

ELEMENTI DI FISICA DELLA RADIO (parte seconda)

Lo spettro elettromagnetico

Le onde elettromagnetiche abbracciano una vasta gamma (*range*) di frequenze (e, di conseguenza, di lunghezze d'onda).

Questo range di frequenze o lunghezze d'onda è chiamato *spettro elettromagnetico*.

La parte dello spettro più familiare all'uomo è probabilmente la luce, cioè la parte visibile dello spettro elettromagnetico.

La luce si colloca all'incirca tra le frequenze di $7.5 \cdot 10^{14}$ Hz e $3.8 \cdot 10^{14}$ Hz, corrispondenti alle lunghezze d'onda che vanno da circa 400 nm (viola/blu) a 800 nm (rosso).

'Memento' la **tabella SI** che abbiamo trovato nella 'parte prima':

nm si legge **nanometro**, cioè 10^{-9} **metri** e ancora, detto in modo più elementare, è la miliardesima parte del metro (1 / 1.000.000.000).

Siamo inoltre costantemente e comunemente esposti ad altre regioni dello spettro elettromagnetico, che includono le *correnti alternate* (AC) in genere o la rete elettrica a 50/60 Hz, radio AM e FM, raggi ultravioletti (che hanno frequenze superiori a quelle della luce visibile), raggi infrarossi (che hanno frequenze inferiori a quelle della luce visibile), radiazioni di raggi X, di raggi gamma, e molto altro ancora.

Radio è il termine usato per la porzione dello spettro elettromagnetico nel quale le *onde* (elettromagnetiche) possono essere trasmesse applicando una corrente alternata ad una antenna.

La trasmissione delle onde radio è tecnicamente possibile per il range di frequenze che va da 30 kHz fino a 300 GHz, ma nel senso più stretto del termine, il limite di frequenza superiore sarebbe intorno a 1 GHz, oltre il quale si parla di *microonde* e di *onde millimetriche*.

Oggi quando si parla di radio, molte persone pensano subito ad una radio FM, che utilizza una frequenza di circa 100 Mhz.

Tra *radio* e *infrarossi* troviamo la regione delle **microonde** - con frequenze che vanno da circa 1 GHz fino a 300 Ghz, e quindi, lunghezze d'onda di 30 cm fino ad 1 mm.

Oggi, l'uso più comune e popolare delle microonde è il forno a microonde, che infatti lavora esattamente nella stessa regione dei *wireless* standard con i quali abbiamo a che fare.

Queste regioni si trovano all'interno di bande che vengono tenute aperte e disponibili per un uso senza licenza generale.

Questa regione viene chiamata **banda ISM**, che è l'acronimo di *Industrial, Scientific, and Medical*. Invece, la maggior parte delle altre regioni dello spettro elettromagnetico sono strettamente controllate e assoggettate dai governi con apposita legislazione sulle licenze, e quindi rilasciate a titolo oneroso, nella prospettiva di un grande fattore economico.

In molti paesi i diritti per utilizzare porzioni dello spettro sono stati venduti alle imprese di comunicazione per milioni di dollari. Nella maggior parte dei paesi, le bande ISM sono state riservate per l'utilizzo senza alcuna autorizzazione e quindi non deve essere pagato niente per utilizzarle.

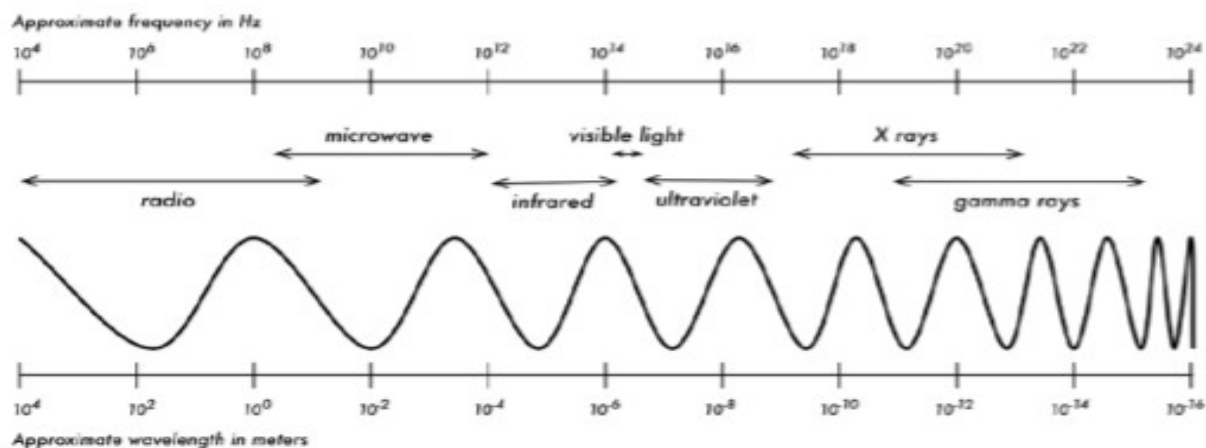


Figura 4 – Lo spettro elettromagnetico

Le frequenze più interessanti per noi sono 2,400-2,495 GHz, che sono utilizzate dagli standard 802.11b e 802.11g (corrispondenti alla lunghezze d'onda di circa 12,5 centimetri), e 5,150-5,850 GHz (corrispondenti alle lunghezze d'onda di circa 5 cm fino a 6 cm), utilizzate da 802.11a. Lo standard 802.11n può lavorare in ciascuna di queste bande.

Se del caso, in una sezione dedicata alla *famiglia WiFi* faremo una panoramica delle norme e frequenze che ci interessano più da vicino. Stessa cosa per lo *spettro radio* autorizzato per l'attività radioamatoriale.

Larghezza di banda

Un termine che si incontra spesso in fisica della radio è la *larghezza di banda*. La larghezza di banda è semplicemente la misura di una *gamma di frequenza*.

Se un dispositivo utilizza un intervallo di frequenze da 2.40 GHz a 2.48 GHz, allora la larghezza di banda utilizzata sarebbe di 0,08 GHz (o più comunemente di 80 Mhz).

È interessante e facile da vedere che la *larghezza di banda* che abbiamo definito qui è strettamente legata alla *quantità di dati* che è possibile trasmettere al suo interno – in sintesi, più ampio è lo spazio in frequenza, più dati si possono spedire in un dato momento.

Il termine *larghezza di banda* è spesso usato per definire qualcosa che invece dovremmo chiamare *velocità di trasmissione dati*, come ad esempio “la mia connessione a Internet, dispone di 1 Mbps di banda”, che, propriamente, significa che può trasmettere dati ad un *rate* di 1 Megabit al secondo.

Quanto esattamente si può inserire in un segnale fisico dipenderà dalla modulazione, dalla codifica e da altre tecniche. Ad esempio, 802.11g utilizza la stessa larghezza di banda di 802.11b, tuttavia è possibile inserire molti più dati negli stessi intervalli di frequenza di trasmissione arrivando fino a 5 volte (in più) di bit al secondo.

Un altro esempio di cui già abbiamo fatto cenno: si può raddoppiare la velocità di trasferimento dati aggiungendo un secondo collegamento (*link*) avente una *polarizzazione perpendicolare* rispetto al link radio esistente. In questo caso, la frequenza e la larghezza di banda non sono cambiati, tuttavia il *rate di dati* è raddoppiato.

Frequenze e canali

Guardiamo un po' più da vicino come la banda a 2,4 GHz è utilizzata in 802.11b. Lo spettro è diviso in porzioni di uguali dimensioni, distribuite uniformemente sulla banda come singoli canali. Si noti che i canali sono larghi 22 MHz, ma sono separati soltanto di 5 MHz.

Questo significa che i canali adiacenti si sovrappongono, e possono interferire con altri. Questo è rappresentato visivamente in Figura 5.

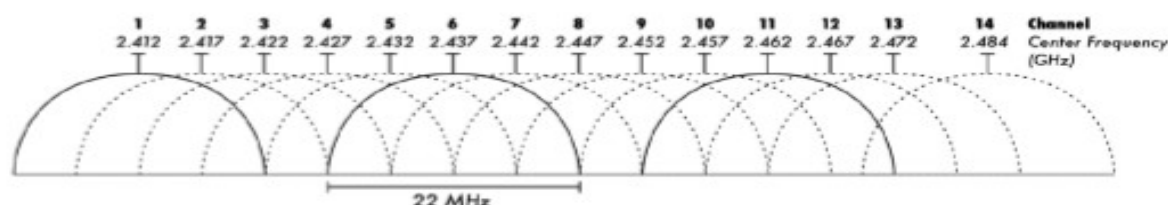


Figura 5 – Canali e frequenze centrali per 802.11b. Si noti che i canali 1, 6 e 11 non si sovrappongono.

Comportamento delle onde radio

Ci sono alcune semplici regole pratiche che possono rivelarsi estremamente utili quando si effettuano i piani preliminari per il progetto di una rete wireless:

- più lunga è la lunghezza d'onda, più lontano andrà il segnale trasmesso;
- più lunga è la lunghezza d'onda, meglio viaggia attraverso e intorno alle cose;
- minore è la lunghezza d'onda, più dati può trasportare.

Tutte queste regole semplificate in modo opportuno, sono piuttosto facili da capire attraverso degli esempi.

Le onde più lunghe vanno più lontano

Onde con lunghezze d'onda maggiore tendono a viaggiare più lontano rispetto a quelle con lunghezze d'onda più corta. Per esempio, le stazioni radio AM presentano un più ampio range rispetto alle stazioni FM, che utilizzano una frequenza di 100 volte superiore.

Le trasmissioni a frequenze più basse tendono a raggiungere distanze molto maggiori rispetto a quelle a frequenze più alte, a parità di potenza.

Le onde più lunghe passano attorno agli ostacoli

Un'onda sull'acqua, che è lunga 5 metri, non sarà influenzata da un pezzo di legno di 5 millimetri che galleggia sull'acqua. Se invece il pezzo di legno è di 50 metri (ad esempio una nave), questo è in grado di modificare il comportamento dell'onda.

La distanza che un'onda può raggiungere dipende dal rapporto tra la lunghezza d'onda e la dimensione degli ostacoli che trova sul suo percorso (*path*) di propagazione. Sono più difficili da visualizzare le onde in movimento “attraverso” oggetti solidi, ma questo caso è applicabile soltanto quando si ha a che fare con le onde elettromagnetiche.

Una lunghezza d'onda maggiore (e) quindi onde di frequenza inferiore tendono a penetrare gli oggetti più facilmente rispetto ad una lunghezza d'onda minore (e quindi frequenza superiore).

Ad esempio, la radio FM (88-108 MHz) può viaggiare attraverso gli edifici e altri ostacoli facilmente, mentre le onde più corte (come i telefoni GSM che operano a 900 MHz o 1800 MHz) hanno più difficoltà a penetrare edifici.

Questo effetto è in parte, sì dovuto alla differenza dei livelli di potenza utilizzati nelle radio FM rispetto al GSM, ma è anche in parte dovuto alla lunghezza d'onda più corta dei segnali GSM.

Se trasportiamo l'esempio a frequenze molto più elevate, troviamo che la *luce visibile* non passa attraverso un muro o anche attraverso 1 mm di legno - come tutti sappiamo per esperienza pratica. Un metallo invece è in grado di bloccare qualsiasi tipo di onda elettromagnetica.

Le onde più corte possono trasportare più dati

Più veloci sono le oscillazioni delle onde, più informazioni si possono trasportare – ogni ciclo potrebbe ad esempio essere utilizzato per trasportare un bit digitale, uno '0' o un '1', un 'sì' o un 'no'.

Così il '*data rate*' si bilancia con la larghezza di banda, e può essere ulteriormente migliorato usando tipi di modulazione avanzati o usando tecniche di accesso ai '*media*' quali OFDM, e MIMO (Multiple Input, Multiple Output).

Il principio di Huygens

C'è un altro principio che può essere applicato a tutti i tipi di onde, e che è estremamente utile per comprendere la propagazione delle onde radio.

Questo principio è noto come *principio di Huygens*, dal nome del matematico, fisico e astronomo, olandese Christiaan Huygens, 1629-1695.

Immaginiamo di prendere un bastone e di immergerlo verticalmente sulla superficie di uno stagno, il risultato sarà che l'acqua comincerà ad ondeggiare e le onde lasceranno il centro del bastone - cioè il luogo in cui è stato immerso - in cerchi. Ora, ovunque le particelle di acqua oscillano effettuando un sorta di danza, che genererà lo stesso effetto sulle particelle vicine inducendole a fare lo stessa cosa: quindi ogni volta che produrremo un disturbo, daremo origine ad una nuova circolare. Questo è, in forma molto semplice, il principio di Huygens.

Usando le parole di wikipedia.org:

“Il principio di Huygens è un metodo di analisi applicata ai problemi di propagazione di un'onda nel limite del campo lontano. Si rileva che ogni punto di avanzamento del fronte d'onda è di fatto il centro di una nuova perturbazione e della sorgente di un nuovo treno di onde, e che l'onda che avanza, nel suo complesso, può essere considerata come la somma di tutte le onde secondarie derivanti da punti nel mezzo già attraversato”.

Questo modo di vedere la propagazione delle onde ci aiuterà a comprendere meglio un certo numero di fenomeni che interessano un'onda, come la *diffrazione*.

Questo principio è valido sia per le onde radio che per le onde sull'acqua, sia per il suono così come per la luce, ma per la luce la lunghezza d'onda è talmente piccola per gli esseri umani, per poterne osservare gli effetti in modo diretto. Esso ci aiuterà a capire la *diffrazione* e la *zona di Fresnel*, e il fatto che a volte ci permette di trasmettere lungo zone, non in linea di vista.

Ora diamo uno sguardo su che cosa accade alle onde elettromagnetiche durante il loro tragitto.

Assorbimento

Quando le onde elettromagnetiche attraversano 'qualcosa' (es.: un materiale), generalmente vengono indebolite o smorzate.

La perdita in potenza dipenderà dalla loro frequenza e di naturalmente dalla materia che sarà attraversata.

Il vetro chiaro è ovviamente trasparente alla luce, mentre il vetro usato negli occhiali da sole filtra una parte dell'intensità luminosa e la maggior parte della radiazione ultravioletta.

Spesso, viene usato un *coefficiente di assorbimento* per descrivere l'influsso che esercita un materiale sulle radiazioni.

Per le microonde, i due materiali assorbenti principali sono:

Il metallo. Gli elettroni possono muoversi liberamente nei metalli, e in grado di muoversi in modo naturale al loro interno e quindi, come conseguenza, hanno la capacità di assorbire l'energia di un'onda di passaggio.

L'acqua. Le microonde provocano verso le molecole di acqua degli urti (come se si *sgomitassero* l'un l'altra), a spese dell'energia trasportata dall'onda, indebolendola.

Nella pratica, dal punto di vista di una rete wireless, possiamo assumere che sia il metallo che l'acqua siano degli *assorbitori* perfetti: quindi non saremo in grado di attraversarli. Essi sono per le microonde quello che un muro di mattoni è per la luce.

Quando si parla di acqua, dobbiamo ricordare che essa si presenta in diverse forme: pioggia, nebbia e foschia, nuvole basse e così via; tutto andrà a scapito di un collegamento radio.

Queste condizioni hanno sempre una forte influenza, e in molti casi anche il cambiamento del tempo può portare ad un degrado del collegamento radio.

Quando si parla di metallo, bisogna tenere a mente che lo si può trovare in luoghi inaspettati: può essere nascosto nelle pareti (per esempio, in forma di reti metalliche nel calcestruzzo) o essere un sottile strato sulle moderni tipi di vetro (vetro pitturato, vetro colorato).

Tuttavia un sottile strato di metallo, potrebbe già essere sufficiente per assorbire completamente un'onda radio. Ci sono poi altri materiali che hanno un effetto più complesso in fatto di assorbimento. Per esempio gli alberi e il legno, in generale, in cui la quantità di assorbimento dipende dalla quantità di acqua che contengono. Il legno molto secco risulterà più o meno trasparente, mentre un legno fresco, perché umido, assorbirà molto.

Le materie plastiche e materiali simili generalmente non assorbono una quantità rilevante energia, ma comunque l'assorbimento varia a seconda della frequenza e del tipo di materiale.

Infine, parliamo di noi stessi: gli esseri umani (così come gli animali) sono in gran parte costituiti da acqua e quindi, il *corpo umano* è un grande 'assorbitore di energia' trasportata dalle onde radio.

Orientare un *access point* di un ufficio in modo tale che il segnale debba passare attraverso molte persone è un errore madornale nella costruzione di reti negli uffici.

Lo stesso vale per gli *hotspots*, le installazioni nei bar, nelle librerie e in genere per le installazioni cosiddette *outdoor*.

Riflessione

Proprio come la luce visibile, le onde radio vengono riflesse quando entrano in contatto con materiali che sono adatti per questo: per le onde radio, le principali fonti di riflessione sono le superfici metalliche e gli specchi d'acqua (specialmente il mare).

Le regole della riflessione sono abbastanza semplici: l'angolo con cui un'onda colpisce una superficie (angolo incidente) ha lo stesso valore di quello con cui esso viene deviato (angolo riflesso).

Si noti che, per un'onda radio, dal punto di vista fisico, un fitto reticolo di barre metalliche (o trame) agisce nello stesso modo di quello di una superficie solida, purché la distanza delle barre sia adeguatamente piccola rispetto alla lunghezza d'onda.

Ad esempio, alla frequenza di 2,4 GHz, una griglia di metallo con una trama di 1 centimetro si comporterà in modo molto simile a una piastra metallica.

Sebbene le regole che governano la riflessione siano abbastanza semplici, le cose possono diventare molto complicate quando ci troviamo all'interno di un ambiente (es. un ufficio) ove possiamo trovare diversi piccoli oggetti in metallo aventi varie forme, anche complicate.

Lo stesso vale per gli ambienti urbani: guardatevi intorno e cercate di individuare tutti gli oggetti metallici.

Questo spiega perché gli **effetti di multipath** (cioè, i segnali raggiungono il loro obiettivo seguendo percorsi diversi, e quindi impiegando tempi diversi) svolgano e costituiscano un importante ruolo nelle reti wireless.

Superfici d'acqua con onde e increspature che variano nel tempo, sono un esempio particolare di oggetto riflettente e molto complicato ove diventa quasi impossibile calcolarne e prevederne con precisione gli effetti (se d'interesse potremo accennare sui sistemi usati per contrastare gli effetti del *clutter di terra* e dal *clutter di mare* usati nei sistemi radar).

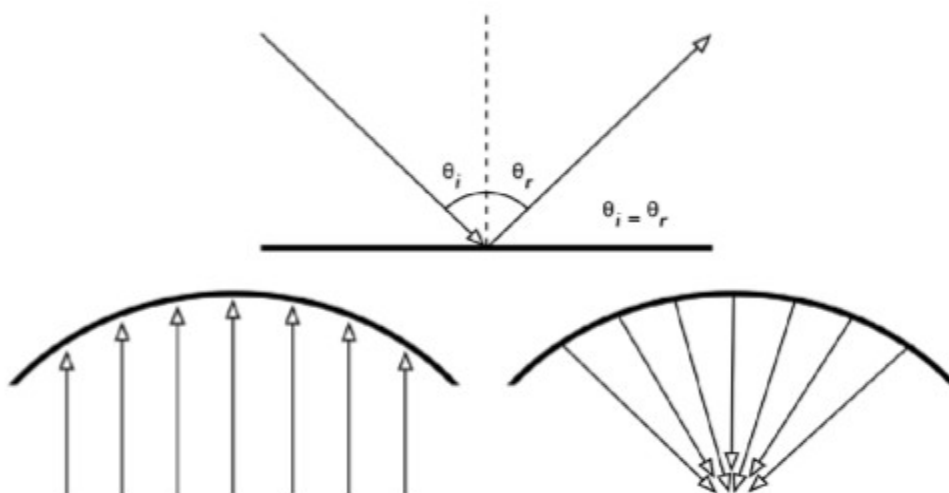


Figura 6 – Riflessione delle onde radio. L'angolo di incidenza è sempre uguale all'angolo di riflessione. Una superficie parabolica metallica usa questi effetti per concentrare le onde radio che la raggiungono in una determinata direzione.

Dobbiamo aggiungere che anche la *polarizzazione* delle onde ha un certo impatto sulla riflessione: cioè, onde con differente polarizzazione, in generale, subiranno un diverso modo di riflessione.

La fisica della riflessione viene usata a nostro vantaggio nella costruzione delle antenne: ad esempio installeremo una enorme parabola nel nostro impianto radio trasmettente/ricevente per raccogliere e concentrare i segnali radio in un unico punto, il *punto focale*.

Diffrazione

La diffrazione è la flessione che subiscono le onde quando colpiscono un oggetto.

È l'effetto fisico, cioè la tendenza, che hanno le onde di cercare di “andare dietro gli angoli”.

Immaginiamo un'onda sull'acqua che viaggia lungo un fronte rettilineo, proprio come fa un'onda del mare che vediamo impattare su una spiaggia.

Ora creiamo una barriera solida (es. una muraglia, una diga) in modo tale da bloccare l'onda e apriamo una stretta apertura in mezzo a quel muro, come una piccola feritoia (*slit*).

Quando l'onda impatterà la superficie di questa apertura, avrà inizio un'onda *circolare*, che ovviamente raggiungerà i punti che non sono in linea diritta e frontale con questa apertura, ma si propagherà anche su entrambi i lati di essa.

Se si guarda questo fronte d'onda - che potrebbe benissimo essere un'onda elettromagnetica - come ad un fascio (*beam*) che procede in linea retta, è difficile spiegare come possano essere raggiunti quei punti che dovrebbero essere nascosti dalla barriera.

Però quando prendiamo a modello un fronte d'onda, il fenomeno comincia ad avere senso.

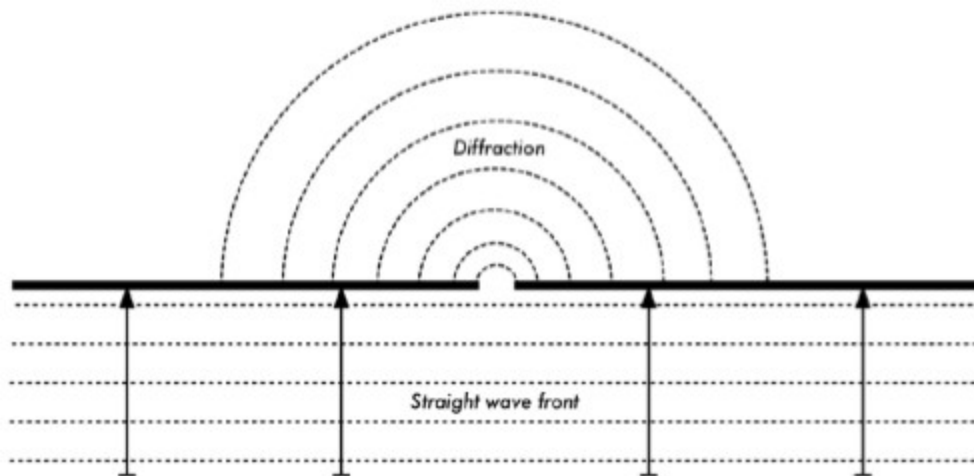


Figura 7 – *Diffrazione attraverso una stretta feritoia (slit)*

Il principio di Huygens ci fornisce un modello per comprendere questo comportamento e cioè quello di immaginare che, in un dato istante, ogni punto su un fronte d'onda possa essere considerato come il punto di partenza di piccolissima (infinitesima) onda sferica.

L'idea appena descritta è stata successivamente elaborata in modo più sistematico da Fresnel e, anche se questo più recente modello descrive adeguatamente il fenomeno in questione esso è ancora oggi oggetto di dibattito.

Ma per i nostri scopi, il modello di Huygens descrive l'effetto abbastanza bene.

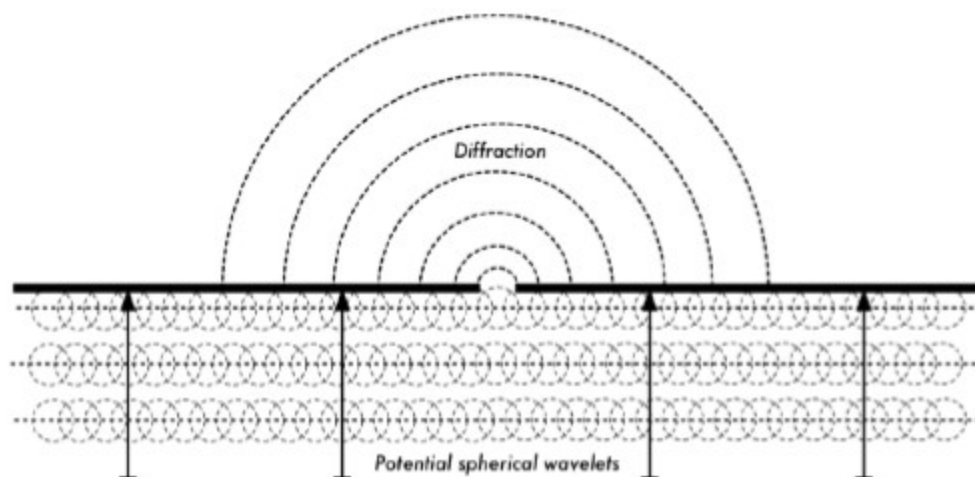


Figura 8 - Il Principio di Huygens

Attraverso la proprietà dell'effetto di diffrazione, le onde si incurvano/piegano (*bent*) intorno agli angoli oppure si espandono/propagano attraverso un'apertura praticata in una barriera.

Le lunghezze d'onda della *luce visibile* sono troppo piccole per gli esseri umani per poter osservare questo effetto direttamente.

Nel range delle microonde invece, essendo in gioco lunghezze d'onda di alcuni centimetri, è possibile visualizzare gli effetti della diffrazione quando le onde hanno colpiscono muri, cime e altri ostacoli. Sembra come se l'ostruzione provochi un cambiamento della direzione dell'onda, come se l'angolo di propagazione ruotasse.

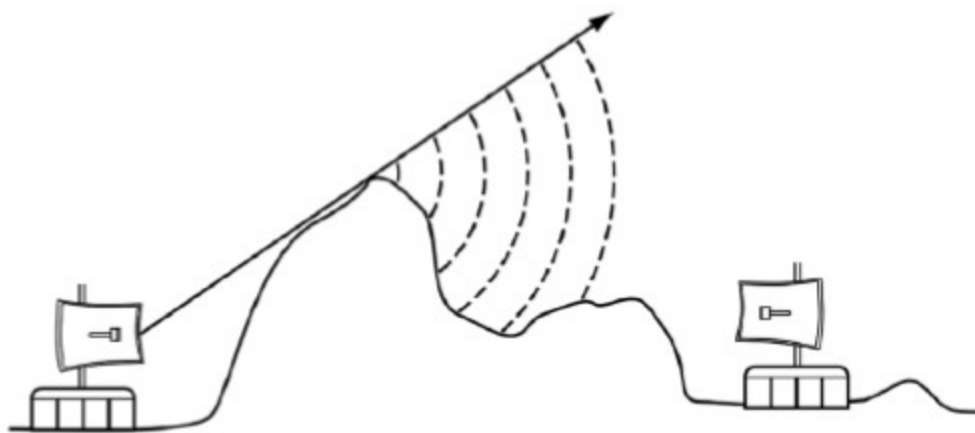


Figura 9 – Diffrazione che si genera sulla cima di una montagna

Si noti bene che la diffrazione si ottiene a scapito della potenza: l'energia dell'onda diffratta è significativamente inferiore a quella del fronte d'onda che l'ha causata. Però in alcune applicazioni molto specifiche, è possibile usufruire dell'effetto di diffrazione per aggirare gli ostacoli.