



INFORMATICA MUSICALE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2019/20
Prof. Filippo L.M. Milotta

ID PROGETTO: 1B

TITOLO PROGETTO: Tecnologia LTE

AUTORE 1: **Costanzo Alex**

AUTORE 2: **Leone Damiano**

AUTORE 3: **D'Aquino Simona**

Indice

1. Obiettivi del progetto	2
2. Riferimenti Bibliografici	5
3. Argomenti Teorici Trattati	6

1. Obiettivi del progetto

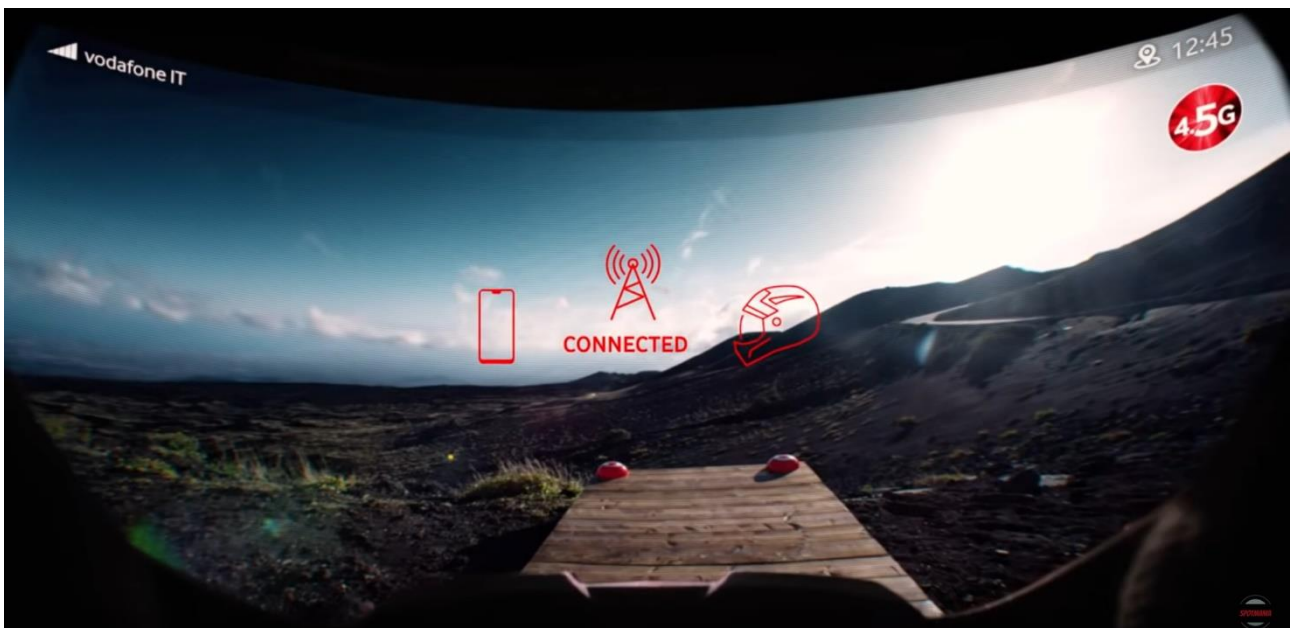
- ✓ Analizzare le diverse applicazioni della tecnologia LTE in ogni ambito:

La tecnologia LTE nasce nel 2008 per permettere un'esperienza più fluida all'utente, migliorando la connettività mobile. Si è sviluppata in Italia nel 2013 con il passaggio obbligatorio dal vecchio segnale analogico al digitale terrestre, occupando le bande di frequenza da 794 Mhz a 858 Mhz.

Esso impiega la tecnologia esistente 3G-HSPA sfruttando la tecnica di trasmissione OFDM (**Orthogonal Frequency-Division Multiplexing**) basata su un tipo di modulazione che si serve di un elevato numero di sottoportanti generati da algoritmi che utilizzano la trasformata di Fourier veloce (FFT). Tale tecnologia è orientata verso un netto miglioramento della velocità di download (con una media di circa 326,4 Mbit/s) ma soprattutto pone maggiore attenzione anche sulla velocità di upload, infatti a differenza delle reti ADSL comunemente utilizzate essa è in grado di raggiungere gli 86,4 Mbit/s, rispondendo alla necessità degli utenti di usufruire maggiormente della tecnologia Cloud.

Con l'LTE Advanced (4.5G) si è riusciti a migliorare ulteriormente le caratteristiche di stabilità ed efficienza di questa tecnologia anche ad alte velocità o condizioni sfavorevoli, ne è un esempio l'esperimento condotto dalla Vodafone sull'Etna, dove Francesco Colombo, il campione italiano di downhill si è cimentato in una discesa libera in cui l'unico modo per vedere era l'uso di un visore collegato ad uno smartphone tramite la rete 4.5G.

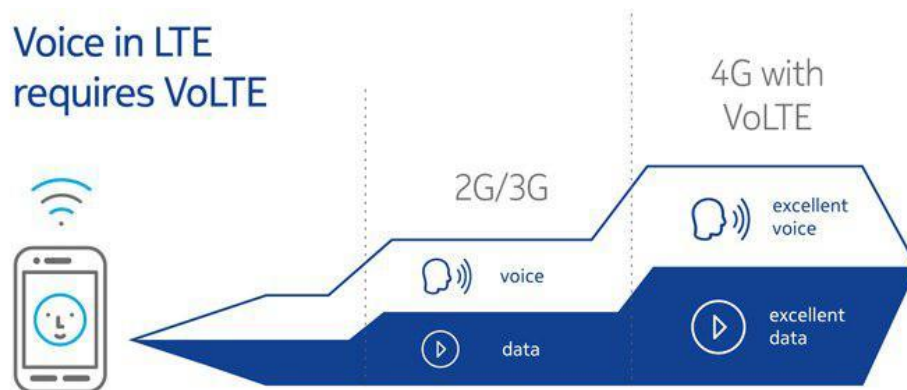
<https://www.youtube.com/watch?v=DU0Fd6ERhT0>



Connessione tra visore e smartphone abilitato 4.5G

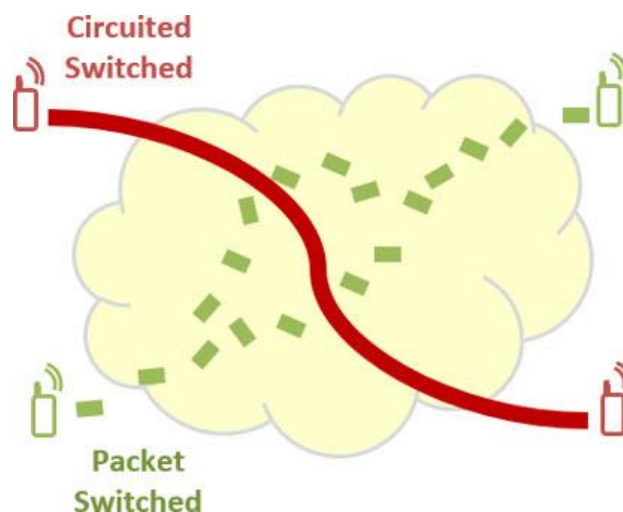
- ✓ Definire le caratteristiche principali della tecnologia VoLTE (Voice over LTE)

Se non vorreste sentire perfettamente le urla (purtroppo) di vostra madre che vi dice di tornare a casa, la tecnologia VoLTE non fa per voi. Infatti, dal 2015 alcuni operatori mobili in Italia permettono di effettuare chiamate vocali ad alta definizione, in cui la voce è più nitida e i rumori di sottofondo attenuati. Questo è il VoLTE. Come funziona? Esso è basato sul modello architetturale IP Multimedia Subsystem, la novità assoluta di questa tecnologia è la possibilità di navigare e telefonare contemporaneamente: infatti viene forzato lo spostamento da LTE a 2G/3G per la chiamata vocale, mentre si continua a navigare in 4G.



Funzionamento di VoLTE

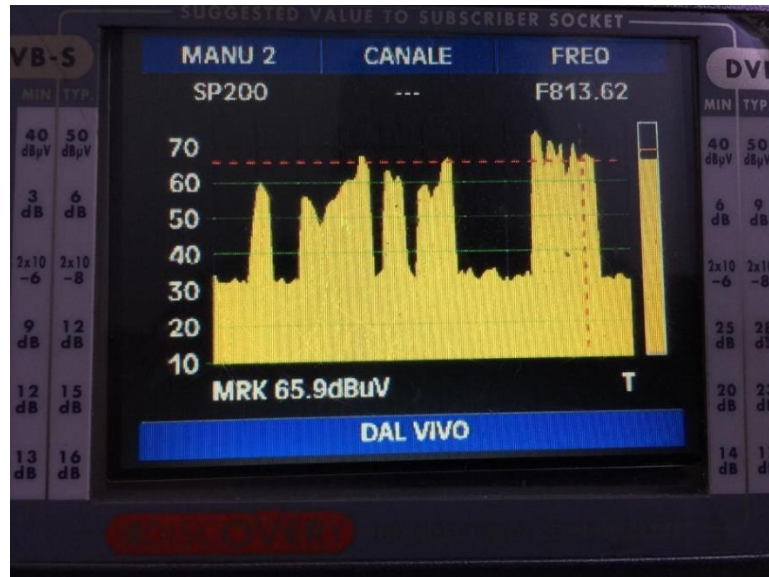
Un'altra caratteristica importante è la retrocompatibilità: passando da una copertura LTE a una 2G/3G la chiamata continua senza interruzioni, grazie alla procedura SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity).



Funzionamento del SRVCC (passaggio da commutazione di pacchetto a commutazione di circuito)

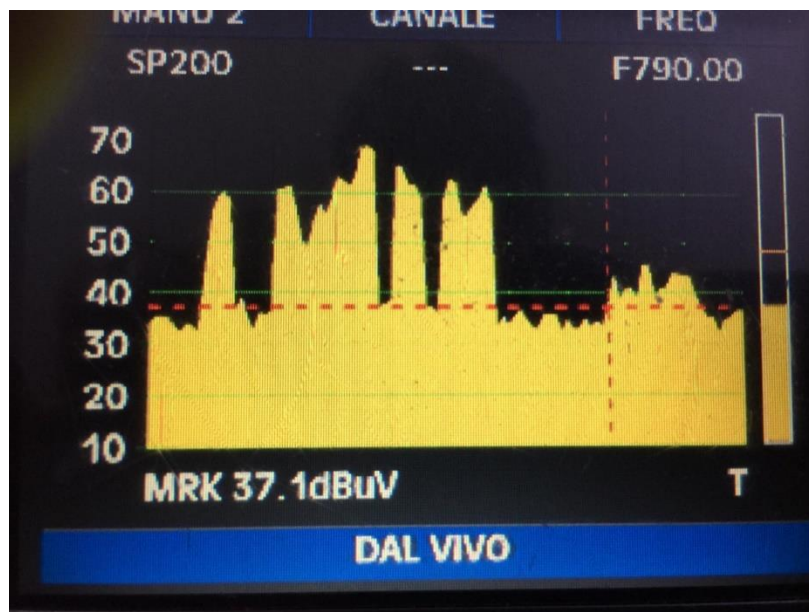
- ✓ Sfruttare un misuratore di campo digitale per analizzare lo spettro di un segnale LTE a 800-900 Mhz

Spettro in frequenze di un segnale LTE a circa 800 mhz evidenziato dal cursore in rosso



A seguito dell'inserimento di un comune filtro (elimina-banda) LTE, il segnale digitale in ingresso è stato "ripulito" dal disturbo dell'LTE.

In figura, infatti, è possibile evidenziare come il segnale di rumore in questione sia stato attenuato di quasi 30 dB



2. Riferimenti Bibliografici

- ✓ [https://it.wikipedia.org/wiki/LTE_\(telefonia\)](https://it.wikipedia.org/wiki/LTE_(telefonia))
- ✓ <https://it.wikipedia.org/wiki/VoLTE>

Non poteva mancare la pagina di Wikipedia tra le fonti usate come punto di riferimento della nostra analisi.

Purtroppo Encarta non è più disponibile dal 2009. 😞

- ✓ https://www.wired.it/internet/tlc/2015/03/26/cosa-significa-volte/?refresh_ce=

Una spiegazione esauriente sul significato, funzionamento e uso di VoLTE, con all'interno utili riferimenti per approfondire l'argomento in maniera chiara.

- ✓ https://www.ilsoftware.it/articoli.asp?tag=Differenza-4G-e-LTE-le-bande-in-Italia_14413

Analisi accurata sulle diverse categorie LTE e sullo sviluppo delle reti mobili a partire dalla tecnologia 1G analogica all'LTE Advanced.

Ad oggi LTE e 4G spesso vengono confusi per ragioni di marketing e reputati equivalenti, tuttavia esiste una sottile differenza: il termine 4G è uno standard coniato da quasi 10 anni che prevedeva delle performance differenti rispetto all'LTE, fino ad arrivare a un massimo di 1000 Mbps in download.

3. Argomenti Teorici Trattati

✓ **Analisi di Fourier**

L'analisi di Fourier è uno strumento matematico che permette di descrivere un segnale complesso come somma di segnali elementari, in particolare onde sinusoidali e cosinusoidali. Questa semplice definizione sta alla base dello studio e manipolazione dei segnali, esso permette di valutare ampiezza, fase e andamento sia nel dominio del tempo che della frequenza.

Lo sviluppo in serie di Fourier rappresenta l'estensione dell'analisi impiegata nel caso di segnali periodici $x(t) = x(t + T_0)$, con T_0 periodo del segnale e inverso della frequenza.

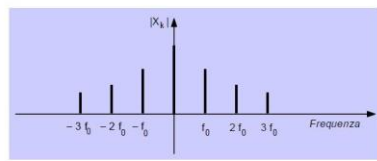
$$x(t) = A_0 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(2\pi k f_0 t + \vartheta_k)$$

Forma reale polare

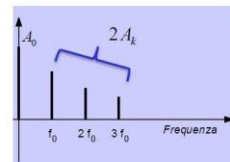
$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_k e^{j2\pi k f_0 t}$$

Forma complessa

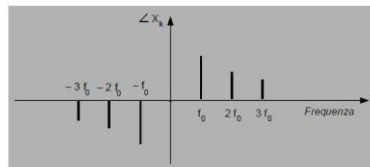
In questa formula in forma polare reale A_0 è il termine costante, a cui vengono sommate una serie di oscillazioni armoniche ciascuna a frequenza $k f_0$. In questo modo possiamo analizzare graficamente il segnale nel dominio della frequenza attraverso lo spettro di ampiezza e fase che ne delineano le caratteristiche fondamentali. Una conoscenza approfondita dello spettro permette di manipolare nel migliore dei modi il segnale rappresentato, che analizzeremo più avanti.



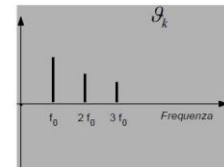
Spettro bilatero



Spettro unilatero



Spettro bilatero per segnali complessi



Spettro unilatero per segnali reali

La serie di Fourier si limita alla trattazione di segnali periodici, per quanto riguarda la tecnologia LTE ci rifacciamo alla trasformata di Fourier, che si può ottenere a partire dalla serie, e permette di analizzare qualsiasi tipo di segnale (periodico e non).

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df \\ X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \end{array} \right.$$



Dove la prima equazione permette di passare dal dominio della frequenza al dominio del tempo (antitrasformata), mentre la seconda dal dominio del tempo al dominio della frequenza (trasformata).

La trasformata di Fourier permette di analizzare le sottocomponenti di un segnale, ed è proprio qui che risiede il fulcro del legame fra trasformata e la tecnica di trasmissione OFDM. Come già citato, infatti, l'OFDM è il principale protocollo di trasmissione utilizzato dalla tecnologia LTE.

Che a differenza delle vecchie tecnologie basate su una trasmissione a singola portante (utilizzata dal 3G) preferisce una suddivisione della banda in base a determinate frequenze, permettendo così di mantenere una connessione stabile, priva di interferenze e ad alta velocità anche in condizioni sfavorevoli e con un'elevata mobilità (fino a 500 km/h). Per questo motivo vi è un forte utilizzo di questa tecnologia nel settore Automotive, che richiede grandi margini di sicurezza nell'impiego di reti non cablate.

Gli algoritmi dell'OFDM si basano sulla trasformata di Fourier veloce, ovvero un algoritmo che si usa per calcolare la trasformata discreta di Fourier (DFT), che è un particolare tipo di trasformata di Fourier.

La DFT si discosta dalla comune trasformata di Fourier per via della sua implementazione, basata su una conversione di campioni equi spaziat di una funzione (in ingresso) in una collezione di coefficienti ottenuti mediante combinazione lineare di sinusoidi complesse, ordinate in base alla frequenza. In maniera molto semplice permette di rappresentare una trasformata nel dominio dei numeri complessi.

La DFT è molto studiata in quanto l'applicazione della trasformata di Fourier a problemi trattati con l'ausilio di un elaboratore elettronico coinvolge di fatto la DFT, essendo qualunque funzione approssimata dall'elaboratore tramite una successione finita di valori.

Le frequenze delle sinusoidi della combinazione lineare (periodica) prodotta dalla trasformata sono multipli interi di una frequenza fondamentale, il cui periodo è la lunghezza dell'intervallo di campionamento (molto utile per applicare il Teorema del Campionamento di Nyquist-Shannon).

L'algoritmo FFT (Fast Fourier Transform) è basato su un metodo estremamente efficiente per il calcolo della DFT, con un sostanziale calo del tempo di calcolo attraverso una riduzione del numero di operazioni, abbassando il livello di complessità da N^2 a MnN .

A partire da tale risultato ci fu un fiorire di applicazioni della DFT all'elaborazione automatica dei segnali e lo sviluppo di numerosi algoritmi di calcolo che per la loro caratteristica di abbattere i tempi impegnati dell'elaboratore divennero noti come algoritmi per la trasformata veloce di Fourier, o semplicemente FFT.

Le due forme più note di FFT sono:

- a) a decimazione nel tempo. Nello scomporre il calcolo della DFT si agisce sulla frequenza del segnale digitale, ossia si opera sulla sua rappresentazione nel tempo;
- b) a decimazione in frequenza. La scomposizione della sequenza in sottosequenze sempre più corte è fatta agendo sui coefficienti della DFT, ossia sulla rappresentazione del segnale in frequenza.

✓ **Teorema del campionamento di Nyquist-Shannon**

La maggior parte dei dispositivi oggi in uso trattano segnali digitali. Per questo motivo è necessario convertire i segnali, che per loro natura sono analogici, in segnali digitali.

A tal punto occorre passare da domini continui a domini discreti ovvero trasformare un segnale a tempo continuo in uno a tempo discreto. Questa fase è nota come campionamento di un segnale.

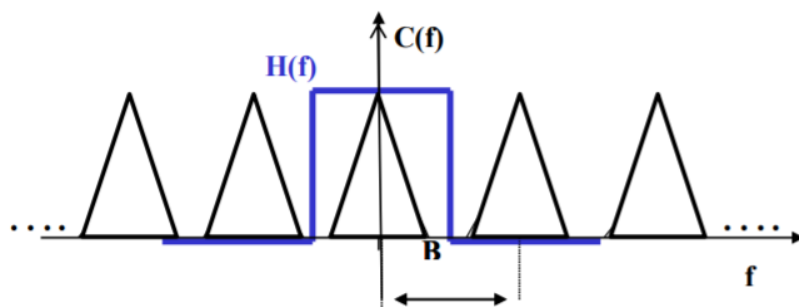
Essa prevede di considerare solamente alcuni valori tra loro equidistanti del nostro segnale utilizzando un numero limitato di campioni. Per rendere efficiente questa conversione da segnali analogici a segnali digitali viene adottato l'uso di un teorema molto importante noto come:

❖ Teorema del campionamento di Nyquist-Shannon

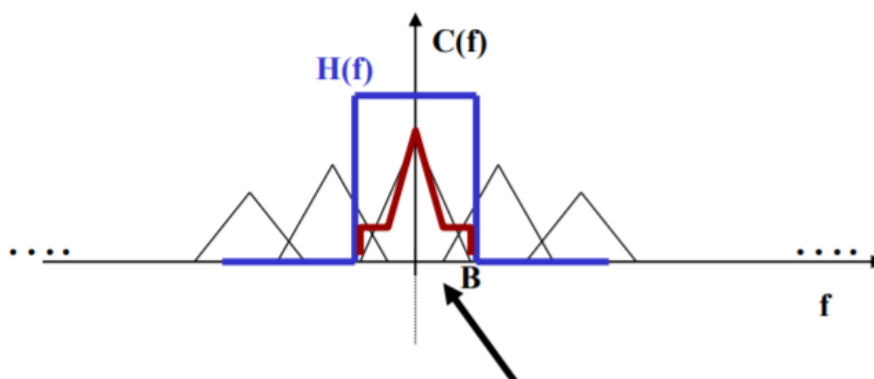
L'enunciato di questo teorema afferma, in pratica, che dato un qualunque segnale $x(t)$ avente banda limitata, (cioè tale che superate determinate frequenze lo spettro del segnale $x(f)$ vale 0), $x(t)$ è completamente noto se conosco i suoi valori in determinati istanti $t = nT_c$ dove T_c è il tempo di campionamento, purché questi campioni vengano presi per $T_c \leq 1/(2B_{\max})$, cioè con una frequenza di campionamento $f_c \geq 2B_{\max}$, dove B_{\max} è la banda massima del nostro segnale.

In questo modo ottengo un segnale campionato $x(nT_c)$ avente però uno spettro periodicizzato rispetto quello di partenza, per cui attraverso l'utilizzo di appositi filtri è possibile troncare il segnale periodicizzato ottenendo così il nostro segnale di partenza.

È molto importante la condizione di questo teorema $f_c \geq 2B_{\max}$, perché se così non fosse otterremmo sempre un segnale periodicizzato che filtrando ci accorgeremmo non essere uguale a quello di partenza, in quanto il segnale si sovrappone con se stesso.



Esempio di campionamento con $f_c \geq 2B_{\max}$



Esempio di campionamento con $f_c \leq 2B_{\max}$

✓ **Filtri**

I filtri sono dispositivi elettronici in grado di discriminare e selezionare le frequenze dei segnali sinusoidali che ricevono in ingresso. I filtri si dividono in filtri attivi nel caso di amplificazione del segnale e passivi nel caso di attenuazione. A seconda del comportamento che assumono, i filtri vengono chiamati passa-basso (lasciano passare solo le sinusoidi a bassa frequenza e attenuano quelle ad alta frequenza), passa-alto (comportamento opposto al filtro passa-basso), passa-banda (lasciano passare le sinusoidi fra due date frequenze), elimina-banda (attenuano fortemente le sinusoidi fra due date frequenze).

Perché parlare di filtri nel caso dell'LTE? Quando si passa all'applicazione reale di ciò che è stato progettato spesso possono nascere problemi. Nel 2012 l'UE decide di riservare alla telefonia mobile la banda a 800MHz (i canali dal 61 al 69), il che è stato un grande passo avanti per lo sviluppo tecnologico su due versanti: da un lato per motivi di armonizzazione dello spettro a livello europeo, dall'altro perché ci sono minori costi di implementazione (minor numero di celle, quindi maggiore penetrazione e copertura).

Le frequenze utilizzate dall'LTE sono: 800 Mhz, 1800 Mhz, 2600 Mhz e 2100 Mhz.

Tuttavia, la banda a 800MHz su cui lavora lo standard LTE è la stessa che veniva usata per trasmettere soltanto i canali del digitale terrestre. Teoricamente ciò non dovrebbe creare problemi, questi canali televisivi sono stati spenti, ma molti impianti Tv non sono adeguati al nuovo standard, e ricevendo frequenze vanno in saturazione per la troppa potenza di trasmissione dei ripetitori LTE, molto maggiore al ripetitore del digitale terrestre. È stato così necessario ricorrere a dei filtri per impedire le interferenze, ovvero a dei dispositivi che permettessero di far passare le frequenze relative alle bande televisive e attenuassero i segnali LTE che troviamo già a partire dai 794 Mhz. Questo è un tipo di filtro passivo, poiché attenua il segnale, in particolare si tratta di un filtro elimina-banda che si può ottenere con un circuito RLC.