

Slow Scan Television e la modulazione (SSTV)

ID Progetto: 10

Titolo Progetto: Slow Scan television e la modulazione (SSTV)

Autore 1: Giulio Liotta

Autore 2: Federico Greco

Autore 3: Simone Leonardi

Cos'è l'SSTV

La televisione a scansione lenta o a banda stretta (SSTV) è un metodo che consente la trasmissione delle immagini. Questo viene utilizzato principalmente dai radioamatori per trasmettere e ricevere immagini statiche via radio in bianco e nero o a colori. In particolare viene modulato in frequenza un segnale audio, pertanto non è un modo di trasmissione digitale. Non deve quindi trarre in inganno il fatto che la SSTV oggi utilizza software e hardware: a definire il tipo di emissione sarà sempre la modulazione. Di fatto i software per trasmettere immagini diffondono dei dati completamente via etere. A tal proposito la televisione a trasmissione analogica richiede canali di almeno 6 MHz di larghezza, perché trasmette 25 o 30 fotogrammi al secondo (nei metodi di codifica del colore NTSC, PAL o SECAM), ma SSTV di solito impiega fino a un massimo di 3 kHz di larghezza di banda. Infatti, è un metodo molto più lento di trasmissione di immagini fisse, che di solito impiega da circa otto secondi a un paio di minuti, a seconda dell'immagine codificata, rispettivamente se in bianco e nero o a colori.

Poiché i sistemi SSTV funzionano su frequenze vocali, i radioamatori lo usano su **onde corte** (note anche come HF dai radioamatori), VHF e radio UHF.

Il concetto di SSTV fu introdotto da Copthorne Macdonald nel 1957-1958 quando ha sviluppato il primo sistema SSTV utilizzando un monitor elettrostatico e un tubo Vidicon¹. È stato ritenuto sufficiente utilizzare 120 righe e circa 120 pixel per riga per trasmettere un'immagine fissa in

¹ <https://it.wikipedia.org/wiki/Vidicon>

bianco e nero all'interno di un canale telefonico a 3 kHz. I primi test dal vivo sono stati eseguiti sulla banda radioamatoriale² dagli 11 metri, che è stata successivamente assegnata al servizio dei cittadini negli Stati Uniti.

Come funziona

I sistemi odierni utilizzano un personal computer e un software speciale in sostituzione di gran parte dell'attrezzatura personalizzata apposita. La scheda audio di un PC, con un software di elaborazione speciale, funge da modem³. L'eventuale monitor connesso al computer fornisce l'output. Le foto digitali forniscono l'input.

SSTV è un segnale analogico che utilizza la **modulazione di frequenza**, in cui ogni diverso valore di luminosità nell'immagine viene associato ad una frequenza audio diversa. In altre parole, la frequenza del segnale si sposta verso l'alto o verso il basso per designare rispettivamente pixel più chiari o più scuri. Il colore viene ottenuto inviando la luminosità di ciascun componente del colore (solitamente rosso, verde e blu) separatamente. Questo segnale può essere immesso in un trasmettitore SSB (banda laterale singola), che in parte modula il segnale portante.

Esistono diverse modalità di trasmissione, ma le più comuni sono **Martin M1** (popolare in Europa) e **Scottie S1** (utilizzato principalmente negli Stati Uniti) il cui trasferimento di immagine richiede rispettivamente 114 (M1) o 110 (S1) secondi. Alcune modalità in bianco e nero impiegano solo 8 secondi per trasferire un'immagine.

Come vedremo, viene sempre inviata un'intestazione prima dell'immagine. Consiste in uno spezzone audio iniziale chiamato **leader tone** di 300 millisecondi a 1.900 Hz, una pausa di 10 ms a 1200 Hz, un altro leader tone di 300 millisecondi a 1.900 Hz, seguito da un codice VIS digitale (segnalazione di intervallo verticale), che identifica la modalità di trasmissione utilizzata. Il VIS è costituito da **bit** di 30 millisecondi di lunghezza. Il codice inizia con un bit iniziale a 1.200 Hz, seguito da 7 bit di dati, dove la frequenza 1.100 Hz identifica 1 e 1.300 Hz identifica 0. Infine seguono un bit di parità e una pausa a 1.200 Hz. Ad esempio, i bit corrispondenti ai numeri decimali 44 o 32 implicano che la modalità è Martin M1, mentre il numero 60 rappresenta Scottie S1.

Detto questo capiamo nello specifico come funziona la trasmissione. Una trasmissione è composta da linee orizzontali, scansionate da sinistra a destra. I componenti del colore vengono

² https://it.wikipedia.org/wiki/Bande_radioamatoriali

³ <https://it.wikipedia.org/wiki/Modem>

inviati separatamente una riga dopo l'altra. La codifica dei colori e l'ordine di trasmissione possono variare tra le modalità. La maggior parte delle modalità utilizza un modello di colore RGB⁴; alcune modalità sono in bianco e nero, con un solo canale inviato; altre modalità usano un modello di colore YC, che consiste di luminanza (Y) e cromaticanza (R – Y e B – Y). La frequenza di modulazione varia tra 1.500 e 2.300 Hz, corrispondente all'intensità (luminosità) della componente di colore. La modulazione è analogica, quindi anche se la risoluzione orizzontale è spesso definita come 256 o 320 pixel, possono essere campionati utilizzando qualsiasi velocità. Le proporzioni dell'immagine convenzionalmente si rifanno ai 4:3. Le linee di solito terminano con un impulso di sincronizzazione orizzontale di 1.200 Hz di 5 millisecondi (dopo che tutti i componenti di colore della linea sono stati inviati); in alcune modalità, l'impulso di sincronizzazione si trova al centro della linea.

Spendendo qualche parola sulle più comuni modalità di trasmissione introduciamo i modelli Martin e Scottie.

SSTV Martin è stato sviluppato da Martin Emmerson (G3OQD). Il concorrente SSTV Scottie utilizzato in USA è stato sviluppato dallo scozzese Eddie Murphy (GM3BSC). Entrambi consentono di inviare una immagine a colori di buona risoluzione con tempi a partire da circa un minuto e mezzo. Entrambe le modalità eseguono la scansione di 256 righe anziché di 240 (come da standard). In genere ciò dà agli operatori radioamatori 16 pixel di spazio, come banner sopra o sotto l'immagine, per il loro nominativo e altro testo. Martin è utilizzato principalmente in Europa, mentre la modalità Scottie negli USA. Esistono anche altri modelli come il Robot e l'AVT, molto usati in Giappone.

⁴ <https://it.wikipedia.org/wiki/RGB>

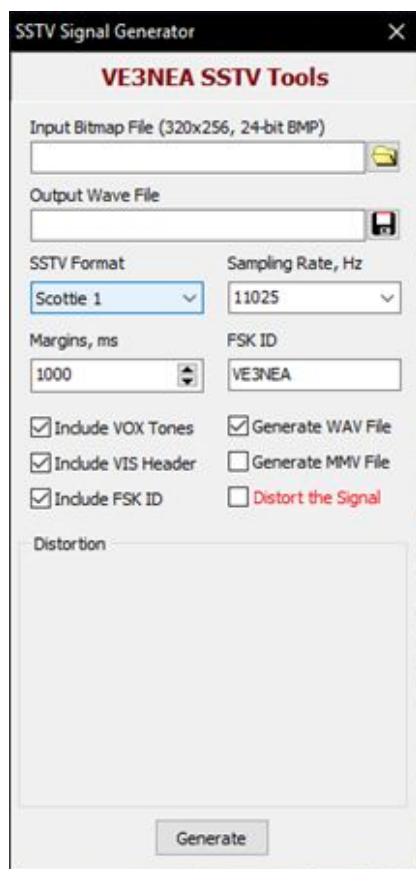
Esempio di applicazione

Oggi è possibile provare la trasmissione SSTV attraverso l'utilizzo di semplici tool su un computer che possenga un microfono e degli altoparlanti.

I programmi necessari sono un SSTV Signal Generator e un SSTV Decoder, rispettivamente un generatore del segnale a partire da un'immagine e un decodificatore che effettuerà l'opzione inversa, cioè convertirà il segnale sonoro riprodotto dagli altoparlanti e registrato tramite il microfono in un'immagine.

- [SSTV Signal Generator](#)
- [RXSSTV](#)
- [Convertitore di immagini](#)

SSTV SIGNAL GENERATOR

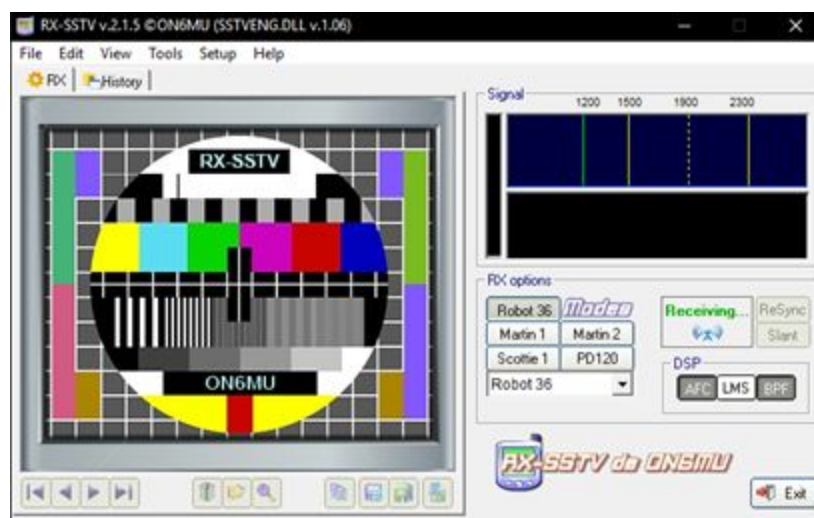


L'immagine da convertire dovrà essere in formato Bitmap e dovrà essere ridimensionata fino ad avere una risoluzione di 320x256 pixel, come mostrato in figura. Come formato per la trasmissione in questo caso utilizzeremo Scottie 1.

Dopo aver scelto dove salvare il file contenente il segnale basterà cliccare su generate e la procedura avrà inizio.

Il software codificherà l'immagine selezionata in un suono dalla durata variabile a seconda dell'immagine stessa: se in bianco e nero o a colori.

RX-SSTV



Dopo aver effettuato la procedura di conversione bisognerà utilizzare RX-SSTV per decodificare il segnale appena creato.

Aperto il programma bisognerà selezionare come metodo di trasmissione Scottie 1, o quello affine alla conversione effettuata precedentemente

con SSTV Signal Generator.

Successivamente bisognerà assicurarsi che il microfono e gli altoparlanti siano collegati, bisognerà a questo punto iniziare la riproduzione del file .wav convertito precedentemente e cliccare sul pulsante *Receiving...* per forzare il riconoscimento del segnale.

A questo punto nel riquadro principale verrà mostrato l'esito della scansione del segnale registrato attraverso il microfono. Quando la riproduzione del file .wav terminerà, l'immagine nel riquadro risulterà completa, pronta per essere salvata.

Storia dell'SSTV

Primi usi nelle esplorazioni spaziali

SSTV è stato utilizzato per trasmettere immagini dal lato più lontano della Luna da Luna 3. Il primo sistema televisivo spaziale si chiamava Seliger-Tral-D e veniva utilizzato a bordo di Vostok. Vostok si basava su un precedente progetto di videotelefono che utilizzava due telecamere, con tubi iconoscopici LI-23 persistenti. La sua uscita era di 10 fotogrammi al secondo a 100 linee per frame di segnale video.

Il sistema Seliger fu testato durante i lanci del 1960 della capsula Vostok, incluso Sputnik 5, contenente i cani spaziali Belka e Strelka.

Un concetto simile, chiamato anche SSTV, è stato utilizzato su Faith 7 e durante i primi anni del programma Apollo della NASA.

La videocamera Faith 7 trasmetteva un fotogramma ogni due secondi, con una risoluzione di 320 linee.

Le telecamere Apollo TV utilizzavano SSTV per trasmettere immagini dall'interno di Apollo 7, Apollo 8 e Apollo 9, così come la televisione del modulo lunare Apollo 11 dalla Luna.

La NASA aveva preso tutti i nastri originali e li aveva cancellati per l'uso nelle successive missioni; tuttavia, il team di ricerca e restauro dei nastri Apollo 11, costituito nel 2003, ha rintracciato i filmati di alta qualità tra le registrazioni convertite della prima trasmissione, ha messo insieme i filmati migliori, quindi ha contratto una società specializzata nel restauro di film per migliorare il degradato bianco e nero filmare e convertirlo in formato digitale per i documenti d'archivio.

Il sistema SSTV utilizzato nelle prime missioni Apollo della NASA trasferiva dieci fotogrammi al secondo con una risoluzione di 320 linee di frames utilizzando una larghezza di banda inferiore rispetto a una normale trasmissione TV.

I primi sistemi SSTV utilizzati dalla NASA differiscono significativamente dai sistemi SSTV attualmente in uso dagli appassionati di radioamatori.

Commercializzazione e cultura POP

I sistemi commerciali iniziarono ad apparire negli Stati Uniti nel 1970, dopo che la commissione federale delle telecomunicazioni statunitense aveva legalizzato l'uso di SSTV per radioamatori di livello avanzato nel 1968.

Al giorno d'oggi si è riscontrato l'utilizzo del sistema SSTV per realizzare degli easter egg nella cultura POP; dalla [ghost track](#) di Caparezza fino ai [messaggi nascosti](#) nel videogioco Portal, passando per Kerbal Space Program in cui c'è una piccola collina nell'emisfero meridionale di un pianeta chiamato 'Duna', che trasmette un'[immagine SSTV](#) a colori in formato Robot 24.

Cos'è la radio ad onda corta

Le onde corte (abbreviato in **SW**, dell'inglese *shortwave* o **HF** acronimo di *high frequency*) coprono lo spettro di frequenza che spazia da 3 MHz a 30 MHz, corrispondente alla gamma di lunghezza d'onda che va dai 10 ai 100 m.

A differenza di altri spettri di frequenza nel campo radio, le onde corte permettono, con poca potenza, di effettuare collegamenti a lunghissima distanza, nonostante la curvatura della Terra. Infatti questo intervallo di frequenze viene riflesso verso la superficie terrestre dagli strati ionizzati presenti a varie altezze nell'atmosfera.

Nell'ambito dell'ampia banda disponibile, esistono vari tipi di applicazione per i segnali a queste frequenze. Vengono particolarmente usate in campo radioamatoriale (proprio qui la SSTV trova il maggior caso di utilizzo).

Le onde corte sono anche utilizzate per esempio nelle comunicazioni aeronautiche a lunga distanza, o oceaniche grazie alla lunga portata consentita dalla riflessione del segnale negli strati alti dell'atmosfera. Tuttavia questa frequenza è sensibile a disturbi esterni ed è molto poco chiara, quindi per le comunicazioni a breve distanza si preferiscono le frequenze UHF e VHF.

Altri utenti, non meno importanti, che usufruiscono della radio ad onde corte sono:

- Le emittenti internazionali, principalmente con lo scopo di fornire propaganda governativa o diffondere news internazionali (ad esempio, la BBC World Service).
- Sistemi meccanici, elettronici e visivi per comunicare ora/data del giorno.
- Trasmissioni intercontinentali in Codice Morse

Vantaggi

- Difficoltà da parte delle autorità nel censurare un'emittente in nazioni restrittive, rispetto alla relativa facilità di censura su Internet. Si presentano delle difficoltà tecniche non indifferenti nell'individuare un'emittente radio ad onde corte.
- Il basso prezzo delle radio ad onde corte le rende particolarmente diffuse anche in ambito domestico.
- Le radio più moderne sono anche alimentate tramite batteria e questo le rende particolarmente utili in circostanze di pericolo, così come nel caso in cui Internet o le comunicazioni via satellite sono temporaneamente indisponibili.
- Per le comunicazioni bidirezionali a lunga distanza sono necessarie pochissime infrastrutture. Tutto ciò che serve è una coppia di ricetrasmittitori, ciascuno con un'antenna e una fonte di energia (come una batteria, un generatore portatile o la rete elettrica). Ciò rende la radio ad onde corte uno dei mezzi di comunicazione più robusti, che può essere interrotta solo da interferenze o cattive condizioni ionosferiche.

Svantaggi

- Nelle aree urbane più sviluppate, la ricezione di un segnale radio ad onda corta risulta difficoltosa a causa dell'eccessivo rumore dovuto principalmente ai modem e routers per la navigazione su internet e dalle numerose interferenze radio.
- Nella maggior parte dei paesi occidentali, la proprietà della radio a onde corte è generalmente limitata ai veri appassionati, poiché la maggior parte delle nuove radio standard non riceve la banda a onde corte. Pertanto, il pubblico occidentale è limitato.

Onde corte: Skywave

Nella comunicazione radio, skywave o skip si riferisce alla propagazione delle onde radio riflesse o rifratte verso la Terra dalla ionosfera, uno strato elettricamente carico dell'atmosfera superiore. Poiché non è limitato dalla curvatura della Terra, la propagazione delle onde del cielo può essere utilizzata per comunicare oltre l'orizzonte, a distanze intercontinentali. È utilizzato principalmente nelle bande di frequenza delle onde corte.

La ionosfera è una regione dell'atmosfera superiore, da circa 80 km a 1000 km di altitudine, dove l'aria neutra viene ionizzata da fotoni solari e raggi cosmici. Quando i segnali ad alta frequenza entrano nella ionosfera a un angolo basso, vengono piegati indietro verso la terra dallo strato ionizzato.

Se la ionizzazione di picco è abbastanza forte per la frequenza scelta, un'onda uscirà dal fondo dello strato verso terra - come se fosse riflessa obliquamente da uno specchio. La superficie terrestre (terra o acqua) riflette quindi nuovamente l'onda discendente verso la ionosfera.

Quando si opera a frequenze appena al di sotto della massima frequenza utilizzabile (MUF), cioè la più alta frequenza radio che può essere utilizzata per la trasmissione tra due punti tramite la riflessione della ionosfera, il segnale radio può effettivamente "rimbalzare" o "saltare" tra la terra e la ionosfera due o più volte (propagazione multi-hop), anche seguendo la curvatura della terra.

Questo è ciò che permette alle trasmissioni ad onda corta di viaggiare in tutto il mondo. Se la ionizzazione non è abbastanza grande, l'onda si curva solo leggermente verso il basso e successivamente verso l'alto quando viene superato il picco di ionizzazione in questo modo l'onda si perde nello spazio, per evitare ciò è necessario utilizzare una frequenza più bassa.

Le onde del cielo dirette verticalmente, o quasi verticalmente, sono chiamate NVIS (Near vertical incidence skywave), la cui sigla indica anche un percorso di propagazione delle onde radio che fornisce segnali utilizzabili nell'intervallo di distanze tra 0 e 650 km.

Ad alcune frequenze, generalmente nella regione delle onde corte inferiori, le Skywave ad alto angolo verranno riflesse direttamente verso il suolo. Quando l'onda ritorna a terra, viene diffusa

su una vasta area, consentendo comunicazioni entro diverse centinaia di miglia dall'antenna trasmittente.

I segnali VHF con frequenze superiori a circa 30 MHz di solito penetrano nella ionosfera e non vengono restituiti alla superficie terrestre.

Frequenze inferiori a circa 10 MHz (lunghezze d'onda superiori a 30 metri), comprese le trasmissioni nelle bande di onde medie e di onde corte (e in una certa misura di onde lunghe), si propagano nel modo più efficiente di notte. Frequenze superiori a 10 MHz (lunghezze d'onda inferiori a 30 metri) si propagano in genere in modo più efficiente durante il giorno.

Concetti sulla modulazione in frequenza e teorema

Come già accennato in precedenza SSTV trasmette un segnale analogico ed utilizza la modulazione di frequenza, in cui ogni diverso valore di luminosità nell'immagine ottiene una frequenza audio diversa. Cerchiamo quindi di capire meglio come funziona la modulazione di frequenza.

Definizione

In telecomunicazioni la **modulazione di frequenza**, sigla **FM** (dall'analogo termine inglese *frequency modulation*), è una delle tecniche di trasmissione utilizzate per trasmettere informazioni usando la variazione di frequenza dell'onda portante. Appartiene alle modulazioni ad onda continua, ovvero quelle che modulano una portante sinusoidale.

In cosa consiste

La modulazione in frequenza consiste nel modulare la frequenza del segnale radio che si intende utilizzare per la trasmissione (detto **portante**) in maniera proporzionale all'ampiezza del segnale che si intende trasmettere.

Rispetto alla modulazione di ampiezza, ha il vantaggio di essere molto meno sensibile ai disturbi e di permettere una trasmissione di miglior qualità. Ha inoltre un'efficienza energetica molto maggiore, dato che la potenza del segnale modulato FM è esclusivamente quella della portante: il segnale di informazione cioè non richiede potenza aggiuntiva per essere trasmesso.

Teorema della Modulazione

$$x(t) \cos(2\pi f_0 t) \leftrightarrow \frac{X(f - f_0) + X(f + f_0)}{2}$$

Cerchiamo infatti la trasformata del segnale a primo membro:

$$F[x(t) \cos(2\pi f_0 t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cos(2\pi f_0 t) e^{-j2\pi f t} dt$$

Ricordando che $\cos(2\pi f_0 t) = \frac{e^{j2\pi f_0 t} + e^{-j2\pi f_0 t}}{2}$

Si ricava

$$\begin{aligned} F[x(t) \cos(2\pi f_0 t)] &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{j2\pi f_0 t} e^{-j2\pi f t} dt + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi f_0 t} e^{-j2\pi f t} dt \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi(f-f_0)t} dt + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi(f+f_0)t} dt \end{aligned}$$

Allora la trasformata cercata del segnale modulato $x(t) \cos(2\pi f_0 t)$ può essere espressa come

$$F[x(t) \cos(2\pi f_0 t)] = \frac{X(f - f_0) + X(f + f_0)}{2}$$

ovvero, la trasformata di fourier del segnale di partenza, dimezzata in ampiezza e traslata di f_0 (frequenza della portante) all'interno dello spettro bilatero.