CANALE STAZIONARIO

Si parla di un **Canale Stazionario** quando i fenomeni che avvengono possono essere modellati da processi casuali e le **proprietà statistiche** di tali processi sono **indipendenti dal tempo**.
Uno spostamento dell'origine dei tempi non cambia le proprietà statistiche, per cui la descrizione statistica del processo è indipendente dal tempo

Una completa descrizione statistica si ha quando sono assegnate le p.d.f (probability density functions) congiunte di ogni ordine per il processo X(t).
Nei sistemi di comunicazione è spesso sufficiente verificare le proprietà statistiche fino al secondo ordine cioè la funzione densità di X(t) e la funzione densità congiunta di $(X(t_1),X(t_2))$ per tutte le scelte di (t_1,t_2)
In questo caso si parla di processi **stazionari in senso lato**

CANALE TEMPO INVARIANTE

Un sistema è chiamato **Tempo invariante** se le sue relazioni di ingresso e uscita non cambiano nel tempo
Questo significa che una versione ritardata dell'ingresso ha come risultato una versione ritardata dell'uscita

Particolare interesse hanno i sistemi lineari e tempo invarianti chiamati LTI in cui la relazione ingresso-uscita è semplice e può essere espressa in termini di integrali di convoluzione o di risposta impulsiva

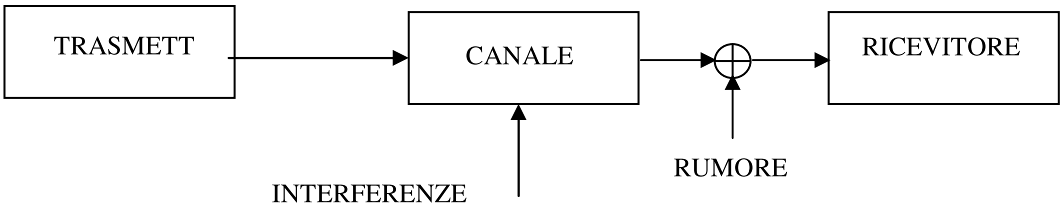
Chiameremo **Statico** un canale quando le sue caratteristiche non variano nel tempo

CANALE TEMPO VARIANTE

Un sistema è detto**Tempo Variante** quando la sua risposta a d un segnale dipende dall'istante di applicazione del segnale stesso al suo ingresso

MODELLI MATEMATICI PER CANALI DI COMUNICAZIONE

Il modello più generale prevede rumore interferenze e variazioni nel tempo delle caratteristiche del canale



Il modello più semplice è quello di canale LTI (Lineare e Tempo Invariante) con **rumore additivo.** Il rumore viene considerato a densità spettrale costante (bianco) e a distribuzione gaussiana (WGN)
(White Gaussian Noise)
Se il canale produce una limitazione di banda si parla di **canale a filtro** lineare

$$r(t) = s(t) * h(t) + n(t)$$

Con h(t) risposta impulsiva del canale
n(t) è valutato nella banda passante del segnale

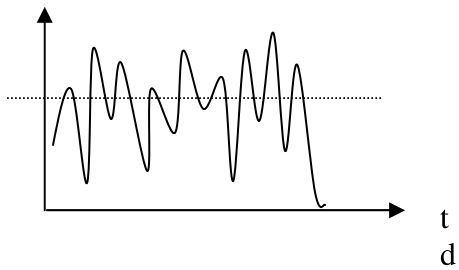
Quando il canale presenta caratteristiche **tempo varianti** come nel caso dei canali in cui si ha l'interferenza di percorsi multipli o i canali radiomobili in cui la variazione e causata dalla mobilità si può ancora far riferimento a una risposta impulsiva ma del del tipo $h(\tau;t)$
Cioè alla risposta del canale al tempo t dovuta ad un impulso applicato a $t-\tau$

$$h(\tau;t) = \sum_{k=1}^{L} a_k(t) e^{-j\theta_k(t)} \delta(\tau - \tau_k)$$

dove L è il numero dei contributi e a_k le ampiezze e θ_k le fasi con cui contribuiscono

CANALE TEMPO VARIANTE

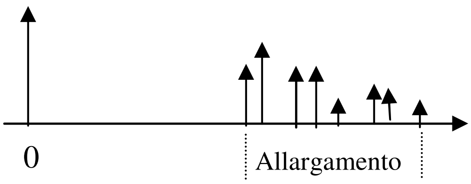
Il livello del segnale ricevuto in funzione della distanza dal punto di trasmissione è fortemente variabile.



La stessa variazione può essere considerata in un punto in funzione del tempo

Dispersione temporale

La risposta impulsiva del canale prevede in corrispondenza dell'impulso trasmesso una successione di impulsi in un intervallo di durata finita T_σ (**delay spread o time dispersion**)



Questa durata rappresenta la dispersione temporale del segnale originario
La deviazione standard della distribuzione dei ritardi si indica con $T\sigma$ e si chiama Delay Spread cioè l'allargamento dei ritardi e può essere considerata come la deviazione standard della distribuzione degli allargamenti dovuti agli echi
Se si trasmette una serie di impulsi con una determinata frequenza di ripetizione e se ogni impulso si presenta con una serie di echi si riuscirà a risalire alla sequenza originaria solo se il periodo di ripetizione degli impulsi è maggiore della dispersione temporale delle eco

Se questo non avviene si ha interferenza fra simboli diversi

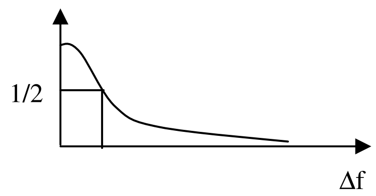
Per comprendere meglio gli effetti a seconda della larghezza di banda del segnale si definisce un parametro detto **banda di coerenza** del canale basato su questa osservazione:
pensiamo di avere due segnali sinusoidali a frequenze f_1 e f_2 che vengono trasmesse
e osservo in ricezione le due ampiezze a_1 e a_2 in due diversi istanti di tempo t_1 e t_2

$$f_1 \quad f_2 \qquad \Delta f = |f_1-f_2|$$
$$t_1 \quad t_2 \qquad \Delta t = |t_1-t_2|$$
$$a_1 \quad a_2$$

Le ampiezze a_1 e a_2 sono le realizzazioni di variabili aleatorie che hanno un
coefficiente di correlazione

Con riferimento al coefficiente di correlazione si definisce la **banda di coerenza** come l'intervallo di frequenze per cui con osservazioni fatte nello stesso istante ($\Delta t=0$) si ha

$$\rho(\Delta f, 0) = \frac{1}{1+(2\pi\Delta f)^2\sigma^2} = \frac{1}{2}$$



In un caso tipico in cui $\sigma=2\mu$sec la Bc sarebbe 80 kHz

Si è definito un parametro detto **banda di coerenza** Bc
(inversamente proporzionale al **delay spread**)che permette di discriminare fra i due comportamenti

Se B<Bc il segnale non è distorto ed il canale non è selettivo in frequenza (**frequency flat fading**)
Se B>Bc il canale distorce lo spettro del segnale trasmesso attenuandone diversamente le componenti (**frequency selective fading**)

La banda di coerenza è la massima banda che si può utilizzare senza che gli effetti dei percorsi multipli distorcano il segnale

Dispersione di frequenza

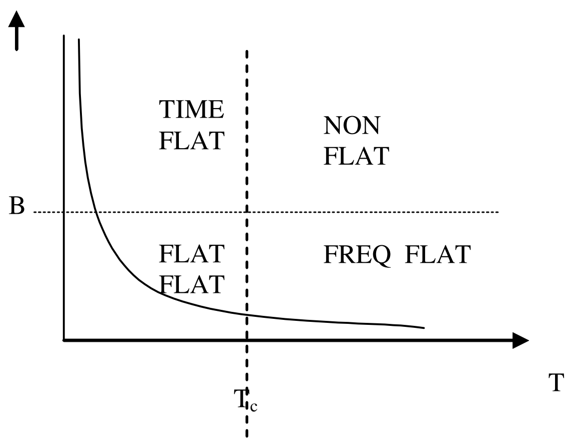
A causa delle variazioni connesse al movimento relativo fra trasmettitore e ricevitore si osservano delle variazioni fra frequenza osservata fd e trasmessa

$$f_m = (v_R/c)\, f_t$$

f_t è la frequenza trasmessa e f_m è lo spostamento di quella osservata
v_R è la velocità relativa e "c" è la velocità della luce
Si ha quindi una **frequency dispersion o doppler spread** e si definisce un **tempo di coerenza** T_c al di sotto del quale si osserva la stessa frequenza su trasmettitore e ricevitore mentre per durate del segnale maggiori la dispersione di frequenza diviene evidente
Se fs >1/T_c i segnali vedono un canale non tempo variante (time flat)
Se fs<1/T_c, cioè per durate del segnale maggiori del tempo di coerenza si ha il **time selecive fading** cioè il canale cambia le sue caratteristiche durante il passaggio del segnale causando distorsione
I cammini multipli possono complicare il fenomeno
in un canale in cui si abbia sia dispersione di tempo che di frequenza

CLASSIFICAZIONE DEI CANALI

I tipi di possibili canali possono essere rappresentati in un piano indicando in ascissa la durata dei segnali T
ed in ordinata la banda dei segnali B
Dalla teoria dei segnali $B\ T > \frac{1}{2}$



Il riferimento a T_c (tempo di coerenza) e B_c (banda di coerenza) suddivide il piano che rappresenta tutte le situazioni di banda e durata in quattro regioni
Nella zona flat flat il segnale non subisce alcuna distorsione
I sistemi radiomobili sono del tipo **time flat** perché hanno durate inferiori a T_c e bande superiori a B_c

CAPACITÀ DI UN CANALE DI COMUNICAZIONE

Teorema di Shannon-Hartley

Fornisce un limite superiore per la velocità di trasmissione R (bit rate) su canale Gaussiano senza errore

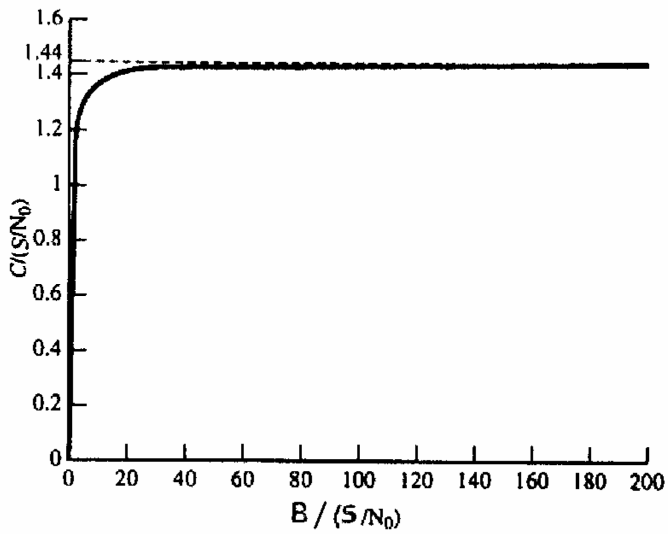
$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{No\, B}\right)$$

N_o è la densità stettrale unilatera del rumore termico
S è la potenza di segnale $S = E_b R$ E_b è l'energia per bit
B è la banda

Un sistema di comunicazione capace di trasmettere ad una velocità R pari a C si dice SISTEMA IDEALE
Per aumentare la capacità posso agire su S o su B

Aumentando S la capacità aumenta (in maniera logaritmica, lenta)
Aumentando B si hanno effetti contrastanti si ottiene un limite

$$\lim_{B \to \infty} C = 1.44 \frac{S}{N_o}$$

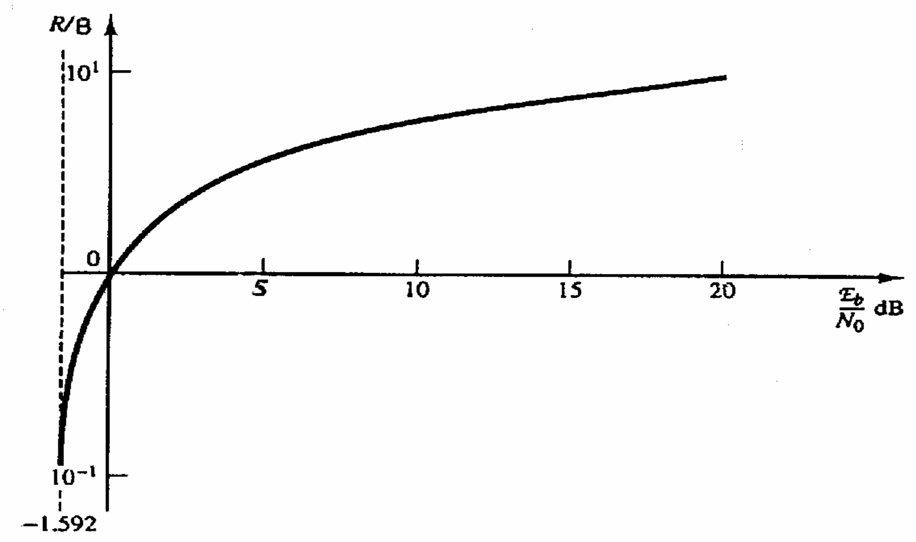


Nei **sistemi reali** R<C

$$\frac{R}{B} = \log_2 \left(1+\frac{R}{No\,B}\frac{S}{R}\right) = \log_2 \left(1+\frac{E_b}{No}\frac{R}{B}\right)$$

$$\frac{E_b}{No} = \frac{2^{R/B}-1}{R/B} \text{ per cui } \qquad \lim_{R/B\to 0} \frac{2^{R/B}-1}{R/B} = \ln 2 = 0.693 \qquad [-1592\,\text{dB}]$$

Questo valore rappresenta un minimo assoluto per la realizzazione di un sistema affidabile



Si traccia quindi una curva che divide il piano in due regioni
Nella regione sotto la curva è possibile realizzare affidabili sistemi di telecomunicazione
Nella regione sopra la curva questo non è possibile

Se R/ B << 1 si hanno sistemi limitati in potenza
Se R/ B >> 1 si hanno sistemi limitati in banda

Digital Transmission Through an AWGN Channel