

# Indice

<b>Introduzione</b> .....	I
<b>1. Reti Wired e Wireless</b> .....	1
1.1 Reti Wired.....	1
1.1.1 Topologia di rete.....	1
1.1.2 Mezzi trasmissivi guidati.....	4
1.2 Reti Wireless.....	7
1.2.1 Sistemi di comunicazione Wireless.....	7
1.2.2 Onde Elettromagnetiche.....	9
1.2.3 Tipologie delle reti Wireless.....	10
1.2.4 Standard WPAN.....	11
1.2.5 Standard WLAN.....	13
1.2.6 Standard reti cellulari.....	15
<b>2. Reti Ad hoc e reti Mesh</b> .....	20
2.1 Introduzione alle Reti Mesh.....	20
2.1.1 Struttura delle reti mesh.....	22
2.2 Architettura 802.11s.....	23
2.2.1 Sincronizzazione dei nodi.....	25
2.3 Adattamento e problematiche delle reti mesh.....	25
2.4 Problematiche di sicurezza nelle WMN.....	29
2.5 Reti MANET.....	29
2.5.1 Algoritmi di routing nelle MANET.....	31
2.5.2 Campi applicativi delle MANET.....	33
2.5.3 Problematiche delle MANET.....	34
2.6 Confronto tra WMN e Wireless Ad-Hoc Network.....	34
<b>3. Tecnologia Zigbee e Standard 802.15.4</b> .....	36
3.1 Introduzione al protocollo Zigbee.....	36
3.2 Struttura di rete.....	37
3.3 Standard 802.15.4.....	38
3.3.1 Architettura.....	39
3.4 Livello PHY.....	41
3.4.1 Modulazione del canale.....	42
3.5 Livello MAC.....	43
3.5.1 Servizi del livello MAC.....	44
3.5.2 Strutture dei diversi Frame.....	46
3.5.3 Sincronizzazione dei dispositivi.....	48
3.5.4 Sicurezza dei frame.....	48
3.5.5 Gestione e inizializzazione di una PAN ZigBee.....	49

3.6	Livello Rete.....	50
3.6.1	Protocolli di routing.....	50
3.6.2	AODV nelle reti ZigBee.....	50
3.6.3	Algoritmo gerarchico.....	52
3.7	Livello Applicazione.....	52
3.8	Confronto e vantaggi con altre PAN.....	53
<b>4.</b>	<b>Motion Tracking.....</b>	<b>55</b>
4.1	Cattura delle immagini e video.....	55
4.2	Sistemi per il rilevamento e riconoscimento di oggetti.....	55
4.2.1	Segmentazione dell'immagine.....	56
4.2.2	Edge detector.....	57
4.3	Sistemi per il rilevamento del movimento.....	58
4.3.1	Tracking del target.....	59
4.4	Tracking di movimento attraverso muro.....	59
4.4.1	Variance-Based Radio Tomography Networks.....	60
4.4.2	Wi-Vi Technology.....	65
4.4.3	Through-Wall Imaging Radar.....	71
<b>5.</b>	<b>Moduli wireless Xbee e Arduino.....</b>	<b>75</b>
5.1	Xbee.....	75
5.1.1	Modalità di funzionamento.....	75
5.1.2	Specifiche e configurazione.....	76
5.2	Struttura della rete.....	78
5.3	Arduino.....	79
5.3.1	Sketch.....	81
	Conclusioni.....	90
	Bibliografia.....	92

## Introduzione

Un sistema di trasmissione è un insieme di elementi fisici di comunicazione tipicamente impiegati per il trasporto dell'informazione tra due punti distinti di una rete di telecomunicazioni.

Il presente elaborato si propone di analizzare le varie tipologie di reti utilizzate per il rilevamento di movimento ed in particolar modo per il *through wall watching* e di proporre un'alternativa utilizzando una specifica tipologia di rete.

Il primo capitolo dell'elaborato andrà a descrivere le differenze tra le due tipologie di reti di telecomunicazioni: wired e wireless. Per reti wired si intendono tutti i sistemi tradizionali di comunicazioni cablati che permettono l'interconnessione di apparecchiature elettriche o terminali di rete. Tipicamente nelle reti wired i mezzi di trasmissione utilizzati sono di diverso tipo a seconda dei campi applicativi nei quali vengono utilizzati. Questi si distinguono in base alla banda passante, al ritardo, al costo e alla facilità d'installazione.

Attualmente il mezzo di trasmissione più diffuso è il doppino intrecciato, questo è anche il più vecchio di tutti i mezzi di comunicazione guidati. Il doppino viene utilizzato principalmente nelle trasmissioni telefoniche, di questo ne esistono diversi tipi con diverse caratteristiche a seconda della presenza o assenza di varie schermature e protezioni contro il "rumore" elettromagnetico.

Altro mezzo guidato è il cavo coassiale che avendo più schermature del doppino intrecciato ha la possibilità di estendersi per distanze più lunghe e consente di raggiungere velocità di trasmissione più elevate. Esistono principalmente due versioni di cavi coassiali: cavi con impedenza a 50  $\Omega$  utilizzati per le trasmissioni digitali e cavi con impedenza a 75  $\Omega$  utilizzati per il segnale video analogico.

Attualmente il più efficiente dei mezzi guidati è la fibra ottica. Questa è costituita da un insieme di sottilissimi filamenti trasparenti di fibra di vetro realizzati in silicio o polimeri plastici delle dimensioni approssimative di un capello umano, tenuti assieme da una guaina protettiva in gomma. In questo mezzo di comunicazione viaggiano impulsi luminosi che sono immuni al rumore elettromagnetico prodotto da altre apparecchiature elettriche nelle circostanze.

L'evolversi della tecnologia ha portato ad avere dei mezzi di comunicazione wireless, letteralmente "senza fili". Le varie tipologie di reti wireless si distinguono in base alla velocità di trasmissione, alle dimensioni massime che possono avere e al tipo di standard di comunicazione che utilizzano. Tra le più importanti ricordiamo la WPAN, comunemente conosciuta come Bluetooth, la WLAN, utilizzata per lo più nelle abitazioni private e nota come Wi-Fi, e gli standard delle reti cellulari, dal GSM fino ad arrivare a LTE.

La wireless Mesh Network (WMN) è una rete wireless che sarà descritta nel secondo capitolo di questo elaborato di tesi. La WMN si distingue dalle altre poiché è una rete non centralizzata caratterizzata dal fatto che ogni dispositivo della rete è in grado di comunicare con altri dispositivi che si trovano nel suo range di trasmissione, senza l'ausilio di stazioni e router. Le reti mesh sono basate su protocolli ancora in via di sviluppo e sono oggetto di numerosa ricerca. Proprio per questo motivo non sono ancora molto utilizzate, ma è molto probabile che acquistino maggiore importanza nel prossimo futuro. I vantaggi della WMN rispetto alle reti wireless tradizionali sono: la struttura auto organizzativa, una bassa manutenzione, un robusto e dinamico algoritmo di rintracciamento dei nodi anche in caso di broken link. Lo standard di comunicazione che viene utilizzato in questo tipo di reti wireless è il 802.11s definito nel 2011. Questo definisce un nuovo tipo di stazione chiamata Mesh Point: la differenza sostanziale di un Mesh Point (MP) dagli altri tipi di dispositivi esistenti (client e AP) è che esso può scambiare frame su un collegamento wireless multihop.

Purtroppo questa tecnologia non è priva di problemi, uno tra tutti è la compatibilità con gli altri standard wireless già diffusi. Altri problemi condivisi con le altre reti wireless sono: il problema del terminale nascosto (Hidden Terminal Problem) e il problema del terminale esposto (Exposed Terminal Problem).

Caso particolare delle reti mesh sono le reti Mobile Ad-hoc NETWORK (MANET). Una rete di questo genere è una rete temporanea, senza punti di accesso, che non viene preconfigurata ma si forma per la sola presenza dei vari dispositivi in un dato territorio. Quindi come avviene nelle reti mesh, nelle MANET prevale il concetto di multihop: invece di instaurare la comunicazione

tramite antenna, che può essere molto distante, si preferisce compiere dei piccoli salti tra un nodo e l'altro risparmiando così energia e garantendo, in teoria, maggiore stabilità. Queste reti possono essere utilizzate in vari contesti applicativi. Durante le operazioni di soccorso in situazioni di emergenza le MANET possono risultare particolarmente adatte per garantire la comunicazione in seguito a disastri ambientali.

Tuttavia uno dei problemi fondamentali delle MANET è la mancanza di un punto di accesso, il che porta a non avere un collegamento verso l'esterno e a non poter mantenere i collegamenti interni al gruppo in maniera trasparente.

Nel terzo capitolo del presente elaborato verrà descritto uno degli standard di comunicazione che fa parte delle reti mesh, ovvero il protocollo ZigBee e lo standard 802.15.4. Il protocollo Zigbee definisce il livello rete e il livello applicazione dello stack protocollare. In particolare per il livello rete Zigbee definisce i vari protocolli di routing come l'algoritmo Z-AODV, il quale è una versione semplificata dell'algoritmo AODV.

Il livello applicazione invece rappresenta il livello più alto non che il centro del protocollo ed è quello costituito dai driver e dai codici salvati in una memoria a sola lettura. Questo livello è formato da tre blocchi fondamentali: Application Framework che contiene le applicazioni vere e proprie, Application Support Sub-layer che fornisce un insieme di dati e servizi di gestione da cui possono accedere lo ZDO ed il Manufacturer-Defined Application Object e in fine ZigBee Device Object è il blocco del livello applicazione che si occupa di inizializzare la parte Application Support Sub-layer. Per quanto riguarda lo standard 802.15.4, esso fornisce le specifiche per due dei quattro livelli della pila protocollare: il livello Physical (PHY) e il Medium Access Control (MAC).

Il quarto capitolo andrà a descrivere i sistemi di rilevamento e riconoscimento degli oggetti ed alcune tecnologie ideate per il rilevamento di movimento attraverso il muro, ossia il through wall watching.

Un sistema che ha le capacità di riconoscere un oggetto in un video o in un immagine è formato da almeno due sistemi: uno che acquisisce e descrive le immagini e un algoritmo di riconoscimento. Il primo passo nel riconoscimento di un oggetto è l'identificazione dei bordi dello stesso. Definendo il bordo come la

separazione tra un oggetto e lo sfondo, le tecniche di riconoscimento nella maggior parte dei casi utilizzano dei filtri d'immagine derivativi. Il valore in ogni punto dell'immagine rappresenta una stima del gradiente nel pixel corrispondente.

Questa tecnica permette di identificare i cambiamenti bruschi d'intensità nell'immagine andando a calcolarne il gradiente in un determinato punto: se il gradiente è pari a zero allora non sono presenti variazioni d'intensità per cui non si tratta di un bordo dell'oggetto.

Esistono diversi operatori che calcolano il gradiente tra cui possiamo ricordare: gli operatori di Roberts, gli operatori di Prewitt e di Sobel e gli operatori di Canny. Quest'ultimo è il più diffuso nell'ambito del rilevamento di oggetti e di visione artificiale in quanto presenta delle elaborazioni dell'immagine prima e dopo il calcolo vero e proprio del gradiente.

Negli ultimi anni sono stati ideati diversi metodi per il rilevamento di movimento attraverso un muro, in questa tesi ne verranno descritti tre: Variance-Based Radio Tomography Networks, Through-Wall Imaging Radar e Wi-Vi technology.

Il primo metodo è un'estensione della Radio Tomography Imaging (RTI). RTI è un'applicazione utile nelle situazioni di emergenza per tracciare il movimento di oggetti all'interno di un edificio oppure all'esterno utilizzando la misura del Received Signal Strength(RSS). Questa tecnologia si basa sull'utilizzo di radar MIMO, i quali utilizzano lo space-division multiplexing che migliora il rapporto segnale rumore e quindi aumenta la qualità del segnale trasmesso. Invece di trasmettere su un unico flusso di dati, si trasmette su più flussi, ciò permette di aumentare il numero di dati trasmessi. Tramite questa tecnologia si riesce quindi ad aumentare il throughput e ad ottimizzare l'utilizzo della banda. Quando avviene un movimento di un oggetto nei pressi di un link wireless, una parte della componente multipath può essere modificata. Dalla combinazione delle informazioni sulle variazioni dell'RSS prelevate da più link non solo può essere rilevato un oggetto in movimento ma può essere anche localizzato. Lo scopo del sistema variance-based RTI è quello di usare le misurazioni delle variazioni dell'RSS per determinare il vettore che descrive la presenza di un movimento all'interno dell'insieme dei voxel, che compongono lo spazio fisico della rete stessa. Un voxel è un valore su una griglia regolare in tre dimensioni.

In ausilio a questa tecnologia viene utilizzato il filtro di Kalman ottimizzato per il tracciamento di movimento. Questo filtro porta a dei risultati significativi se e solo se il sistema da studiare è lineare, se i rumori da analizzare possono essere

considerati come rumore bianco e se questi ultimi sono di natura gaussiana. Questa tecnologia utilizza una rete composta da vari nodi che si scambiano delle informazioni. I nodi, in una situazione di emergenza, dovrebbero essere disposti all'esterno e tutti intorno al perimetro dell'edificio dentro il quale si vuole tracciare il movimento degli oggetti. Una volta prelevati i valori dell'RSS questi vengono inviati ad un nodo esterno collegato ad un computer che li elabora e stima la posizione dell'oggetto in movimento.

Altra tecnologia per il rilevamento di movimento che sarà descritta nel quarto capitolo è la tecnologia Wi-Vi (wifi vision) che si basa sullo stesso concetto utilizzato nei sonar e nei radar. Quando ci si trova davanti un muro non metallico, una parte del segnale a radio frequenze attraversa il muro, si riflette sugli oggetti e sui corpi e torna indietro, portando con sé le informazioni di quello che c'è all'interno della stanza. Dalla cattura di questi segnali riflessi, si possono visualizzare gli oggetti dietro un muro. Un dispositivo che riesca a catturare e a distinguere tutti questi segnali riflessi però è molto complicato da realizzare. Pertanto è stato costruito il dispositivo chiamato Wi-Vi. Questo utilizza segnali nella banda ISM a 2,4 GHz ed è un dispositivo MIMO che comprende tre antenne: due utilizzate per la trasmissione e una per la ricezione del segnale. Le due antenne di trasmissione sono state costruite in modo tale che l'antenna di ricezione del segnale riceva solo le parti di segnale riflesse provenienti da oggetti in movimento. Poiché i segnali si combinano linearmente le due antenne di trasmissione inviano un segnale sfasato di  $180^\circ$  in modo tale da annullare il segnale degli oggetti fissi. In questo modo l'antenna di ricezione riceve solo i segnali provenienti dagli oggetti in movimento.

L'altro sistema di localizzazione descritto nel quarto capitolo è il Through-Wall Imaging Radar che utilizza un modulatore di frequenza che lavora sulla banda S, un radar a onda continua, un array di antenne per trasmettere un segnale e acquisire le informazioni e un display che mostra il risultato.

Il radar ad onda continua è in grado di determinare non solo la posizione di un oggetto, misurata in base al ritardo del segnale riflesso dal target rispetto al segnale trasmesso, ma anche la sua velocità, misurata in base allo shift di frequenza tra il segnale riflesso e quello trasmesso, ossia l'effetto Doppler. Il dispositivo della tecnologia Through-Wall Imaging Radar è formato da 8 antenne destinate alla ricezione del segnale e 13 antenne destinate alla fase di trasmissione, per questo motivo rientra nella categoria MIMO. Questo dispositivo utilizza l'algoritmo d'immagine Range Migration ottimizzato per ottenere risultati in tempo reale. I dati vengono acquisiti solo durante una finestra temporale ben definita, tenendo conto del ritardo del circuito analogico e del sistema radar. Una volta acquisiti i dati questa tecnologia utilizza due metodi per il rilevamento di cambiamenti nella

scena d'interesse: il Coherent Background Subtraction e il Frame to Frame Change Detection.

Nel quinto capitolo di questa tesi verranno analizzate le varie caratteristiche dei moduli wireless Xbee e della scheda arduino.

I moduli Xbee utilizzati per questa tesi lavorano a 868 MHz di frequenza e utilizzano un'antenna collegata dall'esterno con un connettore RPSMA. Questi dispositivi utilizzano lo standard di comunicazione ZigBee e possono essere configurati in due modi: modalità trasparente (Transparent Mode AT) e modalità API (Application Programming Interface). La prima modalità di funzionamento viene utilizzata per creare delle connessioni punto-punto in cui due moduli vengono messi in comunicazione diretta in modo tale che il contenuto del buffer di ingresso di un modulo si ripeta in maniera automatica nel buffer d'uscita dell'altro e viceversa. La modalità API invece richiede una comunicazione più strutturata e che i dati vengano inviati con un ordine ben preciso tramite frame. Uno dei vantaggi che la modalità API ha rispetto alla modalità trasparente è che la velocità seriale sui trasmettitori non deve essere uguale per tutti.

La tipologia di rete che si andrà a descrivere in questo quinto capitolo è composta essenzialmente da quattro tipologie di nodi fondamentali: coordinatore, nodo standard, nodo sink e end device. La rete ideata si basa su una politica a turni, in questo modo si risolvono i problemi inerenti alle interferenze elettromagnetiche.

A supporto dei moduli wireless verrà utilizzata la scheda Arduino che monta il microprocessore Atmega328. Questo dispositivo viene programmato attraverso un linguaggio di programmazione software e l'ambiente di sviluppo integrato di Arduino è una libreria software C/C++ chiamata Wiring.

Per concludere questo elaborato di tesi verranno descritti e analizzati quattro esempi di codice che potrebbero essere utilizzati per programmare le varie schede Arduino, infatti ognuno di questi codici definisce le operazioni il singolo nodo deve compiere.

# Reti Wired e Wireless

## 1.1 Reti Wired

Per reti Wired si intendono tutti i sistemi tradizionali di comunicazioni cablati che permettono l'interconnessione di apparecchiature elettriche o terminali di rete (host). Una rete di telecomunicazioni quindi è costituita da macchine collegate tra loro attraverso le linee di comunicazione e agli elementi hardware.

### 1.1.1 Topologia di una rete

La configurazione spaziale della rete è detta *topologia fisica* solitamente distinta in:

- Topologia a bus
- Topologia a stella
- Topologia ad anello
- Topologia ad albero

La topologia logica invece rappresenta il modo in cui i dati o l'informazione viaggiano attraverso le linee di comunicazione. Le più significative sono Ethernet, Token Ring e FDDI.

Il termine Ethernet sta ad identificare l'insieme di prodotti LAN (Local Area Network) aderenti allo standard IEEE 802.3, il quale definisce la tecnica di controllo di accesso multiplo ovvero il CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect).

Questo standard Ethernet è una rete locale broadcast basata su Bus, detta anche 10Base5 Thick Cable, poiché costituita da grossi cavi coassiali in rame, a cui i calcolatori sono collegati perforando la guaina esterna fino a raggiungere il connettore interno. Il numero 10 sta ad identificare la velocità di trasmissione, ossia 10 Megabits per secondo (Mbps), invece la parola "Base" sta ad indicare la trasmissione in banda base. La topologia a Bus è la struttura fisica di più semplice realizzazione, in questa tutti i computer sono connessi ad un'unica linea di comunicazione attraverso un cavo, generalmente cavo coassiale. Il vantaggio di utilizzare questa struttura è che è di facile realizzazione e funzionamento. D'altro canto però nel caso in cui si dovessero verificare dei problemi, come ad esempio delle connessioni difettose in un punto della rete, questa sarebbe compromessa nel suo insieme[1].

Nella seguente tabella sono riportate la tipologia, le caratteristiche e i vantaggi dei cavi maggiormente utilizzati per lo standard Ethernet classico.

Nome	Cavo	Lunghezza	Nodi/seg	Vantaggi
------	------	-----------	----------	----------

		<b>max. del segmento</b>	<b>mento</b>	
10Base5	Coassiale spesso (Thick Ethernet)	500 metri	100	Cavo originale, ora obsoleto
10Base2	Coassiale sottile (Thin Ethernet)	185 metri	30	Non occorre un hub
10Base-T	Doppino intrecciato	100 metri	1024	Sistema più economico
10Base-F	Fibra ottica	2000 metri	1024	Migliore tra gli edifici

Negli anni successivi all'ideazione dell'Ethernet classica nasce come sua estensione la Fast Ethernet, definita 802.3u, la quale è caratterizzata da una velocità di trasmissione pari a 100 Megabits per secondo. La fast Ethernet mantiene tutti i formati di frame, le interfacce e le regole procedurali riducendo semplicemente il tempo bit da 100 nsec a 10 nsec.

Nella seguente tabella sono riportate la tipologia, le caratteristiche e i vantaggi dei cavi maggiormente utilizzati per lo standard Fast Ethernet.

<b>Nome</b>	<b>Cavo</b>	<b>Lunghezza max. del segmento</b>	<b>Vantaggi</b>
100Base-T4	Doppino intrecciato	100 metri	UTP di categoria 3
100Base-TX	Doppino intrecciato	100 metri	Full duplex a 100Mbps (UTP di categoria 5)
100Base-FX	Fibra ottica	2000 metri	Full duplex a 100Mbps, distanze elevate

Oggi viene utilizzato uno standard molto più evoluto della Ethernet classica e della Fast Ethernet descritta poc'anzi, la Gigabit Ethernet. Questo standard fu ramificato da IEEE nel 1998 con il nome di 802.3z. I cavi utilizzati erano molto simili a quelli degli standard precedenti. Gli obiettivi principali erano essenzialmente gli stessi del 802.3u, ovvero rendere Ethernet 10 volte più veloce mantenendo la compatibilità con tutti gli standard di comunicazione.

Nella seguente tabella sono riportate la tipologia, le caratteristiche e i vantaggi dei cavi maggiormente utilizzati per lo standard Gigabit Ethernet.

<b>Nome</b>	<b>Cavo</b>	<b>Lunghezza max. del segmento</b>	<b>Vantaggi</b>
-------------	-------------	------------------------------------	-----------------

1000Base-SX	Fibra ottica	550 metri	Fibra multimodale (50, 62.5 micron)
1000Base-LX	Fibra ottica	5000 metri	Fibra mono (10 $\mu$ ) o multimodale (50, 62.5 $\mu$ )
1000Base-CX	2 coppie di STP	25 metri	Doppino schermato
1000Base-T	4 coppie di UTP	100 metri	UTP standard di categoria 5

Il metodo Token Ring è una tecnica di accesso alla rete basata sul principio di comunicazione a turno: in questo modo in ogni momento solo uno dei nodi è attivo e può trasmettere secondo il modello Master-Slave e prevede che tutti i nodi siano connessi secondo una struttura fisica ad anello. In realtà i nodi non sono disposti realmente ad anello, ovvero in cerchio, ma bensì si utilizza un dispositivo ripartitore detto MAU (Multistation Access Unit) che darà successivamente la “parola”, quindi la possibilità di trasmettere, a ciascuno di loro. In poche parole per un determinato lasso di tempo solo uno dei nodi presenti nella rete detiene la carica di Master e quindi ha la possibilità di trasmettere dati. Alla fine di questo lasso di tempo la carica di master passa al nodo successivo e così via in loop.

L'evoluzione del metodo Token Ring è il Token Bus. Questo metodo ha una struttura più semplice e flessibile: tutti i nodi master sono connessi tra loro in modo da realizzare un anello logico, e non fisico, e quindi ogni nodo deve conoscere l'indirizzo di quello successivo in modo da formare una mappa interna della rete per instradare correttamente i pacchetti da inviare. La modalità di funzionamento appena descritta consente di avere tempi di risposta molto bassi anche se la ricostruzione dell'anello logico, nel caso di perdita del token, può richiedere un certo intervallo di tempo.

La prima rete locale di seconda generazione è stata definita con l'avvento della FDDI ovvero Fiber Distributed Data Interface. Questo standard di comunicazione utilizza la fibra ottica come mezzo fisico di trasmissione dati ad una velocità di base di 100 Mbps in una LAN, che può estendersi fino a 200 chilometri senza alcun bisogno di amplificazioni o ripetizioni di segnale. Sebbene la topologia logica della FDDI si basa su una rete token ring, essa non usa il protocollo IEEE 802.5 token ring come sua base; bensì il suo protocollo è derivato dal protocollo IEEE 802.4 token bus. La topologia logica di FDDI è costituita da un anello monodirezionale, quella fisica è costituita da un doppio anello controrotante, avente un anello primario (primary ring) utilizzato per trasmettere i dati ed un anello secondario (secondary ring) che serve come percorso di backup. In condizioni normali le informazioni viaggiano sull'anello primario mentre l'anello secondario si trova in stato di stand-by caldo (IDLE).

Nel momento in cui si verifica un guasto l'anello principale si richiude sull'anello secondario, ciò comporta una maggiore resistenza ai guasti. La trasmissione può essere di due tipi:

- Asincrona: usata per la trasmissione di pacchetti di dati che non necessitano di un'allocatione di banda fissa ma bensì dinamica
- Sincrona: usata per esempio durante la trasmissione di video in real time che quindi ha la necessità di un'allocatione di banda e di tempi di risposta ben definiti e il più possibile stabili; di conseguenza questa trasmissione ha la priorità sulla trasmissione di dati asincrona

### 1.1.2 Mezzi trasmissivi guidati

È possibile utilizzare diversi tipi di mezzi fisici per avere una trasmissione di dati qualunque, ognuno di essi è caratterizzato da:

- Una banda passante: ovvero l'intervallo di frequenze che un dato segnale contiene o che un dato mezzo fisico è in grado di trattare
- Un ritardo: ovvero di quanto è sfasato il segnale di arrivo con quello di destinazione
- Un costo in termini di prezzo vero e proprio
- Una facilità di installazione e manutenzione

Uno dei mezzi di trasmissione più vecchi ma ancora oggi molto utilizzato è il *Doppino intrecciato* (Twisted Pair) [2]. Questo è composto da due conduttori di rame isolanti, spessi circa 1 mm, avvolti uno intorno all'altro in una forma elicoidale. Il doppino può essere singolo (una sola coppia) oppure in treccia di una moltitudine di coppie. L'intreccio è utilizzato poiché i due cavi se posti in posizione parallela fungono da antenna, invece quando i due cavi di rame sono intrecciati i campi elettromagnetici che sprigionano sono caratterizzati da una stessa intensità ma di verso opposto quindi in pratica si annullano a vicenda, per cui il cavo irradia di meno. I doppini sono in grado di trasmettere segnali sia in forma analogica che in forma digitale, il diametro del cavo e la distanza percorsa determinano la larghezza di banda specifica del doppino. Questi mezzi di comunicazione possono estendersi per diversi chilometri senza aver alcun bisogno di un sistema di amplificazione del segnale. Esistono diversi tipi di doppini, questi possono essere distinti tra loro per il numero di schermature e protezioni contro il "rumore" elettromagnetico, ossia per esempio il disturbo causato da altre apparecchiature nelle vicinanze, a cui sono sottoposti.

Questi tipi di cavi possono essere divisi in:

- 1) **UTP** (Unshielded Twisted Pair) prive di schermature tra una coppia di cavi di rame e l'altra, utilizzati per le connessioni Ethernet, molto flessibili e quindi resistenti
- 2) **STP** (Shielded Twisted Pair) i quali includono una schermatura tra una coppia di cavi e l'altra;
- 3) **S/STP** (Screened Shielded Twisted Pair) sono cavi STP ulteriormente protetti da una schermatura metallica che racchiude l'intero cavo, ciò migliora ulteriormente la resistenza alle interferenze.
- 4) **S/UTP** (Screened Unshielded Twisted Pair) è un cavo UTP schermato solo esternamente.

L'applicazione più comune del doppino è il sistema telefonico, infatti ancora oggi molti telefoni sono collegati alla centrale telefonica tramite doppino.

Un altro mezzo di comunicazione guidato molto utilizzato è il *Cavo coassiale*[3]. Avendo più schermature del doppino intrecciato, questo ha la possibilità di estendersi per distanze più lunghe e consente velocità di trasmissione più elevate. Un cavo coassiale è formato da un nucleo conduttore ricoperto da un rivestimento isolante, che a sua volta è circondato da un conduttore cilindrico solitamente realizzato con una calza metallica che in fine è avvolto da una guaina protettiva in plastica. Questa composizione strutturale fornisce un'ampiezza di banda ed un'eccellente immunità al rumore. La banda dipende dalla qualità, dalla lunghezza del cavo e dal rapporto segnale-rumore del segnale dati.

I cavi coassiali vengono prodotti in diverse tipologie in funzione della frequenza del segnale da trasportare e della potenza dello stesso. I valori d'impedenza utilizzati sono principalmente due:

- Cavi con impedenza caratteristica a 50  $\Omega$ , utilizzati per le trasmissioni digitali (come le prime versioni di Ethernet) o radioamatoriali, nonché per segnali standard nel campo degli strumenti di misura elettronici; utilizzare questo valore d'impedenza rappresenta un buon compromesso tra perdite e potenza massima trasmissibile (per cavo in aria): è una via di mezzo tra la media aritmetica (53.3 $\Omega$ ) e quella geometrica (48 $\Omega$ ) tra 30 $\Omega$  (massima potenza) e 77 $\Omega$  (perdite minime).
- Cavi con impedenza caratteristica a 75  $\Omega$ , utilizzati per il segnale video analogico, per la televisione (collegamento con l'antenna di ricezione terrestre o satellitare) e per le connessioni Internet via cavo; si è scelto di utilizzare questo valore d'impedenza (75  $\Omega$ ) poiché il conduttore centrale di cavi nella maggior parte dei casi è realizzato in acciaio e ricoperto in rame e dato che impedenze caratteristiche basse richiedono conduttori interni più spessi, la scelta dei 75 $\Omega$  è un buon compromesso fra basse perdite e flessibilità del cavo.

Il mezzo di comunicazione oggi più efficiente a nostra disposizione è la *Fibra ottica*[4]. Questa è costituita da un insieme di sottilissimi filamenti trasparenti di fibra di vetro realizzata in silicio o polimeri plastici, delle dimensioni approssimative di un capello umano, tenuti assieme da una guaina protettiva in gomma. A differenza di altri mezzi trasmissivi cablati, come ad esempio il doppino intrecciato, la fibra ottica è in grado di trasportare molti più dati/informazioni per unità di tempo e allo stesso tempo è anche più leggera, maneggevole, flessibile e immune ai disturbi elettrici dovuti ad altri dispositivi.

Tutte queste caratteristiche rendono la fibra meno soggetta a guasti e ad inconvenienti abbattendo notevolmente i costi di manutenzione. L'attuale tecnologia di questo mezzo di comunicazione permette di avere un massimo di ampiezza di banda pari a 50.000 Gbps (circa 50Tbps). Purtroppo oggi il limite pratico per la trasmissione dei segnali, dovuto dall'incapacità di convertire più rapidamente il segnale elettrico in ottico, è pari a circa 10 Gbps.

Un sistema di trasmissione ottica è formato da tre componenti fondamentali: una sorgente luminosa, un mezzo di trasmissione e un rivelatore. Convenzionalmente un impulso di luce equivale al valore 1 e l'assenza di luce indica il valore 0. Collegando a un estremo della fibra una sorgente di luce e all'altro capo un rivelatore si viene a formare così una comunicazione unidirezionale. Il rivelatore quando viene colpito dalla luce genera un impulso elettrico che converte quindi l'impulso luminoso in segnale elettrico. Un cavo in fibra ottica è costituito essenzialmente da tre parti:

- Il nucleo (core): rappresenta la parte più interna costituita da silice vetrosa ( $\text{SiO}_2$ ) "drogata" che permette di aumentare l'indice di rifrazione
- 
- Il mantello (cladding): ricopre il nucleo ed è caratterizzato da un indice di rifrazione più basso rispetto al core
- La guaina protettiva esterna (jacket): è la parte in plastica che ricopre il mezzo trasmissivo e lo protegge

L'indice di rifrazione del core viene reso intenzionalmente più alto del cladding al fine d'innescare il principio fisico che consente di non disperdere la luce: quando un raggio luminoso passa da un materiale all'altro si rifrange sul confine tra i due materiali[5]. Un raggio luminoso che colpisce il piano di discontinuità, ovvero il confine tra core e cladding, con un angolo maggiore al valore critico per cui si ha una riflessione totale del segnale luminoso, questo rimane intrappolato nel core e viaggia rifrangendosi sulle pareti di esso, propagandosi così per molti chilometri senza perdite significative.

Le fibre ottiche possono essere di tipo monomodale o multimodale. Le prime sono utilizzate per trasmissioni telefoniche urbane, trasmissioni video, reti di telecomunicazioni o controllo intelligente del traffico. Queste hanno un diametro di core ridotto fino a poche lunghezze d'onda della luce (circa  $10\mu$  di diametro), la fibra si comporta quindi come una guida d'onda e la luce può propagarsi solo in linea retta senza rimbalzare. Le fibre monomodali sono molto più costose delle multimodali, sono utilizzate per trasmissioni a lunga distanza e possono trasmettere dati a 50 Gbps fino a 100 chilometri senza alcun bisogno di amplificazione. Per quanto riguarda invece la fibra multimodale, questa è caratterizzata da un core di 50 o  $62.5\mu$  di diametro e può contenere raggi che rimbalzano ad angoli diversi.

La lunghezza d'onda della luce e alcune proprietà fisiche del vetro determinano l'attenuazione della luce attraverso il vetro, questa viene espressa in decibel secondo la formula:

$$\text{attenuazione} = 10 \log_{10} \frac{\text{energia trasmessa}}{\text{energia ricevuta}}$$

Per la comunicazione ottica vengono utilizzate tre bande di lunghezze d'onda centrate rispettivamente a 0,85 1,30 1,55 micron. Le ultime due sono caratterizzate da buone proprietà di attenuazione, all'incirca meno del 5% di dispersione per km. Gli impulsi luminosi che viaggiano attraverso la fibra durante la propagazione subiscono un'espansione della lunghezza d'onda, questa si chiama dispersione cromatica.

## 1.2 Reti Wireless

Il termine wireless proviene dall'inglese e significa letteralmente *senza fili* (Wireless) quindi una rete di questo tipo indica una comunicazione tra due nodi senza alcun bisogno di cavi, ovvero mezzi fisici guidati. I sistemi wireless vengono largamente utilizzati nel campo delle reti di telecomunicazioni e nelle radiocomunicazioni. Questa tecnologia ha dato una sostanziale svolta al mondo delle telecomunicazioni, infatti ora si ha la possibilità di estendere una rete di comunicazione in qualsiasi ambiente proprio grazie all'utilizzo di essa. Ormai già da parecchi anni ogni dispositivo che viene progettato e inserito nel mercato nasce con il proposito di rendere possibile lo scambio di informazioni senza l'utilizzo di reti cablate. I mezzi trasmissivi non guidati che utilizzano le reti wireless possono essere: le onde radio, i sistemi laser, e la luce infrarossa. Quest'ultima però sta diventando obsoleta a causa dell'avvento del Bluetooth. Le onde radio sono utilizzate per lo più nelle LAN (Local Area Network) sia in ambienti chiusi, come un ufficio, e sia all'aperto.

### 1.2.1 Sistemi di comunicazione Wireless

Esistono vari metodi per la trasmissione di informazioni senza fili, tra le più importanti ricordiamo: trasmissioni radio, trasmissione a microonde, trasmissione a onde luminose e trasmissione ad infrarossi e onde millimetriche.

Le onde radio sono molto diffuse nelle comunicazioni sia all'interno di un edificio e sia all'esterno, sono molto facili da generare e possono viaggiare su lunghe distanze. La caratteristica principale di queste onde è che le trasmissioni generate vengono diffuse in maniera omnidirezionale, cioè si espandono in maniera uniforme su tutto lo spazio. Questa proprietà permette al ricevitore e alla sorgente delle onde radio di non essere fisicamente allineati. Alle basse frequenze le onde radio riescono ad attraversare molto meglio gli ostacoli rispetto alle onde ad alte frequenze. Purtroppo però la sua intensità, quindi la potenza, diminuisce bruscamente all'aumentare della distanza dalla sorgente con una diminuzione pari a  $1/r^2$  dove  $r$  rappresenta la distanza. Alle alte frequenze invece tendono a

viaggiare in linea retta rimbalzando contro gli ostacoli. Le trasmissioni radio avvengono alle frequenze definite come: very low frequency (VLF), low frequency (LF), medium frequency (MF), high frequency (HF), very high frequency (VHF). Le onde nelle bande VLF, LF, MF seguono il terreno, ovvero seguono la curvatura del pianeta. In una comunicazione dati queste bande non sono molto efficaci poiché sono caratterizzate da un'ampiezza di banda ridotta.

Nelle bande HF e VHF le onde tendono ad essere assorbite dal pianeta, ma le onde che riescono a raggiungere la ionosfera vengono riflesse e tornano sulla terra; queste bande vengono utilizzate dai radioamatori e anche dai militari.

Per quanto riguarda le trasmissioni a microonde, queste onde sopra 100 MHz viaggiano in linea retta. Utilizzando un sistema di antenna parabolica concentrando tutta l'energia in un piccolo raggio, si riesce ad ottenere un rapporto segnale rumore molto più alto di quello delle onde radio.

Il viaggiare in linea retta può essere un problema per comunicazioni a lunga distanza: infatti essendo la terra curva e non piatta si avrà bisogno di alcuni ripetitori lungo il tragitto per far sì che la trasmissione arrivi a destinazione. A differenza delle onde radio a basse frequenze, le microonde non riescono ad attraversare gli ostacoli. Intorno alla banda di 4 GHz le microonde purtroppo vengono assorbite dall'acqua che ovviamente provoca un grosso problema per la comunicazione: l'unica soluzione possibile è interrompere la comunicazione nelle zone di pioggia e deviarla in luoghi in cui le condizioni climatiche non sono sfavorevoli. Rispetto alla fibra ottica questo tipo di comunicazione a microonde offre diversi vantaggi; il più importante è che non richiede alcun diritto di passaggio.

Una connessione LAN tra due edifici è possibile realizzarla tramite dei laser posizionati sui tetti scambiandosi dati attraverso le onde luminose. Questa trasmissione è basata quindi sui laser ed è intrinsecamente unidirezionale, per cui ogni edificio ha bisogno di un laser e di un rivelatore fotoelettrico. Il costo d'installazione di questo tipo di trasmissione è estremamente basso e il vantaggio rispetto alle comunicazioni basate sulle microonde è che non ha bisogno di alcun tipo di licenze particolari.

Il difetto più grande delle onde luminose è il metodo di puntamento: infatti è molto complesso puntare un raggio laser delle dimensioni di 1 mm su un bersaglio molto piccolo. In questo sistema si utilizza un terzo strumento per facilitare il puntamento, ovvero una lente che rende il raggio meno focalizzato. Altro svantaggio è che un raggio luminoso non attraversa la pioggia, la nebbia e il calore delle giornate soleggiate che si alza dall'edificio facendo ballare il raggio intorno al rivelatore.

Per le comunicazioni a corto raggio si utilizzano le trasmissioni a infrarossi e le onde millimetriche. Telecomandi, videoregistratori, stereo e tanti altri dispositivi utilizzano questo tipo di comunicazione. La comunicazione è relativamente direzionale, molto economica e facile da costruire. Un sistema di questo tipo è caratterizzato dal fatto che le onde millimetriche e infrarossi non riescono a superare ostacoli solidi come pareti. Ciò può essere sia un vantaggio che uno svantaggio, in quanto un sistema non riuscirà mai a comunicare in due stanze diverse, ma allo stesso tempo due sistemi non interferiranno tra loro se posti in stanze diverse.

## 1.2.2 Onde Elettromagnetiche

Una rete wireless si basa sostanzialmente sul concetto di onda elettromagnetica. Quando dei campi elettrici o dei campi magnetici variano rapidamente nel tempo questi non rimangono a lungo disaccoppiati: infatti l'uno da origine all'altro creando un'entità fisica che prende il nome di Campo Elettromagnetico[6]. La caratteristica più importante di questo campo di forze è che non rimane fermo in un punto dello spazio ma bensì si propaga in esso e nel tempo sotto forma di onde elettromagnetiche, che viaggiano nel mezzo in forma di energia e in modo ondulatorio. La propagazione di queste onde viene descritta sostanzialmente da 2 equazioni, ovvero 2 delle 4 equazioni di Maxwell:

$$1) \quad \nabla^2 \vec{E} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$2) \quad \nabla^2 \vec{B} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

Possiamo definire  $V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$  come la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo in cui essa si sposta, dove  $\mu$  è la permeabilità magnetica relativa al mezzo e  $\epsilon$  la permittività elettrica. Se l'onda si sta propagando nel vuoto allora definiamo  $\frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = c$  che è la velocità della luce nel vuoto. Il rapporto  $\frac{c}{v} = n$  il quale è definito come indice di rifrazione, che definisce la diminuzione della velocità di propagazione della radiazione elettromagnetica nel mezzo preso in esame. Le onde elettromagnetiche vengono classificate secondo la frequenza o la lunghezza d'onda. Quest'ultima è definita come lo spazio percorso da un'onda in un tempo pari al suo periodo. Quando un'onda elettromagnetica viene a contatto con una superficie di discontinuità la sua intensità, e di conseguenza la sua energia interna, variano e nella maggior parte dei casi diminuisce. Una superficie di discontinuità si ha quando la radiazione elettromagnetica passa da un mezzo avente uno specifico valore dell'indice di rifrazione ad un altro avente un valore diverso. Questo discorso vale anche per gli organismi viventi, che essendo esposti ai campi elettromagnetici, interagiscono con questi assorbendone energia. Il meccanismo attraverso il quale si ha questa interazione è costituito dalle forze esercitate dai campi elettrici e magnetici sulle cariche elettriche presenti sul materiale esposto. Quando si ha un'interazione tra il campo e un materiale bisogna distinguere tra campo incidente e campo trasmesso o interno. Il campo incidente è per definizione quel campo che si avrebbe in assenza del corpo materiale, quindi il campo che si propaga senza andare in contro a variazioni dovute a iterazioni con corpi materiali. Il campo trasmesso è invece il campo incidente che ha subito dei cambiamenti dovuti allo scontro con un corpo materiale; questo è proporzionale al campo incidente secondo un fattore esponenziale variando a seconda delle proprietà elettriche del corpo materiale e della sua forma geometrica. La comunicazione senza fili quindi si ha grazie all'irradiazione di onde elettromagnetiche nell'ambiente circostante.

### 1.2.3 Tipologie delle Reti Wireless

Le reti wireless possono essere classificate in base all'utilizzo che se ne fa e sono divise in:

- WPAN: Wireless Personal Area Network, utilizzata per reti domestiche di piccole dimensioni fino ad un massimo di un centinaio di metri come sostituta a cavi fisici; caratterizzata da una velocità di trasmissione compresa tra 100 kbit/s e qualche Mbit/s; propriamente conosciuta come Bluetooth
- WLAN: Wireless Local Area Network, propriamente conosciuta come Wi-fi (IEEE 802.11), ovvero il nome dello standard di comunicazione di