



Marzo 2023

Scheda informativa WLAN

Wireless Local Area Network

Sintesi

Le reti WLAN (Wireless Local Area Network) sono reti locali senza filo che permettono di accedere comodamente a Internet senza ricorrere a cavi all'interno di edifici o in giardino. A seconda della velocità di trasmissione, negli edifici la rete WLAN permette generalmente di coprire diverse decine di metri di distanza.

Già dal 1997 con lo standard IEEE 802.11 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) per queste reti radio locali esistono interfacce radio standardizzate. Questi primi sistemi permettevano una velocità di trasmissione massima di 1 o 2 Mbit/s (valore lordo). Sulla loro base, gli standard sono stati potenziati costantemente, soprattutto per aumentare la velocità di trasmissione. In termini puramente matematici, oggi lo standard IEEE 802.11ac raggiunge una velocità di trasmissione fino a 6.9 Gbit/s (valore lordo). Sul mercato generalmente si trovano tuttavia soltanto apparecchi con velocità fino a 1.7 Gbit/s. Nella prassi, in condizioni reali rimangono inutilizzati normalmente 800 Mbit/s.

Lo sviluppo della rete WLAN non sembra essersi ancora concluso. L'utilizzazione di antenne multiple (ad es. la tecnica beamforming) è un approccio molto promettente volto ad aumentare ulteriormente le capacità. Lo standard IEEE 802.11ax, che utilizza Multi User MIMO in uplink e downlink, consente velocità di trasmissione dati fino a 9.6 Gbit/s (valore lordo).

Al momento per le reti WLAN sono a disposizione cinque bande di frequenze che non necessitano di una licenza. I campi più utilizzati si situano tra i 2.4 GHz e i 5 GHz. Dal 2021 è stata sbloccata la gamma di frequenze dei 6 GHz. Ciò consente velocità di trasmissione dati più elevate e flussi di dati simultanei in uplink e downlink da più dispositivi attraverso lo stesso canale radio. A ciò si aggiungono le gamme di frequenza attorno ai 60 GHz (per velocità di trasmissione molto elevate su brevi distanze in linea d'aria fino a circa 10 metri) e quelle attorno ai 900 MHz (per velocità di trasmissione relativamente basse e distanze relativamente grandi fino a diverse centinaia di metri all'aperto).

Questa scheda informativa si concentra sugli aspetti tecnici delle reti WLAN. Le basi legali sono consultabili all'indirizzo: <https://www.bakom.admin.ch/bakom/it/pagina-iniziale/apparecchi-impianti/apparecchi-particolari/wlan-rlan.html>

Domande e risposte sulle reti WLAN sono disponibili all'indirizzo [WLAN \(admin.ch\)](#).

Indice

1	Introduzione	1
2	Cosa si intende con WLAN	1
3	Principio di funzionamento di una rete WLAN	1
3.1	Access Point (AP)	2
3.2	Mobile Terminal (MT).....	2
3.3	Servizi	3
4	Sicurezza	3
4.1	Sicurezza contro le intercettazioni	3
4.2	Compatibilità elettromagnetica e ambiente.....	4
5	Standard utilizzati.....	4
5.1	Reti WLAN basate sullo standard DECT	4
5.2	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11.....	4
5.3	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11b.....	5
5.4	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11g.....	5
5.5	Bluetooth	5
5.6	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11a.....	6
5.7	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11h.....	6
5.8	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11n.....	6
5.9	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ac.....	7
5.10	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ax.....	7
5.11	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ad.....	7
5.12	Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ah.....	8
5.13	LTE.....	8
6	Standard, frequenze e potenze di trasmissione per reti WLAN in Svizzera	9
6.1	La decisione ERC/DEC(04)08 in breve	10
6.2	La decisione ECC (20)01 in breve	10
7	Interfacce radio delle reti WLAN	13
8	Obblighi di notifica per operatori WLAN.....	16
9	Allegato	17
9.1	Altre fonti informative	17
9.2	Abbreviazioni.....	17
9.3	Determinazione delle velocità binarie (lorde) di alcuni sistemi OFDM	20

1 Introduzione

Questa scheda informativa sulle reti WLAN offre al pubblico interessato un'introduzione e una visione d'insieme su queste reti senza filo.

2 Cosa si intende con WLAN

Al giorno d'oggi, negli uffici i personal computer (PC) sono per la maggior parte connessi tra loro. Questa interconnessione avviene il più delle volte attraverso un cavo che lega il PC alla presa di rete. A seconda della rete e del controller utilizzati si raggiungono velocità di trasmissione di 10 Mbit/s, 100 Mbit/s fino ad alcuni Gbit/s.

Già da tempo si desiderava fare a meno di cavi. I vantaggi sono evidenti: si evita una laboriosa installazione di cavi negli uffici dove si può utilizzare il proprio PC o laptop ovunque.

Grazie alle possibilità offerte dall'informatica e ai progressi realizzati nel settore dei semiconduttori è stato possibile realizzare questo sogno. Oggi le reti senza filo possono essere acquistate a prezzi accessibili a tutti.

I termini Radio Local Area Network (RLAN) e Wireless Local Area Network (WLAN) sono sinonimi.

3 Principio di funzionamento di una rete WLAN

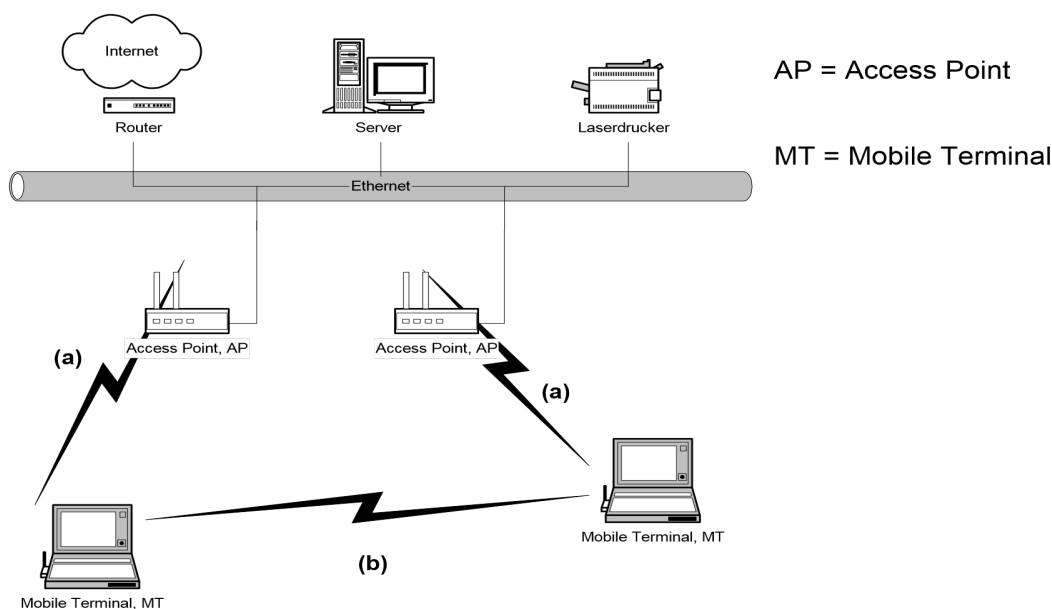


Figura 1: Rete WLAN

Con la rete WLAN possono essere stabilite delle connessioni tra il terminale mobile e l'access point (punto d'accesso) (a). In questo modo il terminale mobile diventa parte di Ethernet e può accedere a tutti gli apparecchi collegati quali stampanti, server, Internet, ecc.

Se manca l'infrastruttura, si possono stabilire collegamenti diretti per lo scambio di dati (b) tra diversi terminali mobili.

In tale ambito la portata della connessione senza filo dipende da diversi fattori come ad esempio:

- potenza di trasmissione;
- interferenze (con altri utenti, situazione ottimizzabile tramite il design della rete);
- velocità di trasmissione dati (tipo di modulazione);

- ambiente (all'interno o all'esterno dell'abitazione, collegamento visivo).

Si può partire dai seguenti presupposti:

- più è elevata la velocità di trasmissione, più la portata sarà limitata;
- più vi sono ostacoli tra gli utenti connessi senza filo e gli access point, più la portata sarà limitata;
- più gli utenti, attivi contemporaneamente, sono numerosi, più la velocità di trasmissione è bassa.

Questo spiega perché la velocità di trasmissione dati diminuisce se la distanza aumenta o in caso di interferenze reciproche.

Con velocità di trasmissione si intende la velocità massima in entrambe le direzioni. Questa velocità si ripartisce sui diversi utenti che utilizzano questo canale. Più numerosi sono gli utenti che fanno capo a questo canale, più si riduce la velocità di trasmissione per ciascun utente. Inoltre occorre considerare le perdite dovute alla componente overhead dei pacchetti di dati e al meccanismo di accesso alla rete che riducono ulteriormente la velocità disponibile.

3.1 Access Point (AP)

L'access point è il centro di comando della rete WLAN, tramite cui gli utenti connessi senza filo sono collegati al sistema di rete fissa; esso viene di regola collegato alla rete Ethernet.

L'access point contiene spesso anche altre funzioni, ad esempio:

- ADSL / modem via cavo;
- collegamento LAN 10/100 MHz;
- router;
- server di stampa.

L'access point può contenere anche software supplementari come ad esempio:

- firewall;
- controllo dell'accesso;
- protezione tramite password;
- crittografia.

3.2 Mobile Terminal (MT)

In passato, per collegare gli utenti si ricorreva a una carta PCMCIA per i notebook e a una carta PCI indipendente o a una scheda portante PCI compatibile con una carta PCMCIA per i personal computer. Oggi le interfacce della rete WLAN sono parte integrante di PC, notebook e smartphone.

Il collegamento utente comunica tramite l'interfaccia radio con l'access point, grazie al quale vengono stabiliti i collegamenti alla rete Ethernet via cavo.

Tramite funzioni ad hoc spesso è possibile scambiare direttamente dati senza access point.

Il terminale mobile è in realtà soltanto un terminale portatile, in quanto i sistemi non sono concepiti per un utilizzo mobile. I diversi standard permettono tuttavia di passare da una cella radio all'altra (handover).

3.3 Servizi

Nel caso delle reti WLAN non si può parlare di veri e propri servizi. I sistemi in commercio consentono un collegamento senza cavo tra il PC e la rete Ethernet. Per gli utenti questi sistemi sono completamente invisibili, ossia l'utente non nota alcuna differenza tra il collegamento con o senza cavo, infatti gode di un accesso illimitato a tutte le applicazioni e ai servizi disponibili sulla rete (scambio dati, accesso alla stampante, Internet, ecc.), salvo che nell'opzione senza cavo la velocità di trasmissione è ridotta.

Al momento l'offerta si limita alle applicazioni LAN e all'accesso Internet con tutte le sue possibilità.

4 Sicurezza

4.1 Sicurezza contro le intercettazioni

La sicurezza è un problema nelle reti WLAN poiché è facile accedere all'interfaccia senza dover entrare necessariamente in un locale. La portata è di circa 100 m, al massimo circa 300 m. Negli ultimi tempi si è però scoperto che con i dovuti mezzi è possibile forzare la cifratura. A tal fine esistono già strumenti informatici che permettono di decifrare l'usuale processo di crittografia.

La crittografia avviene su singoli o più livelli del modello OSI tramite diversi processi, la cui varietà è molto ampia.

La modalità di crittografia WEP (Wired Equivalent Privacy), un tempo molto diffusa, che opera sulla base dell'algoritmo RC-4, si è rivelata inaffidabile. Funziona con una chiave WEP costante e un vettore di inizializzazione variabile trasmesso in chiaro sul canale radio. Questo vettore ha soltanto una lunghezza di 24 bit e viene generato casualmente. In questo modo la stessa chiave effettiva viene generata relativamente spesso per pacchetti diversi. Un ascolto e un'osservazione prolungati consentono di identificare la chiave WEP: un punto debole sfruttato dagli strumenti di cracking.

L'ulteriore sviluppo dello standard WEP, chiamato WEP2, ricorre a un vettore di inizializzazione di 128 bit e a un rinnovo periodico della chiave WEP che prima rimaneva costante. Anche questa implementazione non risulta essere molto più sicura ed è pertanto già stata abbandonata.

Uno sviluppo più sicuro ma proprietario è WEPplus. Questo metodo di crittografia è più resistente in quanto viene utilizzato un algoritmo che crea chiavi evitando quelle deboli. Pertanto è molto più laborioso decodificare la chiave ascoltando il canale radio. Comunque è solo una questione di tempo finché uno strumento informatico concepito a tal fine sarà disponibile sul mercato. WEPplus è completamente compatibile con le versioni WEP-WLAN precedenti.

Lo standard Fast Packet Keying funziona in base a un principio simile ed è stato sviluppato da RSA DATA Security, l'inventore dell'algoritmo RC4. Questa soluzione crea per ogni pacchetto dati una chiave lunga 104 bit e un vettore di inizializzazione lungo 24 bit. In questo modo si evita l'impiego ripetuto di una chiave con lo stesso vettore, uno dei problemi principali dello standard WEP. Lo standard Fast Packet Keying è anche concepito per essere compatibile con l'hardware WLAN esistente e può essere aggiornato tramite driver e firmware.

La crittografia WLAN WPA2 (Wi-Fi Protected Access), introdotta nel 2004, è attualmente lo standard comprovato e offrirà anche in futuro un elevato livello di sicurezza. Il protocollo di crittografia più attuale è il WPA3. Introdotto nel 2018, utilizza il moderno metodo di crittografia SAE (Simultaneous Authentication of Equals) e offre tra l'altro un'elevata sicurezza contro i cosiddetti "attacchi a dizionario", impedendo così in modo efficace i tentativi in automatico di decifrare la password.

Tuttavia un protocollo di crittografia non è necessariamente attivato dall'operatore nei punti di accesso WLAN.

I segnali radio di una rete WLAN possono essere captati fino a diverse centinaia di metri di distanza, quindi non solo dal vicino. Per proteggere i dati in modo affidabile, è meglio utilizzare una soluzione di sicurezza aggiuntiva "end-to-end".

Una delle soluzioni più promettenti al momento è lo standard IPsec, un protocollo crittografato TCP/IP basato sul presupposto che il traffico dati nella rete avvenga unicamente tramite protocollo IP. Nella maggior parte dei casi questo non è un problema, dato che il TCP/IP è praticamente onnipresente grazie alla diffusione di Internet. Lo standard IPsec è uno dei metodi di crittografia più sicuri per la rete WLAN che però presuppone una configurazione minuziosa e relativamente complessa. Purtroppo tra tutti i processi lo standard IPsec è quello che genera più overhead con ripercussioni sulla velocità di trasmissione.

Anche il protocollo HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) offre una crittografia di trasporto "end-to-end" considerata sicura. Senza la crittografia di trasporto, come nel caso di HTTP, i dati trasmessi su Internet possono essere letti in chiaro da chiunque abbia accesso alla relativa rete. Quando si utilizzano reti WLAN aperte (cioè non crittografate), l'importanza del protocollo HTTPS aumenta poiché consente di crittografare i contenuti indipendentemente dalla rete.

A livello dell'accesso alla rete, oltre agli algoritmi di crittografia sono attivi gli usuali meccanismi di sicurezza come l'accesso tramite nome utente e password, il conto del computer (identificazione di un PC tramite il proprio indirizzo MAC) e le caratteristiche di sicurezza dei domini. Tutti i sistemi di sicurezza, considerati singolarmente o combinati, non offrono una protezione assoluta.

4.2 Compatibilità elettromagnetica e ambiente

L'ordinanza sulla protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ORNI¹) è in linea di massima applicabile anche alle reti senza filo. Non rientrano nel campo di applicazione di questa ordinanza gli impianti di trasmissione con una potenza irradiata equivalente (ERP) inferiore a 6 W, tra cui si annoverano anche le reti WLAN.

5 Standard utilizzati

5.1 Reti WLAN basate sullo standard DECT

Una soluzione semplice consiste nell'utilizzo dello standard DECT per il collegamento senza filo degli utenti. Si tratta di uno standard che si è affermato da molti anni, robusto e performante. Supporta inoltre l'handover tra stazioni di base purché queste siano connesse tra loro via cavo.

Il protocollo DPRS (DECT Packet Radio Service) permette velocità di trasmissione per intervallo di tempo fino a 76.8 kbit/s (valore lordo) tramite una modulazione robusta e fino a 460.8 kbit/s (valore lordo) con una modulazione ottimizzata. Possono essere combinati fino a 11 intervalli di tempo per direzione di collegamento, il che si traduce in una velocità di trasmissione di 844.8 kbit/s (valore lordo) per modulazione semplice e fino a 5.07 Mbit/s (valore lordo) per modulazioni ottimizzate.

5.2 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11

Nel 1997 l'IEEE ha creato lo standard IEEE 802.11 che permette una velocità di trasmissione di 1 e 2 Mbit/s e opera nella banda di frequenza ISM 2.4 GHz (2400 – 2483.5 MHz) che dispone di 79 canali di 1 MHz di ampiezza di banda.

Con il sistema Frequency-Hopping-Spread-Spectrum (FHSS) uno di questi canali viene brevemente occupato (alcuni ms); in seguito la comunicazione prosegue su un altro canale. I trasmettitori e i ricevitori devono occupare in modo sincronizzato i canali conformemente a una tabella predefinita.

Con lo stesso standard viene descritto anche un processo in cui l'ampiezza di banda del segnale è 11 volte superiore. Il cosiddetto processo Direct-Sequence-Spread-Spectrum (DSSS) ripartisce su 22 MHz l'energia utilizzata per la trasmissione dell'informazione. Più collegamenti possono quindi avvenire contemporaneamente sullo stesso canale. Per questo tipo di processo, nella banda di

¹ <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2000/38/it>

frequenza dei 2400 – 2483.5 MHz sono disponibili 13 frequenze portanti con una spaziatura di canale di 5 MHz.

Per garantire un esercizio senza problemi di diverse reti WLAN in uno stesso luogo, si dovrebbero occupare ad esempio soltanto i canali 1, 7 e 13, allo scopo di evitare una sovrapposizione dei canali.

5.3 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11b

Nel 1999 la modifica del tipo di modulazione ha permesso di aumentare la velocità di trasmissione a 5.5 e 11 MBit/sec. Queste reti WLAN operano soltanto nella banda dei 2.4 GHz. L'incremento della velocità di trasmissione è ottenuto grazie all'impiego di un codice di estensione CCK (Complementary Code Keying), una classe di codici di valori complessi. Questo comporta una riduzione della portata del segnale. Sono supportate anche le velocità di trasmissione definite nello standard IEEE 802.11.

Con le velocità di trasmissione più elevate, lo standard IEEE 802.11b ricorre esclusivamente al processo DSSS.

5.4 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11g

Sotto questo nome è stata elaborata un'estensione dello standard 802.11b, tramite cui vengono raggiunte velocità massime di 54 Mbit/s nella banda ISM dei 2.4 GHz.

Le velocità di trasmissione più elevate vengono realizzate ampliando l'interfaccia radio (PHY) di due modulazioni/tipi di codici. L'estensione si chiama Extended-Rate-PHY (ERP). Le seguenti modulazioni o tipi di codici sono nuovi:

- ERP-PBCC: i dati utente sono codificati tramite un codice convoluzionale composto da 256 vincoli e in seguito modulato con 8-PSK. Inoltre preamble e header vengono accorciati in termini di tempo, da cui risulta una velocità binaria lorda di 22 e 33 Mbit/s in questa modalità.
- DSSS-OFDM: questo tipo di modulazione è una forma ibrida tra il processo DSSS e la tecnica OFDM. Come nello standard IEEE 802.11b preamble e header, sintetizzati in termini di tempo, sono modulati con BPSK ed allargati tramite il processo DSSS. I dati utente sono modulati tramite la tecnica OFDM su 48 sottoportanti. A seconda della velocità di trasmissione le sottoportanti sono modulate tramite BPSK, QPSK, 16-QAM o 64-QAM. Cambiando il tipo di modulazione delle sottoportanti e del code rate (1/2, 2/3 o 3/4) risultano delle velocità binarie lorde di 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 o 54 Mbit/s (v. anche n. 9.3)

Lo standard IEEE 802.11g è compatibile con gli apparecchi basati sugli standard IEEE 802.11 e IEEE 802.11b. Inoltre i parametri OFDM sono adeguati a quelli dei sistemi WLAN nella banda dei 5 GHz, permettendo la creazione di chipset WLAN che supportano la banda dei 2.4 e dei 5 GHz.

5.5 Bluetooth

Sotto questo nome si nasconde lo standard IEEE 802.15.1. Bluetooth è stato concepito per coprire brevi distanze (fino a 10m per 0 dBm EIRP e fino a 100 m per 20 dBm EIRP) con velocità di trasmissione fino a 1 Mbit/s. Vi sono tre livelli di prestazione degli apparecchi: 0.4 e 20 dBm (1, 2, 5 e 100 mW). Gli apparecchi bluetooth dovrebbero essere generalmente utilizzati in una rete WPAN (Wireless Personal Area Network) o PAN. Una rete PAN comprende l'insieme degli apparecchi connessi senza filo (cellulari, computer palmari, notebook, stampanti, macchine fotografiche, proiettori, ecc.) situati nelle immediate vicinanze di una persona. L'obiettivo è di semplificare la connessione degli apparecchi summenzionati.

I collegamenti bluetooth sono collegamenti punto-punto performanti e robusti, diversi di questi possono essere attivi contemporaneamente. Sono perfino ipotizzabili le connessioni multi-hop, che potenziano la portata locale di un PAN utilizzando come ripetitori gli apparecchi che si trovano nelle vicinanze.

Differentemente dalle reti WLAN, che permettono l'accesso mobile alla rete di un'impresa o a Internet, bluetooth è concepito quale adattatore universale senza filo (ad es. interfaccia seriale). Il corrispettivo

via cavo sarebbe l'interfaccia USB. I primi prodotti sono auricolari senza cavo per i cellulari e collegamenti senza cavo delle stampanti e/o videocamere ai PC e/o notebook.

Bluetooth è stato ottimizzato soprattutto per mantenere al minimo il consumo energetico. Siccome Bluetooth come lo standard IEEE 802.11 / IEEE 802.11b opera nella banda ISM dei 2.4 GHz, i sistemi possono interferire tra loro. La capacità diminuisce con l'aumento del traffico dati, uno svantaggio questo che deve essere preso in conto nelle bande che non sono oggetto di concessione.

5.6 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11a

Le reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11a operano nella banda dei 5 GHz. Offrono velocità di trasmissione di 6 Mbit/s fino a 24 Mbit/s e, a titolo opzionale, fino a 54/s. La spaziatura tra i canali è di 20 MHz. Lo standard prevede due bande di frequenze nella gamma dei 5 GHz con potenze di trasmissione diverse (v. anche n. 6).

Affinché in Europa gli access point WLAN possano utilizzare l'intera banda dei 5 GHz, devono riconoscere i segnali di altri sistemi radio in questa banda di frequenza ed evitarli tramite un cambiamento di frequenza. A tal fine nel punto di accesso WLAN vanno implementate funzioni per un cambiamento di frequenza dinamico (Dynamic Frequency Selection – DFS) e una regolamentazione della potenza di trasmissione (Transmit Power Control – TPC). Quale alternativa al TPC, può essere dimezzata la potenza di trasmissione.

Purtroppo alle reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11a mancano queste due caratteristiche specifiche. Tuttavia in Europa l'utilizzo di sistemi basati sullo standard IEEE 802.11a è possibile con alcune restrizioni. Informazioni dettagliate in merito sono disponibili presso l'UFCOM².

Nelle reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11h (v. n. sottostante) queste lacune sono state colmate.

5.7 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11h

Questo standard corrisponde in larga misura allo standard IEEE 802.11a (v. n. 5.6) e opera nella banda dei 5 GHz. Dato che in esso sono state implementate le funzioni DFS e TPC, può essere utilizzato in Europa.

5.8 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11n

Questo standard viene utilizzato sia nella banda dei 2.4 GHz sia in quella dei 5 GHz. La maggior parte degli apparecchi a buon mercato sono tenuti a supportare soltanto la banda dei 2.4 GHz. Le funzioni DFS e TPC sono implementate nella banda dei 5 GHz, pertanto niente si oppone all'utilizzo di questo standard in Europa.

Lo standard comprende reti WLAN con una velocità di trasmissione lorda fino a 600 Mbit/s che viene raggiunta con l'impiego di sistemi MIMO 4x4 (Multiple Input Multiple Output), una modulazione 64-QAM e un'ampiezza di banda di 40 MHz (v. anche n. 9.3 nell'allegato). In pratica, con una buona connessione radio, si raggiunge tuttavia solo la metà della velocità.

Come lascia presagire il nome, con i sistemi MIMO vengono impiegate diverse antenne sia al punto di accesso che sul terminale mobile. Nel sistema MIMO 4x4 si tratta di 4 antenne per il trasmettitore e 4 per il ricevitore. Attraverso le singole antenne possono essere trasmessi diversi tipi di dati (streams) sulla stessa frequenza e per lo stesso collegamento. Sul piano della ricezione, i segnali possono essere nuovamente decodificati grazie a complessi algoritmi. Raddoppiando il numero di antenne alle due estremità di un collegamento di radiocomunicazione, la velocità di trasmissione dati può in teoria essere raddoppiata, e ciò senza ulteriori risorse di frequenze e senza una potenza di trasmissione maggiore.

² <https://www.bakom.admin.ch/bakom/it/pagina-iniziale/apparecchi-impianti/accesso-al-mercato-dal-13-giugno-2016.html>

Grazie all'impiego di sistemi MIMO nello standard 802.11h, oltre alla dimensione temporale e frequenziale, si aggiunge anche quella spaziale. In tale contesto si parla quindi anche di multiploazione spaziale.

Alternativamente con un sistema MIMO, invece di aumentare la velocità di trasmissione, si può migliorare il rapporto segnale/rumore e pertanto la qualità del collegamento radio. Con l'emissione tramite diverse antenne dello stesso segnale codificato, la qualità del segnale al margine della cella può essere migliorata notevolmente (guadagno di diversità), mantenendo costante la potenza di emissione totale di tutte le antenne; senza però ottenere un aumento della velocità di trasmissione dati. In questo modo viene aumentata la portata.

Come terza opzione il sistema MIMO offre la possibilità del cosiddetto *beamforming*. La potenza di trasmissione viene aggregata e invertita in direzione del trasmettitore. Anche in questo modo il raggio di azione viene potenziato e le interferenze provenienti da altri utenti vengono attenuate.

5.9 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ac

Lo standard 802.11ac risulta da un'evoluzione ulteriore dello standard IEEE 802.11n (soltanto in downlink). Permette l'applicazione delle tecniche MIMO fino a 8x8 e un potenziamento della modulazione a 256-QAM. L'ampiezza di banda massima è di 160 MHz.

Questo standard può operare nella banda dei 5 GHz. Velocità binarie lorde fino a 6933 Mbit/s sono in teoria possibili (v. allegato 9.3), che possono essere raggiunte utilizzando un sistema MIMO 8x8, una modulazione 256-QAM in un'ampiezza di banda di 160 MHz. In pratica, con una buona connessione radio, può essere sfruttata soltanto una minima parte di questa velocità.

Purtroppo alle reti WLAN basate sullo standard 802.11ac mancano generalmente le funzioni DFS e TPC prescritte in tutta Europa (v. n. 5.6). Pertanto in Europa questi sistemi possono essere impiegati nella banda dei 5 GHz soltanto su determinati canali. Informazioni dettagliate in merito sono disponibili presso l'UFCOM³.

5.10 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ax

IEEE 802.11ax è un'evoluzione di IEEE 802.11ac. Con questo standard sono possibili tecniche OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) e MIMO fino a 8 x 8 (uplink e downlink) e la modulazione è stata estesa a 1024-QAM. La larghezza di banda massima è di 160 MHz.

Oltre che nelle bande dei 2.4 GHz e dei 5 GHz, questo standard può operare anche nella banda dei 6 GHz. Sono teoricamente possibili velocità di trasmissione fino a 9607 Mbit/s (valore lordo)⁴. La caratteristica principale dello standard 802.11ax è la tecnica OFDMA, che combina TDMA e FDMA in modo simile alle reti mobili 4G e 5G. Altri miglioramenti nell'uso dello spettro includono migliori metodi di controllo della potenza per evitare interferenze con le reti vicine, la modulazione 1024-QAM, MIMO in entrambe le direzioni (uplink e downlink) e MU-MIMO per aumentare ulteriormente il rendimento.

5.11 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ad

Lo standard 802.11ad viene anche designato come Wireless Gigabit, in forma abbreviata WiGig, e permette un collegamento punto-punto rapido. Le reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ad sono esercitate nella gamma di frequenza attorno ai 60 GHz. A causa dell'elevata frequenza di trasmissione, i segnali sono fortemente attenuati sull'interfaccia radio. Per questo motivo e a causa della potenza di trasmissione relativamente debole, questo standard ha una portata di soli 10 m circa. Inoltre tra il trasmettitore e il ricevitore deve esserci un contatto visivo. Nel caso di maggiori distanze, il

³ <https://www.bakom.admin.ch/bakom/it/pagina-iniziale/apparecchi-impianti/apparecchi-particolari/wlan-rian.html>

⁴ <https://ieeexplore.ieee.org/document/9442429>

collegamento passa automaticamente a uno standard con una velocità di trasmissione ridotta nella banda dei 2.4 GHz o dei 5 GHz.

A seconda della distanza, su uno dei quattro canali radio con un'ampiezza di circa 2 GHz sono possibili velocità lorde di 385 fino a 4620 Mbit/s (Single-Carrier-Mode) o di 693 fino a 6757 Mbit/s (OFDM).

Questo standard supporta una tecnica beamforming performante. A tal fine le elevate frequenze utilizzate in questo contesto sono ideali poiché numerose antenne possono essere installate su una piccola superficie. In questo modo la potenza di trasmissione può essere diretta in modo mirato verso il relativo ricevitore, riducendo al minimo le interferenze nei sistemi vicini (v. anche n. 5.8).

5.12 Reti WLAN basate sullo standard IEEE 802.11ah

Lo standard IEEE 802.11ah è concepito per applicazioni IoT (Internet of Things), un dispendio energetico minimo, una portata relativamente larga e un'ampiezza di banda limitata (velocità di trasmissione bassa). Con questo nuovo standard potrebbero essere connessi tra loro apparecchi che per esempio funzionano a batterie, non trasmettono dati in permanenza e non necessitano di una velocità di trasmissione elevata. Questa tecnologia è pertanto in concorrenza con quelle come bluetooth o Zigbee. L'associazione WiFi Alliance ha adottato lo standard IEEE 802.11ah e lo ha denominato "HaLow".

In Europa HaLow opera nella gamma di frequenze tra gli 863 e gli 870 MHz. Lo standard prevede delle ampiezze di banda di 1 e 2 MHz. A titolo opzionale possono ancora essere impiegati 4, 8 e 16 MHz, tuttavia considerate le ampiezze di banda disponibili nelle bande che non sono soggette a licenza, quelle di 8 e 16 MHz possono essere utilizzate soltanto negli Stati Uniti e in Cina. Nell'uplink e nel downlink la velocità di trasmissione è di 150 kbit/s fino a 346.6 Mbit/s. Al di fuori di edifici si raggiunge una portata di 1 km.

5.13 LTE

Lo standard di telefonia mobile LTE viene costantemente ampliato così che gli apparecchi che ricorrono a questo standard possono essere utilizzati, oltre che per la comunicazione dati mobile nelle bande soggette a licenza, anche per una trasmissione dati su distanze brevi nelle bande non soggette a licenza. In questo modo, senza interferire sulla trasmissione dati del momento, un apparecchio di radiocomunicazione mobile LTE può in caso di necessità passare o collegarsi automaticamente a una trasmissione WLAN. Con l'evoluzione dello standard LTE nel quadro della collaborazione 3GPP, questa tecnologia è stata dotata delle seguenti funzioni:

- LTE-License Assisted Access (LTE-LAA): questa tecnologia sfrutta la caratteristica dello standard LTE che permette di distribuire la trasmissione dati contemporaneamente su diverse bande di frequenza. In questo modo il traffico dati viene sempre trasmesso tramite una cella radio primaria e una secondaria. In questo contesto la cella radio primaria opera nella gamma di frequenze soggette a licenza, mentre quella secondaria utilizza la gamma di frequenza dei 5 GHz non soggetta a licenza con un'ampiezza massima di trasmissione di 20 MHz. In tale ambito si distingue tra i tipi di esercizio "supplemental downlink", in cui è potenziata soltanto la capacità del downlink, e "carrier aggregation", in cui è potenziata la capacità dell'uplink e del downlink tramite l'impiego dello spettro dei 5 GHz. I parametri per l'interfaccia radio per la cella radio primaria e secondaria sono di principio identici. Soltanto per l'interfaccia radio della cella radio secondaria sono richieste ulteriori capacità per garantire la compatibilità con gli altri sistemi già esistenti nella banda dei 5 GHz. Pertanto il trasmettitore della cella secondaria, analogamente a tutte le altre reti WLAN, può inviare segnali radio solo quando è garantito che il canale radio non è già occupato da un altro sistema.
- LTE-WLAN Aggregation (LTE-LWA) è una specifica tecnica che, analogamente alla tecnologia LTE-LAA, per la trasmissione dati utilizza oltre alle frequenze nelle bande soggette a licenza anche frequenze della banda dei 5 GHz non soggetta a licenza. In tale contesto l'apparecchio di radiocomunicazione mobile utilizza direttamente i segnali di 5 GHz

provenienti dagli access point della rete WLAN. In futuro con la realizzazione del progetto 3GPP rel 14, gli apparecchi LTE dovrebbero essere specificati in modo che oltre ai segnali nella banda dei 5 GHz siano in grado di utilizzare anche i segnali provenienti dalla banda dei 60 GHz. Come già per LTE-LAA, anche per LTE-LWA contemporaneamente al collegamento via cella secondaria è sempre necessario un collegamento via cella primaria, vale a dire occorre un collegamento in una banda di frequenza soggetta a licenza.

Oltre alle estensioni LTE per l'esercizio in bande non soggette a licenza, i fabbricanti portano avanti lo sviluppo di sistemi basati sulla tecnologia LTE in bande non soggette a licenza. Tra questi si annovera MultiFire, uno standard che prevede sistemi basati sulla tecnologia LTE operanti in bande di frequenza non soggette a licenza e senza che sia necessaria una connessione via cella radio LTE primaria in una banda soggetta a licenza.

6 Standard, frequenze e potenze di trasmissione per reti WLAN in Svizzera

In Svizzera possono essere esercitate reti senza filo che soddisfano i seguenti standard:

- DECT;
- tutti gli apparecchi nella banda dei 2.4 GHz che soddisfano la norma EN 300 328-2, tra cui gli standard IEEE 802.11, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g;
- tutti gli apparecchi nella banda dei 5 GHz che soddisfano la norma EN 301 893 e rientrano nell'ambito della decisione ERC/DEC(04)08⁵ (cfr. Decides 1. – 6.). Tra questi si annoverano gli standard IEEE 802.11h e IEEE 802.11n, e applicando determinate misure anche gli standard IEEE 802.11a und IEEE 802.11ac;
- nella banda dei 6 GHz, tutti gli apparecchi che soddisfano la norma EN 303 687⁶ e rientrano nell'ambito della decisione ECC (20)01⁷, che include lo standard IEEE 802.11ax;
- Bluetooth.

Le gamme di frequenza che non sono oggetto di concessione e sono state rese libere per i sistemi WLAN si situano nella banda di frequenza degli 800 MHz, dei 2.4 GHz, 5 GHz e 60 GHz. In queste bande non è prevista alcuna protezione da interferenze. In Svizzera le seguenti gamme di frequenze e potenze di trasmissione sono disponibili per i sistemi WLAN:

Banda di frequenza	Gamma di frequenza	max. EIRP [mW]
Banda dei 2.4-GHz (banda ISM)	2400 – 2483.5 MHz	100
Banda dei 5 GHz	5150 – 5350 MHz ^{a)}	200
Banda dei 5 GHz	5470 – 5725 MHz	1000
Band dei 6 GHz	5945 – 6425 MHz	200 (Low Power Indoor) 25 (Very Low Power)
Banda dei 60 GHz	57– 66 GHz	20/MHz, max 10 000
Banda degli 800 MHz	863 – 868 MHz	25

- a) Reti WLAN basate sulla norma EN 301 893 e limitate ad applicazioni interne all'edificio (indoor use).

⁵<https://docdb.cept.org/document/415>

⁶ [EN 303 687 - V1.0.0 - 6 GHz WAS/RLAN; Harmonised Standard for access to radio spectrum \(etsi.org\)](#)

⁷ <https://docdb.cept.org/document/16737>

Le prescrizioni tecniche d'interfaccia definiscono una delle condizioni per l'accesso al mercato degli impianti di radiocomunicazione. Descrivono la caratteristica della frequenza e i parametri di radiocomunicazione nonché le procedure di misurazione ammesse. Per le reti WLAN le prescrizioni tecniche d'interfaccia⁸ sono vincolanti sul piano giuridico.

Sul mercato sono disponibili antenne con direttività per le reti WLAN, talvolta vengono anche fabbricate da privati. Tali antenne possono servire a ridurre le interferenze reciproche di diversi sistemi o celle adiacenti, aumentando in questo modo la portata e il flusso di dati. L'esercizio di un impianto con una tale antenna è tuttavia ammesso soltanto se la potenza di trasmissione EIRP massima non supera i valori indicati nella tabella soprastante. Chi utilizza l'impianto è tenuto a rispettare le disposizioni vigenti (EIRP, uso interno per i 5 GHz, ecc.). In pratica ciò significa che la potenza di trasmissione deve essere ridotta se viene impiegata un'antenna direzionale.

6.1 La decisione ERC/DEC(04)08 in breve

La seguente tabella contiene i requisiti imposti agli apparecchi WLAN dalla decisione europea ERC/DEC(04)08.

Frequency range	5150 – 5250 MHz	5250 – 5350 MHz	5470 – 5725 MHz
Indoor or Outdoor use	Indoor only	Indoor only	Indoor and Outdoor
Max. mean EIRP	200 mW	200 mW	1000 mW
Max. mean EIRP density	10 mW in any 1 MHz	10 mW in any 1MHz	50 mW in any 1 MHz
Required standard compliance	EN 301 893	EN 301 893	EN 301 893
TPC or 3 dB power reduction required	no	yes	yes
DFS complying with ITU-R M.1652 Annex 1	no	yes	yes
Uniform random channel selection	yes	yes	yes

6.2 La decisione ECC (20)01 in breve

La seguente tabella contiene i requisiti imposti agli apparecchi WLAN dalla decisione europea ECC (20)01.

Low Power Indoor (LPI) devices

Parameter	Technical conditions
Permissible operation	<p>Restricted to indoor use only</p> <p>(including trains where metal coated windows (note 1) are fitted and aircraft)</p> <p>Outdoor use (including in road vehicles) is not permitted.</p>

⁸<https://www.bakom.admin.ch/bakom/it/pagina-iniziale/apparecchi-impianti/apparecchi-particolari/wlan-rian.html>

Category of device	An LPI access point or bridge that is supplied power from a wired connection, has an integrated antenna and is not battery powered. An LPI client device is a device that is connected to an LPI access point or another LPI client device and may or may not be battery powered.
Frequency band	5945-6425 MHz
Channel access and occupation rules	An adequate spectrum sharing mechanism shall be implemented.
Maximum mean e.i.r.p. for in-band emissions (note 2)	23 dBm
Maximum mean e.i.r.p. density for in-band emissions (note 2)	10 dBm/MHz
Maximum mean e.i.r.p. density for out-of-band emissions below 5935 MHz (note 2)	-22 dBm/MHz
Note 1: Or similar structures made of material with comparable attenuation characteristics.	
Note 2: The "mean e.i.r.p." refers to the e.i.r.p. during the transmission burst, which corresponds to the highest power, if power control is implemented.	

Very Low Power (VLP) devices

Parameter	Technical conditions
Permissible operation	Indoors and outdoors Use on drones is prohibited
Category of device	The VLP device is a portable device
Frequency band	5945-6425 MHz
Channel access and occupation rules	An adequate spectrum sharing mechanism shall be implemented.
Maximum mean e.i.r.p. for in-band emissions (note 1)	14 dBm
Maximum mean e.i.r.p. density for in-band emissions (note 1)	1 dBm/MHz
Narrowband usage maximum mean e.i.r.p. density for in-band emissions (note 1) (note 2)	10 dBm/MHz
Maximum mean e.i.r.p. density for out-of-band emissions below 5935 MHz (note 1)	-45 dBm/MHz (note 3)
Note 1: The "mean e.i.r.p." refers to the e.i.r.p. during the transmission burst, which corresponds to the highest power, if power control is implemented.	
Note 2: Narrowband (NB) devices are devices that operate in channels bandwidths below 20 MHz. Narrowband devices also require a frequency hopping mechanism based on at least 15 hop channels to operate at a PSD value above 1 dBm/MHz.	

Note 3: ECC will study the appropriateness of this level of OOB by 31/12/2024. In absence of the justified evidence, a value of -37 dBm/MHz will be adopted from 1 January 2025.

7 Interfacce radio delle reti WLAN

La seguente tabella offre una visione d'insieme delle interfacce radio dei sistemi WLAN.

Standard	Frequency-range (GHz)	Number of channels	Bandwidth (MHz)	PHY Datarate (/s)	Modulation	Spreading	Channel access	max. Transmit power (mW EIRP)	Range (m)
DECT	1.88 - 1.90	10	0.864 (3dB)	0.8448 (GFSK) ⋮ 5.07 (64-QAM)	GFSK (B·T=0.5) π/2-DBPSK π/4-DQPSK ⋮ 16-QAM 64-QAM	no spreading	TDMA/FDM	250	300
Bluetooth	2.4 - 2.4835	79	1	1	GFSK	FHSS	TDD/FH	1 / 2.5 / 100	2 - 100
IEEE 802.11	2.4 - 2.4835	79	1	1	2-level-GFSK	FHSS	CSMA/CA	100	20 - 100
			1	2	4-level-GFSK				
		13	22	1	DBPSK	DSSS			
			22	2	DQPSK				
IEEE 802.11b	2.4 - 2.4835	13	22	1	DBPSK	DSSS	CSMA/CA	100	40 - 100
			22	2	DQPSK				
			22	5.5, 11	DBPSK / CCK / PBCC	DSSS			
IEEE 802.11g	2.4 - 2.4835	13	22	1	DBPSK	DSSS	CSMA/CA	100	40 - 140
			22	2	DQPSK				
			22	5.5, 11	DQPSK / CCK / PBCC				
			22	22, 33	8-PSK / ER-PBCC				
		3 / 7 ^{d)}	22	6, 9	BPSK	DSSS / OFDM			
			22	12, 18	QPSK				

Standard	Frequency-range (GHz)	Number of channels	Bandwidth (MHz)	PHY Datarate (/s)	Modulation	Spreading	Channel access	max. Transmit power (mW EIRP)	Range (m)
			22	24, 36	16-QAM				
			22	48, 54	64-QAM				
IEEE 802.11a	5.15 - 5.25 ^{a)} 5.25 - 5.35 ^{a) c)}	4 ^{a)}	20	same as IEEE 802.11h	same as IEEE 802.11h	OFDM 64 subcarriers ($\Delta f = 312.5$ kHz)	CSMA/CA / TDMA/TDD	Indoors 200	40 - 120
	5.47 - 5.725 ^{c)}	15 ^{c)}						1000	
IEEE 802.11h	5.15 - 5.35 ^{a)}	8 ^{a)}	20	6, 9 ^{b)}	BPSK	OFDM 64 subcarriers ($\Delta f = 312.5$ kHz)	CSMA/CA / TDMA/TDD	Indoors 200	40 - 120
				12, 18 ^{b)}	QPSK				
				24, 36 ^{b)}	16-QAM				
				48 ^{b)} , 54 ^{b)}	64-QAM ^{b)}				
	5.47 - 5.725	11		6, 9 ^{b)}	BPSK			1000	
				12, 18 ^{b)}	QPSK				
				24, 36 ^{b)}	16-QAM				
48 ^{b)} , 54 ^{b)}	64-QAM ^{b)}								
IEEE 802.11n	2.4 - 2.4835	8 x 20 MHz 4 x 40 MHz	20 40	150 (1 stream) 300 (2 streams) 450 (3 streams) 600 (4 streams)	BPSK QPSK ⋮ 64-QAM	4 x 4 MIMO OFDM 128 subcarriers ($\Delta f = 312.5$ kHz)	CSMA/CA / TDMA/TDD	100	70 - 250
	5.15 - 5.35 ^{a)}	19 x 20 MHz 9 x 40 MHz						Indoors 200	
	5.47 - 5.725							1000	
IEEE 802.11ac (Gigabit WLAN)	5.15 - 5.25 ^{a)} 5.25 - 5.35 ^{a) c)}	2 x 80 MHz 1 x 160 MHz	20 40 80 160 (optional)	867 (1 stream) 1'733 (2 streams) 2'600 (3 streams) 3'467 (4 streams) 6'933 (8 streams)	BPSK QPSK ⋮ 256-QAM	8 x 8 MIMO OFDM 512 subcarriers ($\Delta f = 312.5$ kHz)	CSMA/CA / TDMA/TDD	Indoors 200	40 - 120
	5.47 - 5.725 ^{c)}							1000	
IEEE 802.11ax	2.4 - 2.4835	8 x 20 MHz 4 x 40 MHz	20 40 80 160	1'201 (1 stream) 2'402 (2 streams) 3'603 (3 streams) 4'803 (4 streams) 6'005 (5 streams) 7'205 (6 streams) 8'406 (7 streams) 9'607 (8 streams)	BPSK QPSK ⋮ 1024-QAM	8 x 8 MIMO UL/DL OFDM 2048 subcarriers ($\Delta f = 78.125$ kHz)	OFDMA	100	40 - 120
	5.15 - 5.25 ^{a)} 5.25 - 5.35 ^{a) c)}	2 x 80 MHz 1 x 160 MHz						Indoors 200	
	5.47 - 5.725 ^{c)}							1000	
	5.945-6.425	24 x 20 MHz 12 x 40 MHz 6 x 80 MHz						25 Indoors 200	

Standard	Frequency-range (GHz)	Number of channels	Bandwidth (MHz)	PHY Datarate (/s)	Modulation	Spreading	Channel access	max. Transmit power (mW EIRP)	Range (m)
		3 x 160 MHz							
IEEE 802.11ad (Wigig)	57 - 66	4	1'830.5	385 - 4'620 (SC) 693 - 6'757 (OFDM)	SC: $\pi/4$ -BPSK $\pi/4$ -QPSK $\pi/4$ -16-QAM Spread QPSK OFDM: QPSK 16-QAM 64-QAM	SC: 1'760 Msym/s OFDM: 355 act. subcarrier ($\Delta f = 5.15625$ MHz)	TDMA/LBT	1000	10
IEEE 802.11ah (HaLow)	863 - 868 MHz	5 (1 MHz) 2 (2 MHz)	1 2	up to 8'670	BPSK QPSK ⋮ 256-QAM	OFDM 64 subcarrier ($\Delta f = 31.25$ kHz)	CSMA/CA/ TDMA/TD	25 e.r.p.	<1000
LTE-LAA	5.15 - 5.35 5.47 - 5.725	10 x 20 MHz 12 x 20 MHz	20 20	max. 100.8	QPSK 16 QAM 64 QAM	OFDM ($\Delta f=15$ kHz)	TDD / LBT	200	40-120

- a) Autorizzato soltanto per uso interno all'edificio
- b) Facoltativo
- c) Vietato in tutta Europa a causa dell'assenza di tecniche di mitigazione TCP e DFS (conformemente alla decisione ERC/DEC(04)08, Decides 1.- 6. resp. EN 301 893)
- d) contemporaneamente

8 Obblighi di notifica per operatori WLAN

Spesso viene sollevata la domanda dell'obbligo di registrazione degli utenti di un hotspot WLAN pubblico. Il diritto sulle telecomunicazioni non prevede alcun obbligo di notifica o di registrazione degli utenti dei mezzi di comunicazione. I fornitori di servizi di telecomunicazione (FST) notificati presso l'UFCOM o i fornitori di accesso WLAN noti sono di regola contattati da unità del DFGP (Dipartimento federale di giustizia e polizia) per garantire la sorveglianza nel settore postale e delle telecomunicazioni. L'UFCOM non può rilasciare informazioni a riguardo ma occorre rivolgersi agli enti competenti in materia. Ulteriori informazioni in merito sono disponibili all'indirizzo: www.li.admin.ch.

Per quanto riguarda gli hotspot WLAN occorre sottolineare che la maggior parte di questi accessi a Internet non comporta un servizio di telecomunicazione ai sensi della legge sulle telecomunicazioni, in quanto la trasmissione è limitata a un immobile o a quelli adiacenti. Il servizio di telecomunicazione vero e proprio, che permette l'accesso a Internet a partire da un immobile e dal relativo punto terminale di rete, è fornito da un FST. Per analogia, ciò corrisponde a come erano considerati in passato gli impianti telefonici di locali pubblici o imprese.

Non appena un'impresa fornisce servizi di telecomunicazione a terzi su più immobili che non servono alla comunicazione interna dell'impresa, si parte dal presupposto che si tratti di un servizio di telecomunicazione. Occorre sottolineare che dare o garantire semplicemente l'accesso a una prestazione di un FST notificato non rappresenta un'offerta concreta; per giustificare l'obbligo di notifica deve trattarsi di un servizio proprio fornito a un cliente. Questo è quanto ad esempio accade se tramite le loro infrastrutture (virtuali), le succursali alberghiere riuniscono in seno al gruppo (ad es. catena di alberghi) le prestazioni di comunicazione per gli ospiti comprese nell'offerta, per poi affidarle in modo centralizzato a un FST situato altrove.

Dal 2021 l'UFCOM registra e pubblica solo gli FST che per fornire servizi utilizzano determinate risorse gestite a livello nazionale in Svizzera, ad esempio nel quadro di una concessione di radiocomunicazione.

Le radiofrequenze ammesse per le reti WLAN non necessitano di una concessione. La fornitura di servizi di telecomunicazione tramite WLAN non giustifica la registrazione ordinaria e la pubblicazione come FST presso l'UFCOM. I FST registrati per altri motivi devono dichiarare in qualità di "RAN locale" i servizi di telecomunicazione tramite WLAN.

Ulteriori domande sulla registrazione e la pubblicazione riguardanti i FST sono trattate nella nostra scheda informativa disponibile al seguente indirizzo:

<https://www.bakom.admin.ch/bakom/it/pagina-iniziale/telecomunicazione/fornitori-di-servizi-di-telecomunicazione/registrazione-e-pubblicazione-quali-fst.html>

9 Allegato

9.1 Altre fonti informative

IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee	http://www.ieee802.org
ETSI, EP BRAN	http://www.etsi.org/ http://pda.etsi.org/pda/queryform.as
UFCOM	http://www.ufcom.ch
Elektronik Kompendium	http://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0610051.htm

9.2 Abbreviazioni

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
AP	Access point
ARQ	Automatic repeat request
ATM	Asynchron Transfer Mode
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BT	Bit Error Rate (tasso d'errore sui bit)
CCK	Complementary Code Keying
CDMA ^{a)}	Code Division Multiple Access
CEPT	Conferenza europea delle amministrazioni delle poste e delle telecomunicazioni
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
dB	Decibel
dBc	Decibel in relazione alla frequenza portante
dBm	Decibel in relazione a un milliwatt
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DES	Data Encryption Standard
DFS	Dynamic frequency selection
DPRS	DECT Packet Radio Service
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DS	Direct Sequence
DSSS	Direct sequence spread spectrum
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
ERP	Effective Radiated Power
ER-PBCC	Extended Paket Binary Convolutional Coding
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Istituto europeo delle norme di telecomunicazione)
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA ^{b)}	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward error correction
FH	Frequency hopping

FHSS	Frequency hopping spread spectrum
FSK	Frequency shift keying (4FSK = 4 level FSK)
FST	Fornitore di servizi di telecomunicazione
FTP	File Transfer Protocol
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GSM	Global System for Mobile Communication
HF	High Frequency
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things (Internet degli oggetti)
IP	Internet Protocol (protocollo Internet)
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	Industrial, Scientific and Medical
L1	Local area network
LTE	Long Term Evolution (radiocomunicazione di terza generazione)
LTE-LAA	LTE-License Assisted Access
LTE-LWA	LTE-WLAN Aggregation
MAC	Media Access Control (OSI Layer 2)
MAN	Metropolitan Area Network
Mbit/s	Megabit (10^6 Bit) al secondo
MIMO	Multiple Input Multiple Output (sistemi di antenne multiple)
m-PSK	Phase Shift Keying with m-phase states
NTP	Network Termination Point (punto terminale di rete)
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDMA ^{d)}	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection
PAN	Private Area Network
PBCC	Packet Binary Convolutional Coding
PC	Personal Computer
PHY	Interfaccia radio fisica (OSI Layer 1)
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RF	Radio Frequency (frequenza radio)
SAE	Simultaneous Authentication of Equals
RLAN	Radio local area network
SC	Single carrier
SHA	Secure Hash Algorithm
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA ^{c)}	Time Division Multiple Access
TPC	Transmit Power Control

UIT	Unione Internazionale delle Telecomunicazioni
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	Universal Serial Bus
WAN	Wide Area Network
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiFi	wireless fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Private Area Network
WPA	Wi-Fi Protected Access

- a) Codemultiplex (CDMA); in questo processo a ciascun utente viene attribuito un codice. Il segnale da trasmettere viene allargato ed inviato con questo codice. Nel ricevitore, con lo stesso codice il segnale viene ridotto a quello originario. L'ampiezza di banda del segnale da trasmettere può essere selezionata attribuendo il relativo codice. Durante questo processo le stazioni centrali e quelle degli utenti trasmettono segnali ininterrottamente, il segnale di trasmissione è mantenuto poco sopra il minimo necessario assoluto.
- b) Frequency Division Multiple Access (FDMA); in questo processo le singole connessioni sono trasmesse su frequenze separate. L'ampiezza di banda può essere adeguata in modo dinamico a seconda del volume del traffico. In questo processo la stazione centrale e quella dell'utente trasmettono ininterrottamente per tutta la durata della connessione.
- c) Time Division Multiple Access (TDMA); in questo processo sono messi a disposizione dei singoli utenti intervalli di tempo per trasmettere i propri dati. Per velocità di trasmissione dati più elevate possono essere combinati diversi intervalli di tempo. In questo processo generalmente la stazione centrale trasmette segnali ininterrottamente, mentre quella dell'utente si sincronizza con gli intervalli di tempo a lei attribuiti.
- d) Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDMA); in questo processo sono ripartite tra i singoli utenti le risorse nello spazio tempo-frequenza, il che consente la trasmissione simultanea di dati da parte di più utenti.

In aggiunta ai processi di accesso summenzionati esistono anche combinazioni di essi, come ad esempio CDMA con TDMA.

9.3 Determinazione delle velocità binarie (lorde) di alcuni sistemi OFDM

Standard IEEE				2.4 GHz		5 GHz		2.4 GHz / 5 GHz				5 GHz											
Band				20		20		20		40		20		40		80		160					
Bandwidth [MHz]				20		20		20		40		20		40		80		160					
Subcarrier total				64		64		64		64		128		128		256		256		512		512	
Subcarrier spacing [kHz]				312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5	
Pilot subcarrier				4		4		4		4		6		6		8		8		16		16	
Null subcarrier				12		12		8		8		14		14		14		14		28		28	
Data subcarrier				48		48		52		52		108		108		234		234		468		468	
Symbol time [μs]				3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2	
Guard interval [μs]				0.8		0.8		0.8		0.4		0.8		0.4		0.8		0.4		0.8		0.4	
Block time [μs]				4.0		4.0		4.0		3.6		4.0		3.6		4.0		3.6		4.0		3.6	
PHY overhead				45%		45%		39%		30%		36%		27%		39%		30%		36%		27%	
Symbol rate [MSym/s]				12		12		13.0		14.44		27.0		30.0		13.0		14.44		27.0		30.0	
1)																							
Modulation				Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]		Bitrate [MBit/s]	
MIMO				6		6		6.50		7.22		13.50		15.00		6.50		7.22		13.50		15.00	
1 x 1				9		9		9.75		10.83		20.3		22.5		9.75		10.83		20.25		22.50	
1 x 1 (non-MIMO)				12		12		13.00		14.44		27.0		30.0		13.00		14.44		27.00		30.00	
1 x 2				18		18		19.50		21.67		40.5		45.0		19.50		21.67		40.50		45.00	
1 x 4				24		24		26.00		28.89		54.0		60.0		26.00		28.89		54.00		60.00	
1 x 3				36		36		39.00		43.33		81.0		90.0		39.00		43.33		81.00		90.00	
1 x 6				48		48		52.00		57.78		108.0		120.0		52.00		57.78		108.00		120.00	
1 x 6				54		54		58.50		65.00		121.5		135.0		58.50		65.00		121.50		135.00	
1 x 8				66		66		69.00		76.67		153.0		168.0		69.00		76.67		153.00		168.00	
1 x 8				6.67		6.67		7.00		7.72		15.00		16.50		7.00		7.72		15.00		16.50	
2 x 2				13		13		13.00		14.44		27.0		30.0		13.00		14.44		27.00		30.00	
2 x 2				2		2		26.00		28.89		54.0		60.0		26.00		28.89		54.00		60.00	
2 x 2				3		3		39.00		43.33		81.0		90.0		39.00		43.33		81.00		90.00	
2 x 2				4		4		52.00		57.78		108.0		120.0		52.00		57.78		108.00		120.00	
2 x 2				6		6		78.00		86.67		162.0		180.0		78.00		86.67		162.00		180.00	
2 x 2				8		8		104.00		115.56		216.0		240.0		104.00		115.56		216.00		240.00	
2 x 2				9		9		117.00		130.00		243.0		270.0		117.00		130.00		243.00		270.00	
2 x 2				10		10		130.00		144.44		270.0		300.0		130.00		144.44		270.00		300.00	
2 x 2				12		12		156.00		173.33		324.0		360.0		156.00		173.33		324.00		360.00	
2 x 2				13.33		13.33		173.33		192.59		360.0		400.0		173.33		192.59		360.00		400.00	
2 x 2				15		15		195.00		216.67		405.0		450.0		195.00		216.67		405.00		450.00	
3 x 3				3		3		39.00		43.33		81.0		90.0		39.00		43.33		81.00		90.00	
3 x 3				4.5		4.5		58.50		65.00		121.5		135.0		58.50		65.00		121.50		135.00	
3 x 3				6		6		78.00		86.67		162.0		180.0		78.00		86.67		162.00		180.00	
3 x 3				9		9		117.00		130.00		243.0		270.0		117.00		130.00		243.00		270.00	
3 x 3				12		12		156.00		173.33		324.0		360.0		156.00		173.33		324.00		360.00	
3 x 3				13.5		13.5		175.50		195.00		364.5		405.0		175.50		195.00		364.50		405.00	
3 x 3				15		15		195.00		216.67		405.0		450.0		195.00		216.67		405.00		450.00	
3 x 3				18		18		234.00		260.00		486.0		540.0		234.00		260.00		486.00		540.00	
3 x 3				20		20		260.00		288.89		540.0		600.0		260.00		288.89		540.00		600.00	
4 x 4				2		2		26.00		28.89		54.0		60.0		26.00		28.89		54.00		60.00	
4 x 4				4		4		52.00		57.78		108.0		120.0		52.00		57.78		108.00		120.00	
4 x 4				6		6		78.00		86.67		162.0		180.0		78.00		86.67		162.00		180.00	
4 x 4				8		8		104.00		115.56		216.0		240.0		104.00		115.56		216.00		240.00	
4 x 4				12		12		156.00		173.33		324.0		360.0		156.00		173.33		324.00		360.00	
4 x 4				16		16		208.00		231.11		432.0		480.0		208.00		231.11		432.00		480.00	
4 x 4				18		18		234.00		260.00		486.0		540.0		234.00		260.00		486.00		540.00	
4 x 4				20		20		260.00		288.89		540.0		600.0		260.00		288.89		540.00		600.00	
4 x 4				24		24		312.00		346.67		648.0		720.0		312.00		346.67		648.00		720.00	
4 x 4				26.67		26.67		346.67		385.19		720.0		800.0		346.67		385.19		720.00		800.00	
4 x 4				8.00		8.00		104.0		115.56		216.00		240.00		104.0		115.56		216.00		240.00	
8 x 8				8		8		693.3		770.37		1440.0		1600.0		693.3		770.37		1440.00		1600.00	
1)	1: BPSK																						
	2: QPSK																						
	4: 16-QAM																						
	6: 64-QAM																						
	8: 256-QAM																						
	Jan 2017, doh																						