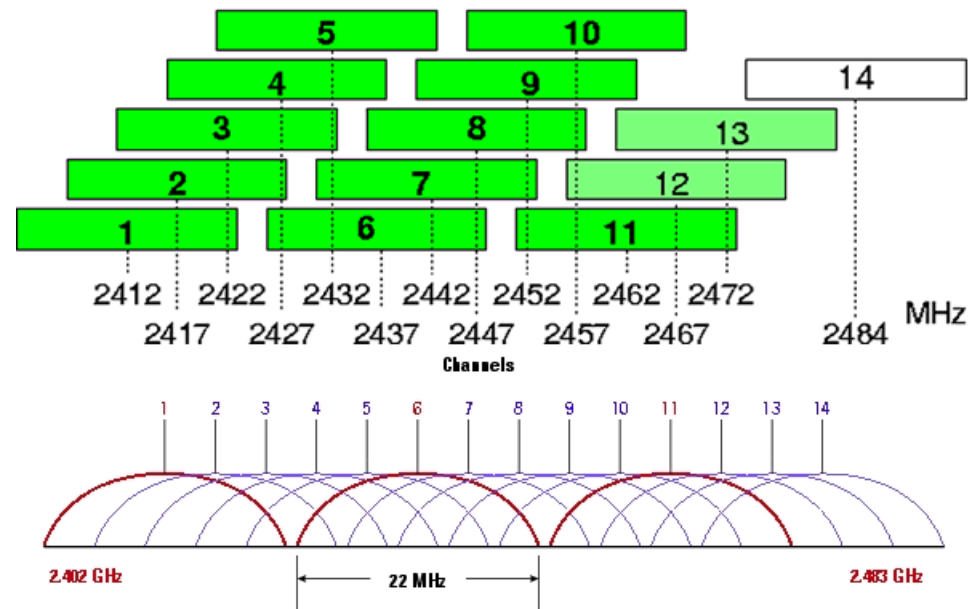
Ha una velocità dichiarata di 11Mb/s, ma il protocollo MAC CSMA/CA introduce un overhead che ne **dimezza** la velocità reale (5.9Mbps TCP).

Se il segnale è debole la velocità massima può essere ridotta a 5.5, 2 o 1 Mbps

Le velocità di 1 e 2 Mbps funzionano in DSSS per compatibilità con 802.11

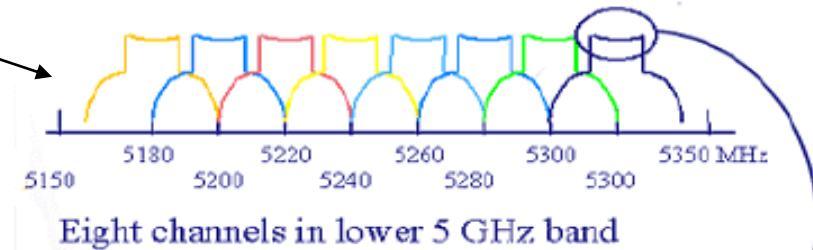
Lo spettro (83 MHz da 2400 a 2483) è suddiviso in 14 canali da 22 MHz parzialmente sovrapposti.

Per evitare interferenze vengono generalmente utilizzati 2 gruppi di canali (1,6,11 e 2,7,12) quando ci sono diverse reti WiFi.

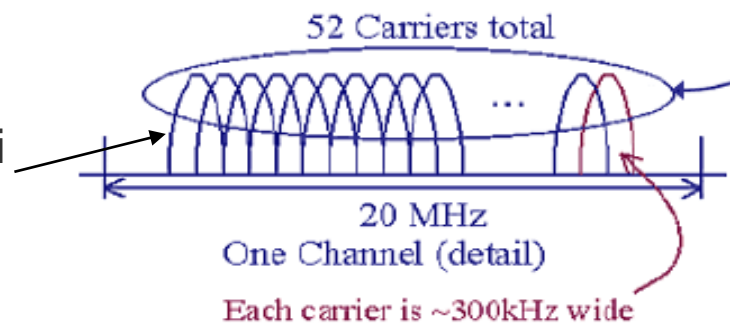


Il sottostato fisico 802.11a

Pubblicato nel 2001 utilizza 8 canali da 20MHz attorno a 5.2GHz raggiungendo una velocità di 54Mb/s (25/31 reali) ridotta a 48, 36, 34, 18, 9 o 6 Mb/s.



La tecnica utilizzata per la codifica è la **OFDM** (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing): Ogni canale da 20MHz è suddiviso in 52 portanti da 300KHz (48 dati + 4 per la sincronizzazione) con modulazione di fase (QPSK) e di ampiezza e fase (QAM) , come ADSL.

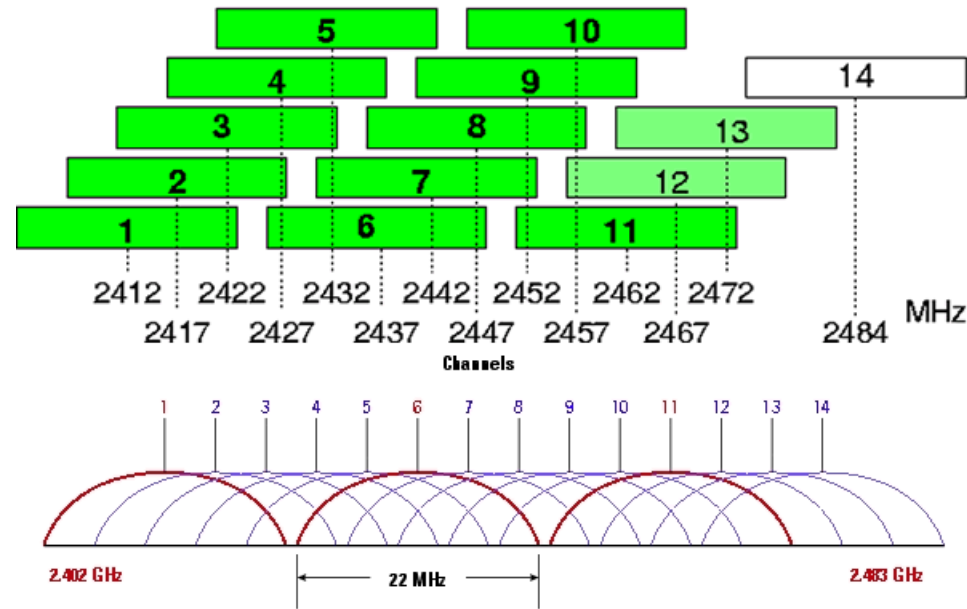


La trasmissione ortogonale consente di ridurre l'interferenza tra canali adiacenti parzialmente sovrapposti.

Questo standard non ha riscosso i favori del pubblico dato che l'802.11b si era già molto diffuso e in molti paesi (Europa) l'uso delle frequenze a 5 GHz era riservato.

Il sottostato Fisico 802.11g

Pubblicato nel 2003 utilizza la frequenza di 802.11b, con cui è backward-compatible, e la modulazione OFDM su 52 portanti come 802.11a, ma utilizza i 14 canali da 22MHz attorno a 2.4GHz di 802.11b.



La velocità è di 54 Mbps (24 Mbps reali), ma può scendere a 48, 36, 18, 12, 9 e 6. Può anche lavorare a 11 o 5.5 Mbps in modalità retro-compatibile con 802.11b

I sottostati 802.11n e 802.11ac

IEEE802.11n (Denominato Wi-Fi 4 da WiFi Alliance)

La versione definitiva dello standard è stata ratificata nel 2009.

Opera a 2.4 e 5.4 Ghz con canali da 20MHz o 40MHz

Utilizza OFDM con modulazione QPSK, 16-QAM o 64-QAM

Altri miglioramenti rispetto a 802.11g grazie alla tecnologia MIMO (Multiple Input Multiple Output): si utilizzano fino a 4 antenne per trasmettere fino a 4 flussi radio paralleli oppure per migliorare il raggio di copertura.

Utilizzando canali da 40MHz e 2 antenne MIMO si raggiunge una velocità attorno ai 300Mb/s (200 reali).

IEEE802.11ac (Denominato Wi-Fi 5 da WiFi Alliance)

La versione definitiva dello standard è stata ratificata nel 2014.

Rispetto a 802.11n opera solo a 5 GHz con canali più larghi (80 o 160 MHz), più antenne Mimo (fino a 8) e una modulazione fino a 256-QAM.

La velocità massima per flusso (banda 160Mhz , 256 QAM, 1 antenna Mimo) è di circa 800 Mbps (throughput 600 Mbps).

http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white_paper_c11-713103.html

I sottostrati 802.11ax e 802.11ay

IEEE802.11ax https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ax

Denominata Wi-Fi 6 da WiFi Alliance

La versione definitiva dello standard è stata ratificata nel 2019.

Velocità 4x rispetto a 802.11ac

Opera a 2.4 e 5.4 Ghz con canali raddoppiati (20 o 40 Mhz)

Utilizza OFDM con modulazione fino a 1024-QAM

Utilizzo previsto: ambienti ad alta densità di dispositivi collegati e di persone presenti

IEEE802.11ay https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ay

Attualmente in fase di definizione

Opera a 60GHz (onde millimetriche), con velocità 20-40 Gbps a 300-500 metri

L'utilizzo previsto: in sostituzione di ethernet delle case e negli uffici.

E' la risposta WiFi all'utilizzo delle onde millimetriche in 5G.

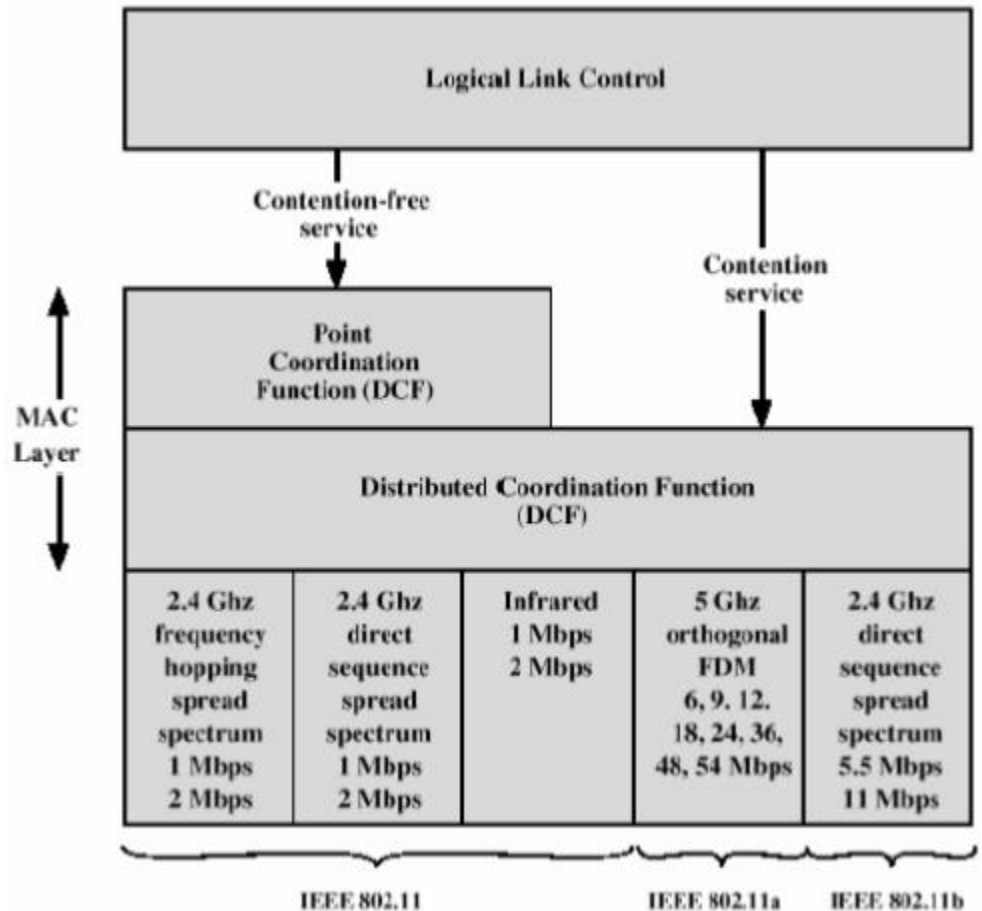
Il sottostrato MAC di 802.11

Copre 3 funzioni:

- ▶ Consegna affidabile dei Frame
- ▶ Controllo dell'accesso
- ▶ Sicurezza

Fornisce 2 modalità di funzionamento:

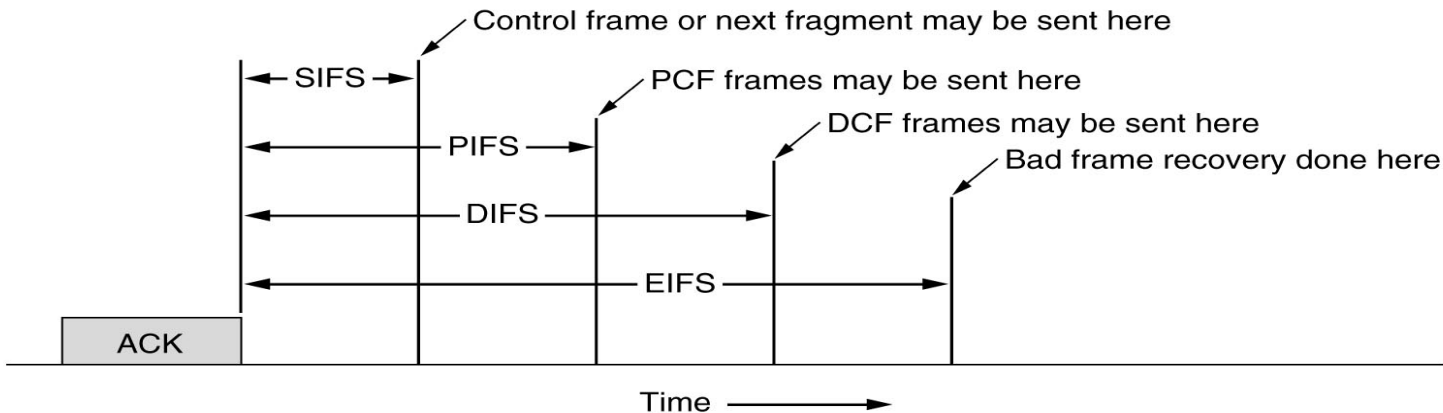
- ▶ A contesa: DCF
(Distributed Coordination Function)
- ▶ Senza contesa: PCF
(Point Coordination Function)



Protocolli MAC: Inter-Frame Space (IFS)

DCF e PCF possono convivere nella stessa cella, grazie ad una opportuna assegnazione dei tempi di attesa (priorità nella risposta):

- SIFS (Short Inter Frame Space). Per separare i Frame di una singola trasmissione.
- PIFS (PCF IFS). Un eventuale AP può inviare i suoi Frame di controllo.
- DIFS (DCF IFS). Se l'AP tace le stazioni possono tentare di acquisire il canale.



Protocollo MAC a contesa del canale (DCF)

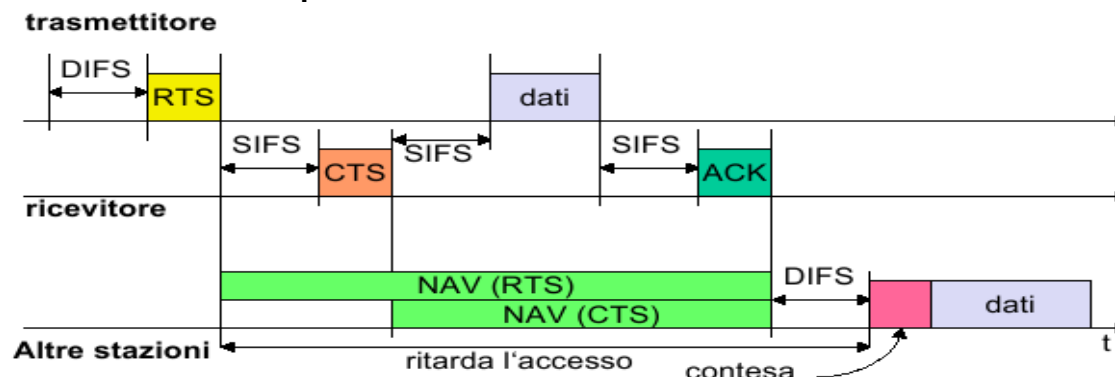
DCF (Distributed Coordination Function)

Gestione distribuita (come Ethernet), con **CSMA/CA**

Quando la stazione deve trasmettere manda un RTS, quindi attende il CTS dal destinatario ed invia i Frame. Per ogni frame inviato attiva un Timer e attende un ACK. Se non arriva l'ACK (CRC errato, ..) il protocollo si ripete.

Al contrario delle reti wired, le reti wireless sono soggette a rumore e quindi inaffidabili. Se i frame sono troppo lunghi hanno poche probabilità di arrivare intatti a destinazione. Per questo 802.11 ammette frammentazione in parti piccole.

Una volta acquisito il canale (con RTS e CTS) più frammenti possono essere inviati in sequenza (Fragment Burst); il NAV copre solo il primo frammento, mentre i frammenti successivi sono garantiti dal tempo di SIFS.



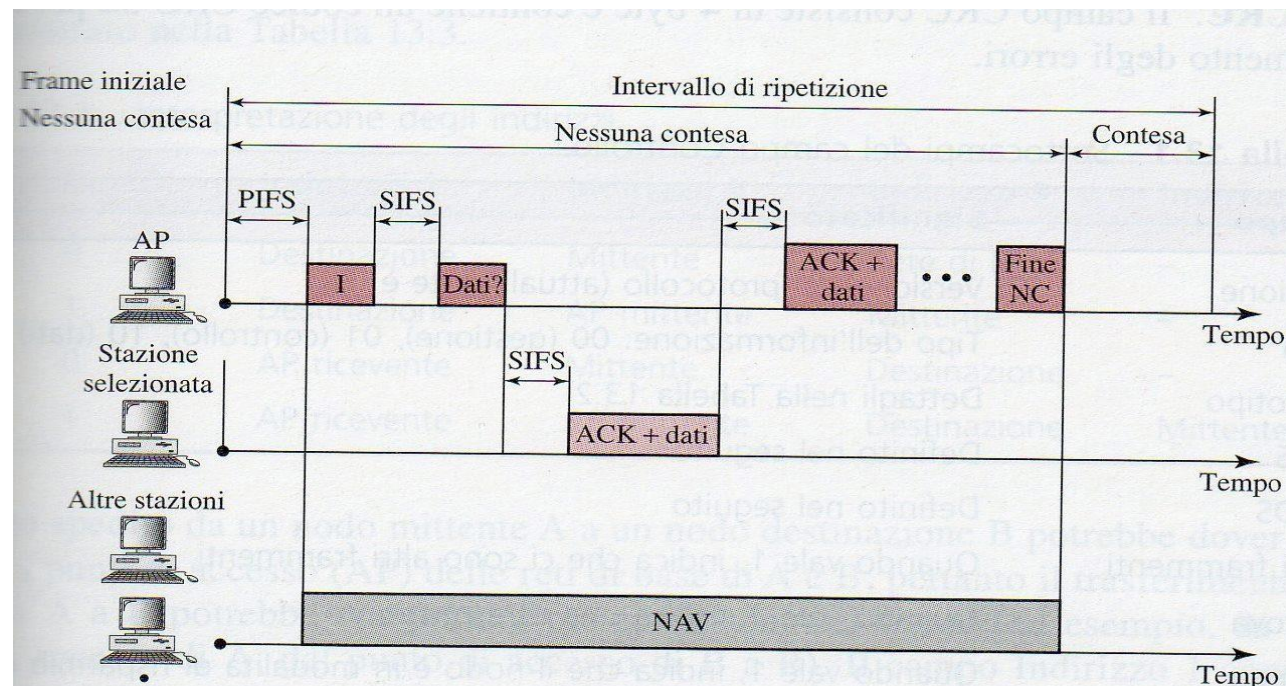
Protocollo MAC senza contesa (PCF)

L'AP gestisce tutte le stazioni della sua cella.

Un broadcast (Beacon Frame) viene inviato da 10 a 100 volte al secondo per sincronizzare le stazioni e rappresenta l'invito ad associarsi da parte di nuove stazioni, che rispondono con le caratteristiche della stazione.

Le stazioni associate vengono abilitate a comunicare in un periodo senza contesa con un meccanismo di polling . Al termine l'AP invia un frame di fine del periodo di Nessuna Contesa e possono riprendere le contese (vedi figura).

Tutte le implementazioni supportano DCF, mentre **PCF è opzionale.**

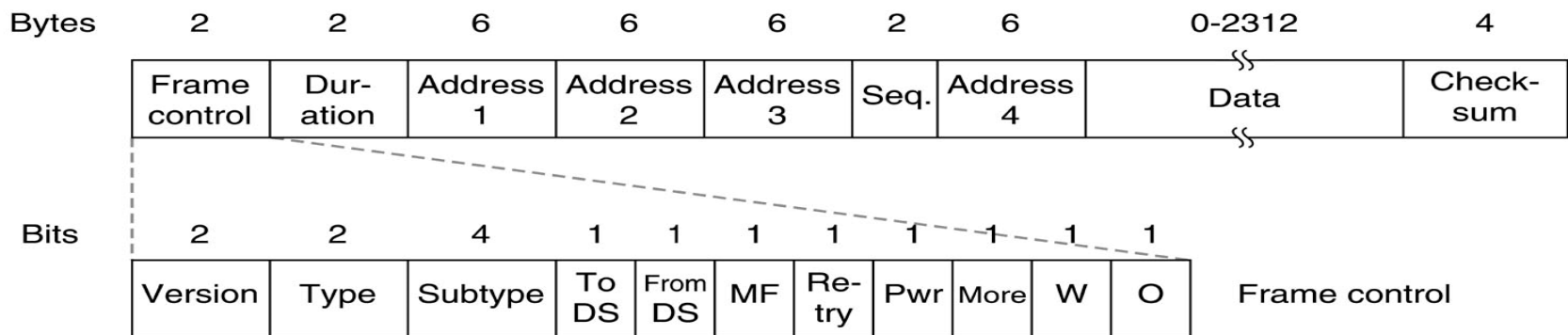


Il Frame di 802.11

Esistono 3 tipi di Frame: Dati, Controllo (RTS CTS ACK) , Management

Campi di un Frame:

- ▶ Frame Control: vedi Slide successiva
- ▶ Duration: consente di prevedere per quanto tempo il mezzo resterà occupato.
- ▶ Address: Formato IEEE 802 (48bit). Il Frame dati contiene 4 indirizzi perché oltre a MAC delle stazioni di origine e destinazione sono presenti anche quelli degli AP di entrata e di uscita.
- ▶ Sequence: consente di numerare i frammenti
- ▶ Data: è il Payload lungo fino a 2312 byte (header=24byte, max totale=2346 byte)
- ▶ Non c'è minimo poiché non è possibile avere collisione sui dati.
- ▶ Checksum: è il solito CRC-32



Vedi: <https://witestlab.poly.edu/blog/802-11-wireless-lan-2/>

Frame 802.11: Campo Controllo

Il primo ottetto è suddiviso in 3 campi con il seguente significato:

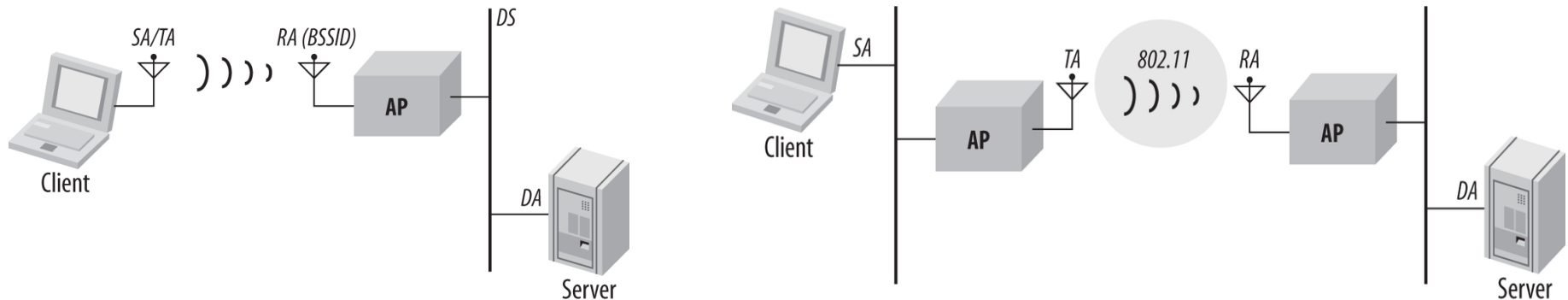
- ▶ **Versione** - Versione dello standard IEEE 802.11
- ▶ **Tipo (2 bit)** Specifica il tipo del frame: Management (00) , Controllo (01) o Dati (10)
- ▶ **Sottotipo (4 bit)** Alcuni Esempi:
 - Management: Assoc. Req (0000), Assoc. Resp (0001), Beacon (1000),
 - RTS (01-1011) , CTS (01-1100) , ACK (01-1101), Beacon (00-1000), R

Gli 8 flag che seguono, quando impostati ad 1, hanno il seguente significato:

- ▶ **AI DS** - il frame è diretto al Sistema di Distribuzione
- ▶ **Dal DS** - il frame proviene dal Sistema di Distribuzione
- ▶ **Altri Frammenti (More Fragment)** - seguono altri frammenti appartenenti allo stesso frame
- ▶ **Ripetizione (Retry)**- questo frammento è la ripetizione di un frammento precedente
- ▶ **Risparmio energia** – la stazione base mette una stazione in sleep (modalità basso consumo)
- ▶ **Altri Frame** - il trasmettitore ha altri frame per il ricevitore
- ▶ **WEP** - il campo *Dati* è stato crittografato con l'algoritmo WEP (Wired Privacy)
- ▶ **Ordinati** - frammento appartenente alla classe di servizio *StrictlyOrdered*

Frame 802.11: Indirizzi

Nell' 802.11 il trasmettitore (TA) e ricevitore (RA) potrebbero non coincidere con la sorgente (SA) o destinazione (DA) del frame. In alcuni casi la comunicazione a livello link passa per l'AP (BSSID). Vedi <https://networkengineering.stackexchange.com/questions/25100/four-layer-2-addresses-in-802-11-frame-head>



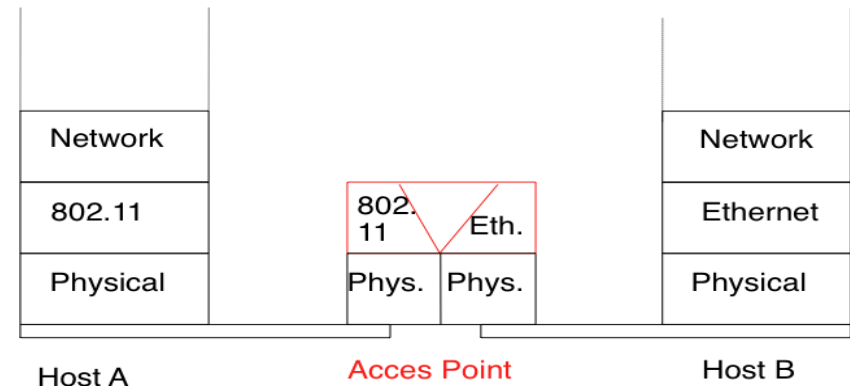
To/From DS values	Meaning
To DS = 0, From DS = 0	A data frame direct from one STA to another STA within the same IBSS, as well as all management and control type frames.
To DS = 0, From DS = 1	Data frame exiting the DS.
To DS = 1, From DS = 0	Data frame destined for the DS.
To DS = 1, From DS = 1	Wireless distribution system (WDS) frame being distributed from one AP to another AP.

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	RA = DA	TA = SA	BSSID	N/A
0	1	RA = DA	TA = BSSID	SA	N/A
1	0	RA = BSSID	TA = SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

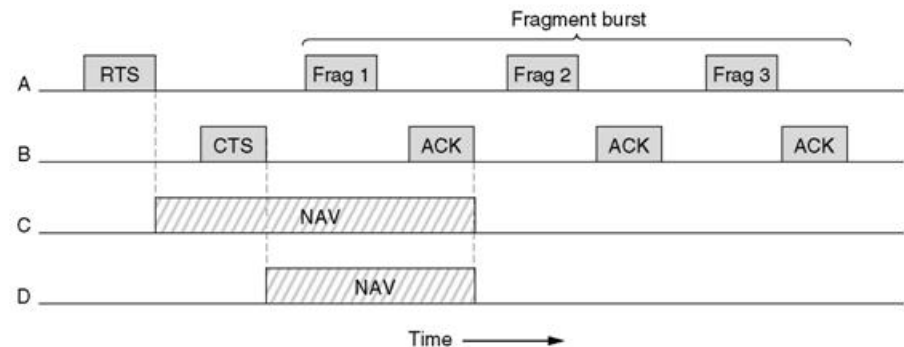
MTU e frammentazione

Il payload può arrivare fino a 2312 byte, che è quindi l'MTU di IEEE-802.11, ma è possibile definire una soglia di frammentazione tra 400 e 2312 byte

Questo valore è controllabile dall'utente (solitamente è 1500 quando Wifi è associato a Ethernet, come negli access-point)



La frammentazione migliora le prestazioni poiché riduce la probabilità di errore (e quindi reinvio)



Servizi

Ogni LAN wireless conforme allo standard 802.11 deve fornire servizi classificabili in 2 categorie:

“**servizi di distribuzione**” : sono forniti dall'AP

“**servizi di stazione**”: devono essere assolti da tutte le stazioni

I servizi sono gestiti mediante lo scambio di appositi Frame di Management.

Un Frame di Management importante è il **Beacon** che viene inviato dall'Access Point ad intervalli regolari (tipicamente 10 al secondo) e contiene l'identificatore della cella Service Set Identifier (SSID). In questo modo le stazioni vengono a conoscenza degli Access Point attivi e possono inviare Frame di Management per la richiesta di servizi.

Servizi di Distribuzione

1. **Associazione** - Appena una stazione entra nel raggio d'azione di un AP, invoca questo servizio per informare la stazione base della sua presenza e delle sue necessità.
2. **Dissociazione (Separazione)** - Sia le stazioni che gli AP possono terminare una precedente associazione. Una stazione mobile dovrebbe utilizzare questo servizio prima di spegnersi o lasciare la cella.
3. **Riassociazione** - Una stazione in moto può trasferire il controllo da un AP all'altro.
4. **Distribuzione** - L'AP smista i frame che lo raggiungono verso le stazioni della propria cella (via radio) o verso gli altri AP, attraverso il sistema di distribuzione (rete cablata).
5. **Integrazione** - Questo servizio gestisce la traduzione dei frame 802.11 verso altri formati (es. 802.3)

Servizi di Stazione

Dopo aver completato l'Associazione vengono utilizzati i servizi di Stazione:

1. **Autenticazione** - Una stazione deve autenticarsi per evitare che i frame arrivino a stazioni non autorizzate. Dopo l'Associazione la base invia un frame Challenge a cui la stazione deve rispondere con un Frame per l'autenticazione.

Ci sono due tipi di autenticazione:

- **A sistema Aperto:** nessuna sicurezza.

- **A chiave condivisa:** l'AP condivide con tutte le stazioni una chiave segreta. L'AP invia una stringa di prova (Challenge); la stazione codifica il Challenge con la chiave e la invia all'AP.

2. **Deautenticazione** - Una stazione che voglia abbandonare la rete deve “deautenticarsi” e “dissociarsi”.

3. **Riservatezza** - I dati trasmessi via radio possono essere ascoltati da chiunque si trovi all'interno dell'area di diffusione. Questo servizio gestisce la crittografia WEP (Wired Equivalent Privacy) dei frame attraverso l'algoritmo RC4 con chiavi a 64 o 128 bit (incluso il vettore di inizializzazione)

4. **Trasmissione** - Scambio di frame, fra due stazioni, a livello di MAC sublayer.

MAN Wireless

Consente di distribuire dati in area Metropolitana, su un agglomerato di case tramite una potente antenna, con una velocità di trasmissione fino a 70Mbps e un raggio fino a 50Km. Utilizza frequenze non ISM, maggiori rispetto a WiFi (comprese tra 2 e 66 Ghz).

La tecnologia e la sua evoluzione sono controllati da **WiMax Forum**, un consorzio di 420 aziende nato nel 2001.

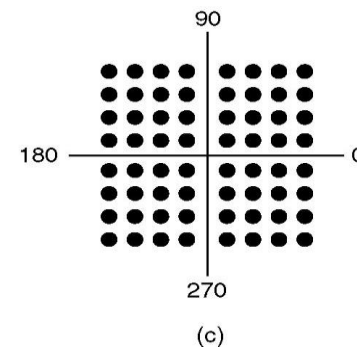
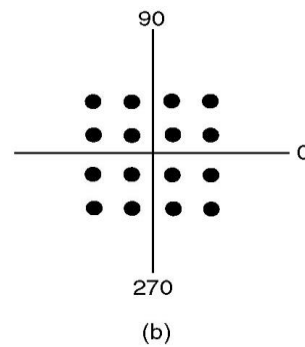
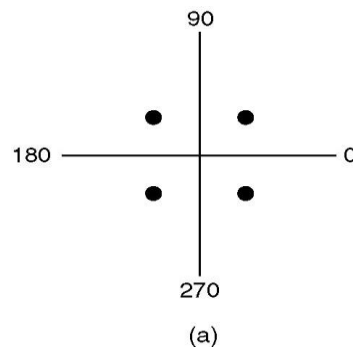
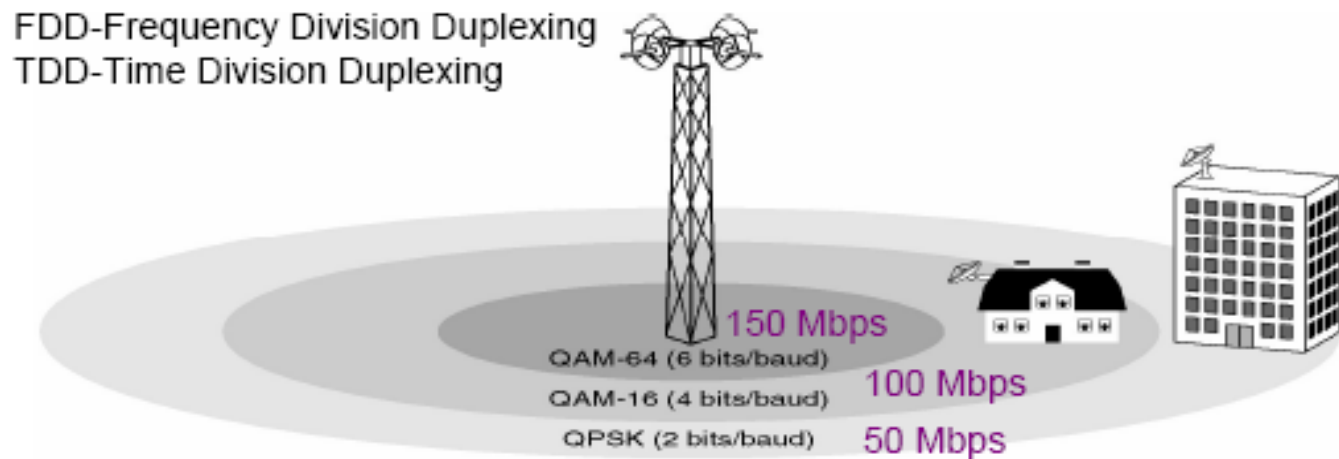
Il gruppo di lavoro IEEE che se ne occupa è **802.16** (WiMax).

Standard 802.16 attivi:

- ▶ IEEE 802.16d: detto anche 802.16-2004, per utenze fisse.
Alternativo al cablaggio dell' "ultimo miglio". Banda 2-11 Ghz, velocità 75 Mbps
- ▶ IEEE 802.16e : per utenti mobili (fino a 120 Km/h) Banda 2-6 GHz, velocità 15 Mbps
- ▶ IEEE 802.16f : Supporto multihop. Le stazioni possono fare da ponte per stazioni che non raggiungono la stazione base.

Lo strato Fisico di 802.16

Le onde viaggiano in linea retta e l'intensità diminuisce bruscamente con la distanza.
Per questo adotta 3 diversi schemi di modulazione: QPSK, QAM-16 e QAM-64 e una tecnica tipica di trasmissione OFDM con 256 sotto-portanti



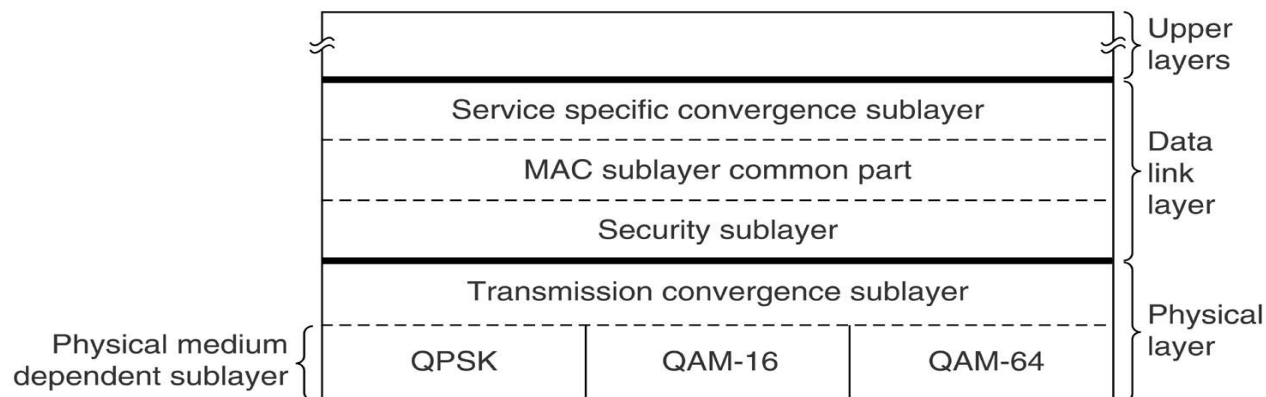
Il protocollo MAC di 802.16

Il livello data-link è suddiviso in 3 sotto-strati.

Lo stato più basso (Security) si occupa della cifratura del payload (non dell'intestazione).

Il MAC Common Part garantisce l'accesso al sistema, l'allocazione della banda, l'instaurazione e la manutenzione (establishment and maintenance) della connessione. Usa un algoritmo di scheduling. Una stazione deve competere una sola volta per entrare nella rete, poi gli viene allocato uno slot che può crescere o diminuire ma rimane sempre allocato alla stazione

Il MAC Service Specific comunica con i livelli superiori fornendo diversi livelli di servizio: A bit-rate costante, bit-rate variabile in tempo reale, bit-rate variabile in tempo non reale, e Best Effort.



Formato dei Frame 802.16

EC indica che il Payload è cifrato

Type è il tipo di Frame

CI indica se esiste un CRC finale

EK indica le chiavi di codifica utilizzate

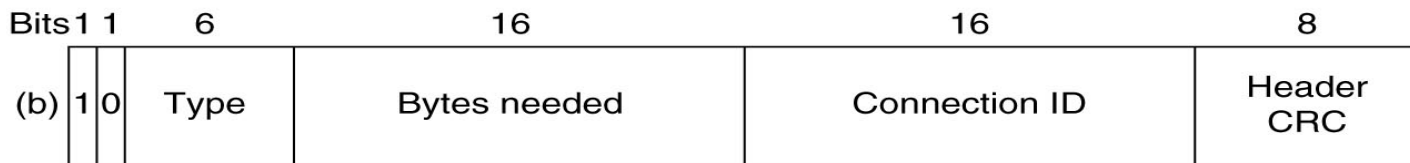
Length è la lunghezza complessiva del Frame

ConnID indica la connessione di appartenenza del frame

Header CRC è il CRC solo per l'header

Payload (può essere cifrato con chiave simmetrica CBC o 3DES scambiate con chiave pubblica RSA e X509)

Il **CRC** finale è opzionale (i frame errati non verrebbero comunque ritrasmessi)



(a) Frame generico

(b) frame di richiesta di banda

WiMAX in Italia e in Europa

Bando per l'asta delle licenze [WiMAX](#) a Ottobre 2007 con concessioni decennali a livello provinciale o regionale.

E' la versione fissa 802.11d (max 74Mbps, max 54Km)

Le frequenze assegnate (3,4 e 3,6GHz) erano utilizzate al Ministero della Difesa (sistemi Radar) e verranno assegnate al Ministero delle Comunicazioni che venderà ai provider mediante asta pubblica.

L'asta si è conclusa il 27 febbraio 2008 con l'assegnazione di tutte le licenze, con un incasso per l'erario di poco superiore ai 136 milioni di euro

Principali providers WiMAX in Italia:

- ▶ [Linkem](#)
- ▶ [WiMore](#)

Bluetooth e 802.15

Nasce nel 1999 dall'associazione tra Sony-Ericsson, IBM, Toshiba e Nokia con l'obiettivo di realizzare un sistema di comunicazione senza fili tra dispositivi digitali (cellulari, portatili, macchine fotografiche ecc..) e le loro periferiche.

Sistema a bassa potenza, raggio 10 m, banda ISM a 2.4 Ghz (no licenza)

La banda è suddivisa in 79 canali di 1 MHz (1 bit per Hz -> max 1 Mbps) e utilizza Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS, come 802.11)

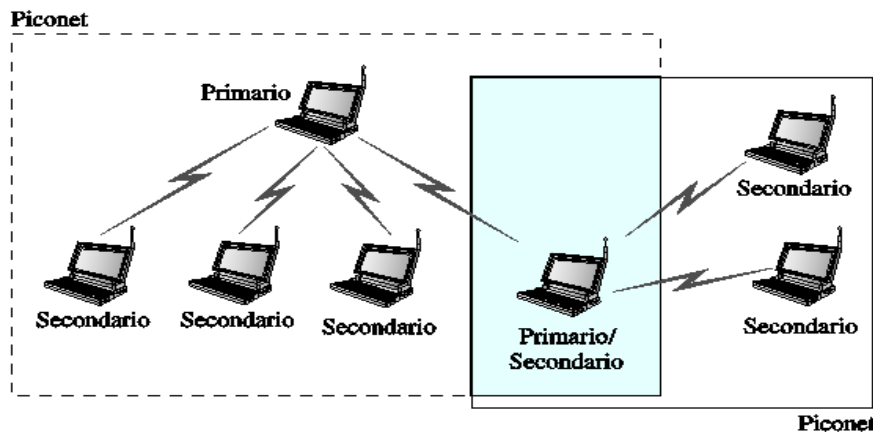
Un dispositivo Bluetooth Master può gestire simultaneamente la comunicazione fino a 7 nodi slave (fino a 255 parked nodes) entro un raggio di 10 metri, realizzando una "Piconet". Due nodi Slave non possono comunicare tra loro.

Due Piconet possono essere collegate tra loro mediante un nodo condiviso, formando una rete allargata denominata ScatterNet.

802.15 è una emanazione di IEEE in cui è definita la **WPAN (Wireless Personal Area Network)** basata su Bluetooth v1.1.

Attualmente sono definiti solo lo strato fisico e data-link.

L'utilizzo di IPv4 su WPAN è scarso.



Il progetto [6toWPAN](#) (IPv6 over Low-Power WPAN) mira ad un utilizzo più diffuso di dispositivi WPAN in IoT (Internet of Things).

RFID

RFID (Radio Frequency IDentification) è una tecnologia per l'identificazione wireless di diverse tipologie di oggetti quali smartcard, passaporti, libri e per la tracciabilità di animali.

RFID non è integrata nei protocolli utilizzati dalle reti di calcolatori e ha molte varianti, tra cui l'EPC (electronic product code).

L'RFID EPC ha le stesse funzionalità del codice a barre, migliorandone la praticità di utilizzo poiché è leggibile elettronicamente fino a 10 metri, anche quando non è visibile.

RFID EPC ha due componenti: TAG e Lettore:

I TAG sono dispositivi piccoli ed economici con un identificatore univoco a 96 bit e una piccola quantità di memoria che può essere letta o scritta da un lettore RFID.

La memoria può essere utilizzata ad esempio per tracciare gli spostamenti attraverso una catena di approvvigionamento.

Un TAG contiene inoltre un circuito integrato con una piccola antenna e può essere senza batteria (prende energia dalle trasmissioni radio del lettore) o con batteria.

Il compito principale dei Lettori è di fare un inventario dei TAG presenti nelle vicinanze

Low Power LAN

Sono reti Wireless progettate per comunicazioni a lunga distanza e basso costo / basso consumo di un basso tasso di bit (da 0.3 a 50 Kbps).

L'utilizzo tipico è per sensori nell'ambito dell'IoT.

Esistono diverse tecnologie LPLAN tra cui Sigfox e LoRa e NB-IoT

Caratteristica	<u>Sigfox</u>	<u>LoRaWAN</u>	NB-IoT
Modulazione	BPSK	CCS	QPSK
Frequenza	Banda libera 868 Mhz EU 915 Mhz USA 433 Mhz Asia	Banda libera 868 Mhz EU 915 Mhz USA 433 Mhz Asia	Banda licenziata LTE
Larghezza di Banda	100 Hz	250 kHz – 125 KHz	200 KHz
Data rate massimo	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidirezionale	Limitato /Half duplex	Si /HalfDuplex	Si /HalfDuplex
N° max di messaggi giornalieri	140	Illimitati	Illimitati
Range	10 km area urbana 40 km area rurale	5 km area urbana 20 km area rurale	1 km area urbana 10 km area urbana
Immunità a interferenze	Molto alta	Molto alta	Bassa
Autenticazione e cifratura	<u>No</u>	<u>Sì</u>	<u>No</u>
Adaptive data rate	<u>No</u>	<u>Sì</u>	<u>No</u>
Localizzazione	<u>Sì</u>	<u>Sì</u>	<u>No</u>
Reti private	<u>No</u>	<u>Sì</u>	<u>No</u>
Standardizzazione	<u>Sigfox company</u>	<u>LoRa-Alliance</u>	3GPP

LoRa

LoRa (Long Range) è una tecnologia wireless a lungo raggio (fino a 50Km) e bassa potenza, ideata per la connessione sicura di dispositivi IoT (geolocalizzazione, sensori RFID, ecc).

E' composta da due livelli.

Il primo livello: physical layer (PHY) ovvero lo strato fisico che utilizza una modulazione proprietaria derivata dal Chirp Spread Spectrum (CSS) su frequenze ISM.
secondo livello: protocollo per il livello MAC (Media Access Control) chiamato LoRaWAN.

